(💙) : classique - ( ) : facile - (*) : moins facile - (**) : pas facile - (***) : difficile

I. REGIME TRANSITOIRE

EXERCICE 1

MONTAGE A DIODE (💙 ,*)

Le générateur de tension délivre une tension $e(t) = E\cos\omega t$.

Déterminer les chronogrammes de $i(t)$ et $U(t)$ dans le cas d'une diode idéale puis dans le cas d'une diode dont la caractéristique est donnée par la figure 2 (on envisagera successivement $r = 0$ et r quelconque (avec cependant $R \gg r$)).

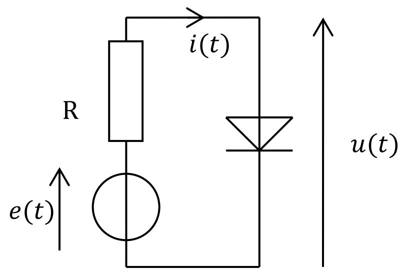


figure 1

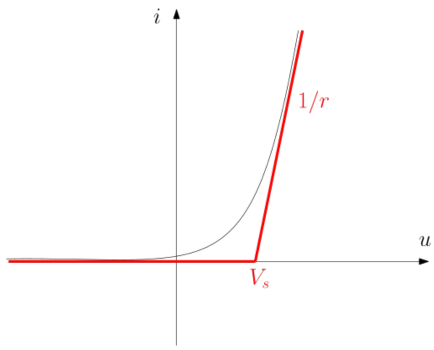
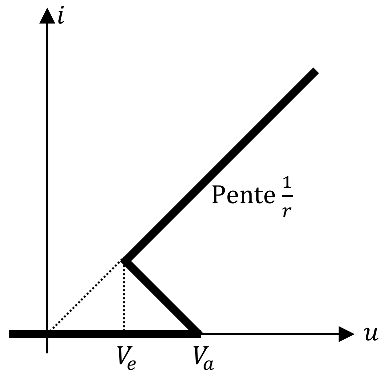


figure 2

EXERCICE 2

OSCILLATEUR DE RELAXATION A LAMPE AU NEON (**)

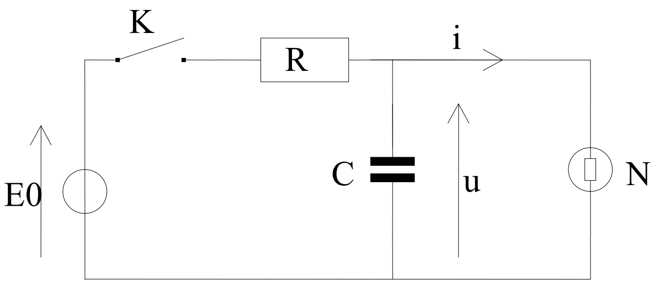
Une lampe au néon a une résistance très grande éteinte et faible allumée. Sa caractéristique peut être schématisée par :



V_e est la tension d'extinction et V_a est la tension d'allumage. Elle présente donc une portion de caractéristique à résistance dynamique négative.

Le circuit étudié (voir ci-après) comprend un générateur continu de f.e.m E_0, une résistance R, un condensateur C et une lampe au néon (N).

1. A t=0, l'interrupteur K est fermé. Décrire l'évolution du point de fonctionnement de la lampe au néon. Discuter les différents cas possibles.
2. Dans quel cas le circuit est-il un oscillateur de relaxation (c'est-à-dire qu'il ne possède pas de point de fonctionnement stable) ?
3. Déterminer l'allure de la tension $u(t)$ aux bornes de la lampe au néon.



Données : V_e*=70V,* V_a*=80V, r=1kΩ, R=100kΩ, C=10µF et* E_o*=100V.*

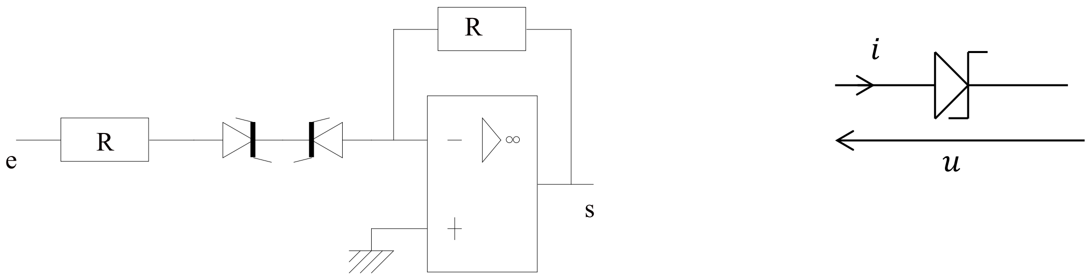
EXERCICE 3

TRIPLEUR DE FREQUENCE (**)

1. Déterminer la caractéristique $s = f(e)$ du quadripôle représenté sur la figure suivante où les diodes Zener tête-bêche ont pour caractéristiques :

$$u(i > 0) = 0$$
$$u(i < 0) = -V_z$$
$$i(-V_z < u < 0) = 0$$

   Où : V_z=2 V est la tension-Zener.
2. Justifier l'appellation de **zone morte** donnée à ce circuit.

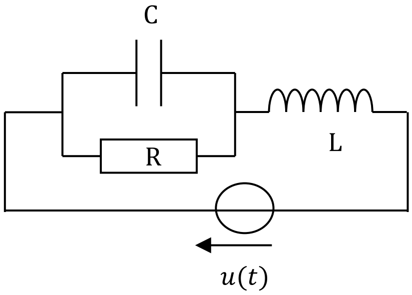


II. REGIME SINUSOÏDAL FORCE (CIRCUITS PASSIFS)

EXERCICE 4

RESONANCE (♥)

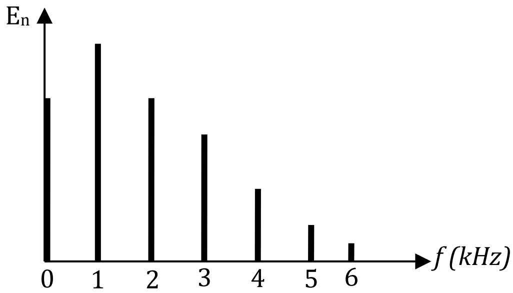
Donner les conditions de résonance en tension aux bornes de la capacité C. On donne $u(t) = U\sqrt{2}\,sin(\omega t)$.



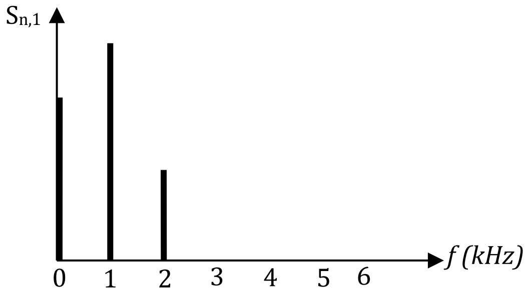
EXERCICE 5

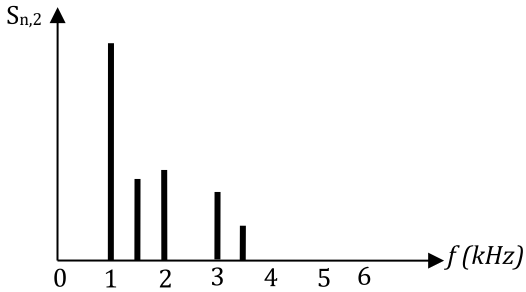
REPONSES SPECTRALES DE DIFFERENTS FILTRES (♥)

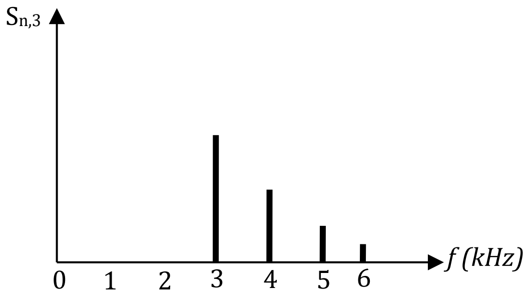
On envoie à l'entrée de différents systèmes un signal e(t) dont le spectre est donné ci-dessous.

