

Filtrage du son avec haut-parleur



Université François-Rabelais de Tours
Institut Universitaire de Technologie de Tours
Département Génie Électrique et Informatique Industrielle



Filtrage du son avec haut-parleur

Erik JUNG & Aurélien RIDEAU
2^{ème} année – Groupe P2
Promotion 2011-2013

Enseignants :
Thierry LEQUEU
Patrick PAPAIZIAN

Sommaire

Introduction.....	5
1.Présentation du projet.....	6
1.1.Cahier des charges.....	6
1.2.Schémas fonctionnels.....	7
1.3.Planning prévisionnel et réel.....	8
2.Etude théorique.....	9
2.1.Rappels sur l'A.O.P.....	9
2.2.Etage amplificateur.....	10
2.3.Etage de filtrage.....	11
2.3.1.Filtre passe-bas.....	13
2.3.2.Filtre passe-haut.....	14
2.3.3.Filtre passe-bande.....	16
2.4.Liste des composants.....	18
3.Réalisation et tests.....	18
3.1.Réalisation du schéma.....	19
3.2.Réalisation du typon et tests.....	19
Conclusion.....	20
Résumé.....	21
Bibliographie.....	22
Annexes.....	24

Introduction

Au cours de ce troisième semestre, dans le cadre du cours d'Etude et Réalisation, nous avons choisi en binôme un projet lié au filtrage du son. Ce projet donnera lieu en janvier à la remise d'un rapport écrit et à une présentation orale.

Pour réaliser cela, nous allons concevoir une carte électronique qui réalisera la fonction souhaitée, à savoir le filtrage actif du son sur 3 voies différentes. Chaque voie sera reliée à un haut-parleur, correspondant aux aigus, aux medium et aux graves. Cette carte sera constituée de montages électroniques permettant de réaliser ces 3 types de filtres qui nous intéressent : passe-bas, passe-bande et passe-haut.

Ce rapport présentera tout d'abord le projet, puis son étude théorique et enfin, sa réalisation et les tests effectués.

1. Présentation du projet

Le projet consiste à réaliser une carte électronique permettant de filtrer le son sur 3 voies différentes : une pour les aigus, une autre pour les medium et la dernière pour les graves. Pour cela, nous allons devoir concevoir une carte électronique, en dessinant son schéma et en réalisant son typon sur le logiciel OrCAD. Cette carte sera constituée de montages électroniques, basés entre autres sur des structures courantes de filtres actifs. On utilisera pour réaliser ces filtres des structures de Rauch, étudiées en première année en cours de GE2. Ces montages sont réalisés à partir de composants actifs (amplificateurs opérationnels, abrégés A.O.P.) et de composants passifs (résistances, condensateurs, ...).

Pour réaliser au mieux ce projet, nous avons commencé par établir un cahier des charges. Nous avons décrit dans celui-ci les fonctionnalités et les étapes de réalisation du projet, afin de bien mener nos recherches, et nous avons également établi un planning prévisionnel pour répartir le temps attribué à chaque tâche. Ce planning prévisionnel a également été complété par un planning réel, afin de montrer l'évolution du projet et les difficultés rencontrées.

1.1. Cahier des charges

Les contraintes et les fonctions liées au projet sont les suivantes :

- Montages à base d'A.O.P., amplificateur non-inverseur, structures de Rauch
- Filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande
- Composants actifs (A.O.P., TL084)
- Composants passifs (condensateurs, résistances, ...)
- Utilisation de potentiomètres pour le réglage de l'amplification et des fréquences de coupure des filtres

- Achat de 3 haut-parleurs à placer en sortie de chaque voie
- Dimension de la carte la plus faible possible
- Alimentation de la carte en +15V/-15V avec source de tension de l'IUT
- Utilisation d'un GBF générant un signal sinusoïdal pour tester la carte
- Utilisation du logiciel OrCAD Layout pour réaliser le typon
- Coût de réalisation du projet en accord avec le budget accordé par l'IUT

1.2. Schémas fonctionnels

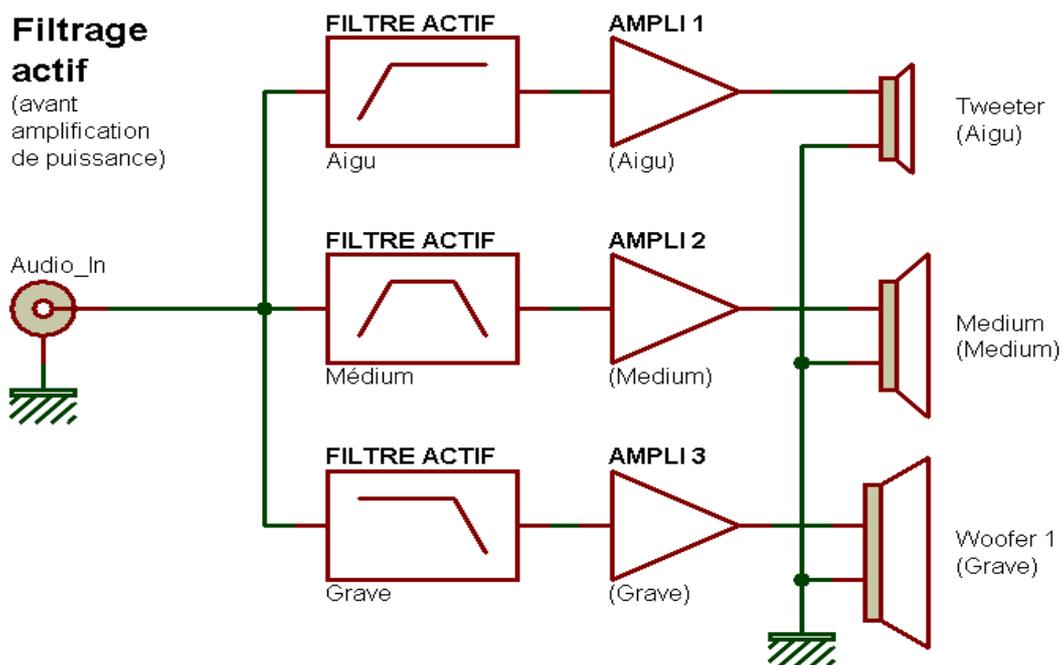


Illustration 1: Schéma fonctionnel de niveau 1

Dans ce schéma, on a une amplification, puis un filtrage actif du son réalisé par 3 filtres : un filtre passe-bas pour la plage des basses fréquences (grave), un filtre passe-bande pour la plage des medium et un filtre passe-haut pour les hautes fréquences (aigu). Chaque sortie de filtre est relié à un haut-parleur pour obtenir un filtrage sur 3 voies.

