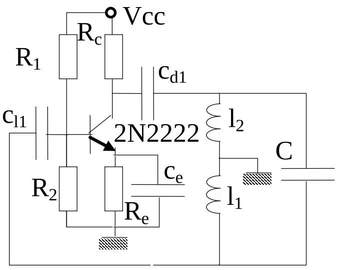
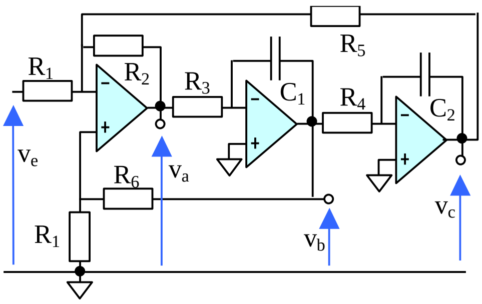
Système & Composants Electronique	Grenoble - INP Esisar

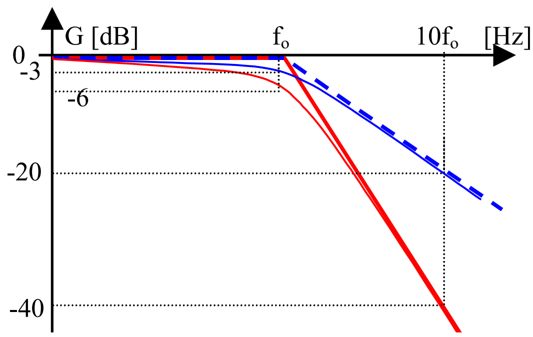
Travaux Dirigés
EP360

Electronique des Signaux



$$\frac{K.\omega_o p\,(p+\omega_z)}{p^2 + 2m\omega_o p + \omega_o^2}$$





Auteur : DEHAY

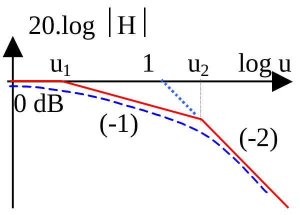
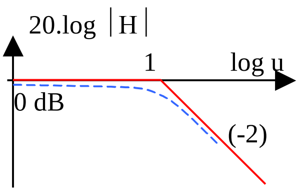
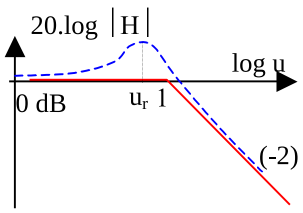
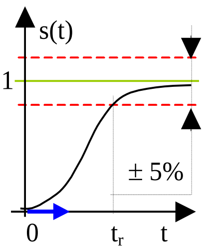
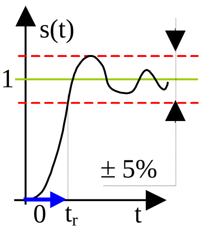
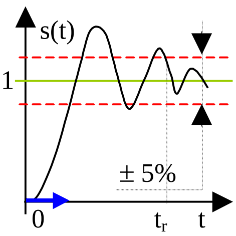
Révision : 1er juillet 2013

Imprimée le mardi 21 janvier 2025

Table des Matières

Propriétés des systèmes d'ordres 2

Compilations des résultats

m :	m > 1	1 > m > 0,7	0,7 > m > 0
Pôles	Pôles réels $p_1 = -m + \sqrt{m^2 - 1}$ $p_2 = -m - \sqrt{m^2 - 1}$	Pôles complexes conjugués $p_1 = -m + j\sqrt{1 - m^2}$ $p_1.p_2 = 1$	$p_2 = -m - j\sqrt{1 - m^2}$ $p_1 + p_2 = -2m$
Résonance	Non	Non	Oui
Résonance u_r	$u_r = 0$	$u_r = 0$	$u_r = \sqrt{1 - 2m^2}$
Max de $\lvert T \rvert = \lvert T(u_r) \rvert$	$\lvert T(u_r) \rvert = 1$	$\lvert T(u_r) \rvert = 1$	$\lvert T(u_r) \rvert = \frac{1}{2m\sqrt{1-m^2}}$
Q :	$Q = \frac{1}{2m}$ Facteur de surtension (de qualité)		
Bodes			
s(t) : Réponse à un échelon	NON oscillante	Oscillante	Oscillante
	$s(t) = \frac{1}{2\sqrt{1-m^2}} (e^{p_2 t} - e^{p_1 t})$	$s(t) = \frac{e^{-mt}}{\sqrt{1-m^2}} . \sin(\sqrt{1-m^2} . t)$	
		 Réponse la plus rapide, m=0,7.	

Formes génériques

Type de filtre	H(p)	H(p)
Passe-bas	$\frac{K.\omega_o^2}{p^2+2m\omega_o p+\omega_o^2}$	$\frac{K(p+\omega_z)}{p^2 + 2m\omega_o p + \omega_o^2}$
Passe-haut	$\frac{K.\omega_o^2 p^2}{p^2 + 2m\omega_o p + \omega_o^2}$	$\frac{K.\omega_o p\,(p+\omega_z)}{p^2 + 2m\omega_o p + \omega_o^2}$
Passe-bande	$\frac{K.\omega_o p}{p^2 + 2m\omega_o p + \omega_o^2}$	
Coupe-bande	$\frac{K.(p^2+\omega_r^2)}{p^2 + 2m\omega_o p + \omega_o^2}$	

Quadripôle

Exercice I
Structure croisée

Soit le quadripôle suivant :

Calculez les coefficients de la matrice hybride du quadripôle I.

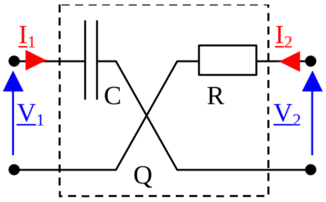


Fig. 1 : Quadripôle I.

On rappelle la définition de la matrice hybride :

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

Exercice II
Cellule en ⌉

I/ Une cellule

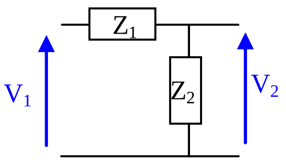


Fig. 1 : structure d'un quadripôle.

1/ Ecrire la relation avec la matrice de chaîne K de ce quadripôle, en fléchant les courants. On rappel la relation.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix} \quad \text{avec} \quad K = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

2/ Exprimez les éléments de la matrice K de ce quadripôle en fonction des impédances Z_1 et Z_2.

3/ Démontrez que le déterminant de la matrice chaîne est égal à 1.

4/ Exprimez la fonction de transfert v_2/v_1 à vide (sans charge) avec Z_1 une résistance, et Z_2 une capacité.

II/ Deux cellules en cascade

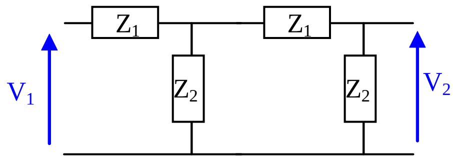


Fig. 2: structure d'un quadripôle.

1/ Calculer la fonction de transfert total de la figure Fig. 2 en utilisant le résultat de question précédente.

III/ Application

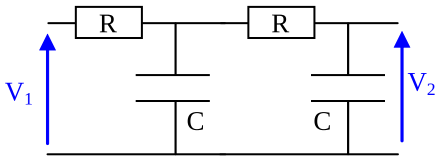


Fig. 3 :

1/ Donnez la fonction de transfert en fonction de R et C.

2/ Définissez le filtre ainsi créé.

3/ Tracez le diagramme de Bode de ce filtre.

Exercice III
Quadripôle & Filtre passif

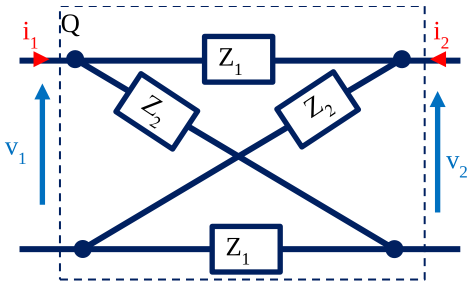


Fig : 1 : Réseau de dipôles.

$Z_1 = R + Lp$

$Y_2 = Z_2^{-1} = Cp$

1/ Calculez la matrice Z du quadripôle Q Fig : 1.

2/ Le quadripôle n'étant pas chargé, déterminez T(p) la fonction de transfert de Q.

3/ Exprimez le gain et la phase de $T(j\omega)$ en fonction de la pulsation. Vous poserez

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{et} \quad u = \frac{\omega}{\omega_o}$$

Filtres Passifs

Exercice I
Diagrammes de Bodes

Tracer les diagrammes de Bode (gain et phase) des fonctions de transfert suivantes.

$$\underline{H}_1(j\omega) = \frac{1}{1+j6{,}366\mathrm{x}10^{-4}\omega} \; ; \; \underline{H}_2(jf) = \frac{1}{1+\frac{250}{jf}}$$

$$\underline{H}_3(j\omega) = \frac{10^8}{10^6 + j1{,}4\mathrm{x}10^3\,\omega + (j\omega)^2} \; ; \; \underline{H}_4(j\omega) = \frac{j10^7}{10^6 + j10^3\,\omega + (j\omega)^2}$$

$$\underline{H}_5(j\omega) = 10\,\frac{1+\left(j\frac{\omega}{4\mathrm{x}10^3}\right)^2}{1+j\frac{\omega}{10^3}+\left(j\frac{\omega}{4\mathrm{x}10^3}\right)^2}$$

Exercice II
Filtres ?

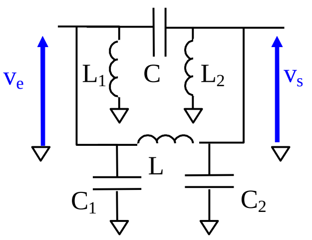


Fig. 2 : 2 structures en parallèle.

Ce filtre n'est pas chargé et la source qui l'alimente est un générateur de tension parfait. On supposera que $\frac{L_2}{L} > \frac{C}{C_2}$

I/ Simplifiez le schéma en retirant les composants inutiles.

II/ Sans effectuer le calcul de la fonction de transfert déterminez l'ordre et la nature de ce filtre en V_s/V_e ?

III/ Calculez la fonction de transfert V_s/V_e et tracez le diagramme asymptotique de Bode.

Exercice III
Filtre passif : Théorique / réelle

I/ Filtre passif théorique

On souhaite étudier le filtre en tension de la figure 3 dont la fonction de transfert est définie comme $H_1=V_s/V_e$.

1/ Quel type de filtre obtenez-vous et pourquoi ?

2/ Quel sera l'ordre du filtre et pourquoi ?

3/ Exprimez la fonction de transfert H1.

4/ Tracer le diagramme asymptotique de Bode en gain et en phase du filtre passif de la figure 3.

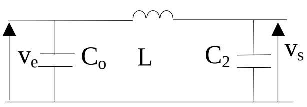


Fig. 3 : Filtre passif.

L=10 mH

C_2=100 nF;

II/ Filtre passif réel

On souhaite étudier le filtre en tension $H_2=V_s/V_e$ de la Fig. 4. L'inductance du filtre précédent est remplacée par son modèle équivalent.

1/ Quel type de filtre obtenez-vous et pourquoi ?

2/ Quel sera l'ordre du filtre et pourquoi?

3/ Exprimez la fonction de transfert H2

4/ Tracer le diagramme asymptotique de Bode en gain et en phase du filtre passif de la figure 3.

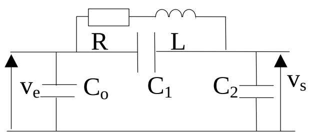


Fig. 4 Filtre passif.

L=10 mH

C_1=10 pF;

C_2=100nF

R=100Ω.

Filtres Actifs

Exercice I
Avance de phase

Dans le montage ci-dessous on a $R_1 > R_2$. L'amplificateur opérationnel est supposé idéal et fonctionne en régime linéaire.

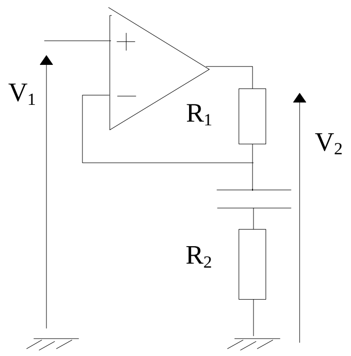


Fig. 5 : Montage 2.