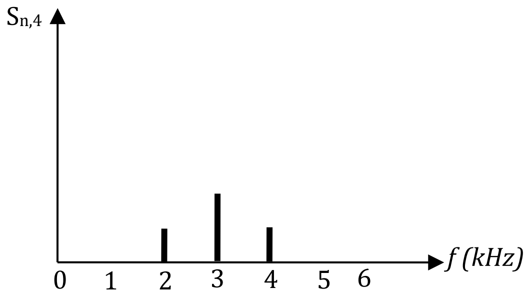


Les spectres des signaux de sortie des différents systèmes sont alors :









1. Déterminer si les systèmes utilisés sont linéaires ou non.
2. Déterminer les natures des systèmes identifiés comme linéaires ainsi que leur bande passante.

EXERCICE 6

BOITE NOIRE (♥, **)

Un quadripôle constitué de deux dipôles (D_1) et (D_2), disposés comme l'indique la figure 1, contient une résistance *R*, un condensateur de capacité *C* et une bobine d'inductance *L*. Seules les bornes d'entrée et de sortie sont accessibles à l'expérimentateur.

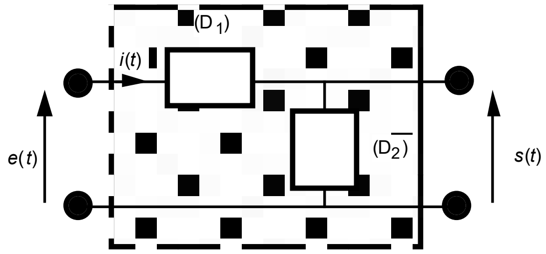


figure 1

On réalise les mesures suivantes :

- On relie l'entrée à une pile de f.é.m. $e(t) = E_0 = 15$ V et de résistance interne nulle, la sortie étant ouverte. On mesure, en régime établi, un courant d'entrée d'intensité $i(t) = i_0 = 15$ mA.
- On remplace la pile précédente par un générateur de tension sinusoïdale $e(t) = E_0\cos(\Omega t)$, et on effectue une étude en fréquence de la réponse du système. L'expérience montre qu'il s'agit d'un filtre passe-bande dont le gain passe par sa valeur maximale pour la fréquence $f_0 = 1{,}16$ kHz, et dont la bande passante à –3 dB vaut $\Delta f = 0{,}34$ kHz.

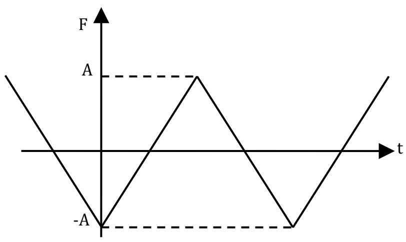
1. Expliquer pourquoi les trois composants ne sont pas en série.
2. Déterminer la disposition des composants dans le quadripôle ainsi que la valeur numérique des composants.
3. Représenter qualitativement la forme du signal en sortie de ce filtre lorsque celui-ci se voit imposer une entrée en créneau dont la décomposition en série de Fourier est :
$$V_e(t) = \frac{E}{2} + \sum_{p=0}^{\infty} \frac{2E}{\pi(2p+1)} \sin\left((2p+1)\frac{2\pi t}{T}\right)$$
   a. Pour $T = 100$ ms.
   b. Pour $T = 0{,}01$ ms.
4. Mêmes questions lorsque ce filtre se voit imposer une entrée en signal triangulaire dont la décomposition en série de Fourier est :
$$V_e(t) = \frac{E}{2} + \sum_{p=0}^{\infty} \frac{-8E}{\pi^2(2p+1)^2} \cos\left((2p+1)\frac{2\pi t}{T}\right)$$
   avec les pulsations précédentes.
5. Comment rendre ce filtre plus sélectif ? Quelle serait alors l'influence sur la forme des signaux de sortie des exemples précédents ?

EXERCICE 7

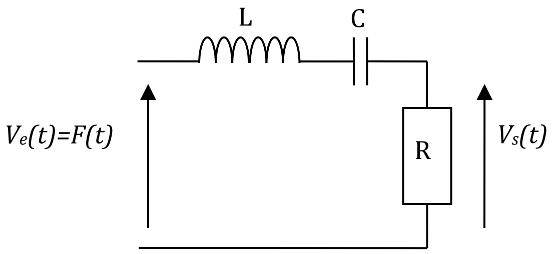
TRIPLEUR DE FREQUENCE (*)

Soit le signal en dents de scie donné par la figure ci-dessous et dont la décomposition en série de Fourier est :

$$F(t) = \sum_{p=0}^{\infty} \frac{-8A}{\pi^2(2p+1)^2} \cos((2p+1)\omega t)$$



Ce signal est le signal d'entrée du filtre RLC ci-dessous :



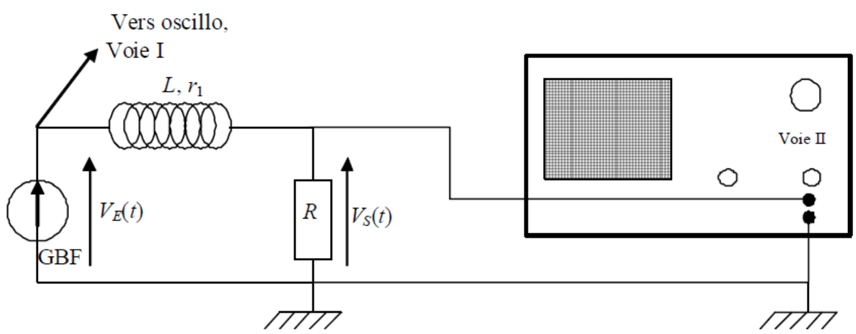
Avec : $A = 10{,}0V$ et $T = 3{,}77\ ms$ et : L = 20 mH ; C = 2,0 µF ; R = 1,0 Ω

1. Calculer la fonction de transfert $\underline{H}(\omega)$ du filtre. Quelles sont sa pulsation de résonance et son facteur de qualité Q ? Comparer numériquement ω_o à ω.
2. Préciser $V_s(t)$ sous la forme d'une série de Fourier où l'amplitude complexe du terme de rang k sera donnée en fonction de A, du module et l'argument de la fonction $\underline{H}(\omega)$.
3. Donner enfin $V_s(t)$ sous la forme d'une somme infinie de fonctions sinusoïdales à amplitude réelle dont on précisera pour le terme d'ordre k l'amplitude A_k et la phase à l'origine ϕ_k en fonction de R, L, C et A, puis en fonction de Q, ω_o et A.
4. AN : Calculer A_k et ϕ_k pour les termes de pulsation ω, 3ω et 5ω. Quel est le terme prépondérant ? Quelle approximation peut-on faire pour $V_s(t)$?
5. Représenter soigneusement sur le même schéma $V_e(t)$ et $V_s(t)$.
6. Quelle application peut-on imaginer à ce dispositif ?

