

# S2-APP6 : Analyse d'un égaliseur analogique

Benjamin Chausse (chab1704)  
Cédric Pelchat (pelc1105)

Université de Sherbrooke

26 mars 2024

# Table des matières

## 1 Observation théorique

- GEN211 : Conception générale
- GEN211 : Présentation du lieu de bode
- GEN211 : Analyse des signaux aux points 1 et 2
- GEN230 : Pourquoi le filtre et le sommateur sont-ils en erreur ?

## 2 Observations expérimentales

- GEN211 : Code python en temps réel
- GEN211 : Simulation Altium du filtre corrigé
- GEN211 : Simulation Altium du circuit complet corrigé

## Observation théorique

# Idée générale

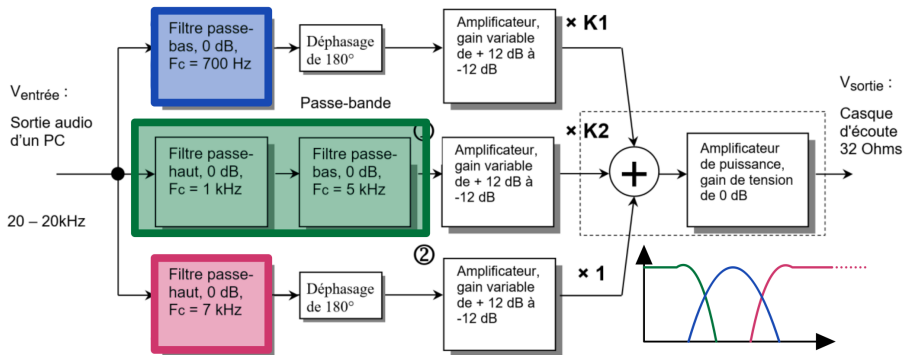


Figure 1 – Schéma bloc du système (un canal)

# Idée générale (suite)

Tableau 1 – Trouvailles faites lors de l'analyse de l'égaliseur

Section de circuit fautive	Composante(s) erronée(s)
Assemblément des filtres ( $K_1$ & $K_2$ )	$R_{11}$ $R_{35}$
Filtre passe-haut $f_c = 7$ kHz	$R_{26}$ $R_{27}$

# Fonction de transfert python

```
def butterworth(freq, type):  
    """  
    :param freq: Fréquence de coupure du filtre  
    :param type: Type de filtre ('low' ou 'high')  
    :return: Coefficients au numérateur et dénominateur du filtre  
    """  
    wc = 2 * np.pi * freq # fréquence de coupure rad/s  
    b1, a1 = signal.butter(2, wc, type, analog=True)  
    return b1, a1
```

# Attente des buts du client

- Les déphasages naturel des filtres sont correctement corrigés
- Le ronflement est atténué par l'utilisation d'Ampli-Op dans nos filtres

# Validation de $K_1$ et $K_2$

```
k2 = 47.5/60.4
# Passe bande
zp, pp, kp = series_fct(1000, 'high', 5000, 'low')
# Passe Bas
ab, bb = butterworth(700, 'low')
zb, pb, kb = signal.tf2zpk(ab, bb)
# Passe haut
ah, bh = butterworth(7000, 'high')
zh, ph, kh = signal.tf2zpk(ah, bh)
# Combinaison du passe haut et du passe bas
zz, pz, kz = hp.paratf(zb, pb, -kb, zh, ph, -kh)
# Combinaison de la combinaison precedente avec ke pass bande
zt, pt, kt = hp.paratf(zz, pz, kz, zp, pp, kp*k2)
# Fonction de transfert du circuit complet
at, bt = signal.zpk2tf(zt, pt, kt)
```



# Réponse en fréquence du circuit complet

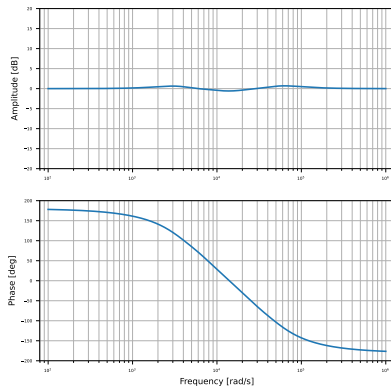


Figure 2 – Lieu de bode du circuit complet

# Analyse des signaux aux points 1

$$Y(t) = 0.25 |H_1| \cdot |H_2| \sin [2\pi ft + \angle H_1 + \angle H_2] \quad (1)$$

$$|H_1| = \frac{|-j^2\omega^2|}{|j^2\omega^2 + 8824j\omega + 3.94E9|} \quad (2)$$

$$|H_1| = 0.989 \quad (3)$$

$$|H_2| = \frac{|991102673^2|}{|-\omega^2 + 45044\omega j + 991102673|} \quad (4)$$

$$|H_2| = 0.965 \quad (5)$$

$$\angle H_1 = \arctan (-j^2\omega^2) - \arctan (j^2\omega^2 + 8824j\omega + 3.94E9) \quad (6)$$

$$\angle H_1 = -2.55 \quad (7)$$

$$\angle H_2 = \arctan (991102673^2) - \arctan (-\omega^2 + 45044\omega j + 991102673) \quad (8)$$

