



## DV2 : Analyse des signaux et systèmes du 1er ordre.



### Objectifs

Ce second devoir de vacances vous propose de revenir sur l'un des thèmes majeur pour l'étude des systèmes électronique concernant l'analyse fréquentielle des signaux. Ce devoir est aussi l'occasion de revoir les filtres passe bas et passe haut du 1er ordre.



### Exercice n°1 : Générateur de test pour lignes de téléphone



Afin de tester les lignes téléphoniques, on dispose d'un testeur portable permettant d'injecter un signal de tonalité simple ou multiple. Dans un premier temps on délivre sur la sortie de test un signal sinusoïdal tel que  $S_{1T}(t) = U \cdot \sin(2\pi \cdot f_a \cdot t)$  avec  $U = 1,5V$  et  $f_a = 1kHz$

**Q1 :** Quelle est l'expression et la valeur de la pulsation de ce signal ?

**Q2 :** Représenter le signal  $S_{1T}$  en fonction du temps en précisant sa période et représenter son spectre en amplitude.

**Q3 :** Exprimer et calculer la valeur efficace de ce signal. En déduire son niveau en dBV.

Afin de compléter le test de la ligne, il est possible d'obtenir une sortie avec 2 tonalités. Dans ce cas on dispose sur la sortie du signal :  $S_{2T}(t) = U_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t) + U_2 \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 \cdot t)$  avec  $U_1 = 2V$   $U_2 = 1V$   $f_1 = 300Hz$  &  $f_2 = 3400Hz$ .

**Q4 :** Représenter le spectre en amplitude et en puissance normalisée du signal  $S_{2T}$

**Q5 :** A partir du tracé précédent en déduire l'expression de la valeur efficace du signal  $S_{2T}$  en fonction de  $U_1$  et  $U_2$  et effectuer l'application numérique correspondante.



### Exercice n°2 : Analyse fréquentielle d'un signal sur une ligne audio



On injecte sur une ligne audio un signal sinusoïdal de test (de fréquence  $f_a$  et d'amplitude crête  $V_a$ ). En effectuant une analyse fréquentielle du signal en bout de ligne sur un oscilloscope numérique, on met en évidence la présence d'une autre composante sinusoïdale de fréquence  $f_r < f_a$  et d'amplitude  $V_r$  perturbant le signal audio de test.

**Q1 :** Quel est le nom couramment utilisé pour désigner l'analyse fréquentielle que l'on obtient sur un oscilloscope numérique ? Quelle règle doit-on respecter pour ce type d'analyse ?

**Q2 :** Le résultat affiché par l'analyse fréquentielle de l'oscilloscope nous donne une mesure d'amplitude en dBV. On rappelle que

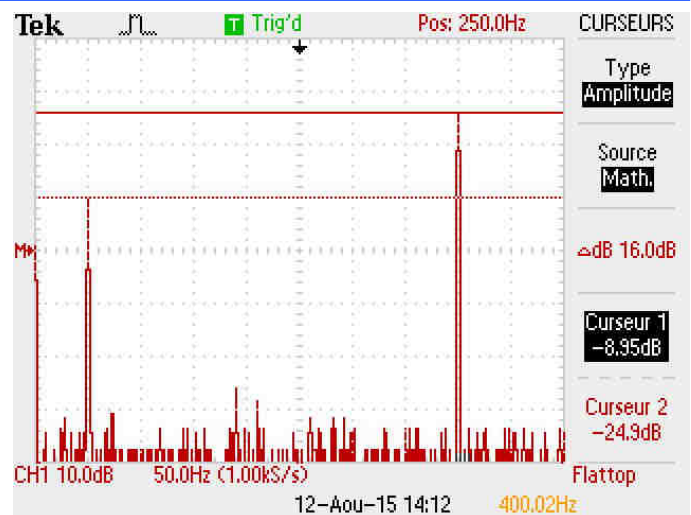
$$U_{dBV} = 20 \cdot \log \left( \frac{U_{eff}}{1V} \right).$$

Proposer alors une autre relation pour une composante sinusoïdale d'amplitude crête  $\hat{U}$ .

**Q3 :** Donner l'expression du signal mesuré en bout de ligne  $V_{audio}(t)$  en fonction de  $t$ ,  $V_a$ ,  $f_a$ ,  $V_r$  et  $f_r$ .