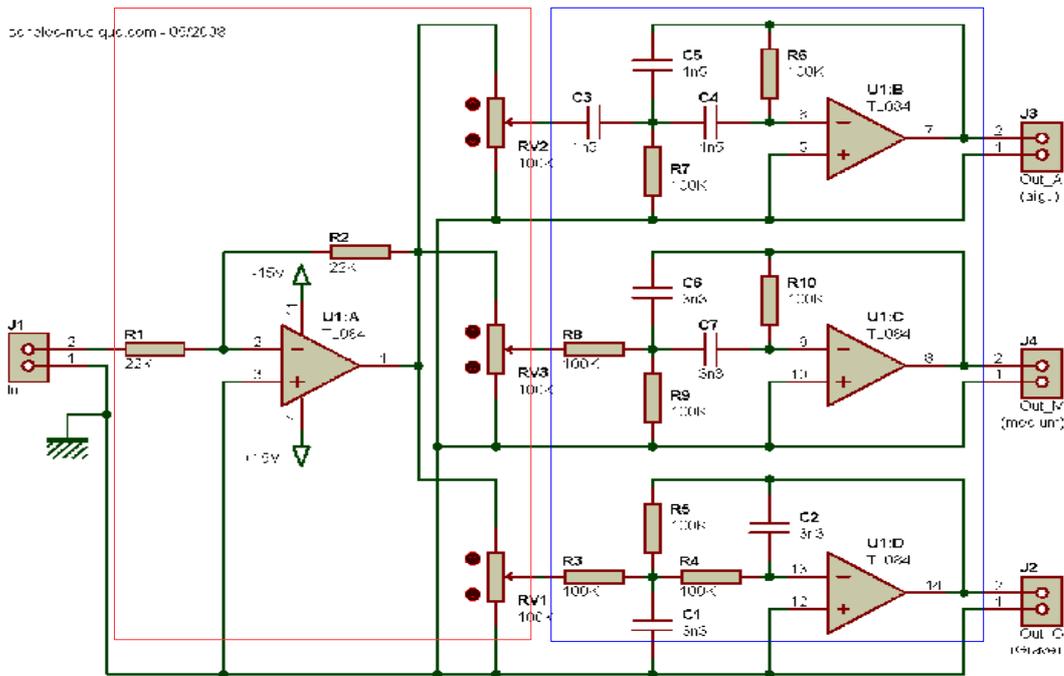


Illustration 2: Schéma fonctionnel de niveau 2

Ce schéma représente la structure des montages électroniques qui seront sur la carte finale. Il est composé de deux étages :

- un étage d'amplification encadré en rouge, assuré par le montage amplificateur construit autour de l'A.O.P. TL084
- un étage de filtrage encadré en bleu, basé sur des structures de Rauch, où le son sera filtré sur 3 voies pour les aigus, mediums et graves

1.3. Planning prévisionnel et réel

Afin de garder une bonne organisation dans la réalisation de notre projet, nous avons dû faire un planning prévisionnel pour répartir le temps attribué à chaque tâche. Au cours des séances d'Etude et Réalisation, nous avons également complété ce document avec un planning réel pour vérifier l'évolution du projet.

Planning																			
Tâches/Semaines	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3
Choix du sujet	Prévisionnel	Réel																	
Prévision planning		Prévisionnel																	
Tests montages			Prévisionnel	Prévisionnel	Prévisionnel	Prévisionnel	Prévisionnel												
Conception du typon							Réel		Prévisionnel	Réel	Réel								
Conception carte								Toussaint		Prévisionnel	Prévisionnel						Noël		
Test de la carte												Réel	Prévisionnel						
Dépannage														Prévisionnel	Réel				
Remise dossiers																		Prévisionnel	Réel
Soutenance orale																			Prévisionnel
	Prévisionnel								Réel										

Illustration 3: Planning du projet

2. Etude théorique

2.1. Rappels sur l'A.O.P.

L'appellation **A.O.P** signifie **A**mplificateur **O**pérationnel. L'A.O.P est un composant électronique qui permet d'effectuer des opérations mathématiques diverses, comme l'addition, la soustraction, l'intégration, ...

Il comporte au moins 5 pattes de connexion :

- 1 entrée inverseuse notée "-"
- 1 entrée non-inverseuse notée "+"
- 1 sortie
- 2 broches pour l'alimentation du composant

Représentation avec les broches d'alimentation :

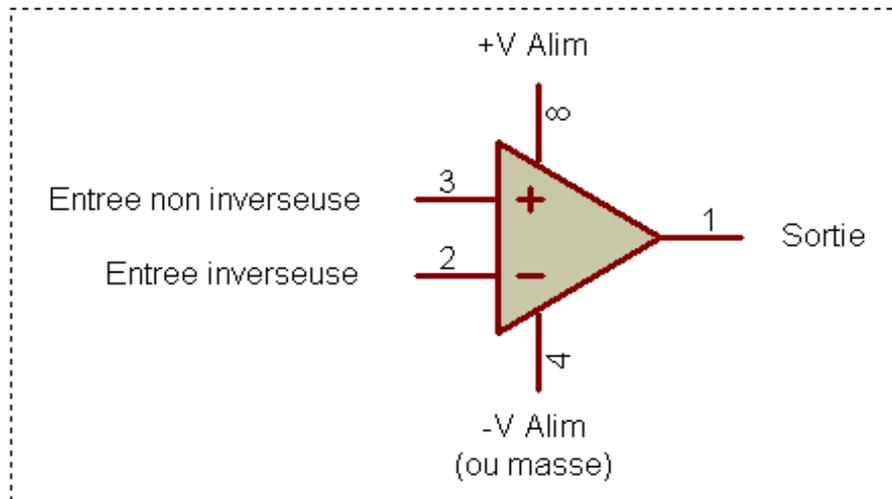


Illustration 4: Schéma de l'A.O.P

Les entrées inverseuse et non-inverseuse de l'A.O.P présentent une impédance très élevée. On considère alors le courant dans les entrées comme nul : $i(+) = i(-) = 0$.

Sa sortie possède une impédance très basse, de l'ordre de quelques ohms.

2.2. Etage amplificateur

Nous allons commencer par étudier le rôle de l'étage amplificateur, en réalisant le calcul lié au montage amplificateur inverseur.

