**Exercice 1**

Rappeler les expressions et les domaines de validité des lois et relations suivantes :
- loi des mailles,
- loi des nœuds,
- relation du diviseur de tension,
- relation du diviseur de courant,
- loi des nœuds en terme de tensions (théorème de Millman).

**Exercice 2**

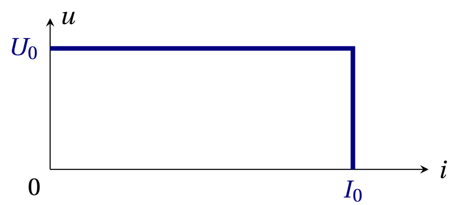
Un générateur de tension (GBF) possède une sortie où il est indiqué « 50 Ω ». Sachant que ce générateur est équivalent à une source de tension parfaite délivrant une tension constante $U = 5$V associée à une résistance $r$ de $50\,\Omega$.
1) Tracer la caractéristique $u(i)$ de ce générateur, où $u$ est la tension délivrée et $i$ l'intensité de sortie, en convention générateur.
2) Calculer la tension $u$ aux bornes d'une résistance $R$ branchée au générateur pour les valeurs suivantes :

| $R$ (Ω) | 10 000 | 1 000 | 500 | 50 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| $u$ (V) | | | | | |

3) Tracer la courbe $u(R)$. Conclure sur les valeurs de $R$ si l'on veut $u \simeq U$ à 5% près.
4) On branche à ce même générateur un circuit RC série où $R = 100\,\Omega$ et $C = 100\,$nF, le condensateur étant déchargé à l'instant initial. Établir l'expression de la tension $v(t)$ **aux bornes du circuit RC** et tracer cette fonction.

**Exercice 3**

Une alimentation stabilisée (matériel classique de TP) possède la caractéristique suivante, en convention générateur :




On donne $U_0 = 5$V et $I_0 = 10\,$mA.
1) On branche à cette alimentation une résistance $R$ variable. Donner les grandeurs $u$ et $i$ dans les cas suivants :

| $R$ (Ω) | 10 000 | 1 000 | 500 | 100 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|
| $u$ (V) | | | | | |
| $i$ (mA) | | | | | |

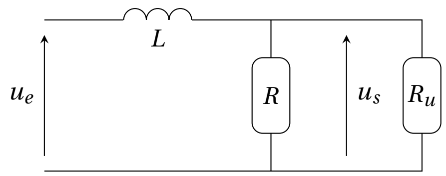
2) Pourquoi qualifier cette alimentation de « stabilisée » ? Quelle est la grandeur stabilisée ?
3) On branche à cette alimentation un circuit RC série, où $R = 100\,\Omega$ et $C = 100\,$nF. Le condensateur est déchargé à l'instant initial. Établir et tracer la tension $u_c$ aux bornes du condensateur au cours du temps.

**Exercice 4**

Un générateur délivre une tension alternative sinusoïdale $u(t)$ qui alimente une association parallèle d'une résistance $R$, un condensateur $C$ et une bobine $L$.
1. Faire un schéma du montage en plaçant les différentes tensions et intensités dans le montage
2. La tension $u(t)$ a pour valeur maximale $U = 12$ V et constitue la référence des phases. Calculer les intensités $I_R$ $I_L$ et $I_C$ si $R = 1000\,\Omega$, $C = 100$ nF, $L = 0{,}01$ H et la fréquence $f = 1$ kHz.
3. Effectuer la construction de Fresnel permettant de déterminer l'intensité $I$ qui circule dans le générateur et en déduire le déphasage $\varphi$ entre l'intensité et la tension.
4. En vous aidant de la construction de Fresnel, établir l'expression littérale de l'impédance $Z$ du montage en fonction de $R$, $C$, $L$ et $f$.

**Exercice 5**

$R_u$ est un potentiomètre de 4,7 kΩ, $R = 100\,\Omega$, $L = 10\,$mH, $u_e = 5$ V, $\omega < 10^6\,\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$.