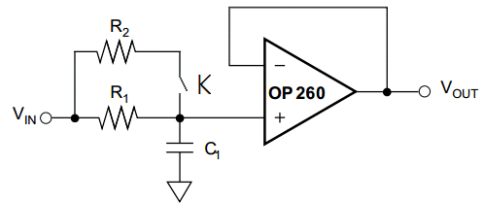
**Q4 :** A quoi correspondent les quantités 50Hz et 1.00KS/s indiquées sur l'écran de l'oscilloscope ?

**Q5 :** A partir des indications fournies sur l'analyse fréquentielle en déduire les valeurs des fréquences  $f_a$  &  $f_r$  ainsi que des amplitudes  $V_a$  &  $V_r$ .



### Exercice n°3 : Un filtre passe bas pour une sortie audio

On considère le montage ci-contre utilisé en sortie d'une ligne audio. On donne  $C_1=2,2nF$ . L'interrupteur K permet de choisir entre 2 valeurs de fréquence de coupure :  $f_{c1}=4kHz$  ou  $f_{c2}=10kHz$ .



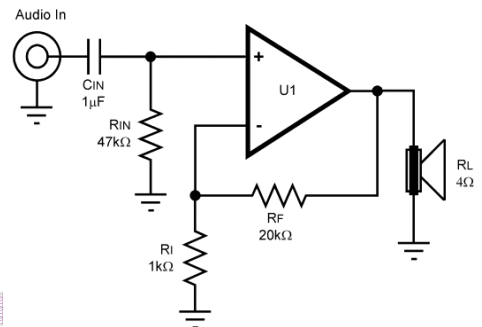
**Q1 :** Donner les expressions des 2 fréquences de coupures et en déduire les valeurs de  $R_1$  et  $R_2$

**Q2 :** Quel est le nom du montage à ampli-op et quel est son rôle ?

**Q3 :** On connecte sur l'entrée du filtre un signal sinusoïdal de fréquence 40kHz et d'amplitude 1V crête. Représenter le signal en sortie du filtre lorsque l'interrupteur K est ouvert.

### Exercice n°4 : Un amplificateur audio

On considère le montage suivant qui représente un amplificateur audio.



**Q1 :** Quel est le comportement d'un condensateur C lorsque la fréquence tend vers 0 ? Même question lorsque la fréquence est très grande. En déduire la nature du filtre formé par le couple C\_IN R\_IN et calculer la fréquence de coupure de ce filtre.

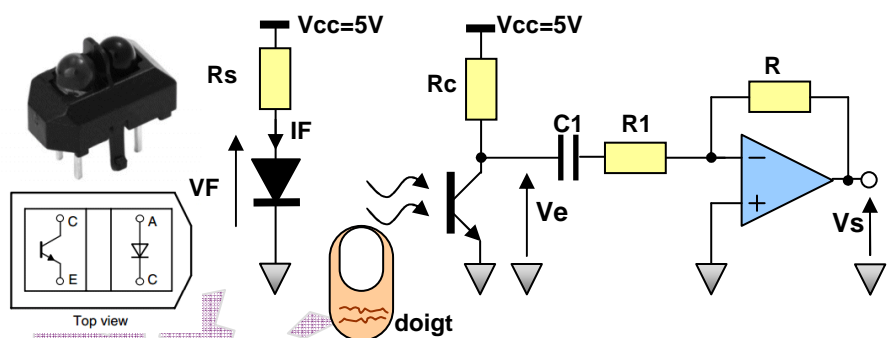
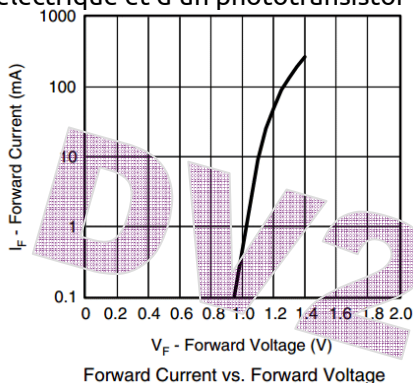
**Q2 :** Quelle est la fonction réalisée par le montage à amplificateur opérationnel. Calculer le gain en dB de ce montage.

**Q3 :** Tracer l'allure du diagramme de Bode asymptotique uniquement en gain pour l'ensemble du montage.

**Q4 :** On connecte sur l'entrée Audio du montage le signal  $E(t)=E_0+U.\sin(2\pi.f_1.t)$  avec  $E_0=1,5V$ ,  $U=100mV$  et  $f_1=1kHz$ . Représenter le signal aux bornes du haut-parleur. Vérifier le résultat en effectuant une simulation LTSpice correspondante.

