



DV5 : Montages à amplificateur opérationnel mono tension et Filtrage analogique & numérique



Objectifs

Ce cinquième devoir de vacances vous propose de revenir sur l'étude des montages à amplificateur opérationnel alimentés sous une tension simple. Cette étude est l'occasion de mettre en application le théorème de superposition. Par ailleurs nous vous proposons l'étude du filtrage électrique analogique permettant de revoir le concept des fonctions d'approximations classiques (Butterworth, Chebyshev,..). Pour terminer l'étude de filtres numériques avec le logiciel Scilab complète ce devoir.



Exercice n°1 : Un préamplificateur pour microphone

On considère le montage suivant qui représente un préamplificateur pour microphone électret.

Q1 : On se place dans un premier temps en régime continu. Comment se comportent les condensateurs en continu ? Quelle est la tension sur la borne + de l'ampli-op ? En déduire la tension sur la sortie de l'ampli-op.

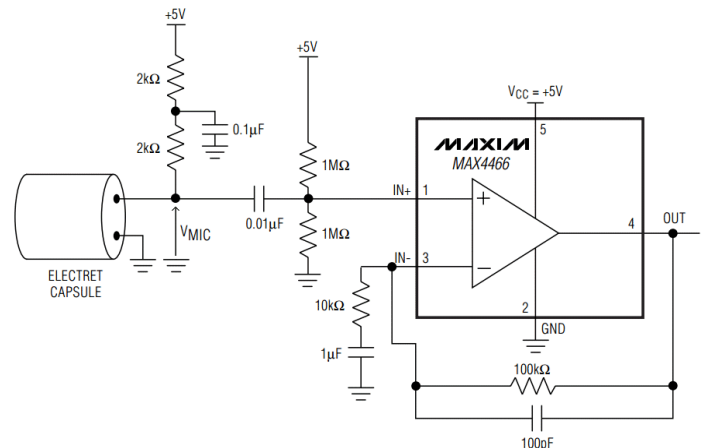
Q2 : On se place maintenant d'un point de vue du régime alternatif. Quelle est l'action du condensateur de 100pF en parallèle avec la résistance de 100kΩ ? En déduire une fréquence de coupure.

Q3 : Quelle est l'action du condensateur de 1μF en série avec la résistance de 10kΩ ? En déduire une fréquence de coupure.

Q4 : Si l'on se place entre ces 2 fréquences de coupures, calculer l'amplification apportée par ce montage.

Q5 : Quelle est le schéma équivalent formé par le condensateur de 0,01μF et des 2 résistances de 1MΩ en régime alternatif. En déduire le type de filtre et la fréquence de coupure correspondante.

Q6 : On suppose que la tension aux bornes du microphone est de la forme $V_{mic}(t) = V_0 + V_1 \cdot \sin(2\pi f_1 t)$ avec $V_0 = 3V$, $V_1 = 10mV$ et $f_1 = 1kHz$. Représenter en concordance de temps V_{mic} et la sortie de l'amplificateur opérationnel.



Exercice n°2 : Un amplificateur pour casque stéréo

Single-Supply Stereo Headphone Driver

Two AS1710 amplifiers can be used as a single-supply, stereo headphone driver. The circuit shown in Figure 1 can deliver 60mW per channel with 1% distortion from a single 5V supply. In Figure 1, C_{IN} and R_{IN} form a (1) filter that removes the DC bias from the incoming signal. The -3dB point of the high-pass filter is given by (2)

Choose gain-setting resistors R_{IN} and R_F according to the amount of desired gain, keeping in mind the maximum output amplitude.

 (3) blocks the DC component of the amplifier output, preventing DC current flowing to the load. The output capacitor and the load impedance form a high-pass filter with the -3dB point determined by: (4)

For a 32Ω load, a 100μF aluminum electrolytic capacitor gives a low-frequency pole at Hz (5)

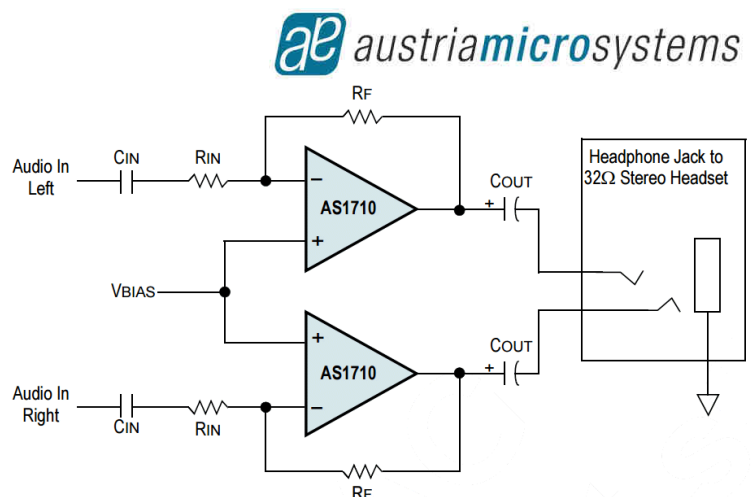


Figure 1. Stereo Headphone Driver Application

Q1 : Compléter le texte en anglais en reportant les numéros sur votre copie.