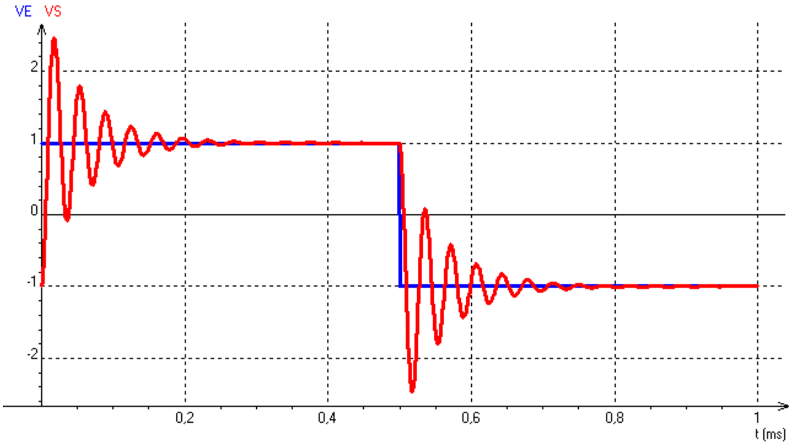
EXERCICE 8

ETUDE EXPERIMENTALE D'UN CIRCUIT R-L (♥, *)

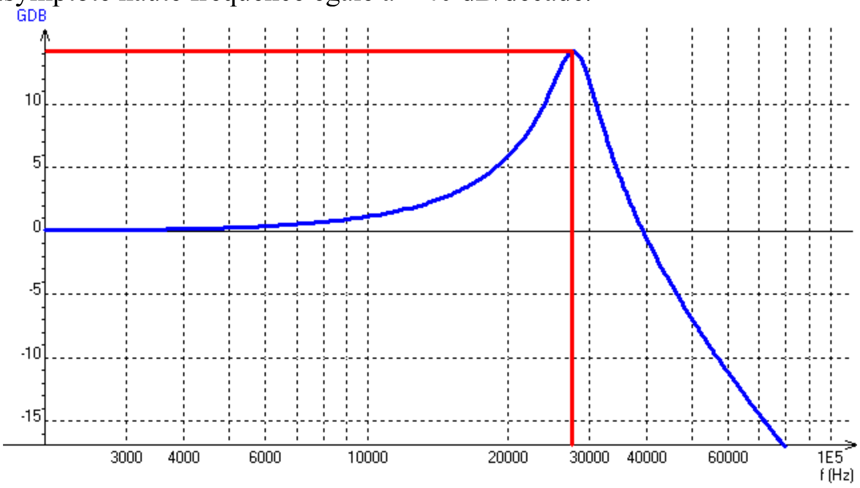
1. Lors d'une séance de travaux pratiques, un étudiant cherche à étudier le comportement d'un circuit *L, R* série : il dispose d'une bobine d'induction, d'inductance L = 0,1 H et de résistance propre $r_1 = 20\Omega$ et d'une boîte à décades donnant une résistance R réglable. Il réalise le montage suivant :
Pour être sûr de pouvoir négliger la résistance propre de la bobine, il choisit R = 100 kΩ.
1.1. Quelle est la fonction de transfert attendue $\underline{H_o}(j\omega) = \frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}}$?



1.2. Pour étudier la réponse indicielle, l'étudiant règle le GBF en créneaux, d'amplitude 1V, de fréquence 1 kHz.
1.2.1. Quelle est l'allure de la réponse $V_s(t)$ attendue ? Le choix de la fréquence est-il pertinent ?
1.2.2. Le relevé est en fait le suivant. Qu'y a-t-il de surprenant ?



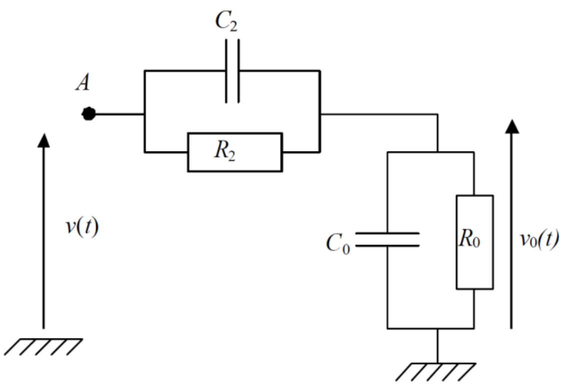
1.3. L'étudiant décide alors de relever le diagramme de Bode en gain de ce montage (figure 2). Il mesure en particulier une pente de l'asymptote haute fréquence égale à – 40 dB/décade.



Interpréter le plus complètement possible ces résultats expérimentaux : on attribuera en particulier une certaine propriété électrocinétique à l'oscilloscope, qu'on évaluera grâce aux relevés précédents.

1.4. Pour quelle valeur de R les oscillations de la figure indicielle disparaissent ?

2. Soit le montage ci-dessous.
   2.1. Etant donnée une constante réelle k, $0 < k < 1$, R_o et C_o étant donnés, montrer qu'il est possible de choisir R_2 et C_2 de façon à ce qu'on ait toujours $v_o(t) = k \cdot v(t)$ et exprimer R_2 et C_2 en fonction de k, R_o et C_o.
   2.2. Montrer alors que cette association entre A et la masse est équivalente à l'association parallèle d'une capacité C_3 et d'une résistance R_3, et exprimer R_3 et C_3 en fonction de k, R_0 et C_0.
   2.3. Pour rendre le branchement de l'oscilloscope moins perturbateur, on peut utiliser une « sonde compensée » : proposer une structure à une telle sonde « au dixième ».
   2.4. Qu'aurait-on obtenu au 1.1. si l'on avait utilisé une telle sonde compensée ?



EXERCICE 9

FACTEUR DE PUISSANCE D'UN MOTEUR – AMELIORATION DU FACTEUR DE PUISSANCE (♥, **)

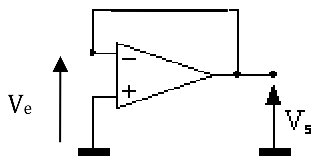
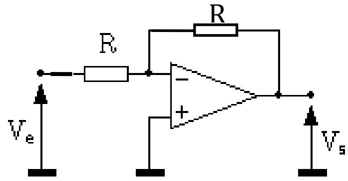
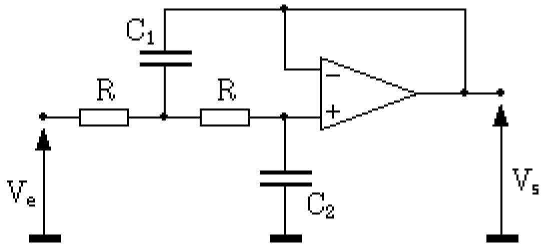
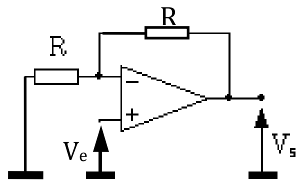
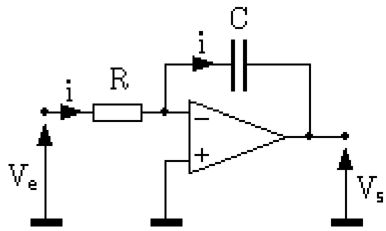
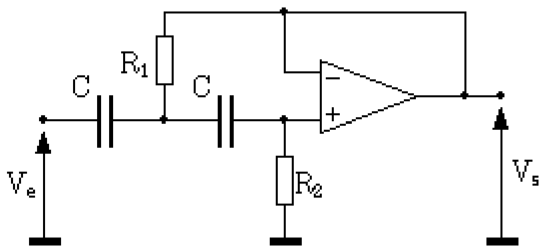
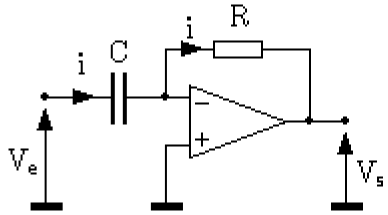
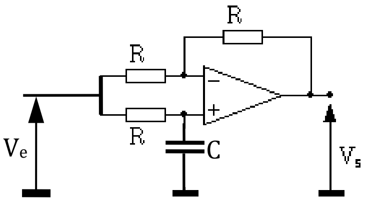
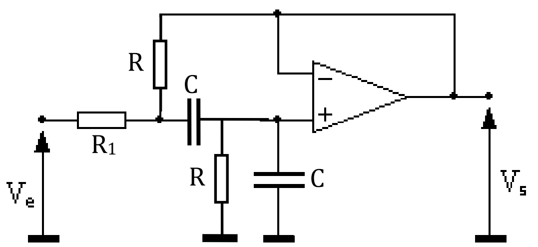
Un moteur électrique alimenté par une tension alternative sinusoïdale de fréquence 50 Hz, sous une tension efficace 220 V, absorbe la puissance P_a = 5,5kW ; l'intensité du courant qui le traverse est I = 32 A.

