

# LABORATOIRES ELECTRONIQUES TP2 : ANNEXES

## TYPE DE FILTRE

### PASSE HAUT, DÉRIVATEUR

#### SCHÉMA

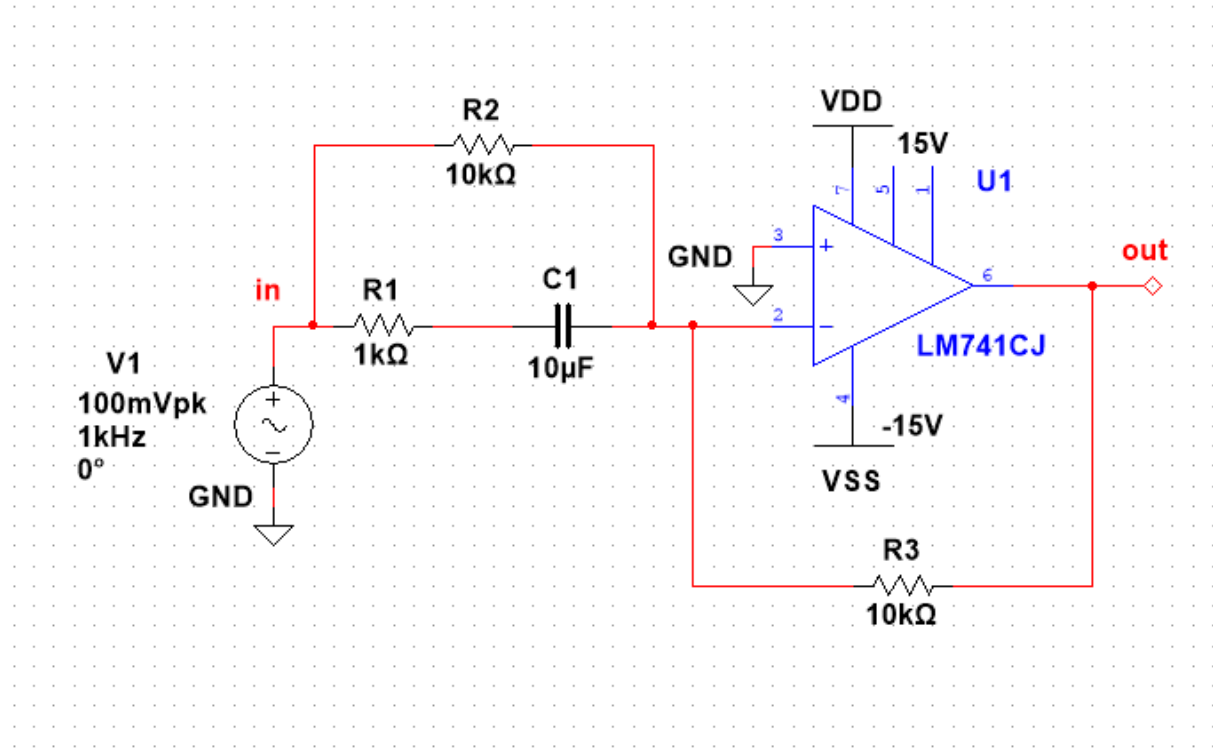


FIGURE 1 FILTRE PASSE HAUT, DÉRIVATEUR

#### FONCTION DE TRANSFERT

$$H_{HP}(j\omega) = -\frac{R_3}{Z_a}$$

Avec  $Z_a$  l'impédance équivalente formée par  $C_1$ ,  $R_1$  et  $R_2$

$$Z_a = \frac{R_2(1 + j\omega R_1 C_1)}{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}$$

$$H_{HP}(j\omega) = -\frac{\frac{R_2(1 + j\omega R_1 C_1)}{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}}{R_3} = -\frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}{(1 + j\omega R_1 C_1)}$$