1- Calculez le transfert statique (à fréquence nulle) $A_0 = U_s/U_e$.
2- Calculez l'impédance d'entrée $Z_e = U_e/I_e$, et en déduire $Z_e$ en sortie ouverte ($R_u = +\infty$).
3-a) Calculez le transfert $\underline{A}(j\omega) = \dfrac{\underline{u}_s}{\underline{u}_e}$. Faites apparaître la constante de temps.
b) Calculez $\underline{A}(0)$ ; conclure.
c) Déterminez le transfert en sortie ouverte $\underline{A}_\infty(j\omega)$. Représentez les diagrammes de Bode en gain et en phase associés ; concluez sur la nature du filtre.

d) Comment sont modifiées les courbes pour $R_u = 1\,\mathrm{k}\Omega$, puis $R_u = 100\,\Omega$ ?

**Exercice 6**

Détecteur de métaux

Les premiers détecteurs de métaux « à battements » étaient constitués de deux circuits $LC$ oscillants à la même pulsation. La présence d'un métal modifiait légèrement la valeur de l'une des deux inductances, si bien que l'on se retrouvait avec deux signaux sinusoïdaux de fréquences voisines.

Ces deux signaux étaient multipliés l'un par l'autre, puis le signal résultant filtré de manière à récupérer un signal sinusoïdal de fréquence égale à la différence de fréquence entre les deux signaux initiaux.

On donne L = 1 mH et C = 0,1 $\mu$F. Déterminer les caractéristiques du filtre.

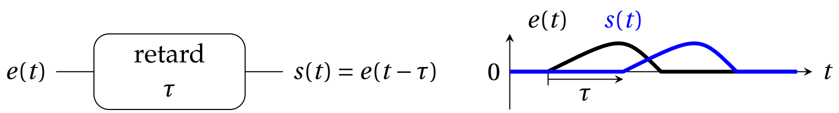
**Exercice 7**

Un signal électrique est contaminé par un bruit de fréquence 50 Hz. On utilise un filtre coupe-bande afin d'éliminer ce bruit. On impose une atténuation de 19 dB autour de 50 Hz avec une largeur de bande coupée de 10 Hz (45-50 Hz). Dans les bandes passantes, il ne faut pas plus de 2 dB d'atténuation.

Tracer le gabarit du filtre.

**Exercice 8**

Un système électronique a pour fonction de retarder d'une valeur constante $\tau > 0$ tout signal entrant, sans déformation.