R_1 = 10 kΩ;
R_2 = 2 kΩ;
C = 22 nF

I/ Diagramme de Bode

1/ Calculez en régime harmonique la transmittance complexe de ce filtre $\underline{H}(j\omega)=\underline{V}_2/\underline{V}_1$.

2/ Quelles sont les limites du gain lorsque la pulsation tend vers zéro et l'infini.

3/ Calculer la fréquence f_m pour laquelle le déphasage de la tension V_2 par rapport à la tension V_1 est maximal. Calculez le gain G_m et le déphasage φ_m correspondant.

4/ Calculez la fréquence de coupure à 3dB.

5/ Tracez le diagramme asymptotique et réel de Bode de ce filtre.

II/ Plan complexe

1/ Montrez que l'affixe de $\underline{H}(j\omega)$ décrit dans le plan complexe, lorsque la fréquence varie de zéro à l'infini, un demi-cercle dont on précisera le centre et le diamètre en fonction de R_1 et R_2.

2/ Retrouvez à l'aide du diagramme de Nyquist l'expression du déphasage maximal φ_m obtenu à la question trois.

Exercice II :
Simulateur d'impédance

Ce montage permet de réaliser des impédances quelconques, comme par exemple une super capacité, ou une inductance sans bobine. Les amplificateurs sont parfaits.

I/ Montrez que l'impédance vue des points AM s'exprime

$$Z_{AM} = \frac{Z_1 Z_3 Z_5}{Z_2 Z_4}$$

II/ Une application industrielle (AF120 National Semi-conducteur), impose Z3=Z4=R. Proposez une détermination des éléments de façon à obtenir une inductance.

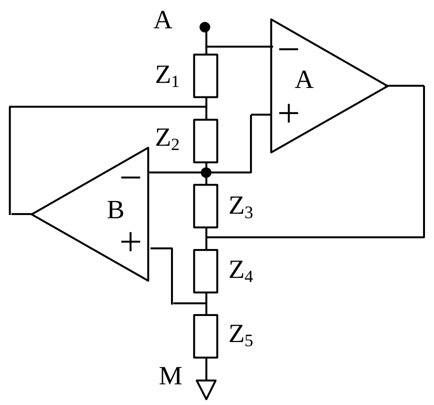


Fig. 6 : Filtre à convertisseur d'impédance.

Exercice III

I/ Impédance d'entrée

L'amplificateur opérationnel parfait fonctionne en linéaire avec des signaux sinusoïdaux.

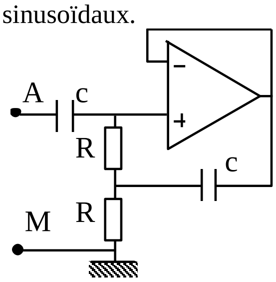


Fig. 7

1/ Exprimez Z l'impédance complexe vue des bornes AM en fonction de R et C de la figure Fig. 7.

II/ Fonction de Transfert

L'amplificateur opérationnel parfait fonctionne en linéaire. Le montage figure Fig. 8 fonctionne avec e(t) sinusoïdale. L'impédance Z du montage 2 est remplacée par l'expression trouvée dans la partie 1.

1/ Calculez la fonction de transfert $\underline{T} = \underline{s}/\underline{e}$.

2/ Montrez que T peut se mettre sous la forme suivante :

$$\underline{T} = \frac{1-x^2}{1+2j\alpha x-x^2} \quad \text{où} \quad x = \frac{\omega}{\omega_o}$$

3/ Calculez α et ω_o.

4/ Représenter le diagramme de Bode en amplitude uniquement.

5/ Quelle est la fonction réalisée par ce montage.

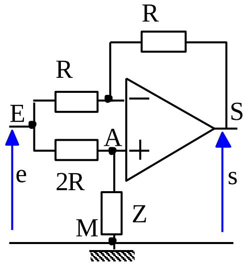


Fig. 8

Exercice IV
Correcteur de phase

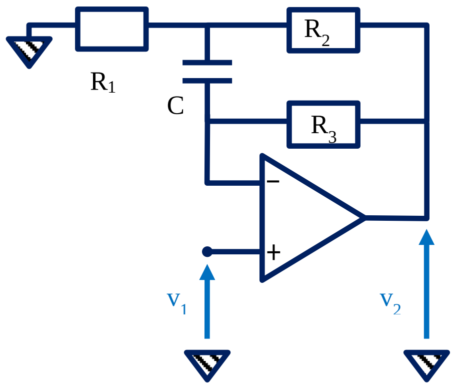


Fig : 2 : Correcteur de phase.

On se propose d'étudier le montage Fig : 2 en calculant sa fonction de transfert. Elle est définie comme suit :

$$H(j\omega) = \frac{v_2}{v_1}$$

I/ Préambule de vérification (3 pts)

1/ Signal d'entrée continu

On suppose le signal d'entrée $v_1(t)$ continu.

a/ A quel montage simple se réduit le schéma Fig : 2.

b/ Donnez H_{cc} sa fonction de transfert en explicitant à quoi correspond le résultat.

2/ Signal d'entrée de fréquence infinie

Le signal d'entrée $v_1(t)$ est sinusoïdal de pulsation infinie.

a/ A quel montage simple se réduit le schéma Fig : 2.

b/ Donnez H_∞ sa fonction de transfert dans ces conditions.

I/ Fonction de transfert (3 pts)

Le signale d'entrée $v_1(t)$ est sinusoïdale de fréquence quelconque.

a/ Exprimer la fonction de transfert du montage Fig : 2.

b/ Retrouver les résultats des questions I/ 1/ b/ et I/ 2/ b/ .

II/ Etude (7 pts)

Travaillez avec la fonction de transfert suivante :

$$H(p) = \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{1 + \frac{p}{\omega_2}} \quad avec\ \omega_2 = 10\ \omega_1$$

a/ Exprimez le gain et la phase de H(p).

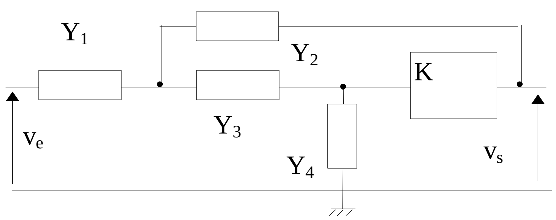
b/ Tracez sur la feuille fournie le diagramme asymptotique de Bode de H(p).

c/ Rechercher la pulsation ω_m qui donne φ_m le maximum de phase en fonction ω_1 et ω_2.

d/ Exprimez φ_m en fonction ω_1 et ω_2.

e/ En utilisant la condition numérique, tracez l'allure de la phase sur le tracé initial.

Exercice V
Structure de Sallen-Key



On considère le schéma suivant où le bloc K a une impédance d'entrée très grande et correspond à une amplification en tension K.

I/ Représenter les structures à amplificateur(s) opérationnel(s) permettant d'obtenir K < 0 puis K > 0 (deux cas à distinguer).

II/ Etablir l'expression de la fonction de transfert en fonction de K et des admittances Y_1, Y_2, Y_3, Y_4.

$T(p) = V_s/V_e$

III/ Que devient T(p) et quel est le type de filtre réalisé lorsque les composants choisis sont les suivants :

Y	1	2	3	4
	R	C	R	C

IV/ Etablir, en fonction des éléments du montage, les expressions :

1/ de la pulsation d'accord, ω_0 ;

2/ du coefficient de qualité Q (on rappelle que m = 1/2Q, où m est le facteur d'amortissement) ;

3/ de l'amplification maximale A.

V/ Nouvelle distribution

1/ Pour obtenir un grand coefficient de qualité, comment faut-il choisir K et R/R_1 ? Que deviennent alors A et Q ?

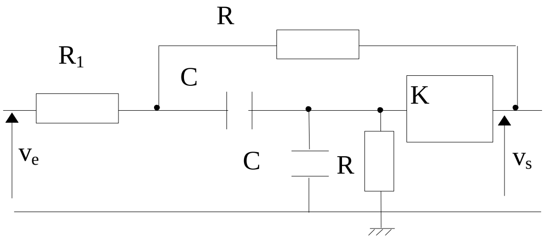


Fig. 9 : Structure Sallen Kay réelle.

Exercice VI

Exercice VII
Structure de Rauch

I/ Donnez l'expression de la fonction de transfert en fonctions des admittances Y_i.

II/ Les composants choisis sont donnés ci-dessous. Que devient l'expression de la fonction de transfert et quelle est la nature du filtre réalisé.

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
R_1	R_2	C	C	R_5

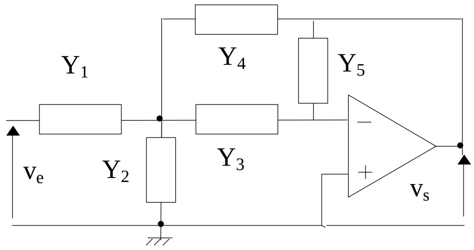
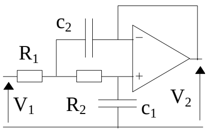


Fig. 10 : Structure de Rauch

Exercice VIII
Filtre passe-bas du 2ème ordre

On utilise une structure Shallen Key qui permettra de réaliser deux types de filtres différents. L'amplificateur opérationnel est parfait.



$c_1 = 4{,}7$ nF

Fig. 11 : Montage à AOP (parfait) du filtre.

I/ Etude de la structure

1/ Calculer la fonction de transfert T(p) du montage figure 1.

2/ En régime sinusoïdal, écrire la fonction de transfert $\underline{T}$(ju), en faisant apparaître le coefficient d'amortissement m et la pulsation réduit $u = \omega/\omega_o$.

3/ Montrer que le module de T peut passer par un maximum pour certaine valeur ω_1 que l'on calculera.

4/ Quelle est la condition sur le coefficient d'amortissement pour qu'il y ait cette surtension.

II/ Butterworth

Le filtre de Butterworth correspond au cas limite.

1/ Calculez le coefficient d'amortissement m_b le plus faible tel qu'il n'y a pas surtension.

2/ Calculer alors $\underline{T}_b$(ju) et exprimer la fréquence de coupure f_{cb} (à –3dB du gain statique) en fonctions des notations déjà utilisées.

3/ Calculer R et C_2 pour obtenir une fréquence de coupure à 1 kHz avec $R = R_1 = R_2$.

III/ Chebychev

On souhaite une coupure un peu plus raide. Pour cela on accepte une ondulation (un maximum) de 1 dB dans la bande passante pour déterminer une nouvelle fonction de transfert T_c.

1/ Calculer alors m_c le coefficient d'amortissement et donner la nouvelle fonction de transfert T_c.

2/ Calculer le maximum du module de la fonction de transfert T_c.

3/ On désire une fréquence de coupure f_{c_c} de 1 kHz à –3 dB du gain statique. Calculer f_{o_c}.

IV/ Diagrammes de Bode

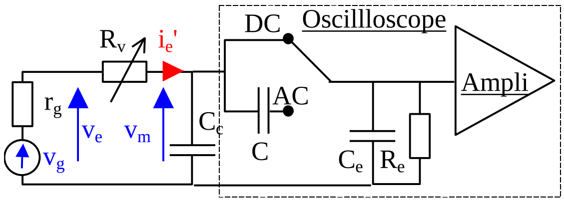
On souhaite comparer en détail les deux types de filtres calculés précédemment.

1/ Tracer sur le même graphe (papier fourni) le diagramme de Bode de $\underline{T}_b$ et $\underline{T}_c$.

2/ Placer sur ce graphe tous les éléments calculés

Exercice IX
Sonde d'oscilloscope

Sur l'entrée DC, l'impédance d'entrée d'un oscilloscope classique équipé d'un cordon qui assure la liaison entre le montage à étudier et l'appareil est formé d'une résistance R_e et d'une capacité C_e en parallèle. Le câble coaxial ramène une capacité linéique λ_c [F/m].



λ_c = 100pF/m ; C = 100nF ; C_e = 20pF ; R_e = 1MΩ

Fig. 4

I/ : Rg << Rv

1/ Mesure de Re

A basse fréquence (50Hz), on mesure à l'oscilloscope la tension de sortie d'un générateur basse fréquence.

a/ Montrez que les capacités Cc et Ce ont un effet négligeable devant Re.

b/ Rv = 0. Exprimez vmo en fonction des éléments et ve.

c/ On ajuste Rv telle que la tension vm mesurée à l'oscilloscope soit égale à ½Vmo. Quelle est alors la valeur de Rv?