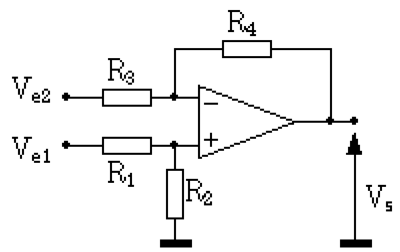
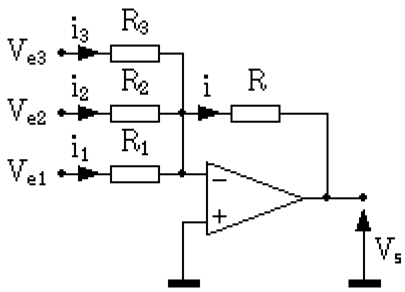
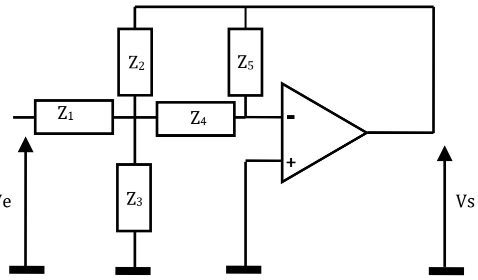
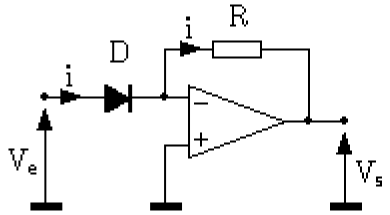
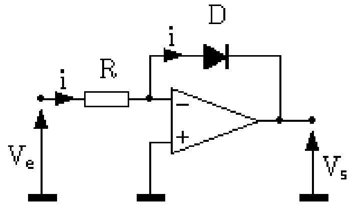
1. Calculer :
   a. Le facteur de puissance $\cos\phi$ de ce moteur.
   b. La puissance réactive qu'il consomme : $Q = U_{eff} I_{eff} \sin\phi$
2. Pour améliorer le facteur de puissance de l'installation, on place un condensateur en dérivation aux bornes de ce moteur. Déterminer :
   a. La capacité du condensateur qui permet de porter le facteur de puissance à la valeur 0,920.
   b. L'intensité efficace qui traverse le réseau d'alimentation.

III. MONTAGES A ALI

EXERCICE 10

AO EN REGIME LINEAIRE : DETERMINER V_s POUR LES MONTAGES DE BASE SUIVANTS (♥, *)

 Suiveur	 Inverseur	 Filtre Sallen–Key : passe bas du 2nd ordre
 Non - inverseur	 Intégrateur 1er ordre	 Filtre Sallen-Key : passe haut 2nd ordre
 Dérivateur 1er ordre	 Déphaseur 1er ordre	 Filtre Sallen-Key : passe-bande 2nd ordre

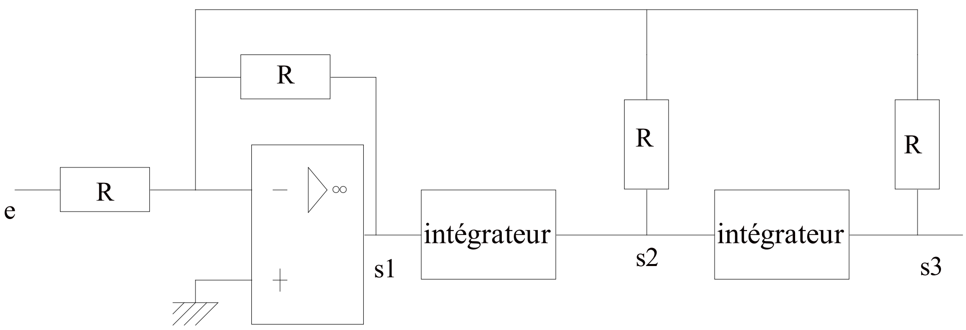
 Soustracteur	 Sommateur	 Filtre de Rauch
 Exponentiel[1]	 Logarithmique	

EXERCICE 11

FILTRE UNIVERSEL (*)

On considère le dispositif suivant dans lequel les intégrateurs sont supposés idéaux.

1. Si l'on applique le signal d'entrée $e(t)$, on peut récupérer le signal de sortie sur l'une ou l'autre des 3 sorties. Quel type de filtre obtient-on dans chaque cas ? justifier le nom de filtre universel.



2. Déterminer le coefficient d'amortissement et la pulsation de coupure asymptotique de chaque filtre.

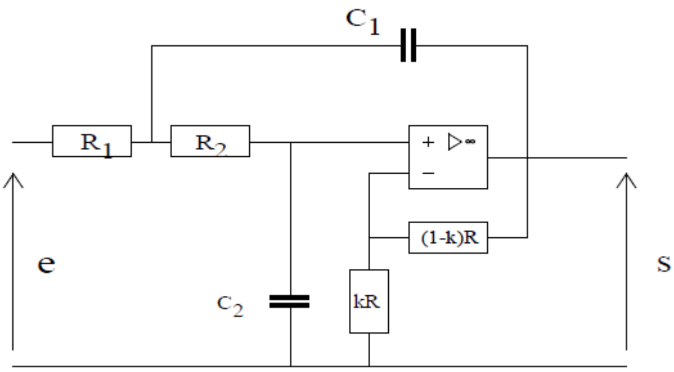
EXERCICE 12

STABILITE D'UN FILTRE EN REGIME TRANSITOIRE (**)

On considère le montage suivant (l'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire).

1. Etablir l'équation différentielle régissant l'évolution de s en fonction de e.
2. On prend $R_1 = R_2 = R$ et $C_2 = 2C_1 = 2C$. A l'instant initial, tous les condensateurs sont déchargés, on applique un échelon de tension. Etablir les expressions de $s(t)$ pour des valeurs caractéristiques de k.
3. Tracer qualitativement, les courbes représentatives des variations de $s(t)$.

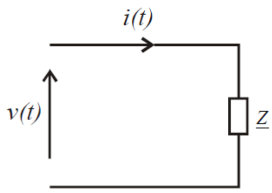
[1] La relation courant- tension est modélisée de la manière suivante : I = I₀.exp(qU/kT) où I₀, q, k et T sont des constantes



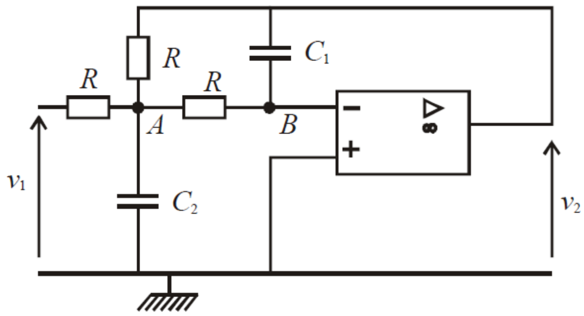
EXERCICE 13

WATTMETRE (**)