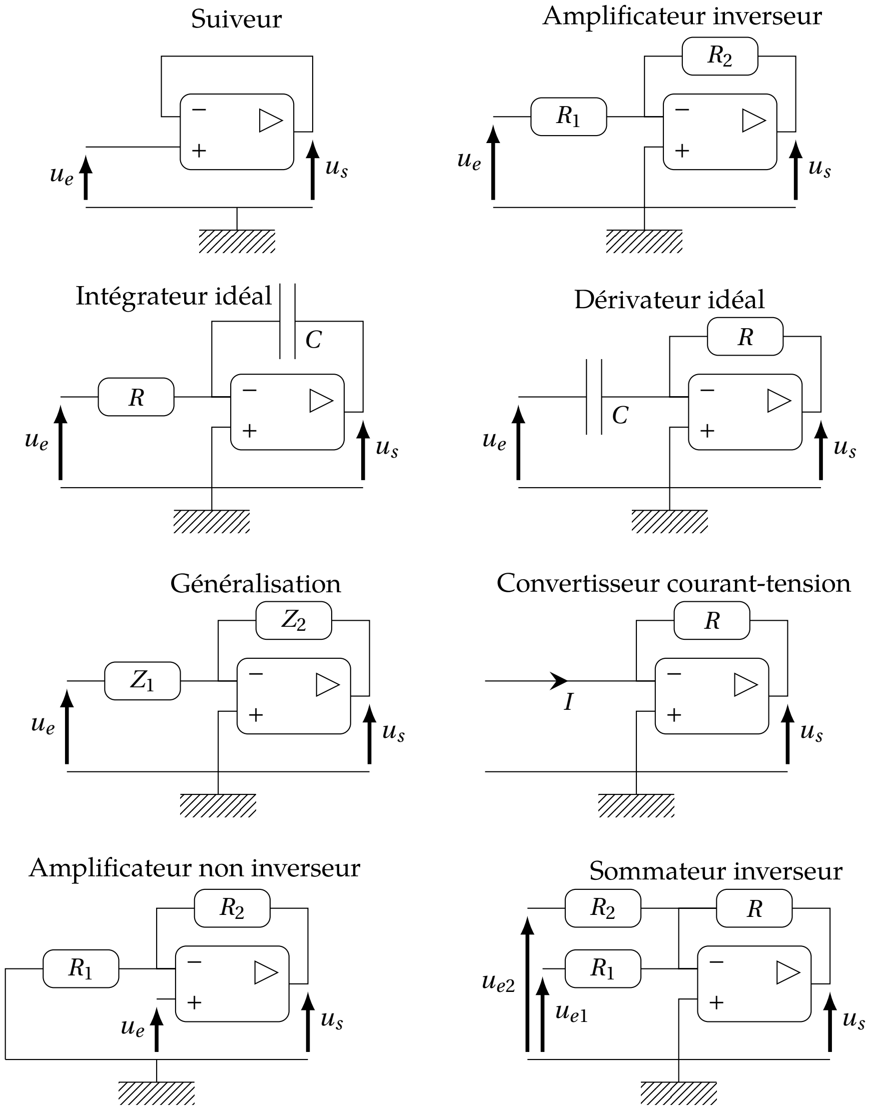

1) Le système est-il linéaire, continu et invariant ?

2) Quelle est la fonction de transfert de ce système ?

3) Quelle serait la relation de récurrence d'un système numérique équivalent ?

**Exercice 9**

Montages linéaires classiques. Déterminer les fonctions de transferts des montages suivants :




**Exercice 10**

On considère le montage de la figure ci-dessous où les A.O. sont idéaux et l'AO1 fonctionne en régime linéaire. $e_0$ peut varier de 1,0 à 10,0 V. $K$ est un interrupteur commandé par $v$ : pour $v > 0$, $K$ est fermé et pour $v < 0$ $K$ est ouvert.

Données : $R = 100\,\Omega$, $R_0 = 10\,\mathrm{k}\Omega$, $V_{sat} = 14\,\mathrm{V}$, $C$ variable de 100 pF à 1,0 $\mu$F.

1) Donner $\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$ pour les deux positions de $K$.
2) Expliquer pourquoi l'AO2 fonctionne en régime saturé. Expliquer la forme de $v(u)$ de la figure 2 et déterminer $u_0$.
3) Quels sont les signaux $u(t)$ et $v(t)$ obtenus par ce dispositif (expression et tracé).
4) Quelle est la fréquence du signal obtenu, comment peut-on la modifier ? Quelle plage de fréquence peut-on obtenir ?
5) Question supplémentaire : combien de décades représente cet intervalle de fréquences ? Condition nécessaire pour qu'un AO fonctionne en régime saturé ?

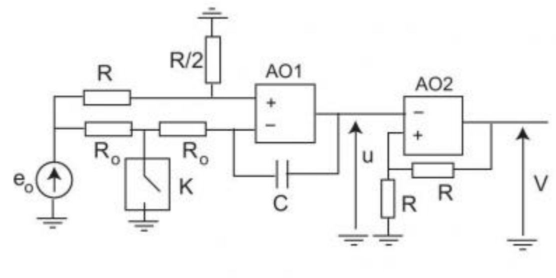


Figure 1

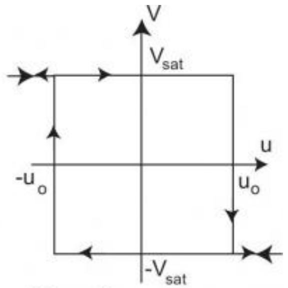


Figure 2

## Exercice 11

Un micro capte une certaine intensité sonore qui est convertie en une tension constante $U_e$. On veut créer un dispositif où plus l'intensité sonore captée est grande, plus de LED (diodes électroluminescentes) s'allument. On dispose de quatre LED telles que :