2/ Mesure de Ce

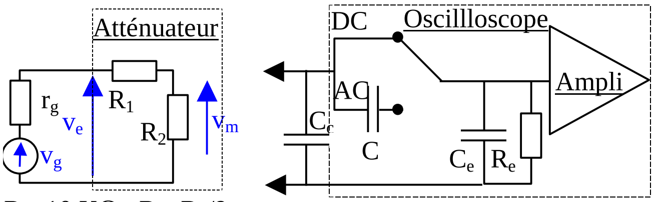
A une fréquence beaucoup plus élevée (300 kHz), on recommence la même série de mesure, V_{mo} et ½V_{mo}. La tension ½V_m est atteinte pour R_v = 5,4 kΩ.

a/ Calculez Ce+Cc.

b/ Calculez la longueur du câble coaxial.

II/ Atténuateur dissipatif

a/ Exprimez H1 la fonction de transfert vm/ve, avec l'atténuateur non branché à l'oscilloscope (fig.2).



R_1=10 KΩ ; R_2=R_1/9

Fig. 5

b/ Exprimez H2 la fonction de transfert vm/ve lorsque le dispositif est branché à l'oscilloscope avec un câble coaxial long de 1 mètre. On remarquera que Re>>R2.

c/ Tracez les diagrammes asymptotiques de Bode de H1 et H2 sur le même graphe.

III/ Sonde d'oscilloscope

1/ Atténuateur passif

Une sonde est insérée entre la tension v_e à visualiser et l'oscilloscope (fig.3). Elle est constituée de R_1 et C_1 (réglable). Le câble long de 1 mètre, en série avec l'impédance d'entrée de l'oscilloscope, forme l'impédance de charge de la sonde.

R_1 ET C_1 SONT DIFFERENTS DE LA PARTIE B.

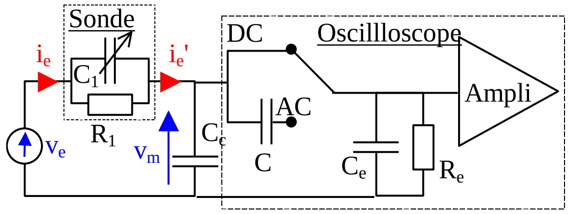


Fig. 6

a/ Démontrez que H3 la fonction de transfert vm/ve s'exprime comme suit en spécifiant Ho, □ et □1.

$$H_3 = H_o \frac{1+\tau_1 p}{1+\tau p}$$

b/ Tracez trois diagrammes de Bode asymptotique (gain et phase) sur le même graphe avec Ho=1/10 et les conditions suivantes :

$\tau_1 = \tau/10$ $\tau_1 = \tau$ $\tau_1 = 10\,\tau$

c/ Dans quel cas sommes-nous en présence d'un atténuateur ?

d/ Calculez R1 et C1 pour obtenir une atténuation de 20 dB.

2/ Impédance d'entrée

a/ Exprimez Ze (complexe) l'impédance d'entrée ve/ie avec une sonde parfaitement réglée.

b/ Exprimez Ze' l'impédance d'entrée vm/ie' de l'oscilloscope muni d'une sonde parfaitement réglée.

c/ Comparer Ze et Ze'.

3/ Bande passante

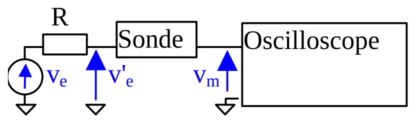


Fig. 7

a/ Montrez que la bande passante de l'appareil est augmentée d'une décade avec la sonde lorsque l'impédance de sortie du circuit à caractériser est une résistance (fig.4).

IV/ AC/DC

L'entrée de l'oscilloscope est en position DC. Il n'y a pas de sonde. On observe un signale de 100 Hz, défini par e(t)=10V pour t∈[0; ½T] et e(t)=0 V pour t∈[½T; T]. R_1=9R_e.

a/ Tracé pour une période et demi, ce qu'on observe sur l'écran de l'oscilloscope lorsqu'on applique la sonde sur e(t).

(2 ms = 1cm ; 2 V = 1 cm)

b/ Tracé sur le même graphe la trace si l'on commute l'entrée de l'oscilloscope en position AC, toujours avec la sonde (C = 100nF).

Amplificateurs linéaires de puissance

Exercice I
Effet Miller

Un grand nombre d'amplificateur n'ont pas un modèle aussi simple que peut le laisser supposer bon nombre de documents. Il existe une liaison capacitive entre l'entrée et la sortie (Fig. 10). On réalise un changement de modèle (Fig. 11) sur le principe de l'effet Miller.

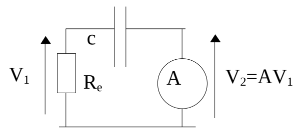


Fig. 12 : Modèle d'amplificateur avec liaison capacitive.

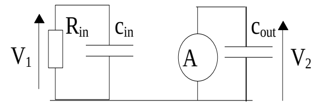


Fig. 13 : Modèle modifié.

I/ Exprimez C_{in} en fonction de A.

II/ Exprimez C_{out} en fonction de A.

III/ Nous sommes en présence d'une amplification A = –20.

1/ Calculer C_{in}.

2/ Calculer C_{out}.

Exercice II
Mise en cascade d'amplificateur

On tiendra compte d'un générateur de tension avec impédance interne.

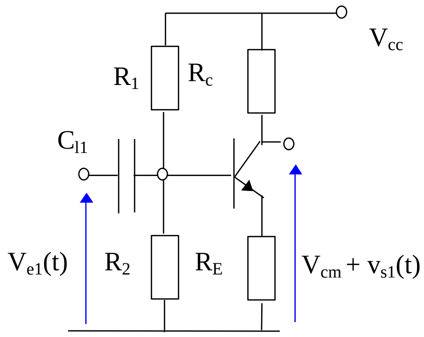


Fig. 14 : Etage d'entrée

R_1 = 24 KΩ
R_2 = 1,5 KΩ
R_E = 100 Ω
Rc = 5 kΩ
C_{l1} = 1 µF

V_{cc} = 12 V
V_{be} = 0,6 V
β=100

I/ Amplificateur 1

1/ Donnez l'expression littérale et numérique de l'amplification en tension $A_1 = v_{s1}/v_{e1}$

2/ Donnez l'expression littérale et numérique de la résistance d'entrée R_{in1}

3/ Donnez l'expression littérale et numérique de la résistance de sortie R_{out1}

4/ Donnez l'expression littérale et numérique de la fréquence de coupure à –3dB de la nouvelle fonction de transfert calculée avec la capacité de liaison.

II/ Amplificateur 2

1/ Donnez l'expression littérale et numérique de l'amplification en tension $A_2 = v_{s2}/v_{e2}$

2/ Donnez l'expression littérale et numérique de la résistance d'entrée R_{in2}

3/ Donnez l'expression littérale et numérique de la résistance de sortie R_{out2}

4/ Donnez l'expression littérale et numérique de la fréquence de coupure à –3dB

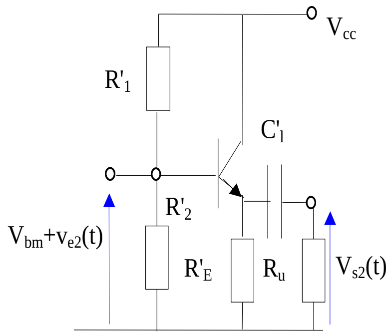


Fig. 15 : 1er étage.

R'_1 = 4,7 KΩ
R'_2 = 7,5 KΩ
R'_E = 6,5 kΩ
R_u = 600 Ω
C'_l = 2,2 µF

V_{cc} = 12 V
V_{be} = 0,6 V
β=100

III/ Liaison capacitive

1/ Donnez l'expression littérale et numérique de l'amplification en tension $A_3 = v_{s2}/v_{e1}$

2/ Donnez l'expression littérale et numérique de la résistance de sortie R_{out3}

3/ Donnez l'expression littérale et numérique de la fréquence de coupure à –3dB du montage complet.

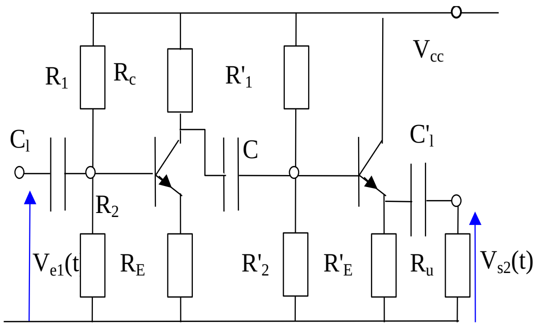


Fig. 16 : Amplificateur à deux étages, avec liaison capacitive.

IV/ Liaison continue (fig. 15)

1/ Donnez l'expression littérale et numérique de l'amplification en tension $A_4 = v_{s2}/v_{e1}$

2/ Donnez l'expression littérale et numérique de la résistance d'entrée R_{in4}.

3/ Donnez l'expression littérale et numérique de la résistance de sortie R_{out4}.

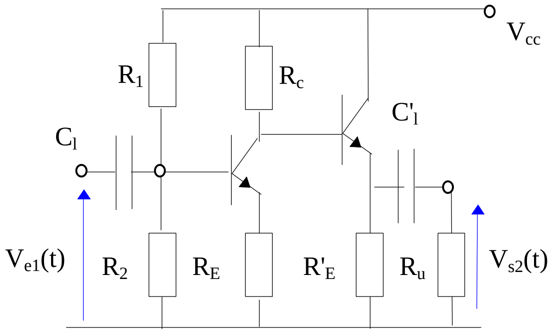


Fig. 17

Exercice III
Montage push-pull

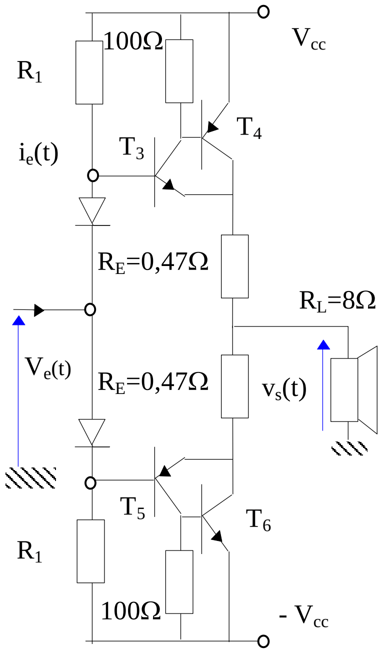


Fig. 18 : Montage push-pull pseudo-Darlington.

I/ Préliminaire

1/ Quelle est l'association réalisée par T5 et T6 d'une part et T3, T4 d'autre part ?

2/ Remplacer les associations précédentes par leurs transistors, respectivement T1 et T2.

3/ Déterminer le type de T1 et T2 ainsi que leur β équivalent. On donne β=50 pour T3 et T5 et β=20 pour T4 et T6.

4/ Quelle est la classe de cet ampli push-pull ?

5/ Quels est le rôle des résistances de 100Ω et des diodes. ? Pourquoi utilise-t-on une alimentation symétrique.

II/ Etude Statique et Dynamique

1/ Quel est le type de montage utilisé pour les transistors T1 et T2 déterminés précédemment ? En déduire la valeur de l'amplification en tension de cet étage. Tracer pour T1 les droites de charges statique et dynamique.

2/ Ce montage fourni une puissance de 60W au HP de 8Ω. Déduisez en la valeur efficace de la tension de sortie en régime sinusoïdal de cet amplificateur. Quelles est le courant crête et la tension crête correspondante?

Les transistors de sortie sont parcourus par le courant maximum. et présente un V_{sat} de 3V. Choisir la tension Vcc.

III/ Etude des puissances

1/ Déterminer l'allure des courants de sortie débités par les alimentations dans les transistors T_1 et T_2. Quelles sont leurs valeurs moyennes.

2/ En supposant la puissance fournie à l'entrée négligeable devant la puissance de sortie, calculer la puissance de l'alimentation P_{alim} fournie au montage.

3/ Calculer le rendement.