Montage en amplificateur inverseur :

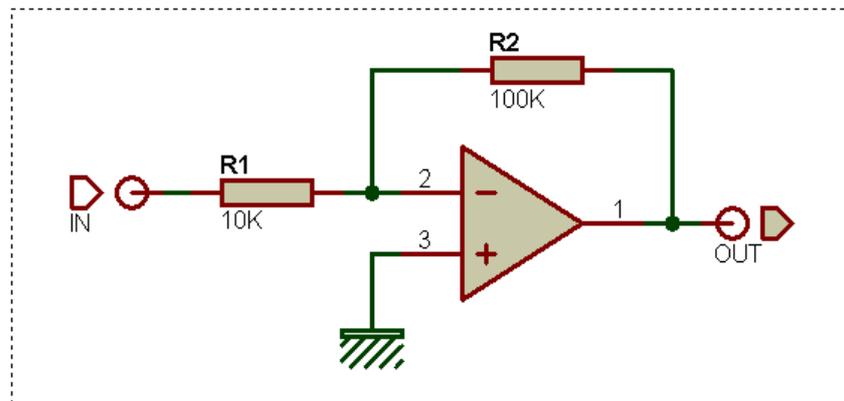


Illustration 5: Montage amplificateur inverseur à base d'A.O.P

On considère l'A.O.P parfait. Ici, la sortie de l'A.O.P est renvoyée sur l'entrée inverseuse. On a donc une contre-réaction, on est en régime linéaire, d'où :

$$\rightarrow \varepsilon = 0 \Rightarrow e_+ - e_- = 0 \Rightarrow e_+ = e_- \quad (1)$$

L'entrée non-inverseuse est reliée à la masse ; on a donc :

$$\rightarrow e_+ = 0 \quad (2)$$

D'après le théorème de Millman, on a la relation en tension suivante :

$$\rightarrow e_- = \frac{\left(\frac{V_e}{R1} + \frac{V_s}{R2}\right)}{\left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}\right)} = e_+ = 0 \quad (\text{d'après (1) et (2)})$$

$$\rightarrow \frac{V_e}{R1} + \frac{V_s}{R2} = 0 \Rightarrow A = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-R2}{R1} \quad (\text{amplification du montage})$$

2.3. Etage de filtrage

Nous allons maintenant étudier le second étage de la carte, c'est-à-dire l'étage de filtrage. Celui-ci est composé de trois filtres distincts construits autour d'un A.O.P. Ils sont basés sur des structures de Rauch, courantes dans la réalisation de filtres actifs du second de type passe-bas, passe-haut et passe-bande. On va donc présenter chacun de ces filtres en effectuant une étude théorique.

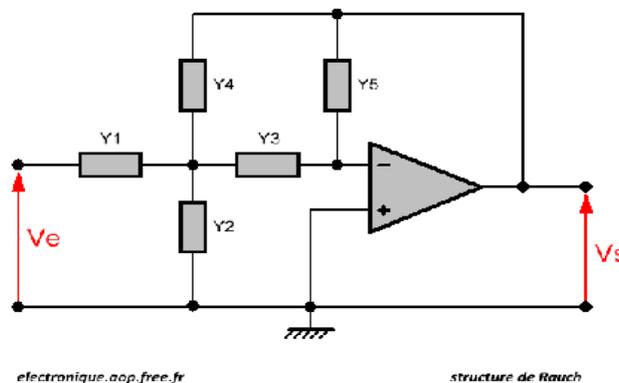


Illustration 6: Cellule de Rauch générale

Etudions d'abord le cas général. L'étude est faite en régime harmonique. La boucle de contre-réaction sur l'entrée "-" induit un fonctionnement linéaire de l'A.O.P ($V_+ = V_-$).

On réalisera les calculs en utilisant les expressions de l'admittance complexe de chaque

composant avec : $Y = \frac{1}{Z}$ où Y représente l'admittance et Z l'impédance complexe.

Tout d'abord, écrivons la loi des nœuds aux points A et B :

$$\rightarrow \text{nœud A : } I_{Y1} = I_{Y2} + I_{Y3} + I_{Y4}$$

$$\rightarrow \text{nœud B : } I_{Y3} = I_{Y5}$$

D'où :

$$\rightarrow \text{nœud A : } Y1(V_e - V_a) = Y2.V_a + Y3.V_a + Y4(V_a - V_s)$$

$$\rightarrow \text{nœud B : } Y3.V_a = -V_s.Y5$$

$$\text{Soit : } V_a = -V_s \cdot \frac{Y5}{Y3}$$

En substituant V_a dans l'équation au nœud A, on obtient :

$$\rightarrow Y1 \left(V_e + \frac{V_s.Y5}{Y3} \right) = -V_s.Y5 \frac{(Y2 + Y3)}{Y3} - Y4 \frac{(V_s(Y3 + Y5))}{Y3}$$

$$\rightarrow Y1 \frac{(Y3.V_e + Y5.V_s)}{Y3} = -V_s \frac{(Y5(Y2 + Y3) + Y4(Y3 + Y5))}{Y3}$$

$$\rightarrow Y1.Y3.V_e = -V_s(Y5(Y2 + Y3) + Y4(Y3 + Y5) + Y1.Y5)$$

$$\rightarrow \frac{V_s}{V_e} = \frac{-Y1.Y3}{(Y3.Y4 + Y5(Y1 + Y2 + Y3 + Y4))}$$

On a donc obtenu l'expression générale de la fonction de transfert $\frac{V_s}{V_e}$.

2.3.1. Filtre passe-bas

En remplaçant dans l'illustration 6 par des condensateurs Y2 et Y5, et par des résistances Y1, Y4 et Y3, on obtient le nouveau schéma ci-dessous.

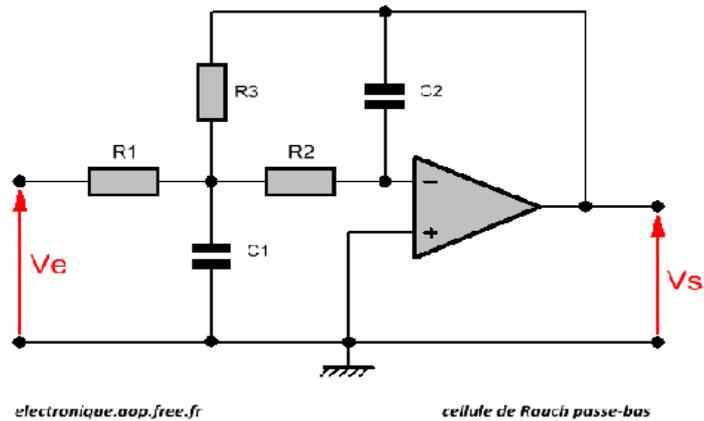


Illustration 7: Structure de Rauch - Filtre passe bas

On rappelle :
$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{-Y1.Y3}{(Y3.Y4 + Y5(Y1 + Y2 + Y3 + Y4))}$$