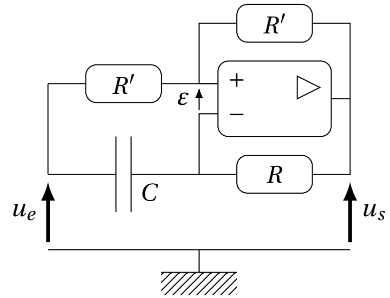
- $0 \leqslant U_e \leqslant 3\,\mathrm{V}$ : pas de LED allumée ;
- $3\,\mathrm{V} \leqslant U_e \leqslant 6\,\mathrm{V}$ : 1 LED allumée ;
- $6\,\mathrm{V} \leqslant U_e \leqslant 9\,\mathrm{V}$ : 2 LED allumées ;
- $9\,\mathrm{V} \leqslant U_e \leqslant 12\,\mathrm{V}$ : 3 LED allumées ;
- $12\,\mathrm{V} \leqslant U_e$ : 4 LED allumées ;

Rappeler la caractéristique d'une diode idéale puis déterminer le circuit électrique répondant au problème. On dispose de :

- 4 LED limitées à un courant de 30 mA ;
- des ALI ;
- le matériel classique de TP.

## Exercice 12

Soit le montage suivant, dont on cherche la stabilité :



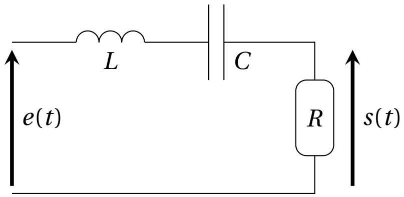

1) Peut-on conclure de façon certaine sur la stabilité du montage dans le modèle de l'ALI de gain infini ?
2) L'ALI est décrit comme un système de gain fini :

$$\frac{\underline{u_s}}{\underline{\varepsilon}} = \underline{\mu} = \frac{\mu_0}{1 + j\omega\tau}.$$

Établir l'expression de la fonction de transfert $\underline{H} = \dfrac{\underline{u_s}}{\underline{u_e}}$ en fonction de $\tau' = RC$, $\mu_0$, $\tau$ et $\omega$.
3) D'après la valeur admise de $\mu_0$, conclure sur la possibilité de fonctionnement linéaire de ce montage.

## Exercice 13

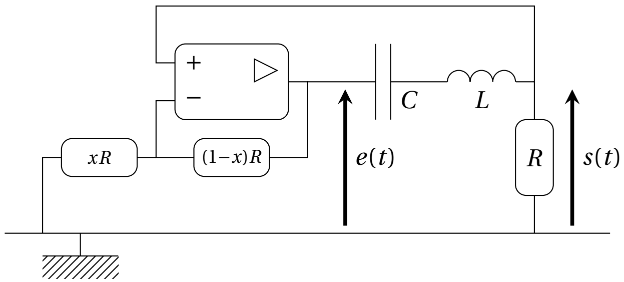
Soit le circuit suivant :




$R = 0{,}2\,\mathrm{k}\Omega$, $L = 750\,\mathrm{mH}$, $C = 5{,}6\,\mathrm{nF}$.
1. Montrer que la fonction de transfert peut s'écrire sous la forme

$$H(p) = H_0 \frac{\dfrac{2m}{\omega_0} p}{1 + \dfrac{2m}{\omega_0} p + \dfrac{p^2}{\omega_0^2}}.$$

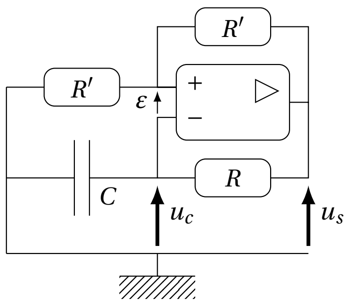
Identifier $\omega_0$, $H_0$, $m$.
2. On note $Q = \dfrac{1}{2m}$ le facteur de qualité. Calculer sa valeur. Le filtre est-il sélectif ?
3. Donner l'équation différentielle liant $e(t)$ et $s(t)$.
4. On considère le montage à ALI suivant :




L'ALI est idéal, fonctionne en régime linéaire. Donner une relation entre $e(t)$ et $V^-$. Donner alors une équation différentielle en $s(t)$. Sous quelle condition a-t-on des oscillations ?