Q2 : On fixe l'impédance d'entrée du montage à 47kΩ et la fréquence de coupure en entrée à 5Hz. Par ailleurs on souhaite obtenir un gain de 26dB. En déduire les valeurs des composants R_{IN} , C_{IN} et R_F .

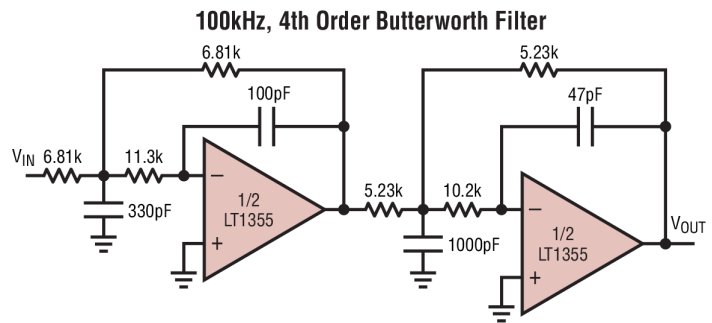
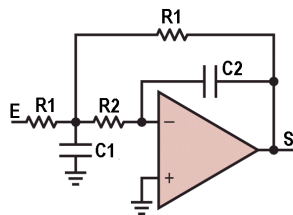
Q3 : Quel est le rôle de la tension continue V_{BIAS} ? On fixe $V_{BIAS}=2,5V$ en sachant que la tension d'alimentation est de 5V. Comment générer simplement cette tension ?

Q4 : On connecte sur les entrées gauche et droite un signal sinusoïdal d'amplitude 200mVpp de fréquence 1kHz. Représenter le signal en sortie du circuit AS1710 et aux bornes de l'écouteur. En déduire la puissance obtenue aux bornes de l'écouteur. Cette valeur est elle cohérente avec les indications proposées dans la documentation constructeur ?

Exercice n°3 : Etude d'une solution de filtrage

On vous propose d'étudier la solution de filtrage proposée dans une note d'application constructeur de l'ampli-op LT1355.

Le filtre est constitué de 2 cellules de Rauch passe bas du 2nd ordre dont on rappelle le schéma ci-contre :



Q1 : Quelles sont les propriétés des filtres dont la fonction d'approximation est de Butterworth ?

Q2 : Calculer la fonction de transfert d'une cellule de Rauch passe bas et montrer qu'elle peut s'écrire sous la forme indiquée ci-contre.

$$\frac{S(j\omega)}{E(j\omega)} = \frac{-1}{1 + jC2\omega(2R2 + R1) + (j\omega)^2 R1R2C1C2}$$

Q3 : En utilisant les valeurs des composants proposés sur le schéma d'application, montrer que ce filtre réalise bien un filtre Butterworth de fréquence de coupure 100kHz dont on rappelle la fonction de transfert canonique ci-contre.

$$H(f) = \frac{1}{1 + 1,84 \cdot \left(\frac{jf}{fc}\right) + \left(\frac{jf}{fc}\right)^2} \cdot \frac{1}{1 + 0,76 \cdot \left(\frac{jf}{fc}\right) + \left(\frac{jf}{fc}\right)^2}$$

Q4 : Montrer que le problème de filtrage précédent peut être réalisé en utilisant un circuit LTC1563 dont vous préciserez la référence et dont vous donne ci-dessous un extrait de documentation constructeur (**LTC 1563-2/LTC1563-3 Active RC, 4th Order Lowpass Filter Family**). Quel est l'avantage de cette solution ? En déduire la valeur de la résistance R qu'il convient de choisir.

FEATURES

- Extremely Easy to Use—A Single Resistor Value Sets the Cutoff Frequency ($256\text{kHz} < f_c < 256\text{kHz}$)
- Extremely Flexible—Different Resistor Values Allow Arbitrary Transfer Functions with or without Gain ($256\text{kHz} < f_c < 256\text{kHz}$)
- Supports Cutoff Frequencies Up to 360kHz Using FilterCAD™
- LTC1563-2: Unity-Gain Butterworth Response Uses a Single Resistor Value, Different Resistor Values Allow Other Responses with or without Gain
- LTC1563-3: Unity-Gain Bessel Response Uses a Single Resistor Value, Different Resistor Values Allow Other Responses with or without Gain
- Rail-to-Rail Input and Output Voltages
- Operates from a Single 3V (2.7V Min) to ±5V Supply
- Low Noise: $36\mu\text{VRMS}$ for $f_c = 25.6\text{kHz}$, $60\mu\text{VRMS}$ for $f_c = 256\text{kHz}$
- f_c Accuracy $< \pm 2\%$ (Typ)
- DC Offset $< 1\text{mV}$
- Cascadable to Form 8th Order Lowpass Filters
- Available in Narrow SSOP-16 Package