Avec : $Y1 = \frac{1}{R1}$, $Y2 = jC1\omega$, $Y3 = \frac{1}{R2}$, $Y4 = \frac{1}{R3}$ et $Y5 = jC2\omega$

On a :

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{-\left(\frac{1}{R1.R2}\right)}{\left(\frac{1}{R2.R3} + jC2\omega\left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + jC1\omega\right)\right)}$$

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{\frac{-R3}{R1}}{\left(1 + jR2R3C2\omega\left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + jC1\omega\right)\right)}$$

Si $R_1=R_2=R_3=R$, alors on a :

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{-1}{(1 + jR^2C_2\omega(3 + jRC_1\frac{\omega}{R}))}$$

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{-1}{(1 + 3jRC_2\omega + (j\sqrt{C_1C_2}\omega R)^2)} \Rightarrow \text{forme canonique du 2}^{\text{nd}} \text{ ordre}$$

$$\text{On a donc : } \frac{1}{(\omega_c)} = R\sqrt{(C_1C_2)} \Leftrightarrow f_c = \frac{1}{(2\pi * R * \sqrt{(C_1C_2)})}$$

Pour $R_1=R_2=R_3=R=100\text{k}\Omega$ et $C_1=C_2=3,3\text{nF}$, on obtient pour la fréquence de coupure du filtre :

$$\rightarrow f_c \approx 482 \text{ Hz}$$

2.3.2. Filtre passe-haut

En remplaçant dans l'illustration 6 par des condensateurs Y1, Y4 et Y3 et par des résistances Y2 et Y5, on obtient le schéma ci-dessous.

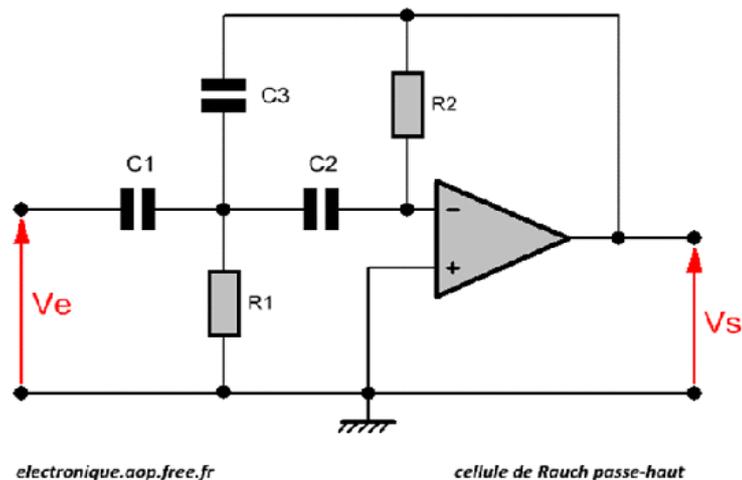


Illustration 8: Structure de Rauch - Filtre passe haut

On rappelle :
$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{-Y1.Y3}{(Y3.Y4 + Y5(Y1 + Y2 + Y3 + Y4))}$$

Avec : $Y1 = jC1\omega$, $Y2 = \frac{1}{R1}$, $Y3 = jC2\omega$, $Y4 = jC3\omega$ et $Y5 = \frac{1}{R2}$

On a :

→
$$H(j\omega) = \frac{((j*\sqrt{C1C2})\omega)^2}{(((j*\sqrt{C2C3})\omega)^2) + \frac{1}{R2}(\frac{1}{R1} + jC1\omega + jC2\omega + jC3\omega)}$$

Si $C1=C2=C3=C$, alors on a :

→
$$H(j\omega) = \frac{-((jC\omega)^2)}{((jC\omega)^2) + \frac{1}{R2}(\frac{1}{R1} + 3jC\omega)}$$

→
$$H(j\omega) = \frac{-((jC*\sqrt{R1R2})\omega)^2}{(1 + 3jR1C\omega + (jC*\sqrt{R1R2})\omega)^2} \Rightarrow \text{forme canonique du 2}^{\text{nd}} \text{ ordre}$$

On a donc :

→
$$\frac{1}{(\omega c)} = C*\sqrt{R1R2} \Leftrightarrow f_c = \frac{1}{(2\pi*C*\sqrt{R1R2})}$$

Pour $C1=C2=C3=C=1,5\text{nF}$ et $R1=R2=100\text{k}\Omega$, on obtient pour la fréquence de coupure du filtre :

→ $f_c \approx 1\,061 \text{ Hz}$ ou $1,06 \text{ kHz}$

2.3.3. Filtre passe-bande

En remplaçant Y1, Y2 et Y5 dans l'illustration 6 par des résistances et Y3 et Y4 par des condensateurs, on obtient le schéma ci-dessous.

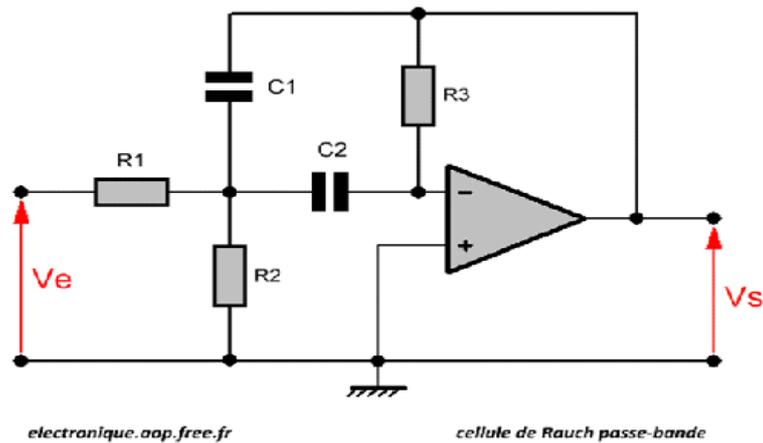


Illustration 9: Structure de Rauch - Filtre passe bande

On rappelle :
$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{-Y1.Y3}{(Y3.Y4 + Y5(Y1 + Y2 + Y3 + Y4))}$$

Avec : $Y1 = \frac{1}{R1}$, $Y2 = \frac{1}{R2}$, $Y3 = jC2\omega$, $Y4 = jC1\omega$ et $Y5 = \frac{1}{R3}$

On a :

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{\frac{-(jC2\omega)}{R1}}{(-C1C2\omega^2 + \frac{1}{R3}(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + jC2\omega + jC1\omega))}$$

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{\frac{-(jC2\omega)}{R1}}{(\frac{(R1+R2)}{R1R2R3} + j\omega\frac{(C1+C2)}{R3} - C1C2\omega^2)}$$

Si $C_1=C_2=C$, alors on a :