**Exercice 14**

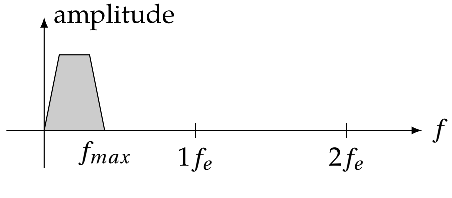
Soit le montage suivant, appelé oscillateur astable, qui fonctionne en régime saturé. L'ALI est idéal, donc modélisé par un gain infini.




1) Exprimer $u_s(t)$ et $u_c(t)$ au cours du temps.
2) Exprimer la période $T$ des oscillations en fonction de $\tau = RC$.

**Exercice 15**

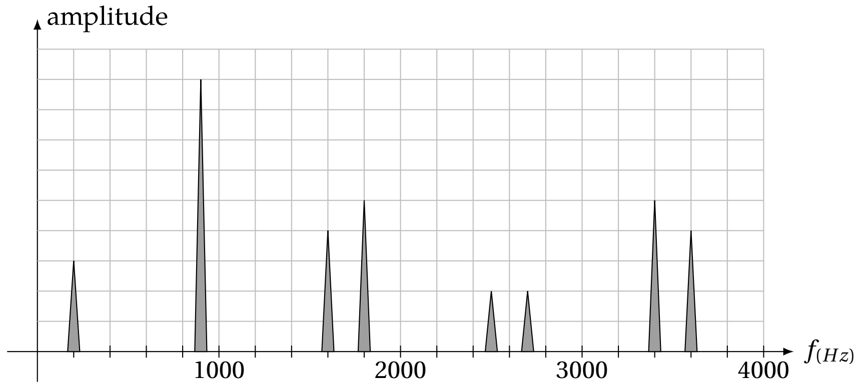
On donne ci-contre le spectre d'un signal analogique.




On échantillonne le signal avec une fréquence $f_e > 2f_{max}$.
1. Tracer le spectre du signal échantillonné. Pourquoi vaut-il mieux échantillonner à une fréquence au moins égale à deux fois $f_{max}$ (théorème de Shannon) ?
2. Les CD audio contiennent le signal sous forme numérique, l'échantillonnage étant fait à 44,1 kHz et la quantification sur 16 bits. Déterminer la place prise en mémoire par un morceau d'une durée de 5 minutes, en mégaoctets (1 octet = 8 bits).
3. On considère qu'un enregistrement audio doit reproduire fidèlement les sons de fréquences comprises entre 20,0 Hz et 20,0 kHz. Le signal analogique de départ contient des fréquences bien supérieures à 20,0 kHz, disons jusqu'à 30 kHz. Représenter qualitativement l'allure du spectre du signal échantillonné. Quelles sont les fréquences qui doivent être coupées avant la numérisation du signal ?
4. Proposer un filtre analogique simple permettant de réaliser ce filtrage.

**Exercice 16**

Détermination d'une fréquence d'échantillonnage.
La figure ci-dessous indique le spectre d'un signal périodique échantillonné dans la plage de fréquence de 0 à 4000 Hz.
Déterminez la période du signal, la période d'échantillonnage et tracer le spectre du signal non échantillonné.




**Exercice 17**

On considère un signal $x(t)$ échantillonné : $x_n = x(nT_e)$.

On considère alors un filtre numérique qui génère : $y_n = \dfrac{x_n + x_{n-1}}{2}$.
1. Pour n'utilise-t-on pas $x_{n+1}$ ?

On a désormais $x(t) = X\cos(\omega t)$.
2. Quelle doit être la période d'échantillonnage pour que celui-ci soit correct ?
3. Montrer que $y(t)$ peut s'écrire sous la forme $y(t) = Y\cos(\omega t + \varphi)$.
4. Tracer $Y$ et $\varphi$ en fonction de $\omega$.
5. Quelle est la nature de ce filtre ?

