

# ÉLECTRONIQUE

TRAVAUX PRATIQUES – 2019 / 2020

---

## TP N°5

# Filtrage analogique



Heinrich Herz – 1857 / 1894

Mise à jour : 08/19

**ISEN**  
ALL IS DIGITAL!  
**LILLE**

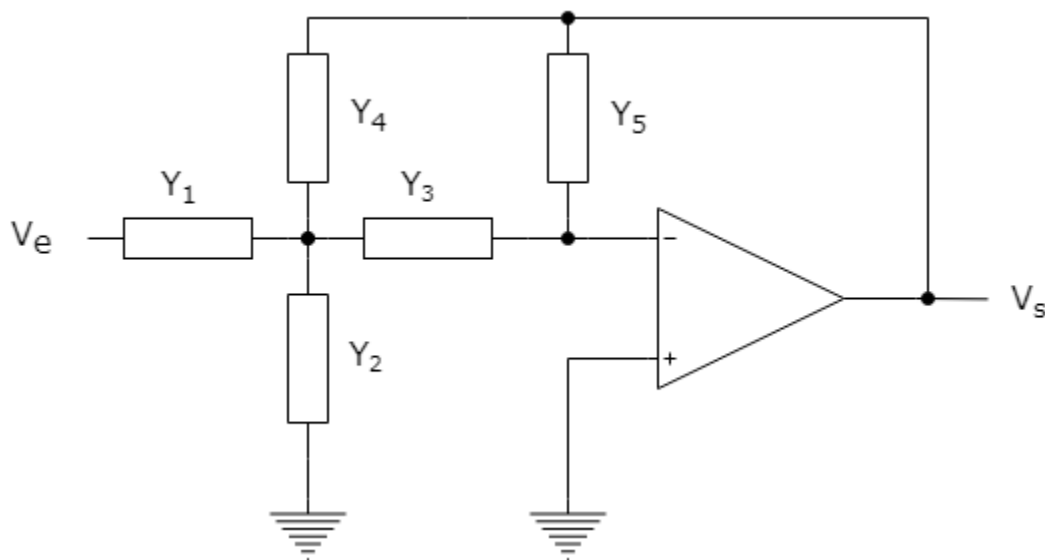


## Objectifs :

*L'objectif de ce TP est de réaliser et caractériser un filtre à parti de spécifications qui vous seront données en début de séance par le moniteur.*

*Il se réfère à la partie précédente détaillant les éléments de cours nécessaires à la compréhension de la préparation. Cette dernière est indispensable afin de pouvoir réaliser le travail qui vous sera demandé, et durant celle-ci vous vous attacherez à déterminer une expression littérale pour les résultats. Les applications numériques, comportant l'unité adéquate, seront effectuées en cours de séance une fois que vous disposerez des éléments nécessaires.*

## 1.0 Préparation



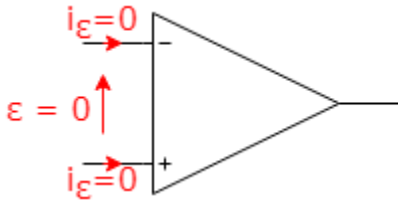
**Figure 1 :** Cellule biquadratique de Friend

Les filtres à réaliser au cours de ce TP vont mettre en œuvre des cellules biquadratiques de Friend telles que celle présentée figure 1 ci-dessus. (Plusieurs seraient mises en cascade si l'on devait réaliser des filtres d'ordre supérieur à 2). La nature des admittances  $Y_1$  à  $Y_5$  (résistances, selfs, capacités) dépendra du type de fonction de transfert à réaliser.

### 1.1 Analyse de la cellule biquadratique de Friend

/2

Déterminez, pour le circuit de la figure 1, la fonction de transfert  $H = V_s/V_e$  dans le cas général en fonction des admittances  $Y_1$  à  $Y_5$ . Vous pourrez considérer que l'amplificateur opérationnel est idéal pour ce calcul (voir figure 2).