### Exercice n°5 : Mesure du rythme cardiaque

On propose l'étude d'un capteur optique et d'un amplificateur de réception pour un oxymètre de pouls permettant la mesure du battement cardiaque en utilisant l'extrémité d'un doigt. Le montage est représenté sur la figure ci-contre dans lequel on utilise un ampli-op que l'on suppose parfait et qui fonctionne en régime linéaire. Par ailleurs le capteur TCRT5000 est constituée d'une diode infrarouge dont on donne la caractéristique électrique et d'un phototransistor



**Q1 :** En sachant que l'on souhaite un courant  $I_F$  de 10mA circulant dans la diode infrarouge en déduire la valeur de la résistance  $R_S$ .

**Q2 :** Montrer que la fonction de transfert du montage amplificateur peut s'écrire sous la forme suivante. Exprimer K et  $\omega_{c1}$  en fonction de R,  $R_1$  &  $C_1$ .

$$\frac{V_S(j\omega)}{V_e(j\omega)} = K \cdot \frac{j\omega}{1 + \frac{j\omega}{\omega_{c1}}}$$

**Q3 :** Comme on fixe  $R_C=2,2k\Omega$ , on impose une résistance  $R_1=22k\Omega$  pour ne pas perturber la polarisation du phototransistor. Calculer la valeur de  $C_1$  afin d'obtenir une fréquence de coupure  $f_{c1}=0,33Hz$ .

**Q4 :** Comme on souhaite obtenir une amplification  $|K|=100$  en déduire la valeur de la résistance R.

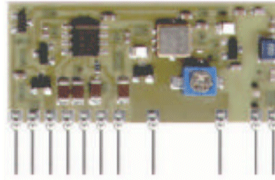
**Q5 :** Représenter l'allure du diagramme de Bode de ce filtre et indiquer la nature de ce filtre.

**Q6 :** On suppose que la tension délivrée par le phototransistor est de la forme :  $V_e(t) = E_0 + E_1 \cdot \sin(2\pi f_1 t)$  avec  $E_0 = 1V$   $E_1 = 10mV$  et la fréquence  $f_1$  correspond a un battement cardiaque de 90BPM. En régime permanent, représenter le signal  $V_s(t)$  en sortie de l'amplificateur opérationnel en sachant que celui-ci est alimenté sous une tension symétrique +/-5V. Vérifier le résultat en effectuant une simulation LTSpice correspondante.

## Exercice n°6 : Un circuit de préaccentuation

On s'intéresse dans le cadre de ce problème au circuit de préaccentuation mis en œuvre dans un émetteur radio travaillant en modulation de fréquence et destiné à émettre un signal audio autour d'une fréquence porteuse de 433,8MHz.

### Module TX FM Audio



**Q1 :** Afin de simplifier l'étude on isole volontairement le circuit de préaccentuation. A partir des indications portées sur le schéma synoptique de l'émetteur, donner les valeurs de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $C$ .

**Q2 :** Lorsque la fréquence du signal d'entrée tend vers 0, comment se comporte le condensateur  $C$ ? Dans ces conditions exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .

**Q3 :** Lorsque la fréquence est cette fois ci très grande, comment se comporte le condensateur  $C$ ? Dans ces conditions exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .

**Q4 :** Afin de caractériser de façon plus précise le montage, exprimer la fonction de transfert de ce montage et

montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :  $\frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)} = K \cdot \frac{1 + \frac{j\omega}{\omega c_1}}{1 + \frac{j\omega}{\omega c_2}}$  avec  $K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Exprimer  $\omega c_1$  et  $\omega c_2$  en fonction de  $R_1, R_2$  et  $C$

**Q5 :** Donner les valeurs des fréquences  $f_{c1}$  et  $f_{c2}$  ainsi que du coefficient  $K$ .

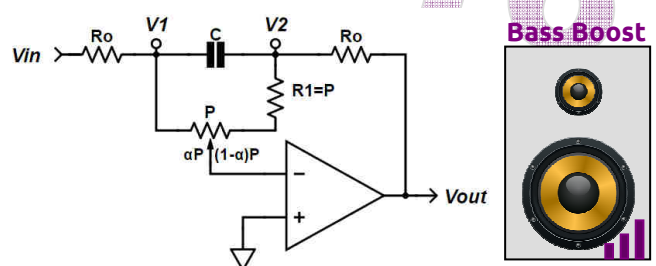
**Q6 :** Exprimer le module de la fonction de transfert en fonction de  $f$ . Calculer alors le gain en dB pour les valeurs de fréquences suivantes :  $f_{c1}$ ,  $\sqrt{f_{c1} \cdot f_{c2}}$ ,  $f_{c2}$

**Q6 :** Tracer l'allure du diagramme de Bode asymptotique et réel et vérifier votre résultat en effectuant une simulation LTSpice de ce montage.