**Exercice 18**

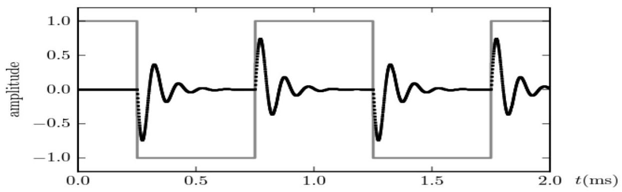
On considère un filtre numérique passe-bas du premier ordre associé à l'équation aux différences $s_{k+1} = s_k + 2\pi\beta(e_k - s_k))$, qui donne le moyen de calculer la valeur de l'échantillon suivant de la sortie. On rappelle que cette équation peut s'interpréter comme $s_{k+1} = s_k + 2\pi f_c T_e(e_k - s_k)$, où $f_c$ et $T_e$ représentent respectivement la fréquence de coupure du filtre et la période d'échantillonnage.
1. On prend $\beta = 1/10$. Déterminer la fréquence de coupure de ce filtre pour une fréquence d'échantillonnage de 1kHz, puis de 10 kHz. Les filtres analogiques se comportent-ils ainsi ?
2. La fréquence d'échantillonnage est fixée à 10 kHz, ainsi que la fréquence du signal $e(t) = A\sin(2\pi f_e t)$. On suppose de plus que $s_0 = 0$. Calculer les valeurs des $s_k$. Était-ce prévisible ? Expliquer.
3. Même question pour $e(t) = A\cos 2\pi f_e t)$.
4. En pratique, comment doit-on choisir la fréquence d'échantillonnage pour éviter les problèmes de la question précédente ?
On considère maintenant un filtre passe-bande, associé à l'équation différentielle :

$$\frac{d^2s(t)}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q}\frac{ds(t)}{dt} + \omega_0^2 s(t) = \frac{\omega_0}{Q}\frac{de(t)}{dt}$$

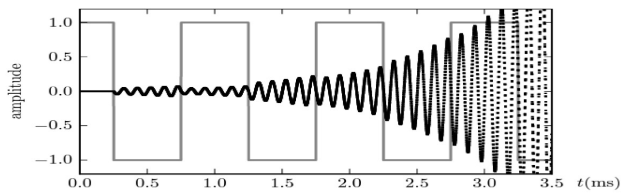
La période d'échantillonnage est notée $T_e$.
5. Montrer que l'équation aux différences peut se mettre sous la forme :

$$s_k = 2s_{k-1} - s_{k-2}(1+\beta^2) + \frac{\beta}{Q}(e_{k-1} - e_{k-2} - s_{k-1} + s_{k-2})$$

et préciser la valeur de $\beta$ en fonction des paramètres.
6. La simulation représentée ci-dessous a été obtenue avec $T_e = 1\mu s$, $f_0 = \dfrac{\omega_0}{2\pi} = 5kHz$, pour un signal d'entrée rectangulaire de fréquence f= 1 kHz. Déterminer approximativement la valeur de Q.



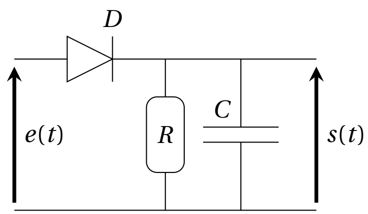

7. Il est délicat de réaliser des filtres passe-bande de facteur de qualité Q élevé en électronique analogique, à cause entre autre du manque de précision des composants. On pourrait penser que l'électronique numérique ne souffre pas de ce défaut. La simulation ci-dessous a été obtenue avec les mêmes paramètres que précédemment, sauf Q=50.




Comment qualifie-t-on le comportement de ce filtre ? Conclure quant-à la validité de la méthode proposée.

**Exercice 19**

On considère le schéma ci-dessous.




1) La tension d'entrée est sinusoïdale : $e(t) = 10\cos(\omega_0 t)$ de fréquence $f_0 = 455\,\text{kHz}$. La constante de temps $RC$ est grande devant la période $T_0$, $s(t)$ est environ constante : $s(t) = V_0$. Calculer $V_0$.
2) La tension $e(t)$ est modulée en amplitude :
$e(t) = 10(1 + m\cos(\Omega t))\cos(\omega_0 t)$ avec $\Omega \ll \omega_0$. L'enveloppe de $e(t)$ a pour fréquence $F = 5\,\text{kHz}$.