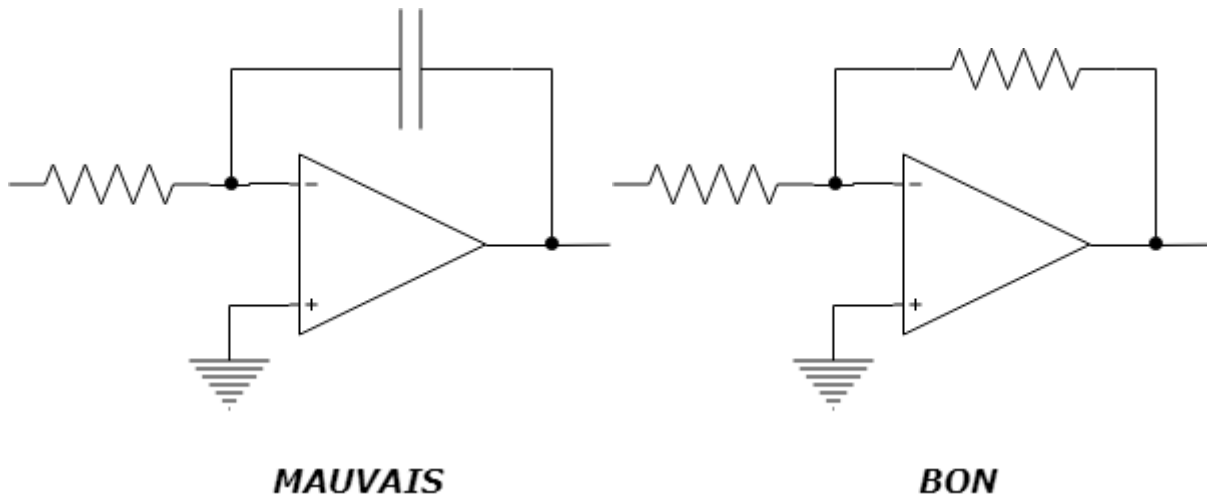
**Figure 2 :** Amplificateur Opérationnel idéal

## 1.2 Réalisation d'une fonction de transfert de type passe-bas

/1,5

En identifiant le résultat obtenu précédemment à la fonction de transfert d'un filtre passe-bas du second ordre (voir équation 2 de la partie « éléments de cours »), déterminez les composants à employer pour les admittances  $Y_1$  à  $Y_5$ . Votre choix devra tenir compte des deux remarques suivantes :

- Le gain du filtre pour le continu doit être parfaitement défini : ceci impose que ce gain soit fonction d'éléments résistifs.
- Il doit **obligatoirement** exister un chemin pour le courant continu (i.e. sans capacité en série) entre la sortie de l'amplificateur opérationnel et son entrée inverseuse (-) de façon à ce que la contre-réaction soit effective (cf figure 3 et le cours correspondant).



**Figure 3 :** Règle de polarisation d'un amplificateur opérationnel

Vous élaborerez ensuite une méthodologie de détermination des valeurs de composants en fonction des valeurs de  $K$ ,  $z$  (ou  $Q$ ) et  $\omega_n$  à réaliser en pratique. Cette étape vous sera utile en séance pour réaliser le filtre qui vous sera spécifié.

**Vérifiez par simulation vos résultats en concevant un filtre passe-bas qui a les caractéristiques suivantes** (utiliser le fichier disponible sur le campus) :

- gain statique  $K = 0 \text{ dB}$
- pulsation naturelle  $\omega_n = 2.\pi.f_n$  où  $f_n = 1 \text{ kHz}$
- coefficient d'amortissement  $z = \frac{1}{\sqrt{2}}$

### 1.3 Réalisation d'une fonction de transfert de type passe-haut /1,5

Même démarche que précédemment en identifiant à la fonction de transfert d'un filtre passe-haut du second ordre (voir équation 3 de la partie "éléments de cours"). Dans le cas présent, c'est bien sûr le gain à fréquence infinie (et non en continu) qui devra être défini, et ce à l'aide de capacités.

**Vérifiez là aussi vos résultats par simulation pour le filtre passe-haut suivant :**

- gain dans la bande passante  $K = 0 \text{ dB}$
- pulsation naturelle  $\omega_n = 2.\pi.f_n$  où  $f_n = 1 \text{ kHz}$
- coefficient d'amortissement  $z = \frac{1}{\sqrt{2}}$

## 2.0 Matériel

---

Pour un poste de travail :

- 1 alimentation symétrique  $\pm 15\text{V}$
- 1 générateur HP33120A (ou 1 générateur standard + 1 fréquencemètre)
- 1 oscilloscope

## 3.0 Filtre passe-bas

---

### 3.1 Dimensionnement des éléments /2

Calculez les éléments du filtre satisfaisant au gabarit donné en début de séance. Vous disposez des valeurs de résistance de la série E12 ainsi que des valeurs de capacité données en annexe (il est éventuellement envisageable de mettre des condensateurs en parallèle). Les amplificateurs opérationnels sont de type LM741 ou LF356, ils seront alimentés sous des tensions symétriques de  $\pm 12\text{V}$  à  $\pm 15\text{V}$ .

### 3.2 Simulation

/2

Simulez le filtre avec les valeurs de composants déterminées ci-dessus afin de vérifier que sa fonction de transfert corresponde bien aux spécifications qui vous ont été fixées (utiliser le fichier disponible sur le campus).

### 3.3 Caractérisation dans le domaine fréquentiel

/1,5

Relever la caractéristique du filtre réalisé, tant en bande passante qu'en bande coupée (ces deux régions n'apparaissent pas nécessairement sur le même graphe du fait de la différence qui existe entre les valeurs de gain, c.f. la présentation des caractéristiques de la partie 3.0 des "éléments de cours").