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{\frac{-jC\omega}{R_1}}{\left(\frac{R_1+R_2}{R_1R_2R_3} + 2j\omega\frac{C}{R_3} - C^2\omega^2\right)}$$

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{-R_3}{2R_1} \frac{\left(2j\omega\frac{R_1R_2C}{(R_1+R_2)}\right)}{\left(1 + 2j\omega\frac{R_1R_2C}{(R_1+R_2)} + (jC\omega)^2\frac{(R_3R_1R_2)}{(R_1+R_2)}\right)} \Rightarrow \text{forme canonique}$$

On a donc :

$$\rightarrow \frac{1}{(\omega c)} = \frac{C * \sqrt{(R_3R_1R_2)}}{(R_1+R_2)} \Leftrightarrow f_c = \frac{1}{(2\pi * C)} * \sqrt{\left(\frac{(R_1+R_2)}{R_1R_2R_3}\right)}$$

Pour $C_1=C_2=C=3,3\text{nF}$ et $R_1=R_2=R_3=100\text{k}\Omega$, on obtient pour la fréquence centrale du filtre passe-bande :

$$\rightarrow f_c \approx 682 \text{ Hz}$$

Nous avons tracé expérimentalement les diagrammes de Bode du gain en fonction de la fréquence de ces 3 filtres, qui sont fournis en annexes à la fin de ce dossier. Nous avons alors pu observer que l'allure des courbes obtenues en pratique correspondaient bien à l'attente théorique.

2.4. Liste des composants

Nous donnons ci-dessous la liste des composants utilisés pour réaliser notre carte électronique, leur valeur ainsi que leur quantité.

Noms	Référence	Empreinte	Valeur	Quantité
Résistances	R1	RC04L	22kohms	1
	R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8,R9	RC04L	100kohms	8
Condensateurs	C3,C4,C5	CK06	1,5nF	3
	C1,C2,C6,C7	CK06	1,5nF	4
A.O.P + Support	U1A,U1B,U1C,U1D	TL084		1
Potentiomètres	R10,R11,R12,R13	POTAR	100kohms	4
Connecteurs	JP1,JP2,JP3,JP4,JP5	HEADER 2		5

Illustration 10: Tableau récapitulatif des composants

3. Réalisation et tests

Après avoir fait l'étude théorique complète qui nous a permis de trouver la valeur des composants, nous avons pu entamer la réalisation du typon pour la carte, à l'aide du logiciel OrCAD.

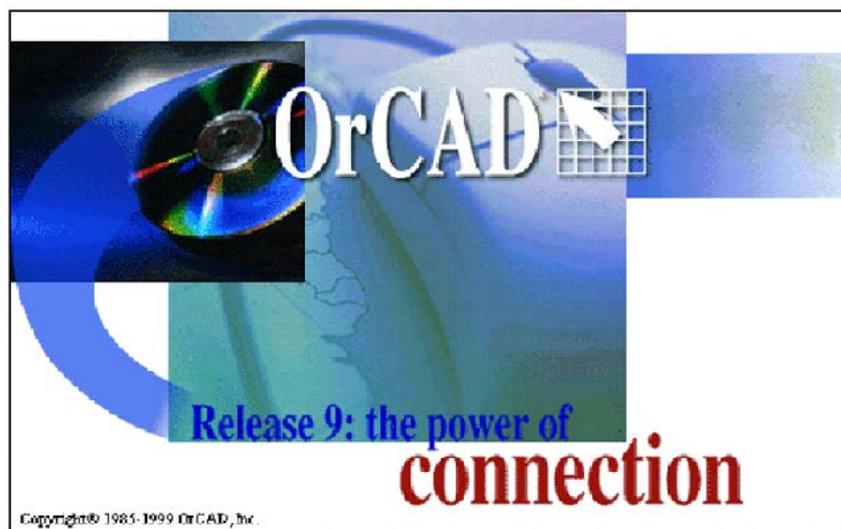


Illustration 11: Logiciel OrCAD

3.1. Réalisation du schéma

Pour réaliser le schéma de notre carte électronique, nous avons utilisé le logiciel OrCAD Capture. Nous avons utilisé pour cela les bibliothèques disponibles sur le site de M. LEQUEU pour ajouter tous les composants nécessaires au routage de la carte. Le schéma final que nous avons retenu pour le projet, et qui servira pour produire le typon, est donné en annexe.

3.2. Réalisation du typon et tests

À partir du schéma réalisé sous Capture, nous avons pu produire le typon de la carte avec OrCAD Layout Plus. Nous avons réalisé le routage des composants en choisissant une largeur de 0,8mm pour les pistes en cuivre. Une fois le typon imprimé, nous avons gravé, puis percé notre carte et nous avons enfin soudé tous les composants avant de passer aux tests.

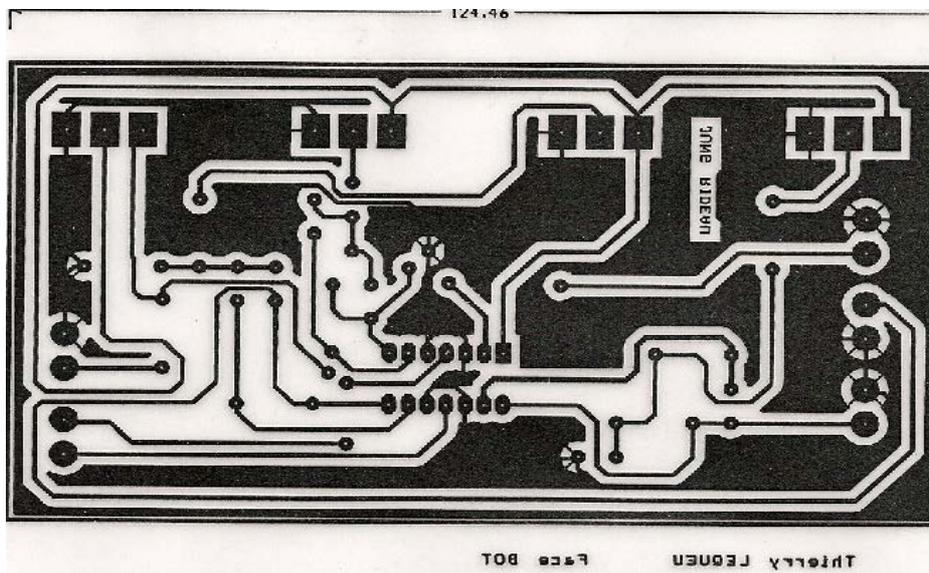


Illustration 12: Typon de la carte électronique

Lors des tests, le prototype ne fonctionnait pas à cause de coupures sur les pistes en cuivre. Nous avons dû refaire la carte qui fonctionnait au deuxième essai : le son était bien amplifié et on a pu observer les effets des filtres à l'oscilloscope.