IV/ Etage driver

1/ Partie A

a/ Calculer en négligeant h11 (r_{be}), la valeur de la résistance d'entrée R_{in} de l'étage de puissance.

b/ On suppose que le transistor T_7 est chargé par cette impédance. Calculer l'amplification en tension A_v de l'étage driver. (T_7 : g_m= 180 mA/V)

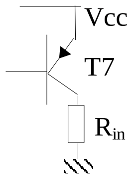


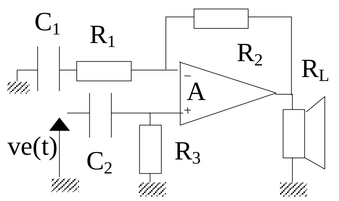
Fig. 19.

2/ Partie B

En réalité, l'étage driver est lui-même précédé par un étage amplificateur différentiel, et l'ensemble de ce montage se comporte comme un amplificateur opérationnel de puissance selon le schéma de la figure suivante.

a/ En supposant nulle l'impédance des condensateurs, calculer l'amplification en tension de cet étage,

b/ Quelle devra être l'amplitude de la tension d'entrée v_e (appelé sensibilité) pour que le haut-parleur délivre une puissance de 60 W.



R_1 = 470Ω

R_2 = 10kΩ

R_3 = 10kΩ

Amplificateur opérationnel de puissance

Fig. 20.

Exercice IV
Diviseur de courant

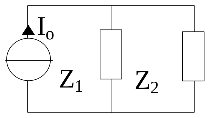


Fig. 21 : Diviseur de courant.

Exprimer le courant dans chaque impédance en fonction du courant I_o.

Exercice V
Amplificateur Classe B

I/ Puissance en régime sinusoïdale

Un amplificateur de puissance, classe B est décrit en figure 2. V_{cemini} est égale à 1 V. La tension d'entrée $v_e(t)$ est sinusoïdale. Les transistors ont un gain en courant de 300 et on prendra r_{be} égale à 1 kΩ. On négligera la distorsion de croisement.

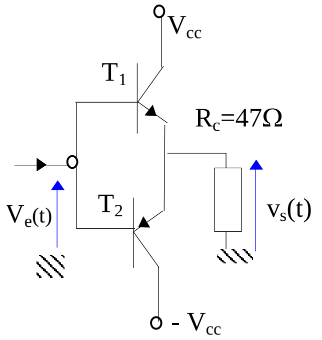


Fig. 22 : Montage classe B.

1/ Calculer le courant crête $I_{s\_crête}$ pour obtenir une puissance moyenne de 2 W dans la résistance de charge.

2/ Calculer les tensions d'alimentations.

3/ Exprimer la puissance active dissipée dans la charge en fonction la valeur crête de la tension de sortie V_s.

4/ Exprimer la puissance dissipée dans un transistor en fonction la valeur crête de la tension de sortie V_s.

NB : Il est conseillé de réaliser le chronogramme de I_{alim+} et V_{ce1} en fonction du temps.

5/ Calculer la puissance active maximum dissipée par un transistor. On prendra V_{cc} de 15 V.

6/ Exprimer le rendement du montage complet en fonction de la valeur crête de la tension de sortie V_s.

7/ Etudier et tracer le rendement en fonction de la tension crête de v_s.

NB : Des points négatifs seront données pour un tracé malpropre (même sur des résultats faux).

II/ Classe AB

Afin d'améliorer la distorsion de raccordement, les diodes sont placées telles que sur la figure 3. On prendra pour réaliser les calculs un courant collecteur maximum de 300 mA et une tension d'alimentation de 15 V.

1/ Calculer la résistance R_1 pour que la tension de polarisation des diodes ne varie quasiment pas en fonction des variations du courant de base.

2/ Pour les deux alternances, donc pour les deux demi-montages simultanément, en considérant le modèle petits signaux pour les transistors, donner le schéma électrique équivalent pour les variations.

3/ Exprimer le gain en tension $A_{v1}=v_s/v_e$ (β>>1 mais β fini). Calculer A_v.

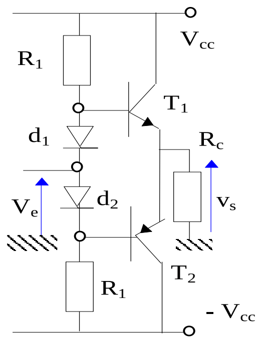


Fig. 23 : Montage boot_strap.

4/ Exprimer l'impédance d'entrée $R_{e1}=V_e/I_e$ (R_{ch} branchée). Calculer R_{e1}.

Amplificateurs à bande étroite

Exercice I
Amplificateur classe C

I/ Régime continu

On étudie le montage ci-dessous.

1/ Calculer le courant de collecteur I_c, la tension V_{ce} et le potentiel du point de repos en sortie V_s.

II/ Régime sinusoïdal

1/ Déterminer l'impédance d'entré Z_{in}.

2/ Calculer l'amplification complexe $A_v = V_s/V_e$., et la mettre sous la forme canonique et représenter le diagramme de Bode de A_v.

3/ Quelle est la dynamique de la sortie pour une fréquence du signal d'entrée à $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

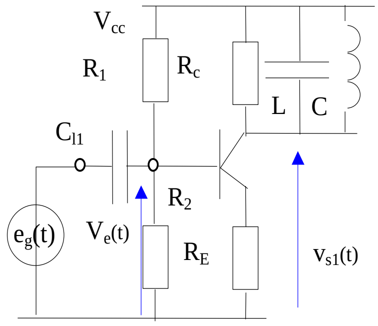


Fig. 24 : Amplificateur à bande étroite

R_1 = 24 KΩ
R_2 = 8,2 KΩ
R_E = 200 Ω
Rc = 5,1 kΩ
C_l = 330 nF
C = 1,6 nF
L = 16 µH

V_{cc} = 12 V
V_{be} = 0,7 V
β = 200

Exercice II
Classe C

On étudie le montage ci dessous.

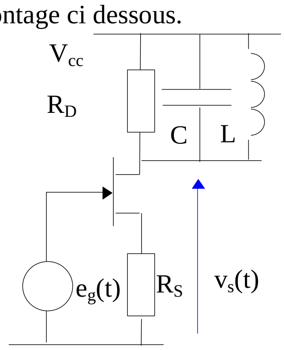


Fig. 25 : Amplificateur à bande étroite.

I/ Transistor à effet de champ

Le transistor à effet champ utilisé est décrit par

$I_d = I_{dss}(1+V_{gs}/V_p)^2$

Pour V_{DG}>Vp avec V_p=3V et I_{dss}=9mA.

1/ En supposant R_D petit devant R, calculer R pour obtenir I_D = 4 mA.

2/ Quelle est la valeur de la transductance g_m du transistor pour ce courant I_D.

II/ Régime alternatif

Le facteur de qualité du circuit LC est égal à 100.

1/ Quelle est l'amplification $A_v = vs/e_g$ en fonction de la fréquence autour de la fréquence d'accord du circuit.

2/ Calculer la bande passante et la dynamique de sortie de ce montage

Exercice III
Association d'amplificateurs sélectifs

Le schéma du montage à amplification sélective est décrit en figure 1. Le circuit "bouchon" est formé d'un condensateur idéal de capacité variable en parallèle avec une bobine de 6,4µH. La résistance de charge R_u est égal à 40kΩ.

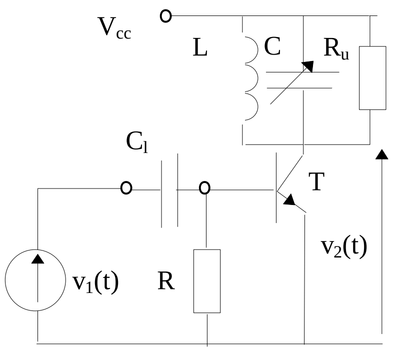


Fig. 26 : Amplificateur sélectif.

Vcc = 20V
R = 4,7KΩ
C_l = 20nF.
R_u = 40kΩ
L = 6,4µH
g_m = 45mS

Rappel

$I_c = I_o \exp(v_{be}/U_t)$ avec U_t=26mV à 25°C.

I/ Etude statique

On étudie le fonctionnement de l'attaque du montage précédent. Pour cela on remplace la partie "entrée" par un schéma simplifié figure 2. La tension $v_1(t)$ est sinusoïdale d'amplitude V.

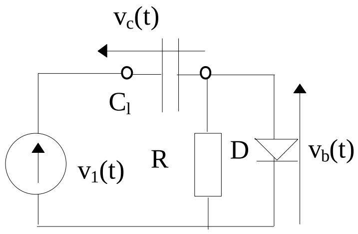


Fig. 27 : Schéma équivalent de l'attaque du montage sélectif.

1/ Quelle est la caractéristique du fonctionnement d'un amplificateur classe c du point de vue du transistor.

2/ La diode est parfaite, la résistance R est infinie. Tracer la tension $v_b(t)$ et $v_c(t)$. Que vaut vc après un quart de période.

3/ La fréquence de $v_1(t)$ est de 300kHz. On suppose être au régime permanent. Tracer la tension $v_b(t)$ et $v_c(t)$. en justifiant les simplifications qu'il convient de faire.

4/ La diode est la jonction base émetteur du transistor. La tension de seuil lorsque celle-ci est passante est égale à 0,7V. Tracer sur une période et demi alors la tension $v_b(t)$ et $v_c(t)$.

5/ Calculer l'amplitude V pour avoir un angle de conduction du transistor de 30°.

II/ Etude Dynamique

1/ Retrouver que la résistance r_{be} (h_{11}) dans le modèle dynamique du transistor s'exprime $\beta U_t/I_{co}$

2/ Exprimez la transconductance $g_m = i_c/v_{be}$ en fonction de r_{be} et β.

3/ On utilisera le schéma équivalent du transistor petit signaux le plus simple et la transconductance g_m. La capacité C_l sera supposée comme un parfait court-circuit dans la gamme de fréquence utilisée. Dessiner le schéma petit signaux du montage figure 1.

4/ Calculer la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ en l'écrivant sous la forme décrite ci-dessous, en précisant ω_o et Q_o en fonction des éléments du montage.

$$H(j\omega) = \frac{v_2}{v_1} = -\frac{Go}{1+jQo(\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega_o}{\omega})}$$

5/ Calculer la valeur de la capacité pour obtenir 300 kHz de fréquence d'accord.

6/ Calculer le gain en dB de l'amplification en tension.

7/ Calculer le facteur de qualité Q_o à la fréquence de résonance.

8/ Calculer la bande passante à -3dB.

9/ Calculer le facteur de mérite m (en kHz) défini comme le produit de la bande passante et du gain maximum en tension. Vérifier que m est indépendant de la résistance de charge.

III/ Association en cascade

1/ Montrer que pour des fréquences voisines de f_o, la fonction de transfert complexe $\underline{H}$ s'écrit, en posant $\Delta f = f - f_o$

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{Go}{1+j2\frac{\Delta f}{f_o}}$$

2/ On désignera respectivement B_N et m_N la bande passante et le facteur de mérite de l'amplificateur sélectif réalisé à l'aide de N étages identiques au précédent, montés en cascade.

a/ Calculer en fonction de N, les rapports B_N/B et m_N/m. Montrer qu'en première approximation la valeur commune de ces rapports est $\sqrt{ln(2)/N}$.

b/ Déterminer le nombre d'étages qu'il faut associer pour obtenir une bande passante quatre fois plus étroite que celle d'un seul étage.

Oscillateurs

Exercice I
Colpitts

L'amplificateur est en boucle ouverte (K_2 ouvert, K_1 fermé). La fréquence d'oscillation est d'environ 200kHz. L'inductance comporte une résistance de perte série r et le transistor à une conductance h_{22} nulle.

V_{CC} = 12 V.	L = 1mH ; r = 12Ω.
Tr : β = 300 ; h_{11}=1,2kΩ	C_e = 0,1 µF ;
R_{B1} = 4,7MΩ	C_d = 0,1µF
R_{B2} = 68Ω	C_1 = 1nF
R_C = 10kΩ	C_2 = 1nF
R_E = 10kΩ	

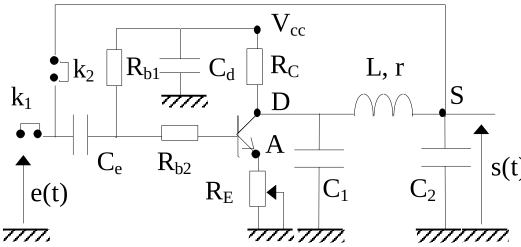


Fig. 28 : Schéma du montage Colpitts.