**Q7 :** Dans le cas d'une liaison en modulation de fréquence, le niveau de bruit à la sortie du démodulateur est plus élevé pour les fréquences du signal audio élevées. Comme par ailleurs le niveau des composantes fréquentielles de la voix a tendance à diminuer lorsque la fréquence augmente, le rapport signal sur bruit pour la partie haute du spectre audio devient donc très mauvais. Montrer que le module proposé répond bien à cette problématique.

## Exercice n°7 : Un amplificateur bass boost

On s'intéresse dans ce problème à un filtre visant à rehausser le niveau des basses pour un signal audio. On propose le montage représenté sur la figure 1 ci-contre dans lequel on suppose que l'amplificateur opérationnel est parfait et fonctionne en régime linéaire. On donne les valeurs suivantes :  $R_o = 22k\Omega$ ,  $P = R_1 = 47k\Omega$ ,  $C = 22nF$



**Q1 :** En exprimant le théorème de Millman aux points  $V_1$ ,  $V_2$  &  $V_-$  montrer que la fonction de transfert de ce

montage peut s'écrire sous la forme  $\frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)} = K \cdot \frac{1 + \frac{j\omega}{\omega c_1}}{1 + \frac{j\omega}{\omega c_2}}$

**Q2 :** Quelle est l'expression du module de la fonction de transfert lorsque la fréquence du signal d'entrée tend vers 0. Montrer alors que le gain en dB de l'amplificateur bass boost est fonction du paramètre  $\alpha$ . En utilisant le logiciel Scilab, tracer l'évolution de ce gain pour  $\alpha$  variant entre 0 et 1 : `a1pha=0:0.1:1` ;

**Q3 :** Montrer que le module de la fonction de transfert tend vers 1 lorsque la fréquence du signal d'entrée est très grande. Justifier alors le terme bass boost de ce montage.

**Q4 :** Vérifier le bon fonctionnement de ce montage en effectuant une analyse paramétrique avec le logiciel de simulation LTSpice.

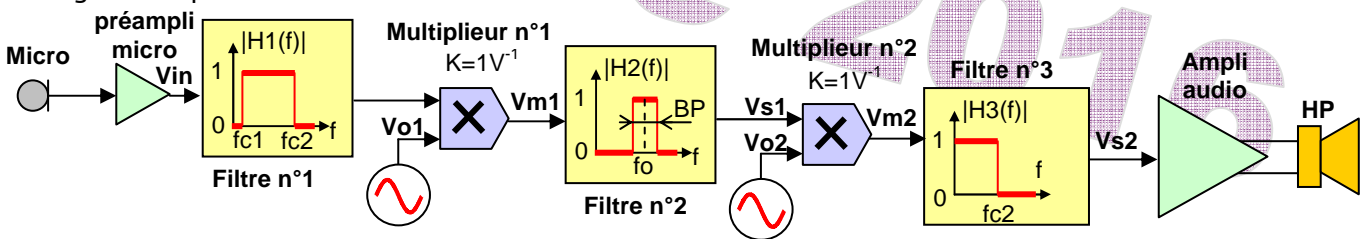
### Exercice n°8 : Un changeur de voix

Dans le cadre de ce problème, on vous propose l'étude d'un changeur de voix qui consiste à décaler le spectre en fréquence de la voix. Un décalage  $\Delta f$  d'une centaine de Hz suffit à modifier totalement la perception de la voix d'une personne. Le schéma synoptique de ce changeur de voix est représenté sur la figure ci-dessous. Pour simplifier l'étude de ce dispositif on suppose que le signal délivré par le micro est sinusoïdal. Ainsi on pose  $V_{in}(t) = V_i \cdot \cos(2\pi \cdot f_i \cdot t)$  avec  $V_i = 1V$  et  $f_i = 1kHz$ .