$$\angle H_2 = 2.38 \quad (9)$$

# Analyse des signaux aux points 2

$$Y(s) = X(s) \cdot H(s) \quad (10)$$

$$Y(S) = \frac{1}{s} \cdot -\frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q}s + \omega_c^2} \quad (11)$$

$$Y(s) = -\frac{s}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q}s + \omega_c^2} \quad (12)$$

$$Y(t) = r \cdot e^{-a \cdot t} \cdot \cos(bt + \theta) \cdot u(t) \quad (13)$$

$$r = \sqrt{\frac{\omega_c^2}{\omega_c^2 - \left(\frac{\omega_c}{2 \cdot Q}\right)^2}} \quad (14)$$

$$b = \sqrt{\omega_c^2 - \left(\frac{\omega_c}{2 \cdot Q}\right)^2} \quad (15)$$

$$\theta = \arctan \left( \frac{-\frac{\omega_c}{2 \cdot Q}}{-\sqrt{\omega_c^2 - \left(\frac{\omega_c}{2 \cdot Q}\right)^2}} \right) \quad (16)$$

# Erreurs dans le filtre

$$\frac{V_x - 0}{Z_c} = \frac{0 - V_s}{R_{27}} \quad (17)$$

$$V_x = \frac{-V_s}{R_{27} \cdot Z_c} \quad (18)$$

$$\frac{V_e - V_x}{Z_c} = \frac{V_x - V_s}{Z_c} + \frac{V_x}{Z_c} + \frac{V_x}{R_{26}} \quad (19)$$

$$\frac{V_e + V_s}{Z_c} = V_x \left( \frac{3}{Z_c} + \frac{1}{R_{26}} \right) \quad (20)$$

$$V_e + V_s = V_x \left( 3 + \frac{Z_c}{R_{26}} \right) \quad (21)$$

$$V_e + V_s = V_x \left( 3 + \frac{1}{s \cdot c \cdot R_{26}} \right) \quad (22)$$

$$V_e = V_x \left( 3 + \frac{1}{s \cdot c \cdot R_{26}} + R_{27} \cdot s \cdot C \right) \quad (23)$$

$$V_s = -V_x \cdot s \cdot C \cdot R_{27} \quad (24)$$

$$(25)$$

# Erreurs dans le filtre (suite)

$$H(s) = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-V_x \cdot s \cdot C \cdot R_{27}}{V_x \left( 3 + \frac{1}{s \cdot C \cdot R_{26}} + R_{27} \cdot s \cdot C \right)} \quad (26)$$

$$H(s) = \frac{-s^2}{s^2 + \frac{3 \cdot s}{C \cdot R_{27}} + \frac{1}{R_{26} \cdot R_{27} \cdot C^2}} \quad (27)$$

$$\frac{3}{C \cdot R_{27}} = \frac{\omega_0}{Q} \quad (28)$$

$$Q = 0.707 \quad (29)$$

$$\frac{1}{R_{26} \cdot R_{27} \cdot C^2} = \omega_0^2 \quad (30)$$

$$R_{27} = \frac{3 \cdot Q}{C \cdot \omega_0} \quad (31)$$

$$R_{26} = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot R_{27} \cdot C^2} \quad (32)$$

# Erreurs dans le sommateur

$$\frac{R_{71}}{R_{35}} = 1 \Rightarrow R_{71} = R_{35} \quad (33)$$

$$R_{71} = 47.5 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{35} = 47.5 \text{ k}\Omega \quad (34)$$

$$K_1 = 1 (\text{Déterminé de façon expérimentale}) \quad (35)$$

$$K_1 = \frac{R_{71}}{R_{11}} = 1 \Rightarrow R_{11} = R_{71} = 47.5 \text{ k}\Omega \quad (36)$$

$$R_{25} = 60.4 \text{ k}\Omega \quad (37)$$

$$K_2 = \frac{R_{71}}{R_{25}} \Rightarrow K_2 = \frac{47.5}{60.4} = 0.79 \quad (38)$$