1/ Dessiner le schéma dynamique équivalent au montage amplificateur constitué du transistor bipolaire et du circuit résonnant, (sortie en S).

2/ Déterminer l'impédance d'entrée du montage Z_e.

3/ Vérifier par défaut que $Z_e >> 1/C_2\omega$. Pourquoi faut-il satisfaire cette condition ?

4/ Déterminer l'amplification A_v = s/e, en régime harmonique, du montage en boucle ouverte.

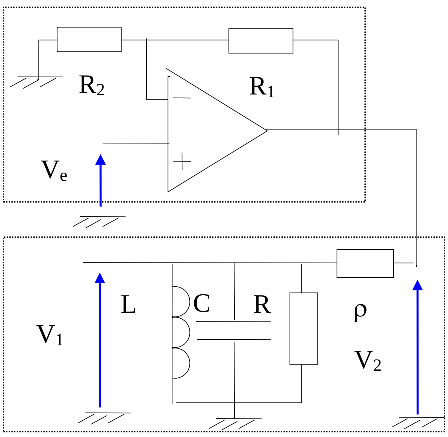
5/ En déduire la fréquence de résonance f_0 (qui deviendra la fréquence d'oscillation du montage une fois la boucle fermée). Application numérique.

6/ Donner la valeur du gain du montage (formulation dans le modèle linéaire) permettant de satisfaire la condition de Barkhausen. Quelle est alors la valeur de l'amplification A_{v0} correspondante ? En déduire la valeur littérale de la résistance R_E permettant l'accrochage de l'oscillateur.

7/ Tracer dans le plan de Bode les courbes de réponse du montage en boucle ouverte (R_E = 10 kΩ). Indiquer sur les courbes précédentes la fréquence d'oscillation f_0 prévisible ainsi que la valeur du gain qui permettra l'oscillation du montage une fois la boucle fermée.

Exercice II
Oscillateur RLC

Chaîne directe



Chaîne de retour

Fig. 8 : Oscillateur.

R_1 = 5KΩ
R_2 = 1KΩ

R = 50KΩ
C = 470nF.
L = 22mH

ρ : élément résistif

I/ Fonctions de Transfert

On va rechercher les différentes fonctions de transferts afin d'étudier l'oscillateur de la Fig. 8. L'élément ρ est une résistance.

1/ Isolez la chaîne directe et explicitez la fonction de transfert $A(p) = V_2/V_e$.

2/ Isolez la chaîne de retour et explicitez la fonction de transfert $B(p) = V_1/V_2$.

3/ Explicitez la fonction de transfert lorsque le système est bouclé $H(p) = V_1/V_e$ en fonction de A et B, puis en fonction des éléments du montage.

II/ Oscillations

1/ Exprimez la fréquence d'oscillation.

2/ Exprimez la valeur ρ_o de ρ qui permet de démarrer les oscillations sinusoïdales quand la tension V_e=0.

3/ Calculer ρ_o et la fréquence d'oscillation.

Exercice III
Oscillateur à cellules RC

On souhaite réaliser la mise en oscillation du montage de la figure 28 en utilisant le critère de Barkhausen. L'impédance d'entrée de l'amplificateur opérationnel sera infinie et la résistance de sortie nulle mais le gain aura la fonction de transfert suivante

$$\underline{G}_{(j\omega)} = \frac{G_o}{1+j\frac{\omega}{\omega_o}}$$ avec $G_o = 10^3$ et $\omega_o = 20\pi$ rd/s

I/ Amplification

1/ Exprimer sous la forme ci-dessous, le gain en fréquence du montage amplificateur de la figure 2. Ecrire A_1 et ω_1 en fonction des éléments du montage.

$$\underline{A}_{(j\omega)} = \frac{\underline{S}}{\underline{E}} = \frac{-A_1}{1+j\frac{\omega}{\omega_1}}$$

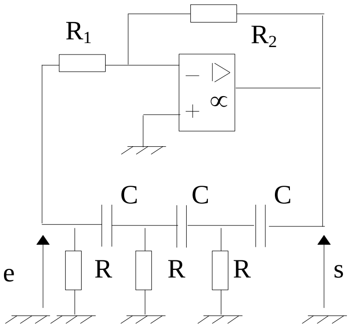


Fig. 29 : schéma de montage à réseau déphaseur.

$R_1 = 20\ k\Omega$ $R_2 = 22k\Omega$ $R = 1k\Omega$ $C = 100\ nF$

2/ Calculez alors le gain statique et la fréquence de coupure.

3/ Tracez sur du papier semi-logarithmique la réponse en fréquence en gain et en phase de ce circuit (Bode). On précisera les valeurs importantes.

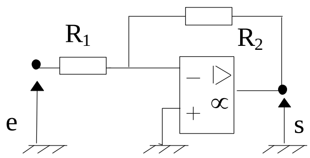


Fig. 30 : montage amplificateur.

II/ Réseau déphaseur

1/ Quelle est le type et l'ordre de ce filtre constitué par le réseau déphaseur de la figure 2, l'entrée est "s", la sortie "e" (justifiez votre réponse).

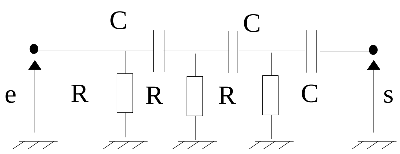


Fig. 31 : schéma de montage à réseau déphaseur.

La fonction de transfert $B(j\omega) = E/S$ du réseau RC est la suivante

$$\underline{B}_{(p)} = \frac{\underline{E}}{\underline{S}} = \frac{p^3/(\omega_2\omega_3\omega_4)}{(1+\frac{p}{\omega_2})(1+\frac{p}{\omega_3})(1+\frac{p}{\omega_4})}$$

$\omega_2 = 3{,}2.10^4$ rd/s; $\omega_3 = 1{,}5.10^4$ rd/s;

$\omega_4 = 0{,}2.10^4$ rd/s

2/ Tracez le diagramme de Bode asymptotique (du gain et de la phase) sur du papier semi-logarithmique de cette fonction de transfert correspondant au circuit de la figure 3. On précisera les valeurs importantes.

3/ Etude de l'oscillateur

Le réseau déphaseur et l'amplificateur sont reliés comme sur la figure 28.

a/ Exprimez alors le critère de Barkhausen en fonction de A et B.

b/ Exprimez les conditions d'oscillation en fonction des pulsations ω_1, ω_2, ω_3, ω_4, ainsi que du gain A_1.

c/ Calculez la fréquence d'oscillation.

4/ Plan complexe

On souhaite replacer l'étude précédente dans le plan complexe. Pour cela on va tracer dans le même plan de Nyquist le lieu représentatif des deux fonctions de transfert étudiées précédemment.

a/ Tracer la fonction $A(j\omega)$ dans un plan de Nyquist

b/ Tracer la fonction $B(j\omega)$ dans le même plan de Nyquist

c/ Déduire graphiquement la fréquence f_0 prévisible des oscillations du montage ainsi que la valeur minimale de l'amplification A_v en tension de l'amplificateur permettant l'accrochage de l'oscillateur ?

Exercice IV
Oscillateur sinusoïdal à faible distorsion

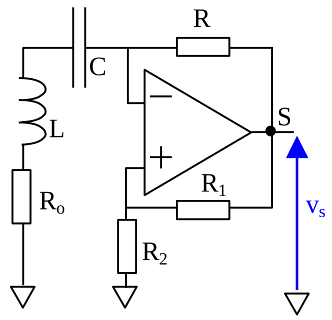


Fig. 32 : Oscillateur à faible distorsion

AOP parfait

$L = 100$ mH

$C = 100$ nF

$R = 1k\Omega$

$R_0 = 20\ \Omega$

$R_1 = 15\ K\Omega$

1/ Faites apparaître un système une chaîne directe suivie d'une chaîne de retour à partir du schéma électrique Fig. 32.

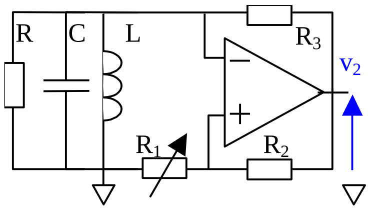
2/ Exprimez la fonction de transfert de la chaîne directe.

3/ Exprimez la fonction de transfert de la chaîne de retour.

4/ En prenant le montage complet, exprimez le critère de Barkhausen afin d'exprimez la fréquence d'oscillation.

5/ Exprimez la condition sur la résistance R2 pour que l'oscillation démarre.

Exercice V
Autre oscillateur à faible distorsion



$R = R_3 = 1\ k\Omega$

$R_2 = 15\ k\Omega$

$L = 10\ mH$

$C = 6\ \mu F$

I/ Condition d'oscillation

1/ A partir du critère de Barkhausen exprimez la pulsation d'oscillation et le gain de l'amplification.

2/ Calculez R1 et la fréquence d'oscillation qui réponde au critère.

Convertisseurs

Exercice I
Convertisseur Flash

I/ Donner le principe d'un convertisseur flash A/N à 3 Bits.

II/ Tracer sa fonction de transfert.

III/ Calculer la logique de décodage.

IV/ Quelle est la propriété principale de ce convertisseur. Qu'est ce qui limite son temps de réponse.

V/ Les comparateurs peuvent être réalisés par des commutations de charge. Expliquer le principe de fonctionnement.

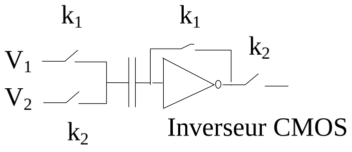


Fig. 1 : Comparateur.

Exercice II
Caractéristique de transfert d'un CNA R2R

I/ Exprimer la tension de sotie V_s (a_i=0 interrupteur à la masse; a_i=1 interrupteur à la patte '-' de l'AOP).

II/ Déterminer la fonction de transfert du convertisseur.

III/ Déterminer la valeur de la tension de sortie pour le LSB.

IV/ En supposant les commutations des interrupteurs instantanés, et le slew rate de l'amplificateur opérationnel de 15V/µs, déterminer le temps d'établissement du convertisseur.

L'amplificateur est alimenté en ±15 V.

$R = R_1 = R_2 = 10K\Omega$, $V_{ref} = 10V$

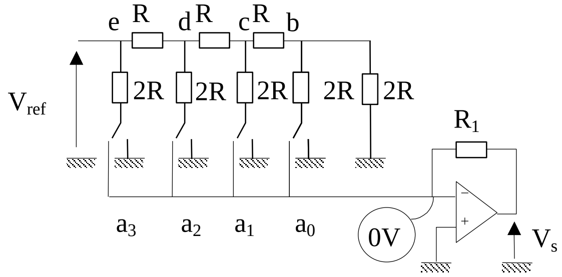
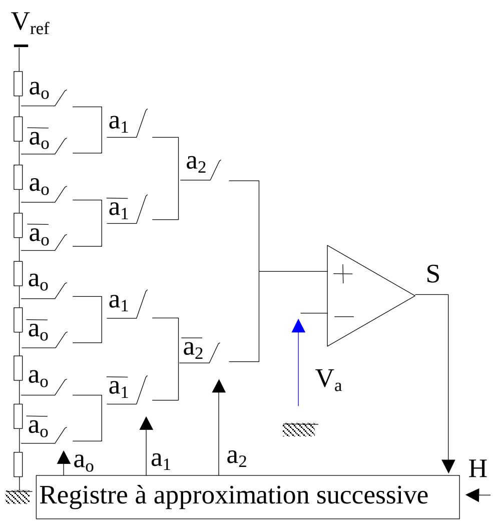


Fig. 33 : Réseau R2R.

Exercice III
Convertisseur à pesées successives



V_a est une tension analogique à convertir. N (a_2, a_1, a_2) est le nombre en sortie codé en binaire naturel. Le registre à approximation successive délivre les a_i de commande des interrupteurs. Sur le front montant de l'horloge, un bit est mis à 1. Cette même sortie est modifiée sur le front descendant consécutif : remise à zéro si le résultat de la comparaison est 1, maintient à 1 si le résultat de la comparaison est 0.

$V_{ref} = 9$ V

1/ Expliquer le fonctionnement du montage pour $V_a = 8{,}1$V et $V_a = 2{,}1$V. Représenter pour cela l'évolution des commandes logiques, la tension V+ et la sortie S du comparateur.