Une simulation nous donne le résultat suivant

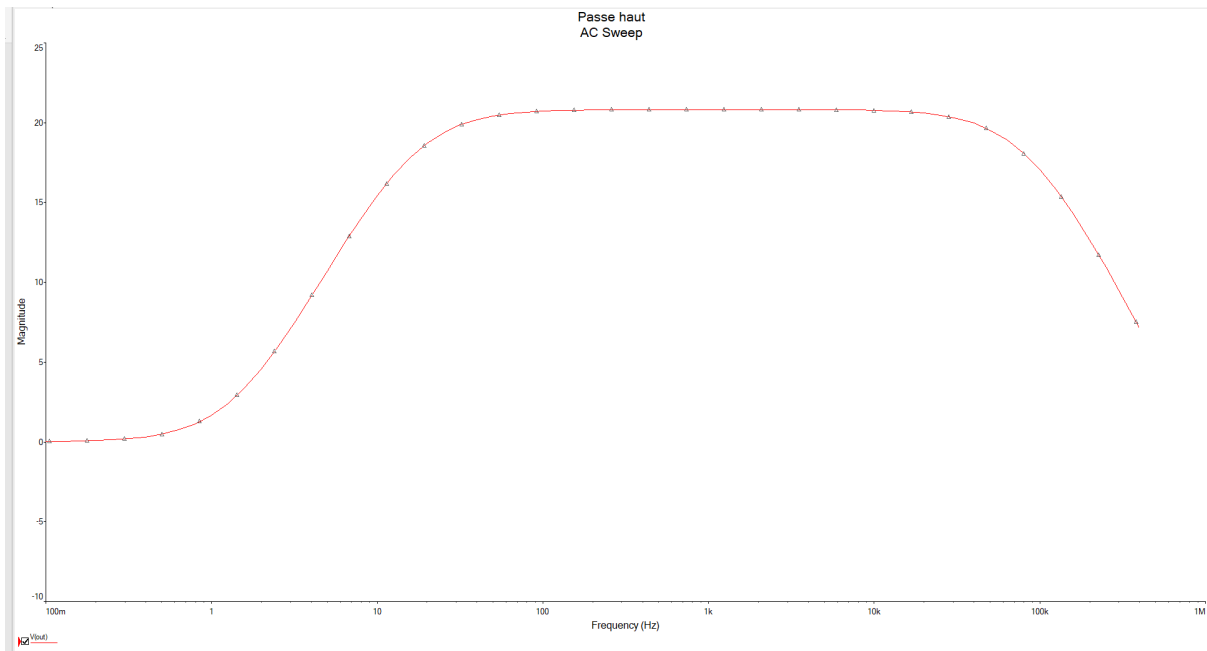


FIGURE 2 SIMULATION FILTRE PASSE HAUT

Notez la chute du gain au-delà de 20kHz, elle est liée à la bande passante de l'amplificateur (GBW).

### INFLUENCE DE LA BANDE PASSANTE DE L'AMPLIFICATEUR (GBW)

Avec un signal d'entrée d'amplitude faible n'impliquant pas un dépassement du slew-rate sur le signal de sortie on peut mettre en évidence la limitation due à la bande passante de l'amplificateur opérationnel. De par sa construction l'ampli LM741 possède le comportement en fréquence qui ressemble à celui-ci-dessous. Le gain en boucle ouverte de l'ampli est très élevé pour les faibles fréquences, et dès la fréquence  $f_c$  passée il diminue avec une pente constante de -20dB/décade. Jusqu'à atteindre 0dB (un gain unitaire) à la fréquence  $f_{ugf}$ .

Le point où la courbe coupe l'axe des fréquences prend le nom de **Unity Gain Frequency** ( $F_{ugf}$ )

On définit ensuite le produit GBW ou produit Gain-Bandwidth comme étant le produit du Gain par la bande passante associée (par exemple ci-dessous  $G_x * f_x$ ).

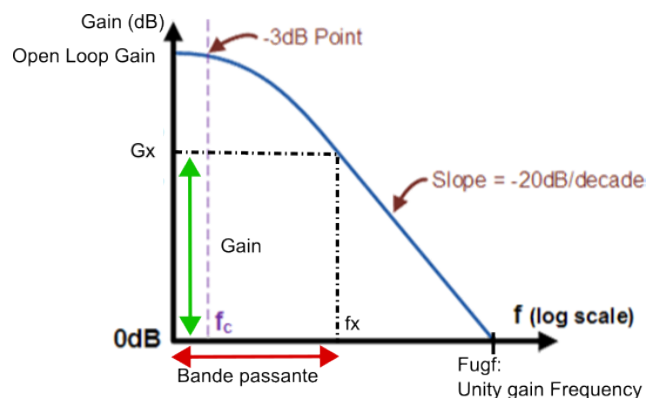


FIGURE 3 AMPLI OP GAIN EN FONCTION DE LA FREQUENCE

La théorie liée aux amplificateurs nous apprend que ce produit peut être considéré comme constant eu égard à la faible valeur de la fréquence  $f_c$ . ( $GBW = cst$ ). Donc dans le cas particulier où le gain est unitaire nous pouvons en déduire que le  $GBW = F_{ugf}$ . De fait par raccourci et habitude on assimile souvent  $F_{ugf}$  à GBW.