Conclusion

L'étude théorique que nous avons effectuée pour mener à bien notre projet nous a permis de revoir connaissances acquises au cours de notre formation, et de les approfondir. En effet, pour réaliser notre carte électronique, nous avons dû réaliser des calculs sur les filtres que nous comptons utiliser. Cette étude préalable était indispensable pour calculer les valeurs des composants à placer sur la carte. Nous avons donc pu réutiliser nos connaissances sur les systèmes du 2^{ème} ordre en électronique et faire des recherches complémentaires sur les filtres à base d'A.O.P pour faire aboutir notre projet.

Pour pouvoir réaliser cette carte, nous avons également reçu une formation pour nous apprendre à nous servir du logiciel OrCAD. Ce logiciel permet en effet de saisir un schéma électrique sous OrCAD Capture et de produire un typon avec OrCAD Layout Plus.

Nous avons au final, après une première carte défectueuse, réussi à mener à bien notre projet. Nous avons en effet testé notre carte avec un G.B.F, et avec la carte d'un autre binôme, dont le projet était de réaliser un synthétiseur. La carte électronique réalisée filtre bien le son sur 3 voies pour les aigus, medium et graves, avec possibilité de l'amplifier.

Ce projet nous a aussi permis de mettre en œuvre d'autres compétences, comme l'organisation de notre travail et la gestion du temps. Nous avons dû effectivement réaliser en septembre un cahier des charges et un planning prévisionnel, puis le tenir à jour pour en faire un planning réel. Ce travail nous a permis de nous rendre compte de l'importance de l'organisation pour mener à bien notre projet, et cette expérience nous servira pour d'autres projets et le stage de fin d'études.

Résumé

Dans le cadre de l'Etude et Réalisation au semestre 3, nous avons à mener un projet, puis à rédiger un rapport écrit à le présenter lors d'un oral. Nous avons alors choisi comme projet de réaliser une carte électronique permettant de filtrer et d'amplifier le son sur 3 voies différentes. Pour cela, nous avons choisi comme solution d'utiliser des structures de Rauch pour réaliser des filtres du second ordre passe-bas, passe-haut et passe-bande. Pour bien dimensionner les bandes passantes et les fréquences de coupure de ces filtres, nous avons commencé par mener une étude théorique pour calculer les valeurs des composants. Cette étude nous a permis de revoir et d'acquérir des connaissances en électronique, en particulier sur les filtres. Pour réaliser la carte électronique, nous nous sommes servis du logiciel OrCAD que nous avons appris à maîtriser cette année. Après gravure et perçage de la carte, puis la soudure des composants, nous avons testé notre prototype qui s'est révélé défectueux lors des tests. La carte était en effet rayée et les pistes en cuivre coupées à certains endroits. Nous avons alors réalisé un seconde prototype qui répondait cette fois aux exigences du cahier des charges.

≈ 210 mots

Bibliographie

Sites Internet :

<http://www.thierry-lequeu.fr/>

<http://www.sonelec-musique.com/>

<http://electronique.aop.free.fr/index.php>

Documents de cours de GE2 et d'électronique de 1^{ère} année

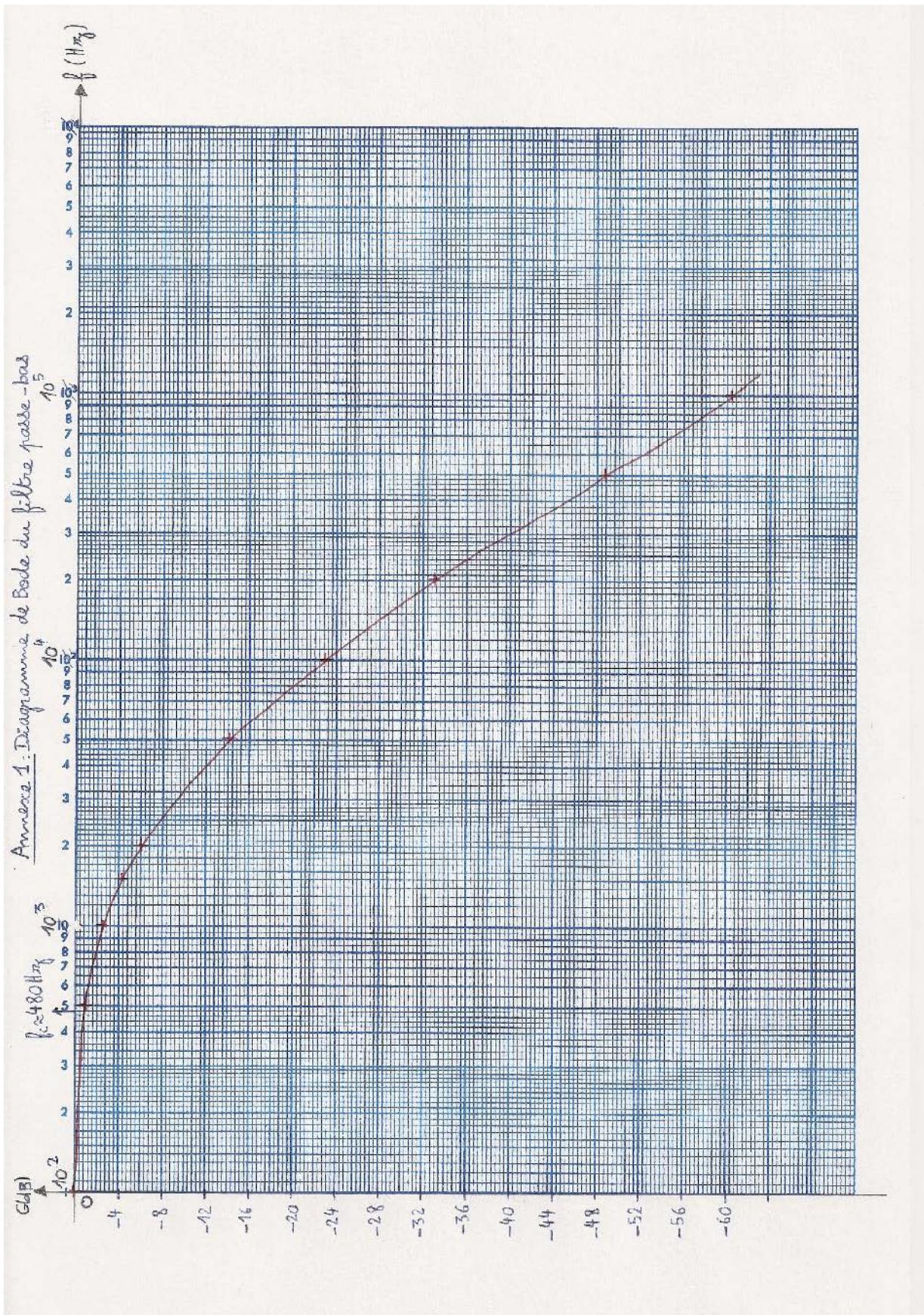
Datasheet du TL084 :