### 3.4 Caractérisation dans le domaine temporel

/1,5

Appliquer en entrée du filtre un signal carré, de fréquence typiquement égale à  $f_{\text{coupure}}/10$ . Visualiser la sortie et mesurer le temps d'établissement du signal entre 2 paliers. Si possible, en fonction des spécifications données aux différents groupes de TP, comparer cette valeur avec celle d'un filtre ayant la même pulsation naturelle que le vôtre, mais un coefficient d'amortissement différent. Vous mettrez ainsi en évidence quelle est la solution optimale en ce qui concerne le temps de stabilisation.

## 4.0 Filtre passe-haut

---

### 4.1 Dimensionnement des éléments

/2

Transformer le filtre précédent en passe-haut de même caractéristiques (gain, fréquence de coupure, ondulation en bande passante et atténuation en bande coupée).

### 4.2 Simulation et caractérisation

/5

Réaliser les mêmes manipulations que pour le filtre passe-bas.

## 5.0 Références & données annexes

---

### 5.1 Références

Microelectronics, SEDRA-SMITH, chapitre 11.

### 5.2 Echelonnement des valeurs de résistance R pour la série E12

Les valeurs possibles de R s'expriment de la façon suivante :

$$R = R_o \cdot 10^n$$

avec Ro qui peut prendre pour la série E12 les valeurs suivantes: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82. L'exposant n est compris entre -1 et 5, soit des valeurs qui s'étendent de 1Ω à 2,2MΩ en pratique.

### 5.3 Echelonnement des valeurs de capacité C pour la série E12

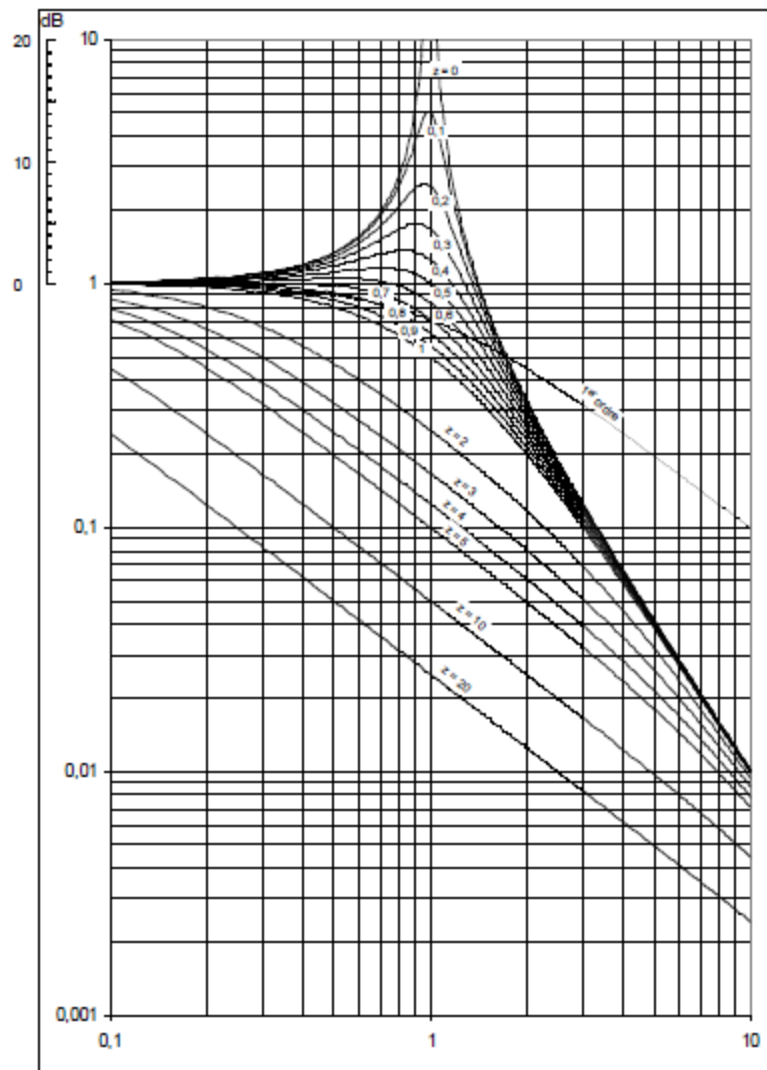
Les valeurs de C existantes s'expriment de la même façon que R. les valeurs s'étendent de 1pF à 22nF pour les capacités de type céramique (matériau composant la couche isolante) et de 1nF à 2,2μF pour les capacités de type polystyrène.