Imaginons maintenant différentes applications avec des gains en boucle fermée désirés tels que ci-dessous

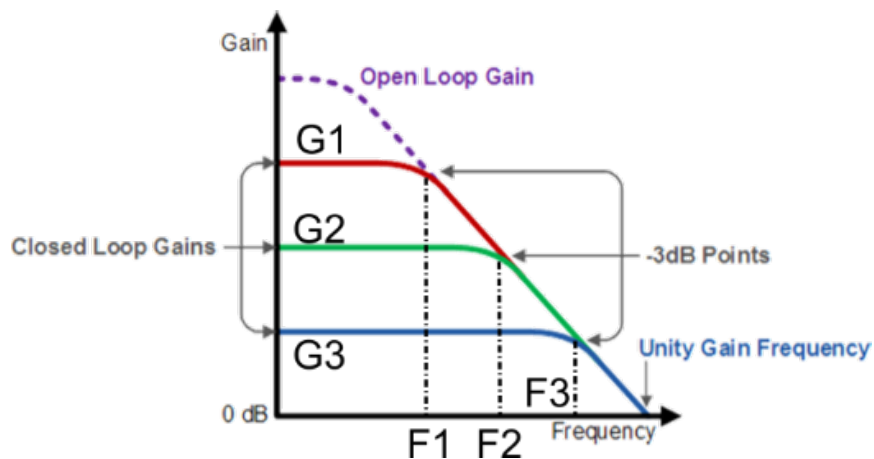


FIGURE 4 GBW=CONSTANTE

La théorie nous dit donc que  $G1 \cdot F1 = G2 \cdot F2 = G3 \cdot F3 = GBW$ . A un gain plus élevé correspond donc une bande passante plus faible.

Prenons le cas de G2, l'amplificateur pourra nous fournir ce gain tant que nous ne dépasserons pas la fréquence F2. Au-delà de cette fréquence notre gain suivra la fonction de transfert de l'amplificateur et diminuera avec une pente de -20dB par décade. Ceci est mis en évidence dans la figure 9 avec des montages identiques soumis à des fréquences de plus en plus élevées. On voit l'amplitude du signal de sortie diminuer sans avoir changé le rapport de résistances et donc le gain demandé à l'amplificateur.

La fonction de transfert de l'amplificateur agit comme une sorte de gabarit que nous ne pouvons pas dépasser.

Ce défaut se met en évidence pour des signaux d'entrée de faible amplitude.