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tl084.pdf>

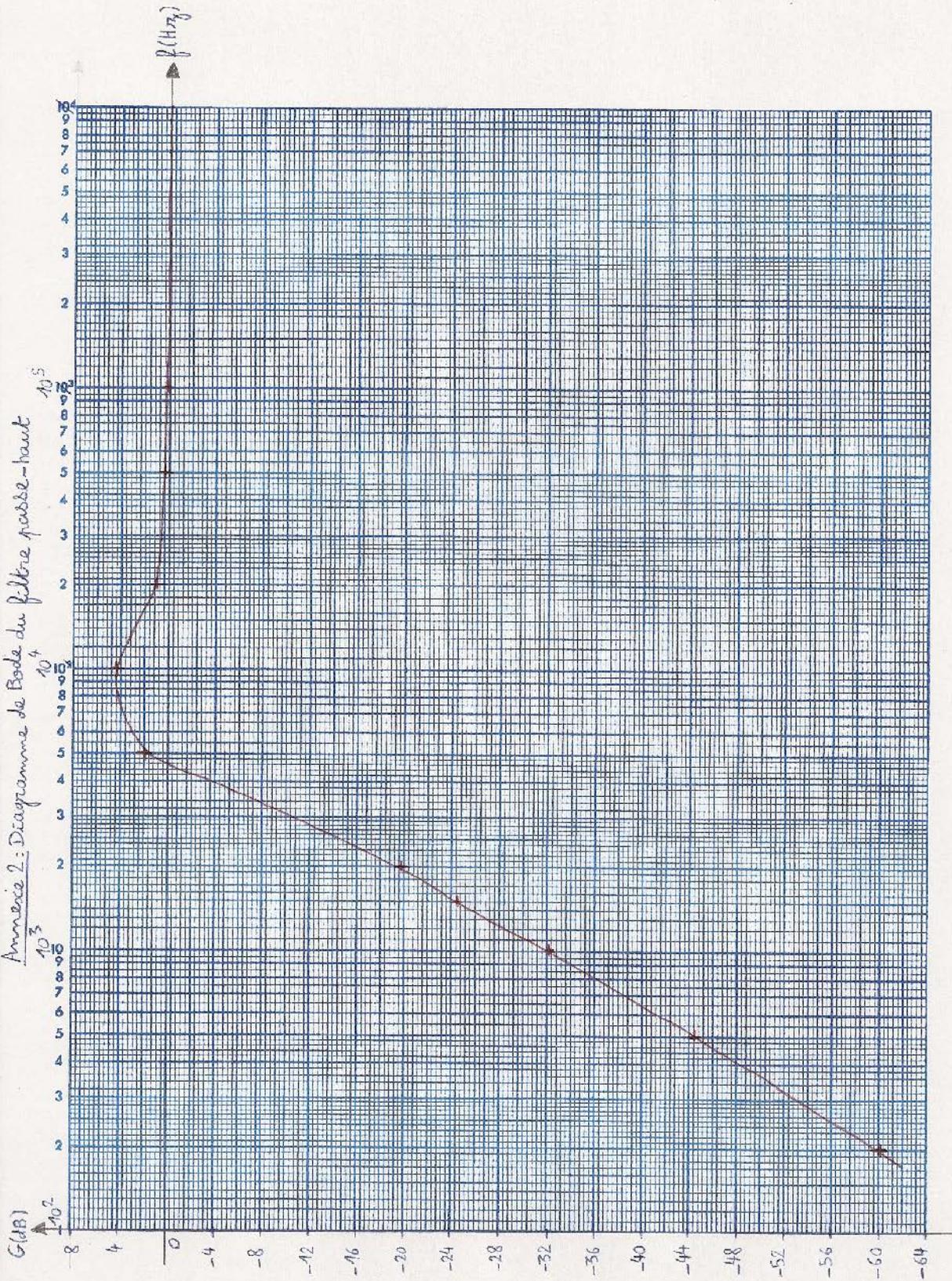
Index des illustrations

Illustration 1: Schéma fonctionnel de niveau 1.....	7
Illustration 2: Schéma fonctionnel de niveau 2.....	8
Illustration 3: Planning du projet.....	9
Illustration 4: Schéma de l'A.O.P.....	10
Illustration 5: Montage amplificateur inverseur à base d'A.O.P.....	10
Illustration 6: Cellule de Rauch générale.....	11
Illustration 7: Structure de Rauch - Filtre passe bas.....	13
Illustration 8: Structure de Rauch - Filtre passe haut.....	14
Illustration 9: Structure de Rauch - Filtre passe bande.....	16
Illustration 10: Tableau récapitulatif des composants.....	18
Illustration 11: Logiciel OrCAD.....	18
Illustration 12: Typon de la carte électronique.....	19