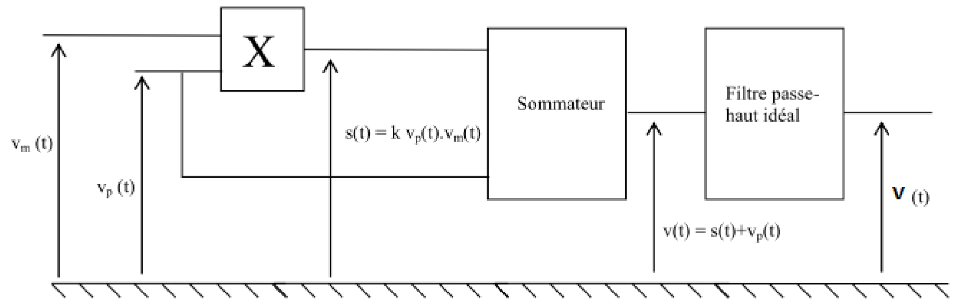
a) On suppose que la constante de temps $RC$ est petite devant la période $T$ du signal modulant. Déterminer l'expression de $s(t)$.
b) Lorsque la diode est passante, donner l'expression de l'intensité $i_d$ traversant la diode en fonction de $R$, $C$ et $e(t)$.
c) Montrer que le courant $i_d$ peut se mettre sous la forme suivante lorsque la diode est passante :

$$i_d = \frac{V_0}{R}\left[1 + m\sqrt{1+(RC\Omega)^2}\cos(\Omega t + \varphi)\right],$$

avec $\tan\varphi = RC\Omega$.
Pour qu'il n'y ait pas de distorsion lors de la démodulation, le courant $i_d$ ne doit pas s'annuler quand la diode est passante. En déduire une condition sur la constante de temps $RC$ en fonction du taux de modulation $m$ et de la basse fréquence $F$.
d) On choisit un taux de modulation $m = 70\%$ et $RC > 10T_0$ pour éliminer la haute fréquence. Donner les valeurs possibles de $RC$.

**Exercice 20**

Modulation BLU
1/ On considère un signal sinusoïdal $v_m(t) = V_M\cos(\omega_m t)$ de fréquence $f_m$ comprise entre 0,2 kHz et 20 kHz. Pour véhiculer l'information à grande distance sous forme d'onde électromagnétique, on réalise une modulation d'amplitude dite à bande latérale unique (BLU). La porteuse est fournie par un oscillateur sinusoïdal haute fréquence de fréquence $f_p = 500$ kHz particulièrement stable : $v_p(t) = V_p\cos(\omega_p t)$.
La modulation s'effectue à l'aide d'un circuit (figure) comprenant un multiplieur de constante multiplicative $k$, un additionneur et un filtre passe-haut idéal.

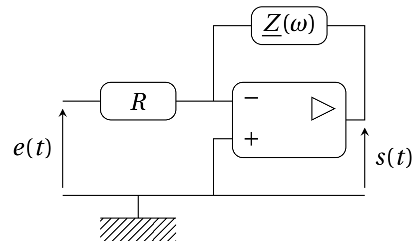



Le filtre passe-haut idéal possède une fréquence de coupure $f_c = 500{,}1$ kHz.
1/ Déterminer les variations temporelles et le spectre en fréquence de $V(t)$.

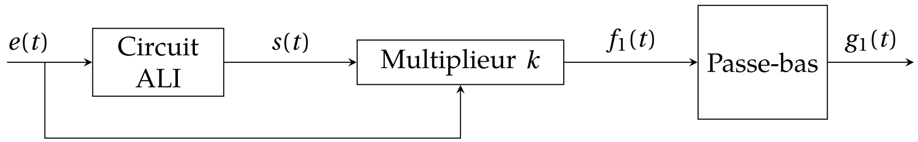
2/ Montrer qu'on peut encore retrouver le signal informatif en utilisant la technique de démodulation synchrone. Quel est le problème technique qui risque cependant de se poser ?

**Exercice 21**

Soit le circuit suivant, où $Z(\omega) = Z_{(}\omega) + jZ_i(\omega)$ :




1) Montrer que le circuit ci-dessous permet d'obtenir $R(\omega)$.




2) Montrer que le circuit ci-dessous permet d'obtenir $L(\omega)$.