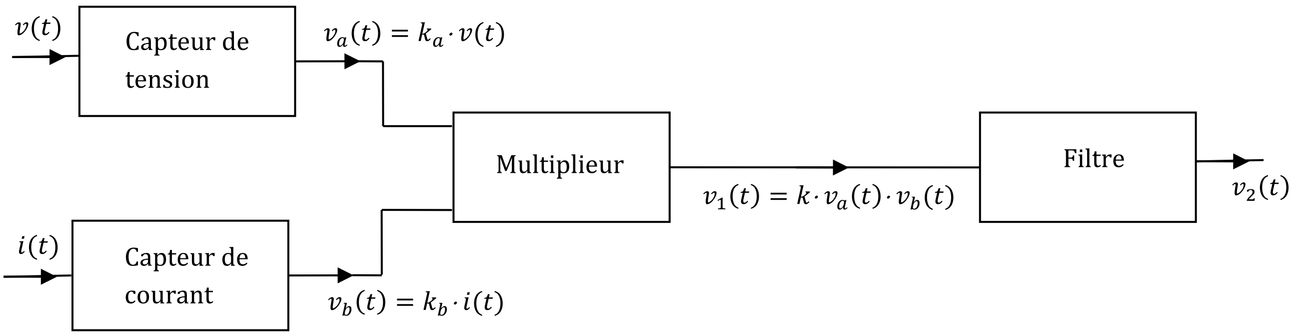
On considère un dipôle d'impédance $\underline{Z} = 5 + 10j$ (Ω) alimenté par une tension sinusoïdale $v(t) = V_{eff}cos\omega t$ et traversé par un courant noté $i(t) = I_{eff}\sqrt{2}\cos(\omega t - \phi)$ avec $V_{eff} = 230V$ et $f = 50\ Hz$.



1. Calculer I_{eff}, ϕ ainsi que la puissance moyenne P_{moy} reçue par le dipôle.
2. Donner la nature du filtre dont on déterminera la fonction de transfert.



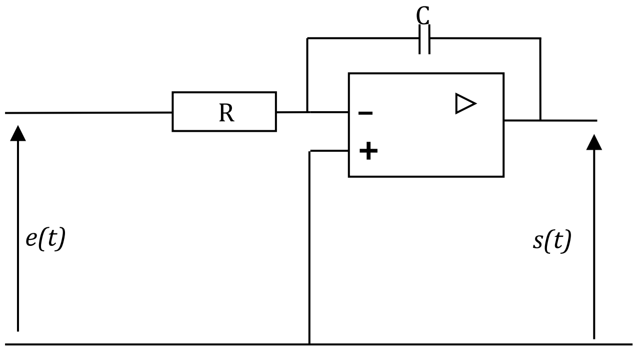
3. Montrer que le montage suivant permet d'obtenir une tension proportionnelle à la puissance moyenne reçue par le dipôle. A quelle condition sur la fréquence propre et le facteur de qualité du filtre ceci est-il réalisé ?



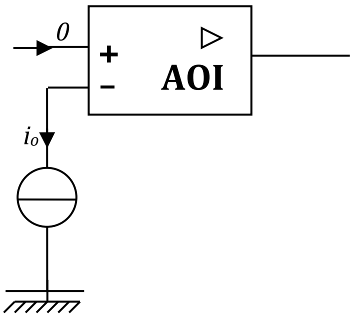
EXERCICE 14

DERIVES D'UN MONTAGE (*)

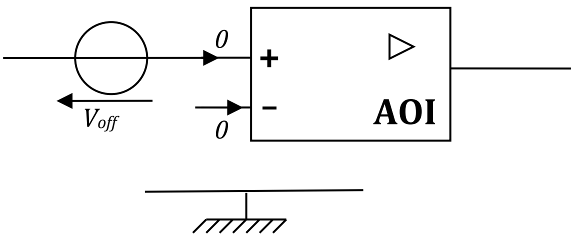
Soit le montage intégrateur dans lequel la tension d'entrée e(t) est nulle.



1. Quelle tension de sortie s(t) devrait-on observer ?
2. L'expérience montre que la tension $s(t)$ passe de 0 à 10V en 2,5s pour des valeurs R=10kΩ et C=0,10µF. Si on explique cette dérive à partir de l'existence de courants de polarisation à l'entrée de l'amplificateur opérationnel, calculer la valeur du courant de polarisation correspondant aux résultats expérimentaux.



3. Une autre hypothèse envisageable est l'existence d'une tension de décalage dans le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel. Déterminer, dans le cadre de cette hypothèse, la valeur de l'offset traduisant les résultats expérimentaux.

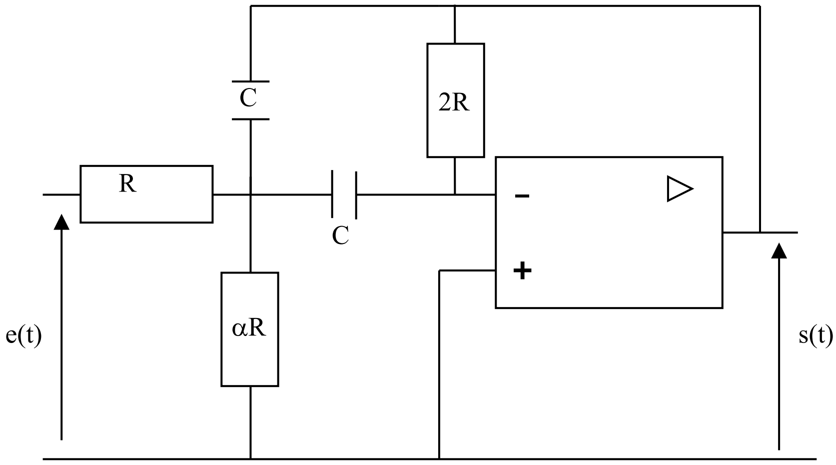


4. Le constructeur indique que $|i_o| < 200\,pA$ et $|V_{off}| < 10\,mV$. Quel est le défaut responsable de la dérive observée ?

EXERCICE 15

INFLUENCE DE LA BANDE PASSANTE D'UN ALI SUR LES PERFORMANCES D'UN FILTRE (***)

On étudie le filtre actif représenté ci-dessous :



La tension d'entrée e(t) est sinusoïdale et α est un réel positif.

1. L'ALI étant supposé idéal, déterminer la transmittance opérationnelle du circuit et montrer qu'elle est de la forme :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

2. Exprimer H_o , Q et ω_o en fonction des paramètres du montages. Comment doit-on choisir α pour que le filtre soit très sélectif ?
3. Application numérique :

   R = 100 kΩ , αR = 100 Ω et C = 100 nF (1er cas) , C = 180 pF (2ème cas).

   Calculer H_o , Q et ω_o
4.
   - ✓ Dans le 1er cas, on obtient des résultats expérimentaux conformes aux prévisions, par contre dans le deuxième cas on mesure une fréquence de résonance de l'ordre de 105 kHz bien inférieure à la valeur prévue et on constate de plus que l'amplification maximale vaut seulement 0,5.
   - ✓ D'autre part, le signal de sortie étant parfaitement sinusoïdal, le slew rate de l'ALI, qui est assez élevé pour un TL081 (12V/µs) n'est pas en cause et l'écart ne peut être imputable qu'à la variation avec la fréquence de l'amplification différentielle $\underline{A}_d(j\omega)$.
   - ✓ On rappelle que $\underline{A}_d(j\omega)$ vérifie : $\underline{A}_d(j\omega) = \frac{A_0}{1+j\frac{\omega}{\omega_d}}$ avec $A_o \approx 10^5$ et $f_d = \frac{\omega_d}{2\pi} \approx 10Hz$
   - ✓ Pour les fréquences normales de travail, on a $f \gg f_d$

   Montrer que l'amplification $\underline{A}_d(j\omega)$ est de la forme : $\underline{A}_d(j\omega) = \frac{\omega_T}{j\omega}$ où $f_T = \dfrac{\omega_T}{2\pi}$ est appelée fréquence de transition.

   Calculer la valeur numérique de f_T.
5. Montrer que l'expression corrigée de la transmittance complexe $\underline{H}(j\omega)$ est :

$$\underline{H}(j\omega) = -\frac{1}{1 + \varepsilon\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right) + jQ\left((1+2\varepsilon)\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

$$\text{où } \varepsilon = \frac{Q\omega_o}{\omega_T}$$

On supposera que Q >>1.