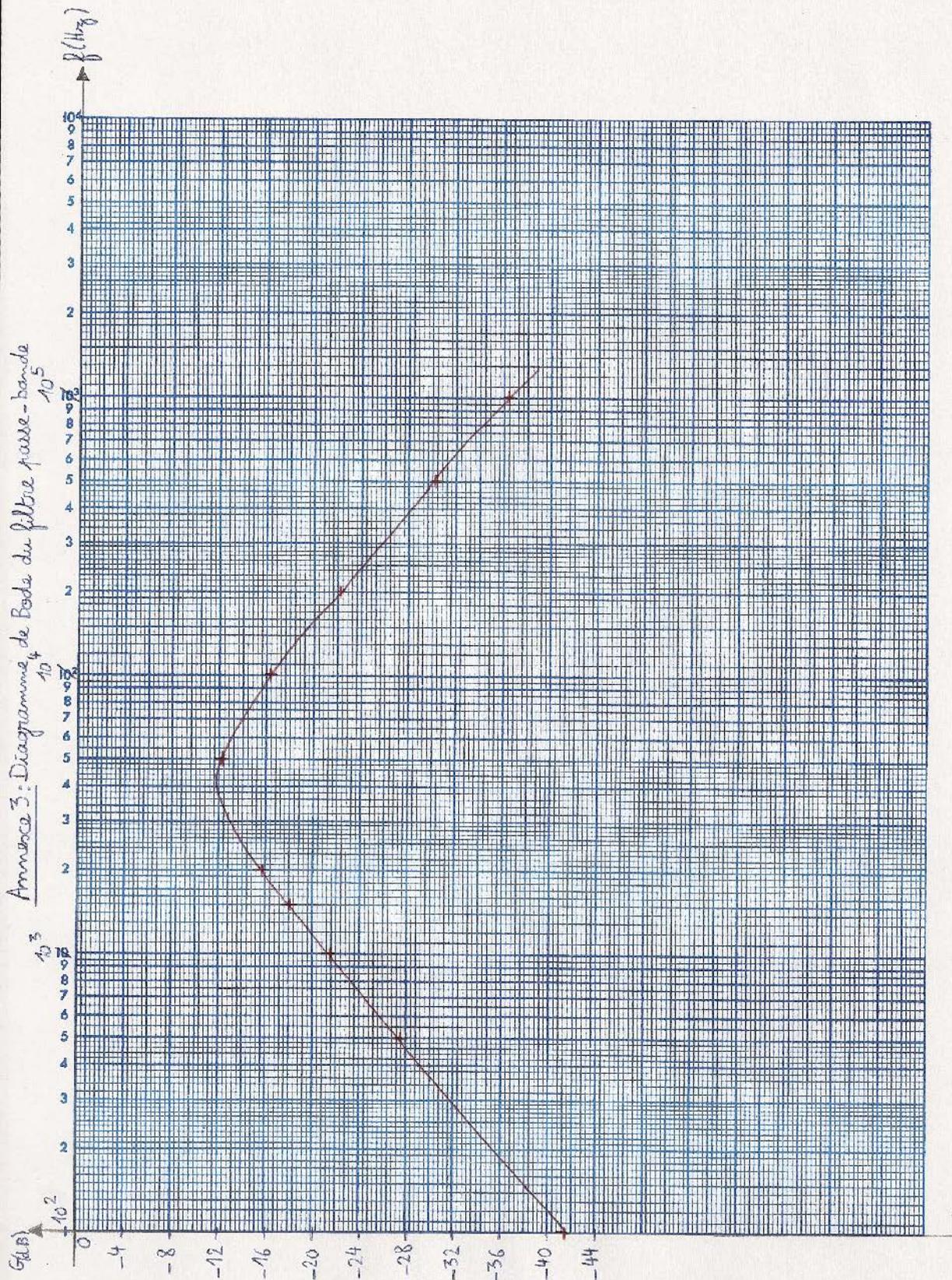
Annexes



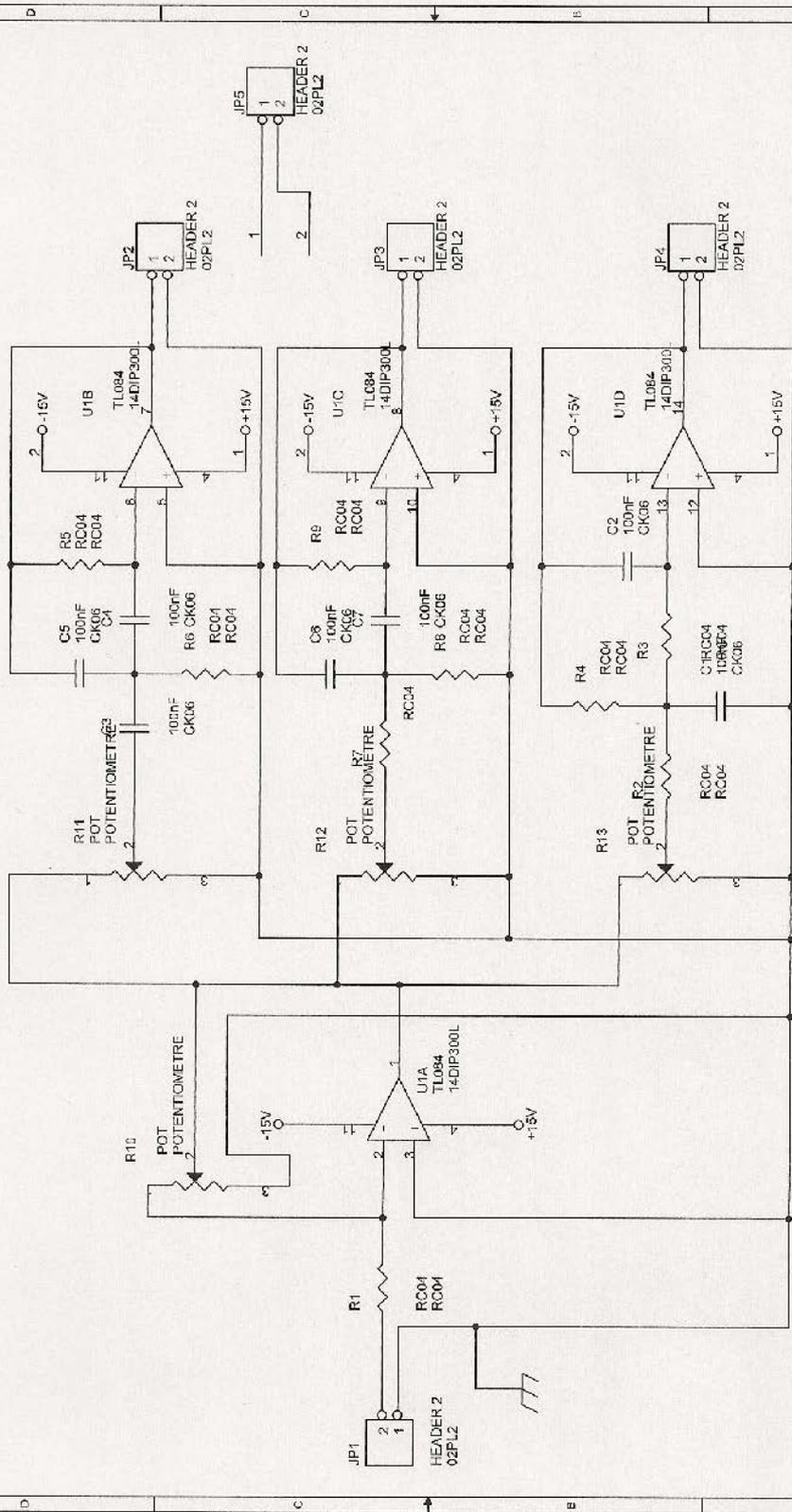
Annexé 2: Diagramme de Bode du filtre passe-haut



Annexe 3 : Diagramme de Bode du filtre passe-bande



SCH-1064 C327C Exp. 33
JONES AUBURN



Title	<Title>
Size	A
Document Number	<Doc>
Rev	<Rev/Date>
Date:	Thursday, November 15, 2012
Sheet	1 of 1