2/ Tracer la caractéristique de transfert du convertisseur.

3/ Définir le nombre de point, la pleine échelle, la valeur du MSB et du LSB

Examens

Exercice I
Oscillateur (11,5 pts)

I/ Préambule (6,5 pts)

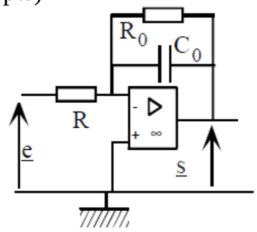


Fig. 9

1/ Déterminer la fonction de transfert H1(jω) = □s/e du montage de Fig. 9. (1 pt)

2/ Quelle est la nature du filtre et vous préciserez le gain statique Ho, la pulsation propre ωo ainsi que la pulsation de coupure ωc à -3dB ? (1 pt)

3/ On considère un autre montage, composé de 3 cellule du type de celui Fig. 9 (les uns à la suite des autres). Quelle est la fonction de transfert H(jω□□du nouveau système ? (0,5 pt)

4/ Déterminer le gain statique de H1o, et la pulsation coupure ωc1. (2 pt)

5/ Tracez le diagramme de Bode en gain et en phase de Ho et H1. Vous y placerez ωo et ωc1. (2 pt)

II/ Oscillateur (5 pts)

On considère le montage de la question précédente et on place à l'entrée un suiveur. On obtient alors un montage que l'on note G(jω).

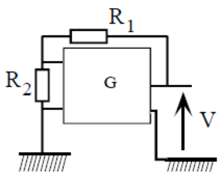


Fig. 10

1/ Pourquoi utiliser un montage suiveur ici (1 phrase) ?

2/ Quel est le schéma d'un suiveur ? (0,5 pt)

3/ Déterminez la fonction de transfert du retour B(jω).

4/ On réalise le montage Fig. 10. Déterminer la condition sur R2 pour que le système oscille, en fonction de H1o et R1 et déterminez quelle sera la pulsation des oscillations ? (3 pts)

5/ Quelle condition implique le résultat précédent ? (0,5 pt)

Exercice II
Effet Miller (4 pts)

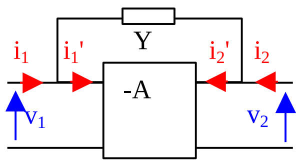


Fig. 11 schéma équivalent.

Nous allons montrez qu'il y a équivalence entre le montage Fig. 12 et le montage Fig. 11.

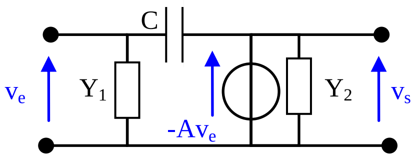


Fig. 12 : Montage amplificateur de gain –A.

1/ Montrez que l'admittance équivalent Yin est égale à Y1 en parallèle avec une capacité équivalent Ceq1 qui vous spécifierez. (1,5 pt)

2/ Montrez que l'admittance équivalent Yout est égale à Y2 en parallèle avec une capacité équivalent Ceq2 qui vous spécifierez. (1,5 pt)

3/ Les impédances Z1 et Z2 sont infinies. Calculez la capacité équivalente en entrée et en sortie. A = 20 et C = 1nF. (1 pt)

Exercice III
Double intégrateurs (7 pts)

I/ Etude des cellules (4 pts)

Les montages fonctionnent en régime harmonique

1/ Exprimez is pour le quadripôle Fig. 13 en fonction de ve et des éléments du montage. (2 pts)

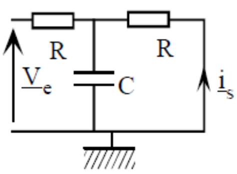


Fig. 13

2/ Calculer i's pour le quadripôle Fig. 14 en fonction de ve et des éléments du montage. (2 pts)

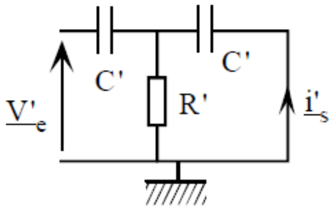


Fig. 14

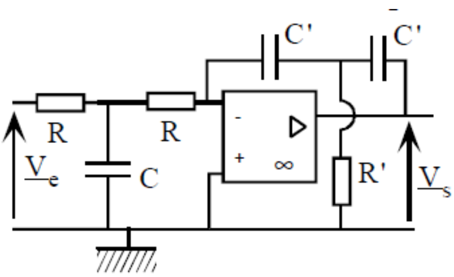


Fig. 15

II/ Etude du filtre (3 pts)

1/ Trouver une condition sur R, R', C, C' pour que le montage Fig. 15 se comporte comme un double intégrateur. (3 pts)

Exercice IV
Oscillateur didactique (15 pts)

La résistance R_2 et l'inductance L sont inconnues.

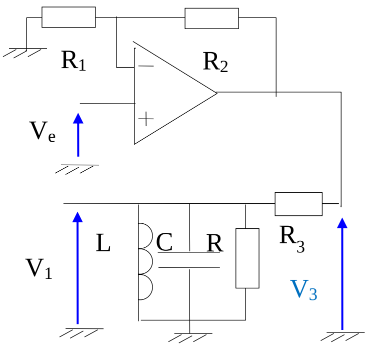


Fig. 16 : Oscillateur didactique.

I/ AOP parfait (7 pts)

1/ Retrouver la fonction de transfert A(p) de l'amplificateur non-inverseur.

$$A(p) = \frac{v_3}{v_e}$$

2/ Exprimez la fonction de transfert B(p) du filtre de retour.

$$B(p) = \frac{v_1}{v_3}$$

3/ Appliquer le critère de Barkausen pour trouver la fréquence d'oscillation $\omega_{osc\ o}$ et la condition de démarrage sur la résistance R_{2o}.

4/ Question indépendante mais pertinente, exprimez B(p) comme suit et identifier les constantes B_o, ω_o, et Q en fonction des éléments.

$$B(p) = \frac{B_o}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)}$$

II/ Défaut de phase de l'AOP (4 pts)

L'ampli non inverseur n'est plus parfait. L'amplification est fonction de la pulsation sous la forme d'un système du premier ordre.

$$A_1(p) = \frac{A_{1o}}{1 + \frac{p}{\omega_1}}$$

Nous allons rechercher la variation de pulsation d'oscillation due à l'ampli.

1/ Appliquer le critère de Barkausen et retrouvez la fréquence d'oscillation $\omega_{osc\,1}$ avec ce nouvel ampli.

$$\omega_{osc_1} = \omega_o \sqrt{\frac{Q\,\omega_1}{\omega_o + Q\omega_1}}$$

2/ Montrez que l'écart relatif du décalage de la fréquence d'oscillation ε_{osc} s'exprime comme suit en supposant que

$$\frac{\omega_o}{Q\,\omega_1} \ll 1 \Rightarrow \varepsilon_{osc} = \frac{\omega_{osc_1} - \omega_{osc_o}}{\omega_{osc_o}} \approx -\frac{\omega_o}{2Q\,\omega_1}$$

III/ Applications Numériques (3 pts)

1/ Ampli parfait

$R_o = 1\ k\Omega$	$L = 1\ mH$
$R_1 = 1\ k\Omega$	$\omega_{osc} = 10\ k\ rd/s$
$R_3 = 100\ k\Omega$	

a/ Calculez la valeur limite de R_2, et la valeur de l'amplification correspondant.

b/ Calculez la capacité pour obtenir la pulsation d'oscillation. Calculez le facteur de qualité.

2/ Ampli déphaseur

$A_{1o} = 101$ $\omega_1 = 62{,}21$ krd/s

a/ Calculez la nouvelle fréquence d'oscillation ainsi que l'écart relatif.

Exercice V
Passe tout du 2ème ordre

I/ Quadripôles élémentaires (6 pts)

1/ Exprimez en démontrant la matrice admittance du quadripôle Q_A d'un élément série R Fig. 17.

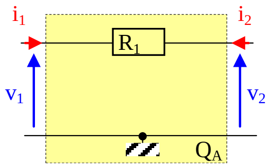


Fig. 17 : Elément série.

2/ Exprimez en démontrant la matrice admittance du quadripôle en T en fonction des éléments Z_2, Z_3 et Z_4.

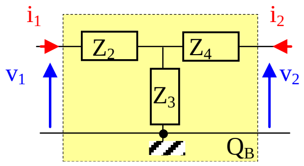


Fig. 18 : Cellule en T.

II/ Association Quadripôle (2 pts)

Les quadripôles Q_A et Q_B sont associés tel que présenté ci-contre.

1/ Quelle est le type d'association des deux quadripôles Q_A et Q_B.

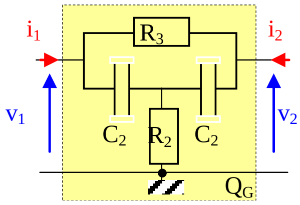


Fig. 19 :

2/ Quelle est alors la matrice admittance équivalente globale Y_G en fonction des éléments des circuits.

III/ Phase d'un passe tout d'ordre 2(8 pts)

Un passe tout s'exprime de façon canonique somme suit :

$$H(p) = H_o \frac{1 - 2m\,p_n + p_n^{\,2}}{1 + 2m\,p_n + p_n^{\,2}} \text{ avec}$$

$$p_n = \frac{p}{\omega_o} \text{ Variable de Laplace normalisée}$$

m : coefficient d'amortissement

ω_o : pulsation propre [rd/s]

1/ Exprimez le gain et la phase de cette fonction de transfert avec la pulsation normalisée $x=\omega/\omega_o$. (2 pts)

2/ Montrez que a(x) la pente de la phase vis-à-vis de la pulsation normalisée x s'exprime comme suit :

$$a(x) = \frac{d\,\varphi(x)}{d\,x} = \frac{-4\,m(1+x^2)}{(1-x^2)^2 + 4m^2\,x^2} \quad \text{(2 pts)}$$

3/ Exprimez le développement limité autour de la fréquence normalisée unité du filtre ; x=1+dx (2 pts)

4/ Exprimez la bande passante de linéarité B_L pour laquelle cette pente est constante à ε prés. (2 pts)

IV/ Passe tout d'ordre 2 (6 pts)

Le montage Fig. 20 est un filtre passe tout dont on souhaite obtenir H_3 la fonction de transfert.

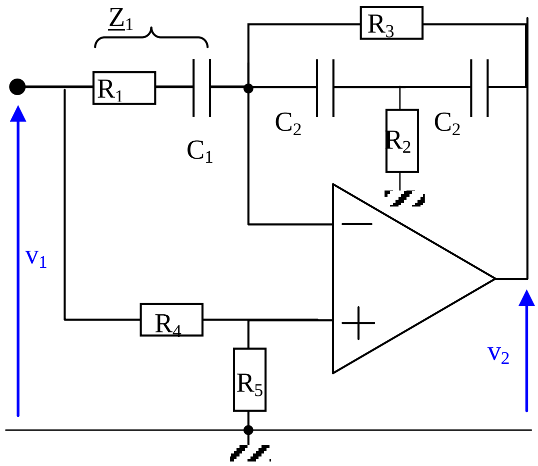


Fig. 20 : déphaseur d'ordre 2.

1/ Faites apparaître le quadripôle Q_G dans le schéma ci-dessus.

2/ Exprimez H_3 en fonction des éléments y_{ij} (non développés) de la matrice admittance Y_G du quadripôle Q_G, de Z_1 et de k. On pose

$$H_3 = \frac{v_2}{v_1} ;$$

$$k = \frac{R_5}{R_4 + R_5} \; ; \; Y_G = \begin{vmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{vmatrix}$$

Ne développez pas les y_{ij}.

3/ Développer H_3 en fonction des éléments du montage. Retrouvez la pulsation propre et le coefficient d'amortissement du § III/.

DS 2014

Exercice I Quadripôles en parallèles

I/ Relations générales (2 pts)

Soit deux quadripôles QA et QB représentés respectivement par leur matrice admittance YA et YB.

1/ Faites le schéma des deux quadripôles en parallèle.

2/ Retrouvez en la démontrant, la matrice équivalente totale Yeq.

II/ Cellule en T (4 pts)

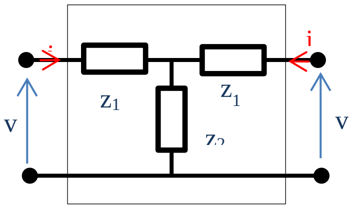


Fig. 34 : Cellule en T symétrique.