6.

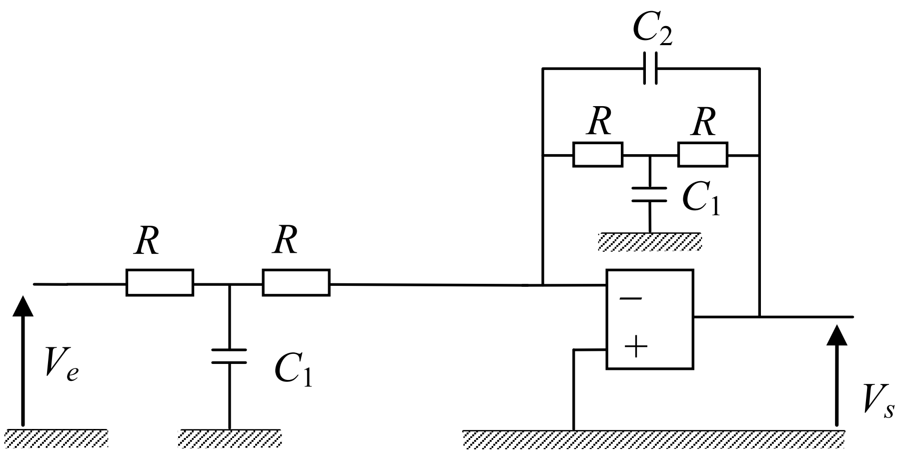
- ✓ En toute rigueur la résonance a lieu lorsque $\left|\underline{H}(j\omega)\right|$ est maximale lorsque son dénominateur est minimal. La résolution étant compliquée on utilise l'approximation qui consiste à négliger le terme en $\varepsilon\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)$ dans l'expression de $\underline{H}(j\omega)$

Déterminer dans ces conditions les expressions de la fréquence de résonance corrigée et de l'amplification maximale A_{max}. Conclure.

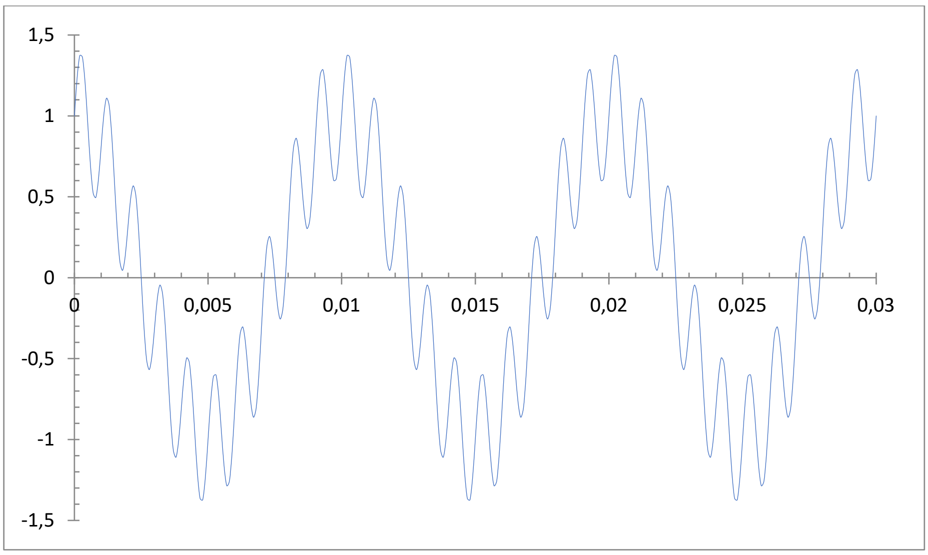
EXERCICE 16

REJECTEUR (♥, *)

On considère le montage suivant :



La tension V_e est représentée (en V) en fonction du temps (en s) dans la figure suivante. Le signal contient un bruit à fréquence plus grande.



1. On souhaite obtenir à la sortie une tension sinusoïdale sans bruit. Comment faut-il choisir C_2 ?

2. On branche la sortie à un montage amplificateur afin d'obtenir un signal d'amplitude 1V. Préciser les caractéristiques du montage qu'il faut utiliser.

Données :

$R = 10$ kΩ

$C_1 = 1$ µF

EXERCICE 17

INTEGRATEUR (♥, **)

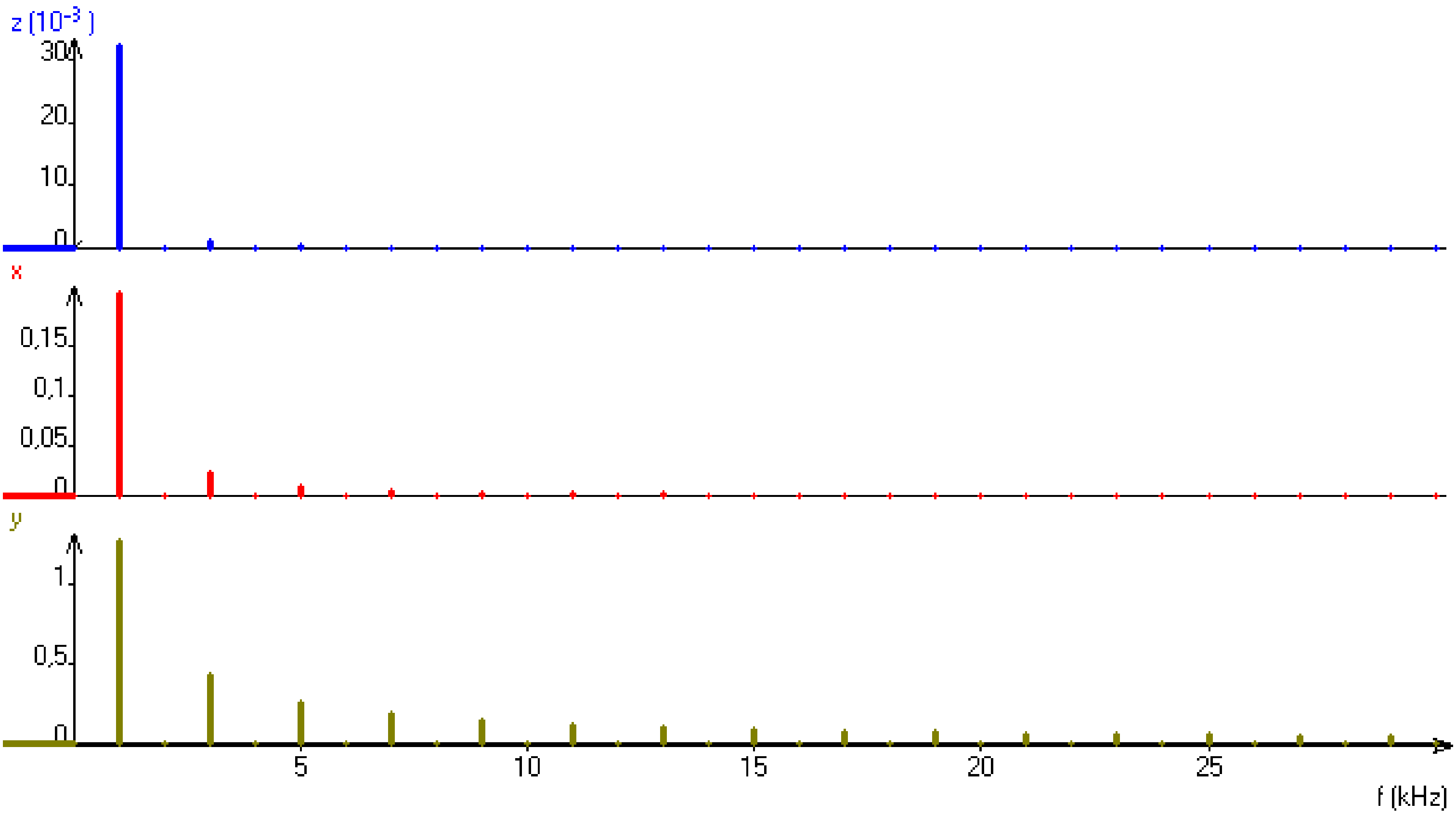
Tout signal périodique peut se décomposer en série de Fourier :

$$V_e(t) = a_0 + \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T \cos(n\omega\, t) V_e(t)dt$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T \sin(n\omega\, t) V_e(t)dt$$

où T est la période de $V_e(t)$.