APPLICATIONS

- Discrete RC Active Filter Replacement
- Antialiasing Filters
- Smoothing or Reconstruction Filters
- Linear Phase Filtering for Data Communication
- Phase Locked Loops

DESCRIPTION

The LTC[®]1563-2/LTC1563-3 are a family of extremely easy-to-use, active RC lowpass filters with rail-to-rail inputs and outputs and low DC offset suitable for systems with a resolution of up to 16 bits. The LTC1563-2, with a single resistor value, gives a unity-gain Butterworth response. The LTC1563-3, with a single resistor value, gives a unity-gain Bessel response. The proprietary architecture of these parts allows for a simple resistor calculation:

$$R = 10k (256\text{kHz}/f_c); f_c = \text{Cutoff Frequency}$$

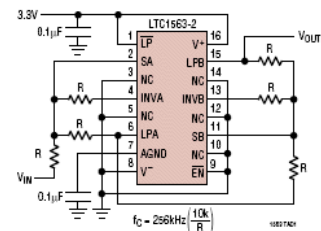
where f_c is the desired cutoff frequency. For many applications, this formula is all that is needed to design a filter. By simply utilizing different valued resistors, gain and other responses are achieved.

The LTC1563-X features a low power mode, for the lower frequency applications, where the supply current is reduced by an order of magnitude and a near zero power shutdown mode.

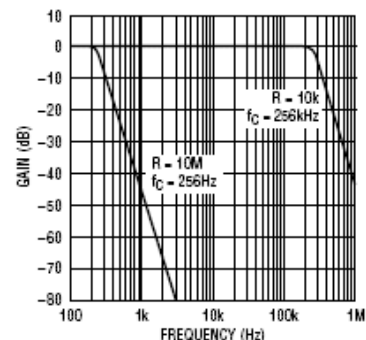
The LTC1563-Xs are available in the narrow SSOP-16 package (Same footprint as an SO-8 package).

TYPICAL APPLICATION

Single 3.3V, 256Hz to 256kHz Butterworth Lowpass Filter



Frequency Response

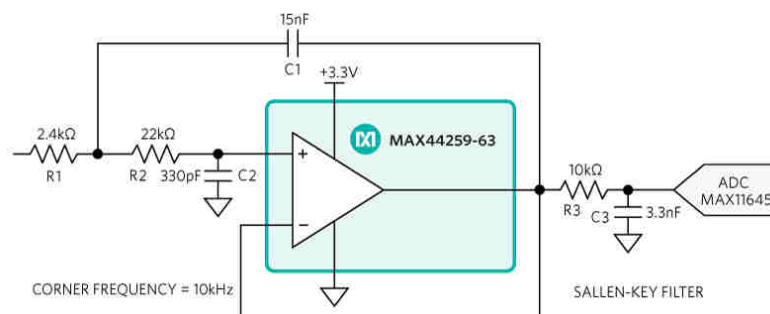


Exercice n°4 : Un filtre anti-repliement

On vous propose d'étudier le filtre passe bas anti-repliement proposé comme exemple d'application de l'ampli-op MAX44259 dont le schéma est représenté ci-contre.

Le filtre passe bas est constitué d'un cellule de type Sallen&Key dont on donne la fonction de transfert :

$$T(j\omega) = \frac{S(j\omega)}{E(j\omega)} = \frac{1}{1 + jC_2\omega(R_1 + R_2) + (j\omega)^2 C_1 C_2 R_1 R_2}$$



Q1 : Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme d'une fonction de transfert canonique passe bas du 2nd ordre dont vous exprimerez les paramètres caractéristiques m & ω_0 en fonction des éléments. Effectuer les applications numériques pour f_0 et m .

Q2 : Calculer la fréquence de coupure du filtre passe bas se situant sur l'entrée du convertisseur.

Q3 : Montrer simplement que la solution de filtrage retenue n'est pas une réponse de Butterworth mais s'apparente plus à une réponse de Tchebychev.

Exercice n°5 : Un filtre numérique à déterminer

On considère le filtre décrit par l'équation de récurrence suivante : $Y(n) = 1,5 \cdot Y(n-1) - 0,85 \cdot Y(n-2) + X(n) - X(n-2)$
On fixe la fréquence d'échantillonnage $F_e = 10\text{kHz}$.

Q1 : Exprimer la fonction de transfert en z et déterminer les valeurs des numérateurs et dénominateurs de la fonction de transfert en z classiquement utilisés dans la description d'un filtre numérique sous Scilab.