Par ailleurs on donne les éléments suivants :

- Le filtre H1(f) est un filtre passe bande dont on donne  $f_{c1} = 100Hz$  &  $f_{c2} = 5kHz$
- Le filtre H2(f) est un filtre passe bande centrée sur 455kHz et dont la bande passante BP est de 2,5kHz.
- Le filtre H3(f) est un filtre passe bas dont la fréquence de coupure est de 5kHz.
- On suppose que les 3 filtres sont idéaux : le module est égal à 1 dans la bande passante est nul en dehors.
- $V_{o1}(t) = V_o \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t)$  et  $V_{o2}(t) = V_o \cdot \cos(2\pi \cdot f_2 \cdot t)$  avec  $V_o = 2V$ ,  $f_1 = 452,5kHz$  et  $f_2 = f_1 - \Delta f$  où  $\Delta f$  représente le décalage en fréquence. On fixe  $\Delta f = 200Hz$ .



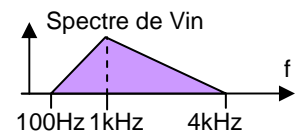
**Q1 :** Exprimer le signal  $V_{m1}$  à la sortie du premier multiplieur et montrer que celui fait apparaître 2 fréquences que vous préciserez. On rappelle la relation suivante :  $\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} \cdot \cos(a+b) + \frac{1}{2} \cdot \cos(a-b)$

Tracer le module du spectre en amplitude du signal  $V_{m1}$ .

**Q2:** Compte tenu de la fonction de transfert du filtre passe bas n°2, exprimer le signal  $V_{s1}$  en fonction du temps.

**Q3:** Exprimer le signal  $V_{m2}$  à la sortie du second multiplieur et en déduire le signal  $V_{s2}$  à la sortie du filtre passe bas n°2.

**Q4:** Quelle est l'action du montage entre le signal d'entrée  $V_{in}$  et le signal de sortie  $V_{s2}$  ? Si l'on considère que le spectre de la voix (entrée  $V_{in}$ ) est constitué par l'occupation suivante, représenter l'allure du spectre sur la sortie  $V_{s2}$ .

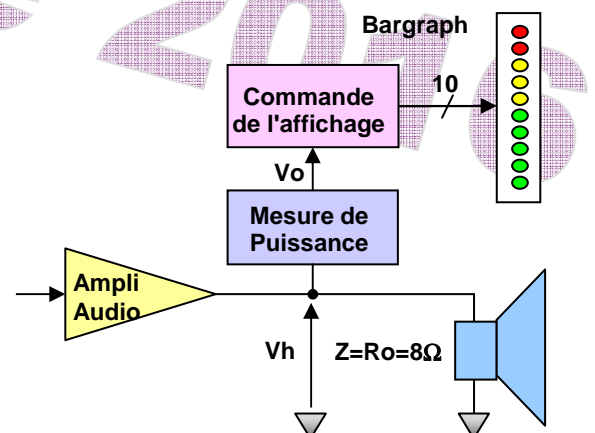


### Exercice n°9 : Un vumètre audio

Le schéma synoptique du vumètre audio est représenté sur la figure ci-contre. Il se connecte à la sortie de l'amplificateur audio et en parallèle avec le haut-parleur. Le niveau de puissance est affiché sur un bargraph à 10 LEDs.

**Q1 :** Si  $V_{h_{eff}}$  désigne la valeur efficace de la tension  $V_h$ , exprimer la puissance  $P$  délivrée dans le haut-parleur en fonction de  $V_{h_{eff}}$  et  $R_o$ .

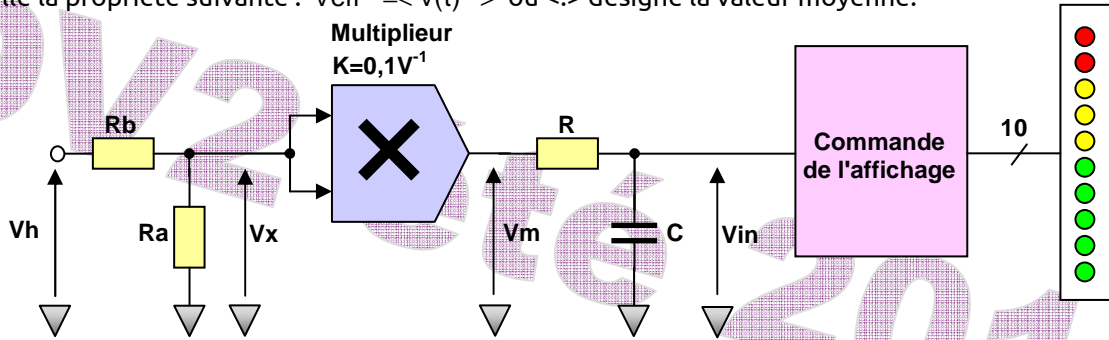
**Q2 :** Si l'on considère que  $V_h$  est momentanément un signal sinusoïdal, quelle est l'amplitude crête de  $V_h$  si la puissance atteint la valeur de 50W ?