## PASSE BAS, INTÉGRATEUR

### SCHÉMA

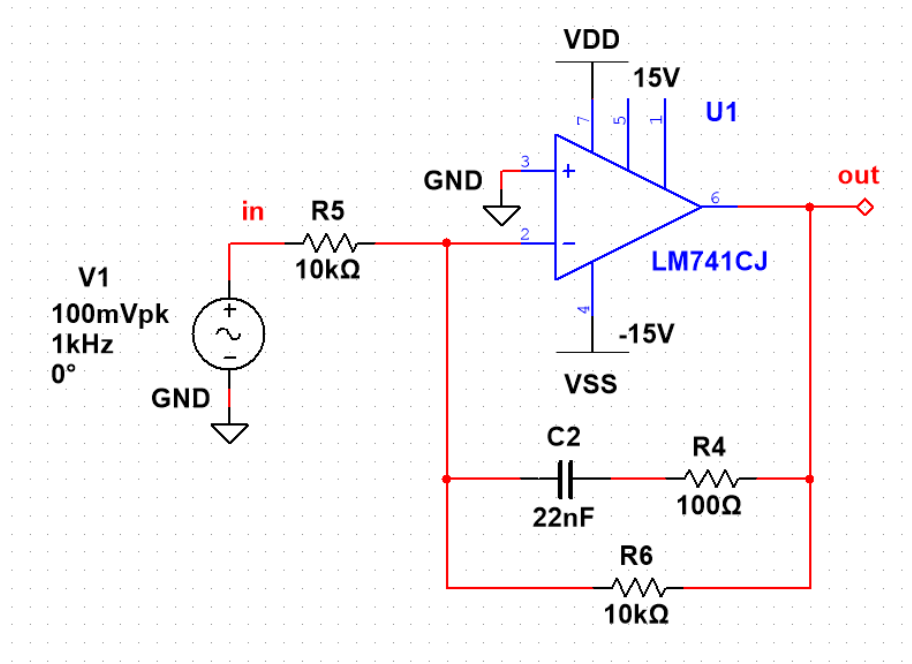


FIGURE 5 FILTRE PASSE BAS, INTEGRATEUR

FONCTION DE TRANSFERT

$$H_{LP}(j\omega) = -\frac{Z_b}{R_5}$$

Avec  $\underline{Z}_b$  l'impédance équivalente formée par  $C_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$

$$\underline{Z}_b = \frac{R_6(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)}$$

$$H_{LP}(j\omega) = -\frac{\frac{R_6(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)}}{R_5} = -\frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)}$$

Une simulation donne le résultat suivant

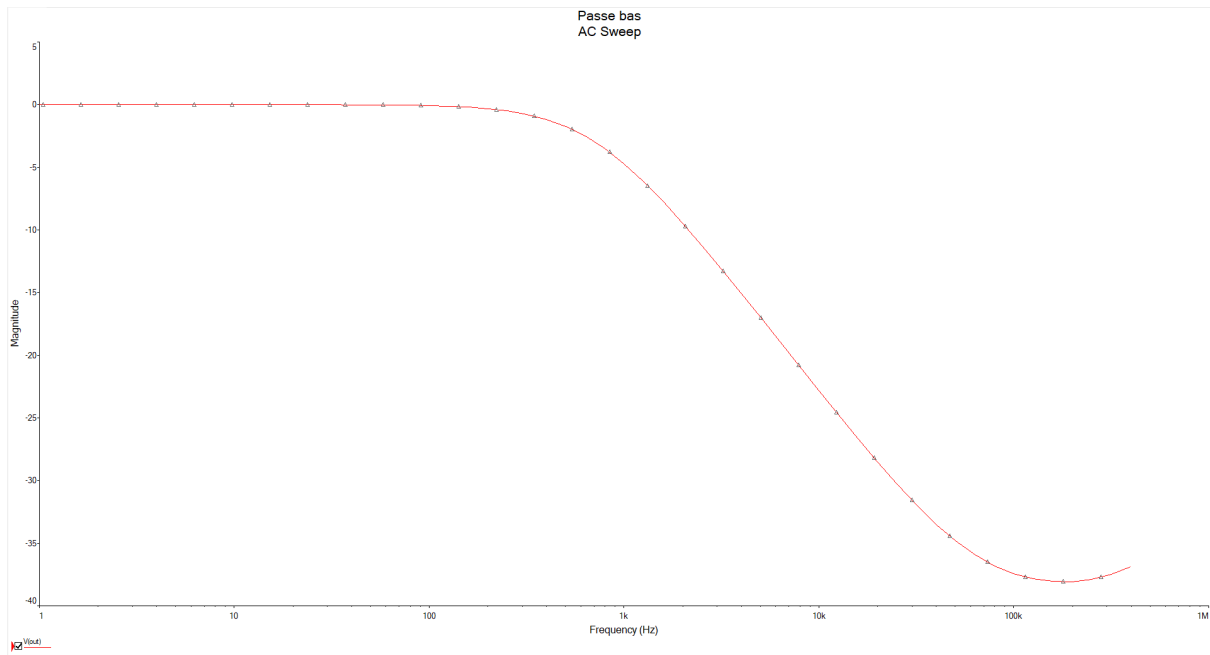


FIGURE 6 SIMULATION FILTRE PASSE BAS

## FILTRE PASSE BANDE

### SCHÉMA

Sur la base des deux fonctions de transferts relevées précédemment on imagine facilement pouvoir réaliser un filtre passe bande en cascadeant les deux blocs.