$$(39)$$

# Observations expérimentales

# Filtre corrigé

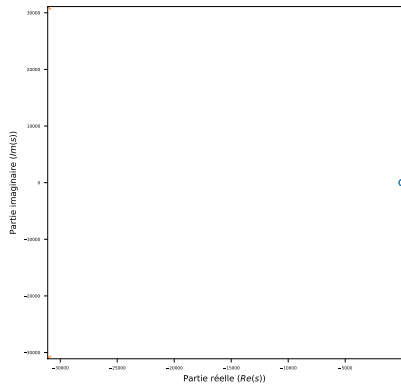


Figure 3 – Pôles et zéros du filtre corrigé



# Filtre corrigé (suite)

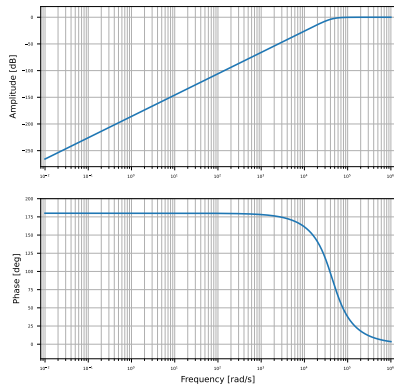


Figure 4 – Lieu de Bode du filtre corrigé

# Délai de groupe du filtre corrigé

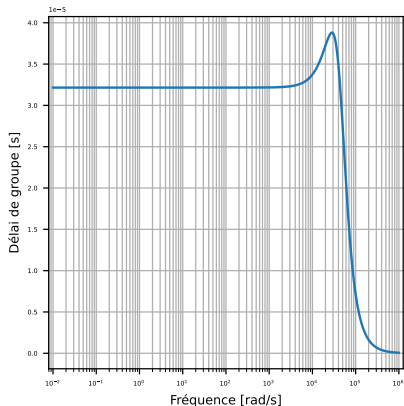


Figure 5 – Délai de groupe du filtre corrigé

# Simulations Altium du filtre corrigé

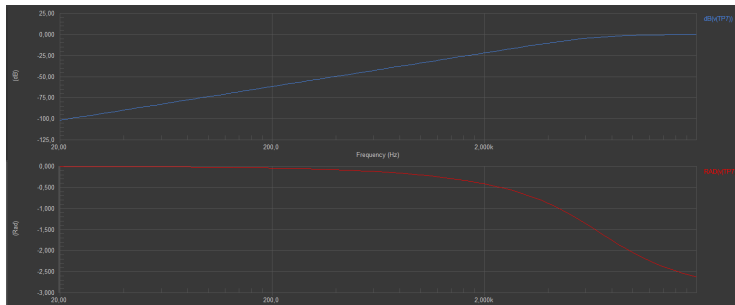


Figure 6 – Lieu de bode du filtre corrigé

# Simulations Altium du filtre corrigé (suite)

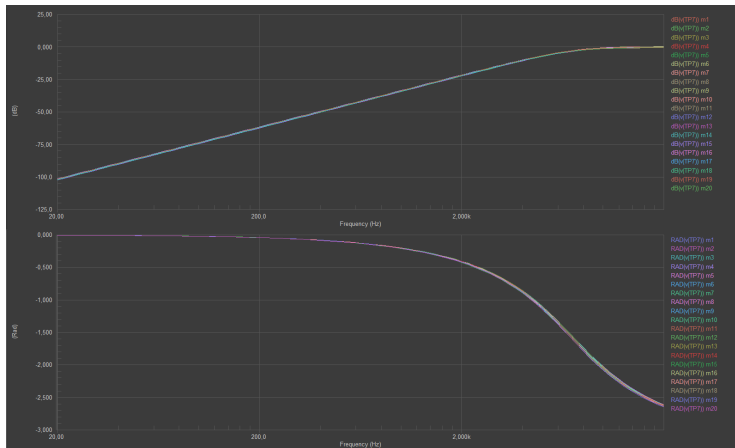


Figure 7 – Simulation Monte Carlo du filtre corrigé

# Simulations Altium du circuit complet corrigé

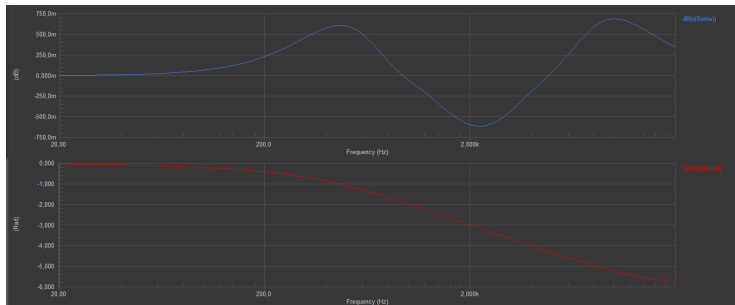


Figure 8 – Lieu de bode du circuit complet corrigé

# Simulations Altium du circuit complet corrigé (suite)

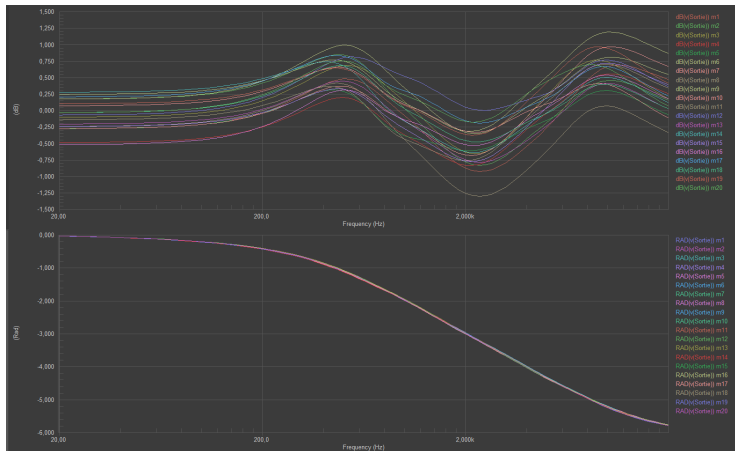


Figure 9 – Simulation Monte Carlo du filtre corrigé