Q2 : Ecrire un script permettant de tracer la réponse fréquentielle de ce filtre en utilisant la fonction **frmag**.

Q3 : A partir du tracé précédent en déduire la nature de ce filtre et sa fréquence caractéristique.

Q4 : On vous demande d'écrire un script permettant d'illustrer le fonctionnement de ce filtre pour un signal sinusoïdal d'amplitude 1V de fréquence 1kHz. On effectuera un tracé de l'entrée et de la sortie en fonction du temps sur 10 périodes. Par ailleurs ce tracé sera effectué sur une même figure en utilisant la commande **subplot**.

Exercice n°6 : Synthèse d'un filtre réjeteur de fréquence

Dans le domaine de l'électronique biomédicale et pour améliorer la qualité des signaux de mesure il est indispensable de mettre en œuvre un réjeteur de fréquence ou filtre notch centrée sur la composante 50Hz que l'on retrouve dans un environnement électrique. Dans beaucoup de systèmes, on retrouve la structure suivante qui permet de réaliser une fonction de transfert sous la

forme suivante : $T(j\omega) = \frac{1 + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + \frac{j\omega}{Q\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$ avec $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

Dans le cadre d'une numérisation du signal on vous propose de réaliser ce filtre numériquement en utilisant comme référence la fonction de transfert précédente.

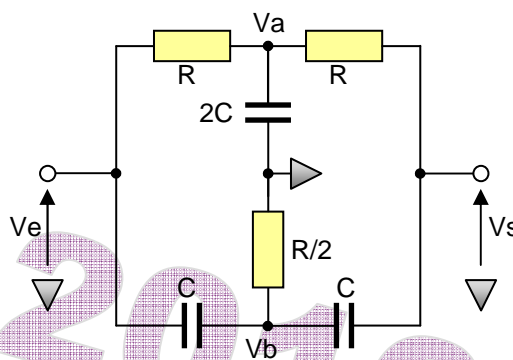


Figure 1 : Filtre notch

Q1 : Exprimer le module de la fonction de transfert et calculer sa valeurs lorsque $\omega \ll \omega_0$, $\omega = \omega_0$, $\omega \gg \omega_0$

Q2 : Quel est l'intérêt d'une réalisation de ce filtre en numérique ?

Pour effectuer le calcul de la fonction de transfert numérique on utilise la transformation bilinéaire en posant :

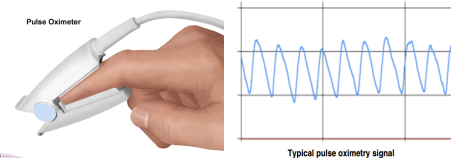
$$j\omega = \Omega \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \text{ avec } \frac{\Omega}{\omega_0} = \frac{1}{\tan\left(\frac{\omega_0 T_e}{2}\right)} = a \quad \text{pour obtenir une correspondance des fréquences centrales analogique et numérique}$$

Q3 : Exprimer la fonction de transfert en z sous la forme d'un numérateur et d'un dénominateur en z.

Q4 : Ecrire un script Scilab et tracer la réponse fréquentielle (sur 5000 points) du filtre numérique centrée sur la fréquence $f_0=50\text{Hz}$ pour un système échantillonné dont la fréquence $f_e=2\text{kHz}$. On fixe dans un premier temps $Q=1$.

Q5 : Ecrire un script Scilab permettant de tracer et comparer la réponse fréquentielle (sur 5000 points) pour différentes valeurs de Q : 1, 5 & 10 en choisissant des couleurs différentes.

Afin d'illustrer le bon fonctionnement de votre filtre ($Q=1$) on vous propose de créer un signal qui simule le signal récupéré sur un oxymètre de pouls et sur lequel on superpose une forte composante à 50Hz. Le signal mesuré par l'oxymètre est de la forme :



$$V = 0,77 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T_{Rcar}}\right) + 0,38 \cdot \sin\left(\frac{4\pi t}{T_{Rcar}}\right) \text{ où } T_{Rcar} \text{ représente la période du rythme cardiaque. Traditionnellement on}$$

exprime le rythme cardiaque en battement par minute (BPM). On en déduit donc que $T_{Rcar} = \frac{60}{\text{BPM}}$.

Q6 : Ecrire un script Scilab permettant de tracer sur la même figure et sur une représentation de 5000 points :

- ☞ Le signal échantillonné de l'oxymètre de pouls pour un battement de 90 BPM.
- ☞ La superposition du signal échantillonné de l'oxymètre de pouls précédent avec une composante sinusoïdale d'amplitude 5V.
- ☞ La sortie du filtre réjecteur en présence du signal perturbé sur son entrée (on fixe $Q=1$).

Q7 : Commenter le traitement numérique réalisé.