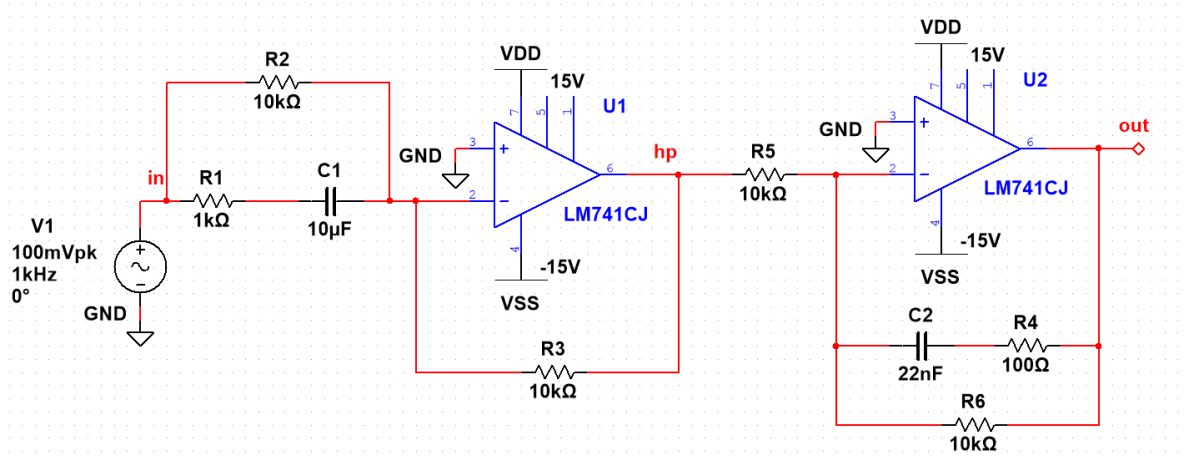


FIGURE 7 FILTRE PASSE BANDE, 2AMPLIS EN CASCADE

### FONCTION DE TRANSFERT

En vertu des propriétés des amplificateur opérationnels la fonction de transfert des deux étages cascadeés est égale à :

$$H_{BP}(j\omega) = H_{HP}(j\omega) \cdot H_{LP}(j\omega)$$

$$H_{BP}(j\omega) = -\frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}{(1 + j\omega R_1 C_1)} \cdot \left( -\frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)} \right)$$

$$H_{BP}(j\omega) = \frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}{(1 + j\omega R_1 C_1)} \cdot \frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)}$$

Or comme nous avons pris  $R_3=R_2$  et  $R_6=R_5$  il reste que

$$H_{BP}(j\omega) = 1 \cdot \frac{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}{(1 + j\omega R_1 C_1)} \cdot 1 \cdot \frac{(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)} = \frac{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}{(1 + j\omega R_1 C_1)} \cdot \frac{(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)}$$