### 5.4 Rapports arrondis entre valeurs de la série E12

	10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82
10	1	0,833	0,667	0,555	0,455	0,37	0,303	0,256	0,213	0,179	0,147	0,122
12	1,2	1	0,8	0,667	0,545	0,444	0,364	0,308	0,255	0,214	0,176	0,146
15	1,5	1,25	1	0,833	0,682	0,555	0,455	0,385	0,319	0,268	0,220	0,183
18	1,8	1,5	1,2	1	0,818	0,667	0,545	0,462	0,383	0,322	0,265	0,219
22	2,2	1,83	1,467	1,22	1	0,815	0,667	0,564	0,468	0,393	0,324	0,268
27	2,7	2,25	1,8	1,5	1,227	1	0,818	0,692	0,574	0,482	0,397	0,329
33	3,3	2,75	2,2	1,833	1,5	1,222	1	0,846	0,702	0,589	0,485	0,402
39	3,9	3,25	2,6	2,167	1,773	1,444	1,182	1	0,83	0,696	0,574	0,476
47	4,7	3,917	3,133	2,611	2,136	1,741	1,424	1,205	1	0,839	0,691	0,573
56	5,6	4,667	3,733	3,111	2,545	2,074	1,697	1,436	1,192	1	0,824	0,683
68	6,8	5,667	4,533	3,778	3,091	2,518	2,061	1,746	1,447	1,214	1	0,829
82	8,2	6,833	5,467	4,555	3,727	3,037	2,485	2,103	1,745	1,464	1,206	1

## 5.5 Réponse en fréquence des systèmes du premier et du second ordre (amplitude)

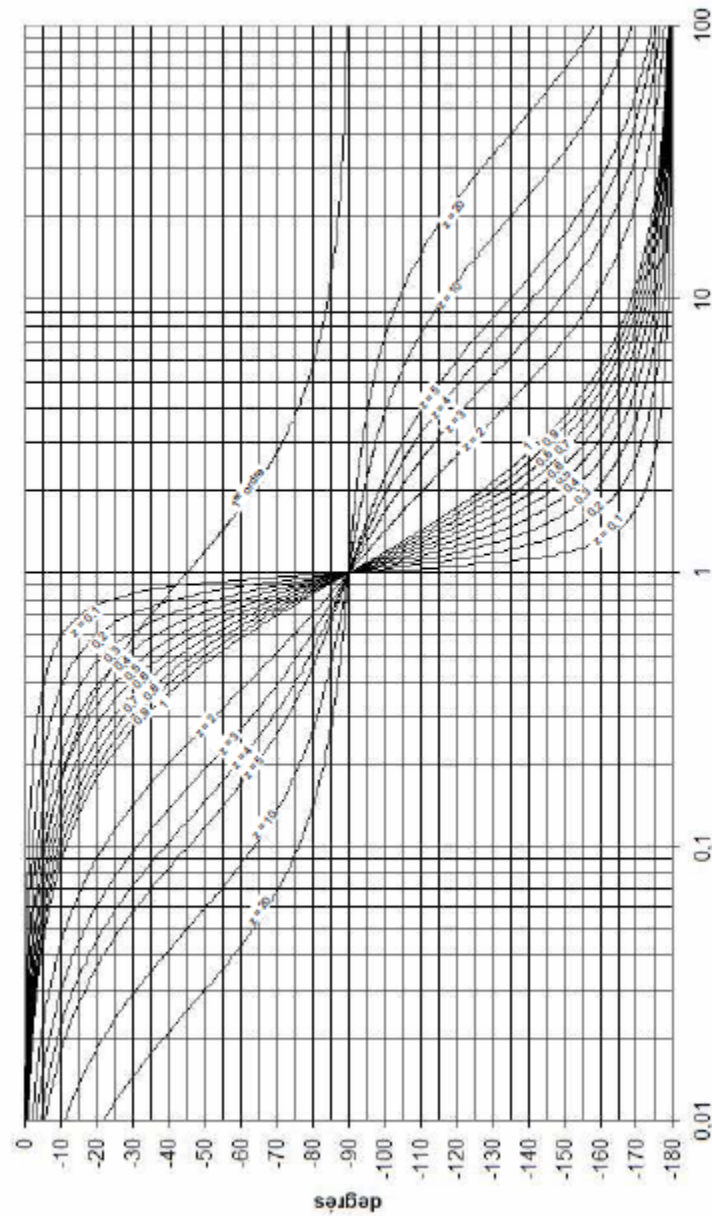
$$|H(s)| = f\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)$$



(Abscisse graduée en pulsation réduite, normalisée par rapport à  $\omega_n$ )

## 5.6 Réponse en fréquence des systèmes du premier et du second ordre (phase)

$$\Phi H(s) = f\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)$$



(Abscisse graduée en pulsation réduite, normalisée par rapport à  $\omega_n$ )