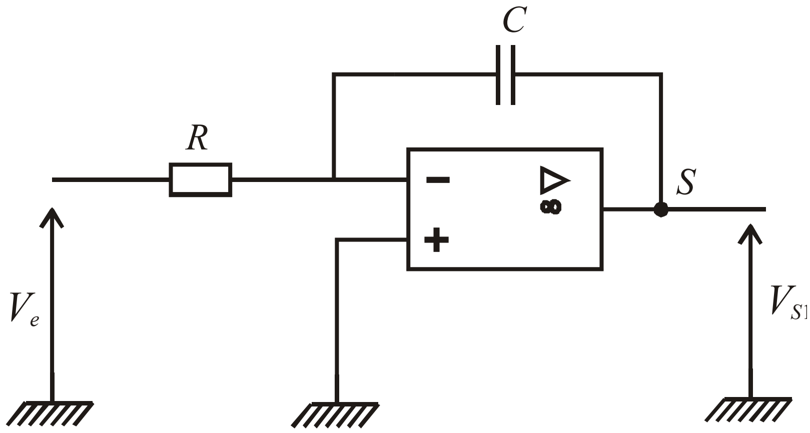
Dans tout l'exercice les amplificateurs opérationnels sont considérés comme idéaux et fonctionnent en régime linéaire.

Soit la tension $V_e(t)$, une tension créneau de période T telle que :

- pour $0 < t < \frac{T}{2}$, $u(t) = E$,
- pour $\frac{T}{2} < t < T, u(t) = -E$.
- $a_n = 0$; $b_n = 0$ si n est pair
- $b_n = \frac{4E}{n\pi}$ si n est impair.

1. Que vaut a_0 ? Est-il nécessaire d'utiliser beaucoup d'harmoniques pour reconstituer le signal ? Identifier le spectre de V_e parmi les trois spectres représentés ci-contre.

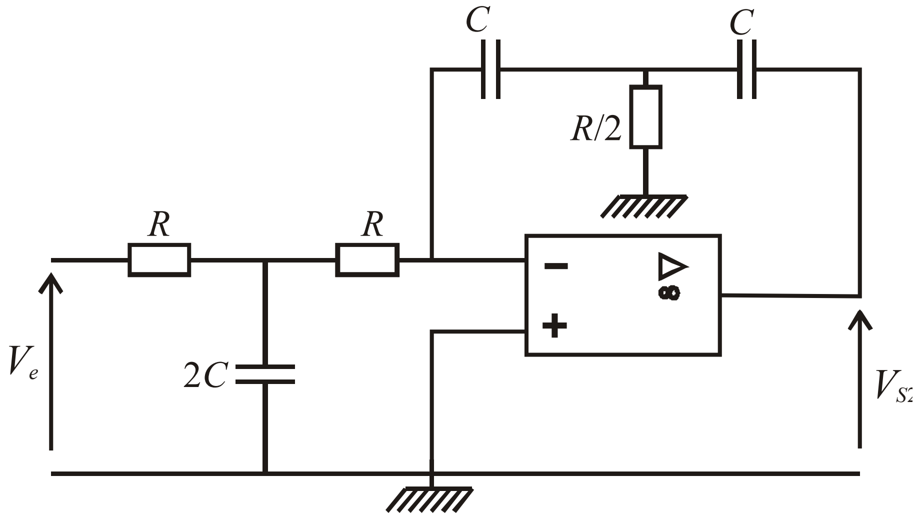
2. On étudie le circuit ci-contre avec $R = 1$ kΩ et $C = 1$ μF. $V_e(t)$ est le signal créneau.



En déduire l'allure du signal de sortie. Identifier le spectre de V_{S1} parmi les trois spectres. Le nombre d'harmoniques nécessaire à la reconstruction du signal a-t-il augmenté ou diminué ?

Quel problème rencontre-t-on avec ce type de montage ?

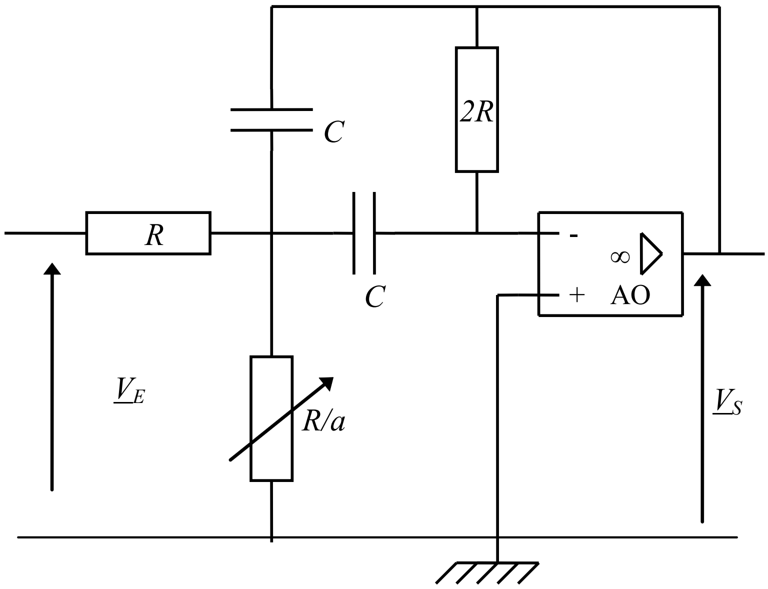
3. On considère maintenant le montage ci-dessous dans lequel $V_e(t)$ est le signal créneau.



En déduire l'allure du signal de sortie. Identifier le spectre de V_{S2} parmi les trois spectres. Le nombre d'harmoniques nécessaire à la reconstruction du signal a-t-il augmenté ou diminué ?

EXERCICE 18

FILTRAGE(♥,*)



On rappelle les formes normalisées de deux fonctions de transfert du 2ème ordre :

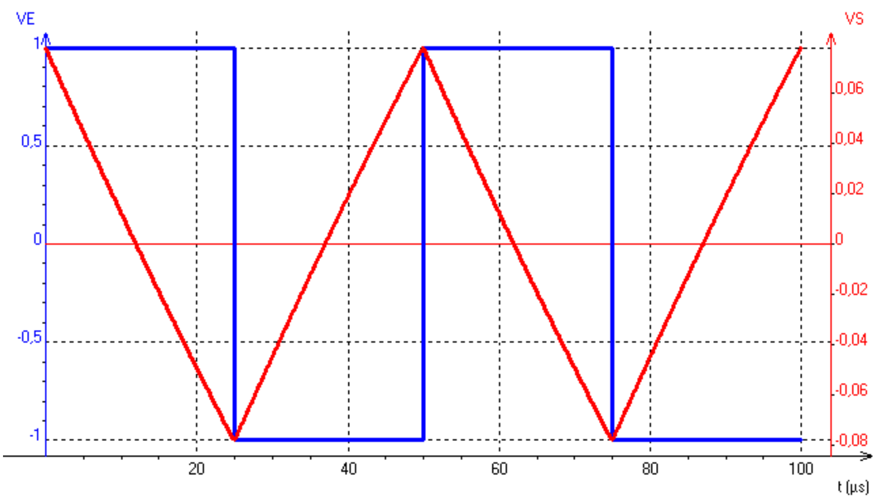
- Passe-bande : $\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)}$
- Coupe bande (réjecteur) : $\underline{H}(j\omega) = H_0 \frac{1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}}{1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}+\frac{j\omega}{Q\omega_0}}$

On considère le montage représenté sur la figure ci-dessous. L'amplificateur opérationnel est supposé en fonctionnement linéaire et idéal. La résistance *R/a* est réglable (*a* pouvant varier sur]0,+∞ [ ).