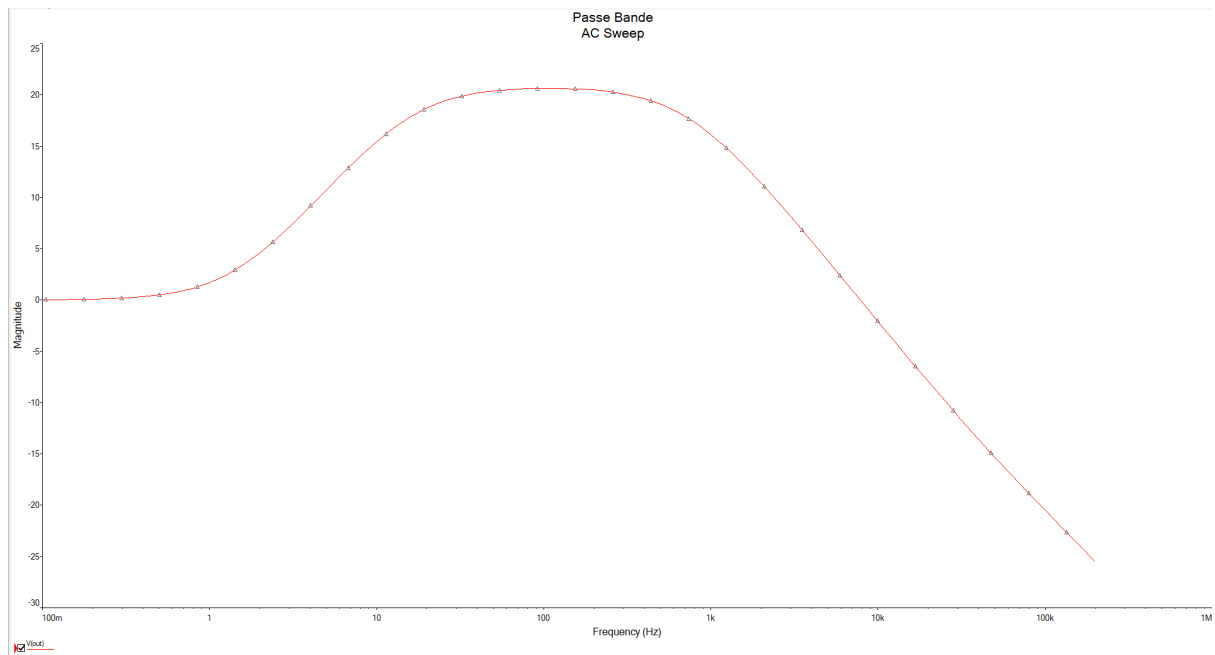


FIGURE 8 FILTRE PASSE BANDE 2 AMPLIS

## SIMPLIFICATION DU FILTRE

### SCHÉMA

On réarrange le filtre de la façon suivante

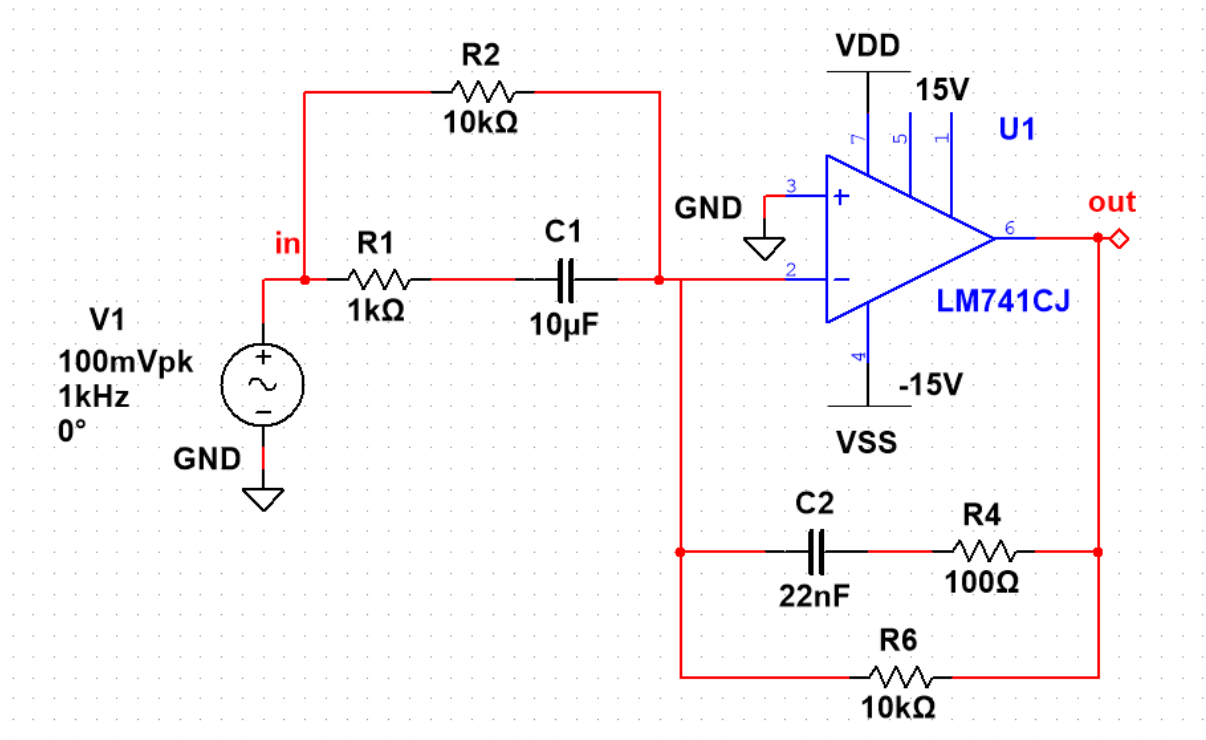


FIGURE 9 FILTRE PASSE BANDE 1 AMPLIFICATEUR

#### FONCTION DE TRANSFERT

La fonction de transfert s'écrit

$$H_{BPS}(j\omega) = -\frac{Z_b}{Z_a}$$

Avec

- $Z_a$  l'impédance équivalente formée avec  $R_1$ ,  $R_2$  et  $C_1$
- $Z_b$  l'impédance équivalente formée avec  $R_4$ ,  $R_6$  et  $C_2$