On propose pour la réalisation du vumètre audio le montage simplifié ci-dessous mettant en œuvre un multiplieur analogique suivi d'un filtre passe bas.

On rappelle la propriété suivante :  $V_{eff}^2 = \langle v(t)^2 \rangle$  où  $\langle . \rangle$  désigne la valeur moyenne.



**Q3 :** Exprimer  $V_m$  en fonction de  $V_h$ ,  $K$ ,  $R_a$  et  $R_b$ .

**Q4 :** Pour quelle raison obtient-on  $V_{in} = \langle V_m \rangle$  si l'on choisit une fréquence de coupure très petite pour le filtre passe bas RC ?

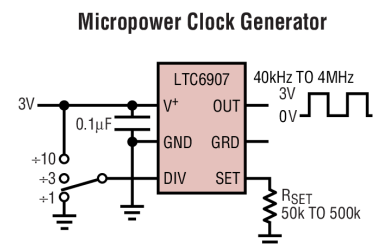
**Q5 :** En utilisant les résultats des questions précédentes, montrer que  $V_{in}$  est l'image de la puissance délivrée dans le haut parleur et que la relation est de la forme :  $V_{in} = \alpha \cdot P$  où  $\alpha$  est une fonction de  $K$ ,  $R_o$ ,  $R_a$  et  $R_b$ .

**Q6 :** Quelle est l'unité du coefficient  $\alpha$  ? On désire obtenir un niveau  $V_{in} = 2,5V$  pour une puissance  $P=50W$ . En déduire le rapport  $R_b/R_a$ .

### Exercice n°10 : Un oscillateur intégré

On désire générer un signal carré 0-3V de fréquence 1,25MHz avec le circuit LTC6907. La fréquence est fixée par une résistance  $R_{SET}$  et une entrée permettant de choisir entre 3 valeurs de divisions. On donne :

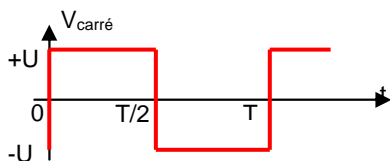
$$f_{OUT} = \frac{4MHz}{N} \cdot \left( \frac{50k}{R_{SET}} \right), N = \begin{cases} 10, & \text{DIV Pin} = V^+ \\ 3, & \text{DIV Pin} = \text{Open} \\ 1, & \text{DIV Pin} = \text{GND} \end{cases}$$



**Q1 :** Proposer une valeur pour la résistance  $R_{SET}$  et indiquer le réglage sur l'entrée DIV afin de répondre au cahier des charges tout en respectant les indications fournies sur le schéma d'application.

**Q2 :** Montrer que le signal carré peut être vu comme la somme d'une composante continue avec un signal carré symétrique. Exprimer les amplitudes en fonction de  $V_{dd}=3V$ .

**Q3 :** En utilisant les résultats précédents et le rappel suivant, tracer le spectre en amplitude du signal d'horloge pour une fréquence comprise entre 0 et 8MHz en précisant l'amplitude (expression & valeur) des différentes composantes fréquentielles.



$$V_{carré}(t) = \frac{4U}{\pi} \cdot \left[ \sin(\omega t) + \frac{1}{3} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \cdot \sin(5\omega t) + \dots \right]$$

**Q4 :** On connecte le signal en sortie de l'oscillateur sur un filtre très sélectif centré sur 3,75MHz et dont le gain max est de -6dB. Quelle est la forme et l'amplitude du signal en sortie de ce filtre ?

### Exercice n°11 : Reconstruction d'un signal triangulaire

**Q1 :** Ecrire un script permettant d'illustrer la reconstruction d'un signal triangulaire en utilisant la composante fondamentale et les harmoniques de rang 3 & 5. On fixe l'amplitude du signal triangulaire  $U=1V$  et sa fréquence  $f=1kHz$ .