1/ Exprimez en redémontrant, la matrice impédance Z du quadripôle en T où les éléments sont représentés par leurs impédance z_1 et z_2.

2/ Exprimez en redémontrant, la matrice admittance Y du quadripôle en T.

III/ Application (4 pts)

Les deux quadripôles QA et QB sont placés en parallèle. Ils ne sont pas chargés.

1/ Exprimez la fonction de transfert $T(p) = v_2/v_1$ en fonction des éléments y_{eq_ij} de la matrice Y_{eq} correspondant au deux quadripôles en parallèle.

2/ Retrouvez y_{eq_21} et y_{eq_22} en remplaçant les coefficients des matrices par leurs équivalents électriques.

$$y_{eq_{21}} = -\frac{1+(RCp)^2}{2R(1+RCp)} \ ; y_{eq_{22}} = \frac{1+4RCP+(RCp)^2}{2R(1+RCp)}$$

3/ Exprimez la fonction de transfert de la structure complète (QA et QB en //) non chargée.

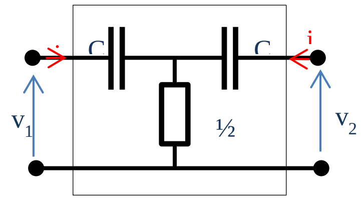


Fig. 35 : Quadripôle QA.

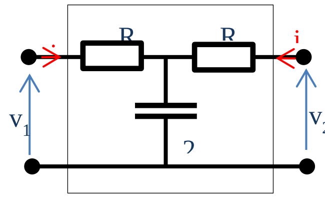


Fig. 36 : Quadripôle QB.

Rappel :

Soit la matrice A de dimension 2x2 de coefficient a_{ij}, la matrice inverse s'exprime comme suit :

$A^{-1} = \frac{1}{\det(A)}\begin{bmatrix} a_{22} & -a_{21} \\ -a_{12} & a_{11} \end{bmatrix}$ avec $\det A = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$

Exercice II Filtre 14 pts

Nous souhaitons savoir à quel type de filtre il s'agit.

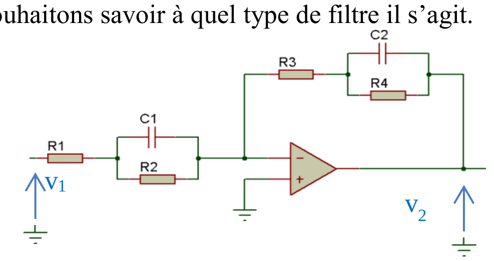


Fig. 37 : Filtre d'ordre 2.

I/ Pré-étude (3 pts)

1/ Basse Fréquence

On suppose que le montage fonctionne avec une tension d'entrée v_1 quasi-continue.

a/ Simplifier le schéma.

b/ Exprimez alors la fonction de transfert : $H_o = \frac{v_2}{v_1}$

2/ Haute fréquence

On suppose que le montage fonctionne avec une tension d'entrée v_1 en très haute fréquence.

a/ Simplifier le schéma.

b/ Exprimez alors la fonction de transfert : $H_\infty = \frac{v_2}{v_1}$

II/ Etude du montage

La tension d'entrée v_1 est de fréquence quelconque.

1/ Fonction de transfert (6 pts)

a/ Quel est l'ordre du filtre.

b/ Exprimez la fonction de transfert $H = \frac{v_2}{v_1}$

c/ Vérifier que votre calcul en utilisant la pré-étude.

2/ Diagramme asymptotique de Bode (5 pts)

La fonction de transfert est sous la forme suivante :

$$H = H_o \frac{1 + {}^{p}/_{\omega_1}}{1 + {}^{p}/_{\omega_2}} \cdot \frac{1 + {}^{p}/_{\omega_4}}{1 + {}^{p}/_{\omega_3}}$$

Vous prendrez : $|H_o| = 10$; $\omega_2 = 10\ \omega_1$; $\omega_3 = 10\ \omega_2$; $\omega_4 = 10\ \omega_3$

a/ Que vaut H_∞.

b/ Tracer le diagramme asymptotique du gain de $H(j\omega)$ sur la feuille de papier semi-log.

c/ Tracer le diagramme asymptotique de phase de $H(j\omega)$ sur la feuille de papier semi-log.

Correction DS 2014

Exercice I Quadripôles en parallèles

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 + z_2 & z_2 \\ z_2 & z_1 + z_2 \end{bmatrix}$$

$$Y = Z^{-1} = \frac{1}{z_1 \cdot (z_1 + 2z_2)} \begin{bmatrix} z_1 + z_2 & -z_2 \\ -z_2 & z_1 + z_2 \end{bmatrix}$$

Structure complète non chargée donc $i_2 = 0$

$$T(p) = -\frac{y_{eq_{21}}}{y_{eq_{22}}}$$

$$Y_A = \frac{Cp}{\left(\frac{1}{CP} + R\right)} \begin{bmatrix} \frac{1}{CP} + \frac{1}{2}R & -\frac{1}{2}R \\ -\frac{1}{2}R & \frac{1}{CP} + \frac{1}{2}R \end{bmatrix}$$

$$Y_B = \frac{1}{R \cdot \left(R + \frac{1}{CP}\right)} \begin{bmatrix} R + \frac{1}{2CP} & -\frac{1}{2CP} \\ -\frac{1}{2CP} & R + \frac{1}{2CP} \end{bmatrix}$$

Coefficient y_{eq_21}

$$y_{eq_{21}} = \frac{-\frac{1}{2}RCp}{\left(\frac{1}{CP} + R\right)} + \frac{-\frac{1}{2CP}}{R \cdot \left(R + \frac{1}{CP}\right)}$$

$$= -\frac{1 + (RCp)^2}{2R(1 + RCp)}$$

Coefficient y_{eq_22}

$$y_{eq_{22}} = \frac{CP\left(\frac{1}{CP} + \frac{1}{2}R\right)}{\left(\frac{1}{CP} + R\right)} + \frac{R + \frac{1}{2CP}}{R \cdot \left(R + \frac{1}{CP}\right)}$$

$$= \frac{1 + 4RCP + (RCp)^2}{2R(1 + RCp)}$$

Soit la fonction de transfert en fonction de R et C.

$$T(p) = -\frac{1 + (RCp)^2}{1 + 4RCP + (RCp)^2}$$

Exercice II Filtre

En Basse fréquence : montage inverseur

$$H_o = -\frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2}$$

En haute fréquence : montage inverseur

$$H_\infty = -\frac{R_3}{R_1}$$

Montage complet : montage inverseur

$$H = -\frac{Z_{34}}{Z_{12}}$$

avec

$$Z_{34} = R_3 + \frac{R_4}{1 + R_4C_2p}$$

$$= \frac{R_3 + R_4 + R_3R_4C_2p}{1 + R_4C_2p}$$

$$= (R_3 + R_4)\frac{1 + \frac{R_3R_4}{R_3 + R_4}C_2p}{1 + R_4C_2p}$$

$$Z_{12} = (R_1 + R_2)\frac{1 + \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}C_1p}{1 + R_2C_1p}$$

$$H = -\frac{(R_3 + R_4)\frac{1 + \frac{R_3R_4}{R_3 + R_4}C_2p}{1 + R_4C_2p}}{(R_1 + R_2)\frac{1 + \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}C_1p}{1 + R_2C_1p}}$$

$$H = -\frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\frac{1 + \frac{R_3R_4}{R_3 + R_4}C_2p}{1 + R_4C_2p}}{\frac{1 + \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}C_1p}{1 + R_2C_1p}}$$

$$H = -\frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1 + R_2C_1p}{1 + \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}C_1p} \cdot \frac{1 + \frac{R_3R_4}{R_3 + R_4}C_2p}{1 + R_4C_2p}$$

Vérification

$$\lim_{p\to 0} H(p) = -\frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2} \quad cqfd$$

$$\lim_{p\to\infty} H(p) = -\frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_2C_1\frac{R_3R_4}{R_3 + R_4}C_2}{R_4C_2\frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}C_1}$$

$$= -\frac{R_2C_1R_3R_4C_2}{R_4C_2R_1R_2C_1} = -\frac{R_3}{R_1} \quad cqfd$$

Identifications

$$H = H_o \frac{1 + {}^{p}/_{\omega_1}}{1 + {}^{p}/_{\omega_2}} \cdot \frac{1 + {}^{p}/_{\omega_4}}{1 + {}^{p}/_{\omega_3}}$$

Gain statique

$$H_o = -\frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2}$$

Pulsations caractéristiques - Commentaires

$\omega_2 > \omega_1$ et $\omega_4 > \omega_3$

$$\omega_1 = \frac{1}{R_2C_1}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}C_1}$$

$$\omega_3 = \frac{1}{R_4C_2}$$

$$\omega_4 = \frac{1}{\frac{R_3R_4}{R_3 + R_4}C_2}$$

H_∞ en fonctions des ω_x.

$$H_\infty = H_o\frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_4} = 10 \cdot 10 \cdot \frac{1}{10} = 10$$

DS2014 Sept

Exercice I Filtre Universel

Les amplificateurs opérationnels seront considérés parfaits.

I/ Liminaire (5 pts)

1/ Exprimez la sortie s(t) en fonction des trois tensions e(t), a(t), et b(t), et des éléments du montage de la figure fig. 38.

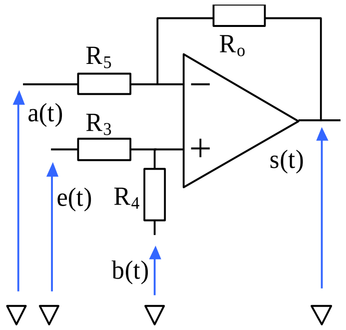
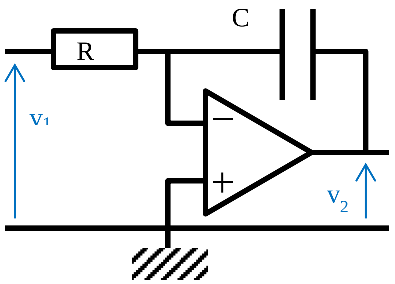


fig. 38

2/ Exprimez la fonction transfert H(p) du montage suivant :



$$H(p) = \frac{v_2}{v_1}$$

fig. 39

II/ Filtre universel (5 pts)

Le montage de la figure 3 est un filtre universel. En fonction du point de sortie du montage on obtient un filtre de type passe bas, passe haut ou passe bande.

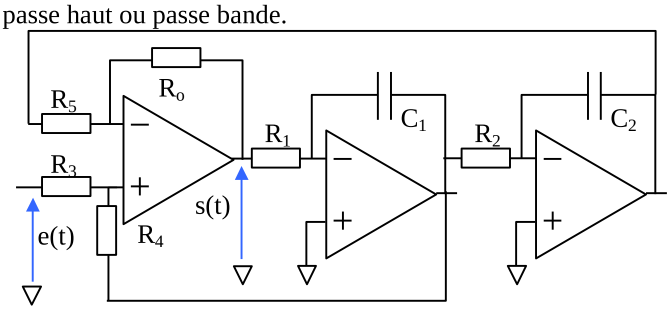


fig. 40: Filtre universel.

1/ Exprimez la fonction de transfert T(p) entre la sortie s(p) et l'entrée e(p) du montage de la figure précédente en identifiants T_o, m et ω_o en fonction des résistances et des capacités :

$$T = \frac{s(p)}{e(p)} = T_o \frac{\frac{p^2}{\omega_o^2}}{1+2m\frac{p}{\omega_o}+\frac{p^2}{\omega_o^2}}$$

III/ Filtre (4 pts)

On souhaite réaliser un filtre actif passe haut de fréquence de coupure à –3 dB de 75 kHz et une amplification en haute fréquence de 4.

1/ Donnez m tel que la fréquence de coupure à –3 dB soit égale à la fréquence propre du filtre.

2/ Tracez le diagramme de Bode du filtre désiré (fourni).