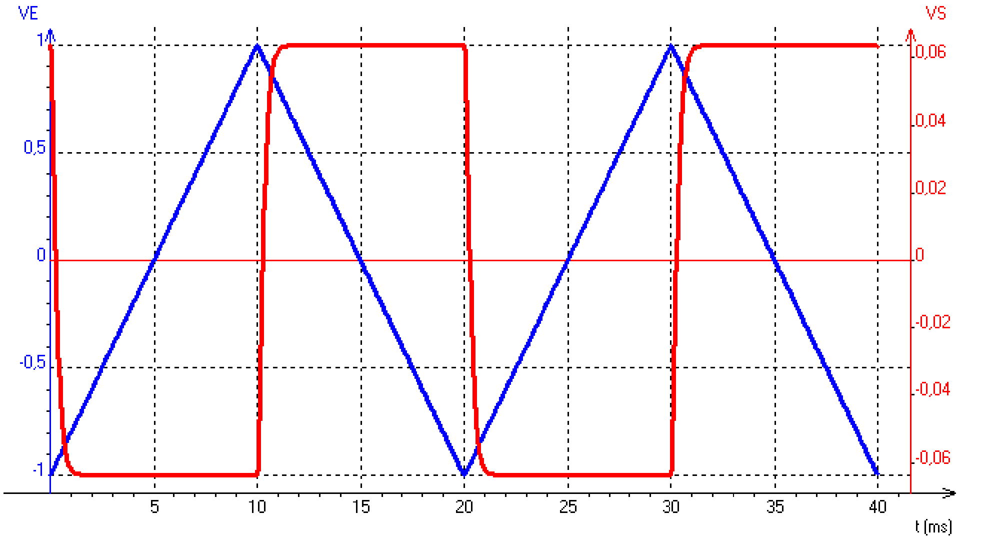
1. Préciser sans aucun calcul le type de filtrage.

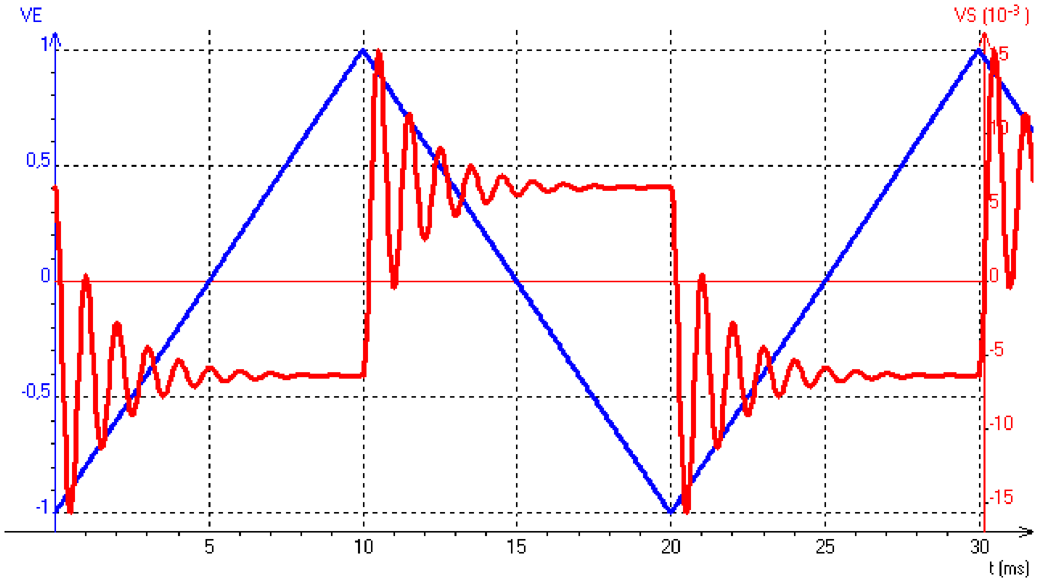
2. Déterminer la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{V}_S}{\underline{V}_E}$ sous forme normalisée. Déterminer la bande passante. Donner l'allure du diagramme de Bode pour le gain pour $Q = 0,1$ et $Q = 10$.

3. a) On alimente le montage par $v_E(t)$ signal créneau de fréquence $f = 20$ kHz. Interpréter l'allure de $v_S(t)$ ci-dessous sachant que $R = 4,7$ kΩ ; $C = 34$ nF et $a = 1$.

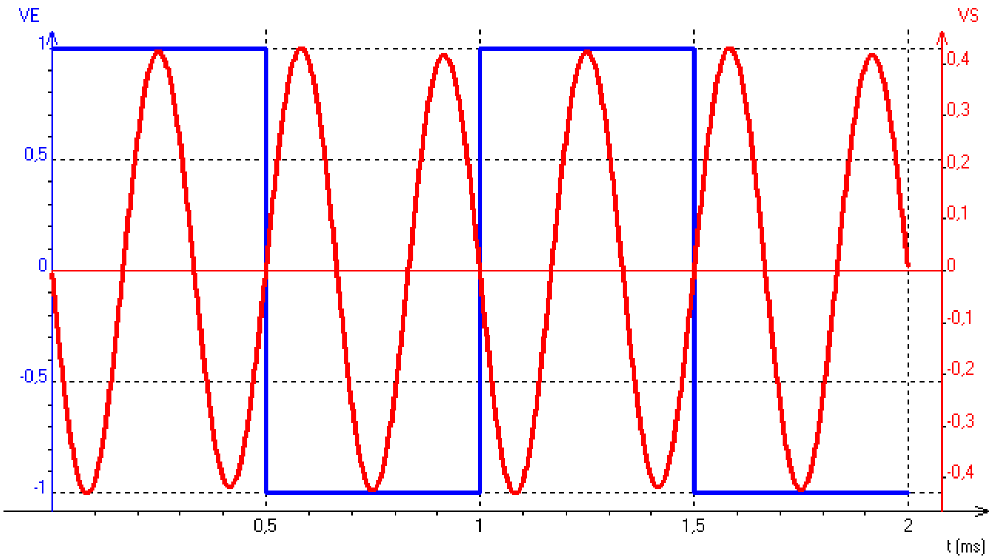


b) On alimente le montage par $v_E(t)$ signal triangulaire de fréquence $f = 50$ Hz. Interpréter l'allure de $v_S(t)$ et calculer le facteur de qualité pour chaque courbe sachant que $f_0 = 1000$ Hz





4. On alimente le montage par $v_E(t)$ signal créneau de fréquence $f_1 = 1$ kHz. On prend $R = 4{,}7$ kΩ. Proposer des valeurs numériques pour C et a permettant d'observer la courbe ci-dessous.



EXERCICE 19

DETECTION DE FLUCTUATIONS(***)

On considère le circuit ci-dessous ; e est une source de tension sinusoïdale, de pulsation ω ; l'amplificateur opérationnel est supposé idéal et fonctionne en régime linéaire.

1. Les interrupteurs K_1 et K_2 sont ouverts. Etablir la relation $\omega(R,C)$ pour que le potentiel V_H soit en quadrature avec la tension e.
2. On ferme K_1 . Etablir une relation entre R_0, C, C_0 et les valeurs ω_1 et R_1 de ω et R lorsque $i_1=0$.
3. On suppose que la tension du générateur G_1 fluctue et devienne $e(1+\mu_1)$, V_H reste en quadrature avec e. Montrer qu'une manipulation du type de celle effectuée à la question 2 permet d'accéder à μ_1.
4. Comment analyser une fluctuation de G_2.