$$\underline{Z_a} = \frac{R_2(1 + j\omega R_1 C_1)}{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)} ; \underline{Z_b} = \frac{R_6(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)}$$

$$H_{BPS}(j\omega) = -\frac{\frac{R_6(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)}}{\frac{R_2(1 + j\omega R_1 C_1)}{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}} = -\frac{R_6}{R_2} \cdot \frac{(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)} \cdot \frac{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}{R_2(1 + j\omega R_1 C_1)}$$

Or  $R_6=R_2$  donc

$$H_{BPS}(j\omega) = -\frac{(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)} \cdot \frac{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}{R_2(1 + j\omega R_1 C_1)}$$

Nous avons vu que

$$H_{BP}(j\omega) = \frac{1 + j\omega C_1(R_1 + R_2)}{(1 + j\omega R_1 C_1)} \cdot \frac{(1 + j\omega R_4 C_2)}{1 + j\omega C_2(R_6 + R_4)}$$

Les deux fonctions sont identiques au signe « - » de  $H_{BPS}$  près. Ce signe influence la phase de  $H_{BPS}$  qui sera décalée de  $180^\circ$  par rapport à celle de  $H_{BP}$ .

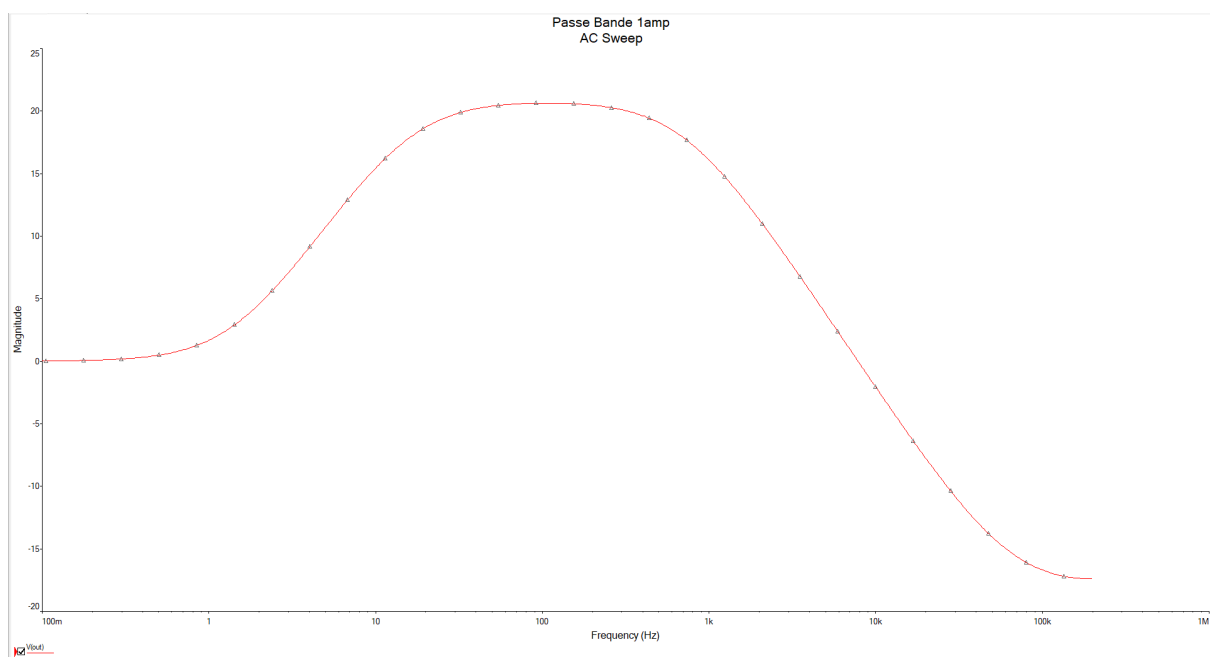


FIGURE 10 SIMULATION FILTRE PASSE BANDE SIMPLIFIE 1 AMPLI