IV/ Calcul des éléments (4 pts)

Pour simplifier la mise en œuvre, les conditions suivantes sont réalisées :

$C_1 = C_2 = 1$ nF $\qquad {}^{R_o}\!/_{R_5} = 7$

1/ Montrez que T_o peut s'exprimez sous la forme ci-dessous et déduisez en le rapport. ${}^{R_3}\!/_{R_4}$

$$T_o = \frac{1+{}^{R_o}\!/_{R_5}}{1+{}^{R_3}\!/_{R_4}}$$

2/ Calculez alors le rapport ${}^{R_1C_1}\!/_{R_2C_2}$ avec $m = {}^{1}\!/_{\sqrt{2}}$.

3/ Calculez R_2 puis R_1.

4/ Simplifiez avec les conditions suivantes : $R_1 = R_3 = R_5$. Calculez R_o.

Exercice II **Quadripôle (6 pts)**

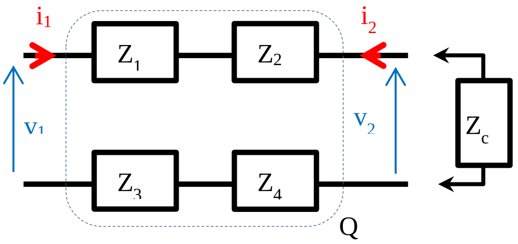


Fig. 41 : quadripôle Q.

Matrice chaîne | Fonction de transfert :

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix} \qquad H(p) = \frac{v_2}{v_1}$$

Le quadripôle Q est chargé par l'impédance Z_c.

1/ Exprimez la fonction de transfert H en fonction des coefficients k_{ij} de la matrice chaîne et de la charge Z_c.

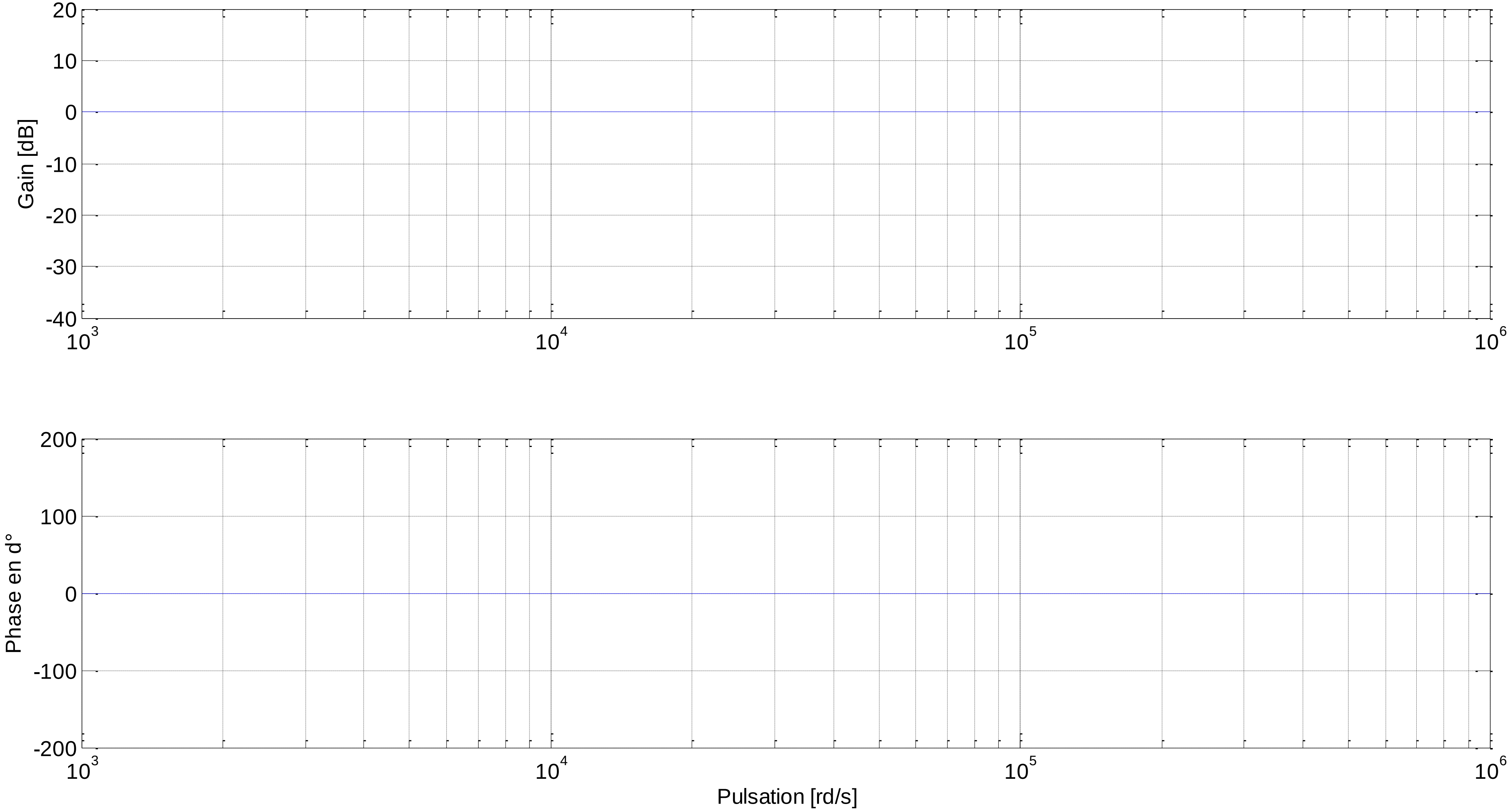
2/ Exprimez les coefficients de la matrice de chaîne du quadripôle Q.

~~~~~~~~~~~~ Fin ~~~~~~~~~~~~~

Tournée la page svp
~~~~~~~~~~~~

Exercice IIII/2/

2



Correction
Filtre Universel

$$v_a = -\frac{R_5}{R_3}v_e - \frac{R_5}{R_8}v_c + \frac{R_7}{R_6+R_7}\left(1+\frac{R_5(R_3+R_8)}{R_3R_8}\right)v_b$$

$$v_2 = -\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{-1}{RCP}$$

Une résistance en // sur C pour dériver les courant de polarisation.

Montage 1 : additionneur inverseur/ soustracteur

$$v_a = -k_e v_e + k_b v_b - k_c v_c$$

$$k_e = \frac{R_5}{R_3} \ ; \ k_c = \frac{R_5}{R_8}$$

$$k_b = \frac{R_7}{R_6+R_7}\left(1+\frac{R_5(R_3+R_8)}{R_3R_8}\right)$$

Montage 2 : intégrateur

$$v_b = -\frac{k_1}{p}v_a \ ; \ v_c = -\frac{k_2}{p}v_b$$

$$k_1 = \frac{1}{R_1C_1} \ ; \ k_2 = \frac{1}{R_2C_2}$$

$$v_a = -k_e v_e + k_b v_b - k_c v_c$$

$$v_b = -\frac{k_1}{p}v_a$$

$$v_c = -\frac{k_2}{p}v_b$$

$$v_a = -\frac{p}{k_1}v_b$$

$$v_c = -\frac{k_2}{p}v_b$$

$$-\frac{p}{k_1}v_b = -k_e v_e + k_b v_b + k_c\frac{k_2}{p}v_b$$

$$k_e v_e = +k_b v_b + k_c\frac{k_2}{p}v_b + \frac{p}{k_1}v_b$$

$$k_e v_e = +\left(k_b + \frac{k_c k_2}{p} + \frac{p}{k_1}\right)v_b$$

$$k_e v_e = +\left(\frac{k_b k_1 p}{pk_1} + \frac{k_c k_1 k_2}{pk_1} + \frac{p^2}{pk_1}\right)v_b$$

$$\boxed{H(p) = \frac{v_b}{v_e} = \frac{\frac{k_e p}{k_c k_2}}{1 + \frac{k_b p}{k_c k_2} + \frac{p^2}{k_c k_1 k_2}}}$$

Par identification

$$\boxed{\begin{aligned}\omega_o &= \sqrt{k_c k_1 k_2}\\ m &= \frac{k_b}{2k_c k_2}\omega_o\end{aligned}}$$

$$H(p) = \frac{v_b}{v_e} = \frac{\frac{k_e\sqrt{k_c k_1 k_2}}{k_c k_2 \omega_o}p}{1 + \frac{k_b p}{k_c k_2} + \frac{p^2}{k_c k_1 k_2}}$$

$$= \frac{k_e\sqrt{\frac{k_1}{k_c k_2}}\frac{p}{\omega_o}}{1 + 2m\,p + \frac{p^2}{\omega_o^2}} = \frac{K\frac{p}{\omega_o}}{1 + 2m\,p + \frac{p^2}{\omega_o^2}}$$

$$K = k_e\sqrt{\frac{k_1}{k_c k_2}}$$

Filtre passe bande.

$H\max = \frac{K}{2m}$ à vérifier.

Un maximum de +6 dB correspond à une amplification de 2.

$$|H(j\omega_o)| = K.\frac{1}{\sqrt{(1-1)+(2m)^2}} = 2 \Leftrightarrow K = 2\cdot 2m = \frac{4}{\sqrt{2}}$$

$$K = 2\sqrt{2}$$

$$\omega_o = \sqrt{k_c k_1 k_2} \ ; \ m = \frac{k_b}{2k_c k_2}\omega_o$$

$$K = k_e\sqrt{\frac{k_1}{k_c k_2}}$$

$$m = \frac{k_b}{2\sqrt{\frac{1}{2}k_b}} = \frac{\sqrt{k_b}}{\sqrt{2}}$$

$$\Leftrightarrow k_b = 2m^2 = 2\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = 1$$

$$\boxed{\begin{aligned}k_b &= 1\\ k_c &= 0{,}5\end{aligned}}$$

$$\omega_o = \omega_i\sqrt{k_c} = \omega_i\sqrt{\frac{1}{2}k_b}$$

$$\Leftrightarrow \omega_i = \frac{\omega_o}{\sqrt{\frac{1}{2}1}} = \sqrt{2}\,\omega_o = \sqrt{2}\cdot 10^4 \ {}^{rd}/_{s}$$

$$K = k_e\sqrt{\frac{k_1}{k_c k_2}} = k_e\sqrt{\frac{1}{k_c}} \Leftrightarrow k_e = K\sqrt{k_c}$$

$$\boxed{k_e = 2\sqrt{\frac{1}{2}} = \sqrt{2}}$$

Correction
Quadripôle en I (6 pts)

Système d'équation du quadripôle :

$$\begin{cases} v_1 = k_{11} v_2 + k_{12}(-i_2) \\ i_1 = k_{21} v_2 + k_{22}(-i_2) \end{cases}$$

Equation de la charge :

$$v_2 = -Z_c i_2$$

Fonction de transfert :

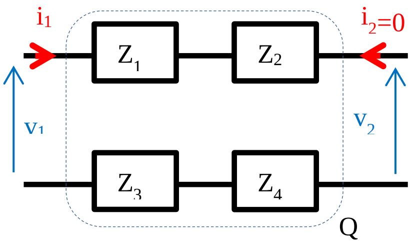
$$v_1 = \left(\mathrm{k}_{11} + \frac{k_{12}}{Z_c}\right) v_2$$

$$\boxed{H(p) = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{\mathrm{k}_{11} + \frac{k_{12}}{Z_c}}}$$

Calcul des coefficients : k_{11}

$$k_{11} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_2=0}$$

Soit le schéma équivalent



$$k_{11} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_2=0} = 1$$

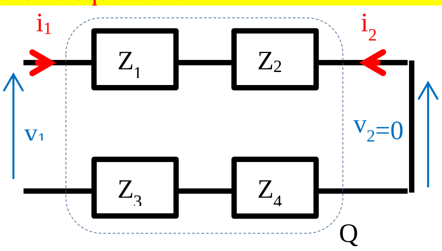
Calcul des coefficients : k_{21}

$$k_{21} = \left.\frac{i_1}{v_2}\right|_{i_2=0} = 0$$

Calcul des coefficients : k_{12}

$$k_{12} = \left.\frac{v_1}{-i_2}\right|_{v_2=0}$$

Soit le schéma équivalent



$$k_{12} = \left.\frac{v_1}{i_1}\right|_{v_2=0} = \sum_{m=1}^{4} Z_m$$

Calcul des coefficients : k_{22}

$$k_{22} = \left.\frac{i_1}{-i_2}\right|_{v_2=0} = 1$$

Soit ma matrice chaîne :

$$K = \begin{bmatrix} 1 & \sum_{m=1}^{4} Z_m \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$