

# De la puce à l'oreille

- Jean-Claude BODOT -

## Asservissement d'un HP électrodynamique

- Chapitre 3 -

### Analyse

Afin de rendre cette analyse la plus vivante possible j'ai fait le choix d'employer le HP coaxial T18RE/XFCTV2 de SEAS . Il a le mérite de comporter un tweeter à dome au centre du HP.

Il m'apparaît être un excellent HP pour la réalisation d'une enceinte monitor de proximité.

#### ◆ Paramètres constructeur:

##### ◆◆ Du boomer:

- $R_e = 6,1 \Omega$  ,  $L_e = 0,79 \text{ mH}$
- $S_d = 120 \text{ cm}^2$
- $B.l = 6,8 \text{ N/A}$  ,  $B = 0,87 \text{ T}$
- $F_s = 26 \text{ Hz}$
- $V_{as} = 52 \text{ dm}^3$
- $Q_{ms} = 1,63$  ,  $M_{ms} = 13,7 \text{ g}$  ,  $R_{ms} = 1,45 \text{ N.s/m}$  ,  $C_{ms} = 2,7 \text{ mm/N}$
- $Q_{es} = 0,31$
- $Q_{ts} = 0,26$
- Puissance nominale.....: 80 W
- Puissance IEC 268-5 .....: 250 W
- Diamètre de la bobine mobile .....: 39mm
- longueur du bobinage .....: 12mm
- Epaisseur de la plaque de champ: 6mm
- Déplacement linéaire .....: +/- 3mm
- Déplacement max .....: +/- 9,5mm

##### ◆◆ Du Tweeter:

- $R_e = 4,8 \Omega$  ,  $L_e = 50 \mu\text{H}$
- $S_d = 7 \text{ cm}^2$
- $B.l = 2,3 \text{ N/A}$  ,  $B = 1,2 \text{ T}$
- $F_s = 1200 \text{ Hz}$
- $M_{ms} = 0,3 \text{ g}$
- Puissance nominale.....: 90 W
- Puissance IEC 268-5 .....: 220 W , (coupé à 3,5 kHz)
- Diamètre de la bobine mobile .....: 26mm
- longueur du bobinage .....: 1,5mm
- Epaisseur de la plaque de champ.....: 2mm
- Déplacement linéaire .....: +/- 0,25mm

#### ◆ Paramètres complémentaires et nécessaires.

##### ◆◆ Montage

- Diamètre extérieur:  $\Phi 176 \text{ mm}$
- Diamètre découpe:  $\Phi 143 \text{ mm}$

- 6 fixations M5 sur  $\Phi 166$  mm

♦♦ **du boomer:**

Ses fréquences de coupures électriques du HP sont:

- Sans  $R_0$ :  $f_{e0}=1228,9$  soit 1229 Hz
- Avec  $R_0$ :  $f_e= 1365,9$  soit 1366 Hz

à laquelle correspond la constante de temps  $\tau_e=1/(2.\pi. f_e) =112,52 \mu s$

La fréquence de coupure acoustique  $f_a=886,6$  Hz

à laquelle correspond la constante de temps caractéristique  $\tau_a= 1/(2.\pi. F_a) = 179,51 \mu s$

Les composants mécaniques de l'impédance de rayonnement sont:

$$M_{mr} = 0,753 \text{ g} , C_{mr} = 0,06866 \text{ mm/N} , R_{mr1} = 4,944 \text{ kg/s} , R_{mr2} = 2,18 \text{ kg/s}$$

Et ses constantes de temps de rayonnement

$$\tau_{cm} = 0,83349. \tau_a = 149,62 \mu s$$

$$\tau_{Mm} = 0,589. \tau_a = 105,73 \mu s$$

$$k_{Rmr} = 1/1,441 = 0,694$$

Il n'a pas de dôme cache poussières.

♦♦ **Du Tweeter:**

Ses fréquences de coupures électriques du HP sont:

- Sans  $R_0$ :  $f_{e0}=15,279$  kHz
- Avec  $R_0 = 0,47 \Omega$  :  $f_e= 16,775$  kHz
- de laquelle on déduit la constante de temps  $\tau_e= 9,488 \mu s$

La fréquence de coupure acoustique  $f_a=3,67$  kHz

à laquelle correspond la constante de temps acoustique  $\tau_{cm} = \tau_a = 43,366 \mu s$

et

$$\tau_{Mm} = \tau_a / 2 = 21,683 \mu s$$

### 3-1- Analyse du boomer

◆ **Protocole d'analyse:**

- L'asservissement nécessite une charge arrière la plus simple possible, autrement dit une enceinte close. Afin de comparer ce qui est comparable, je propose de réaliser une enceinte dont la taille amène à un filtre passe haut du second ordre ayant une réponse de Bessel.

Ce qui fait correspondre le coefficient de boîte à:

$$Q_b = (3^{1/2} / 3) = 3^{-1/2} = 0,577$$

Ce choix est guidé par la volonté d'avoir un temps de propagation de groupe constant, qui fera juger d'autant mieux la différence entre le système conventionnel (test A) et le système asservi (test B).

- Il m'apparaît également intéressant, de réaliser un test en plaçant le HP dans une enceinte de faible volume afin de dégager l'influence du volume de l'enceinte sur le système.
- La résistance  $R_0$  au pied du HP est nécessaire pour la mesure du courant qui circule dans le HP. La tension résultante à ses bornes est utilisée pour la boucle positive de l'asservissement. Afin que sa présence ne fasse pas trop chuter le rendement, et afin que le gain en boucle ouverte ne soit pas trop élevé, sa valeur a été fixée à  $R_0=0,68 \Omega$ .

Elle est court-circuitée lors du test A, Ce qui a pour résultat de rendre la tension de réaction  $V_r=0$ .

Pour ce test le filtre de simulation est en by pass. N'étant pas inverseur il n'y aura pas d'interprétation à chercher liée à une opposition de phase.

- En test A, le gain en boucle ouverte calculé pour le système asservi est conservé, ce qui permet de juger de l'écart de niveau sonore entre les tests A et B.
- Le schéma correspondant est:

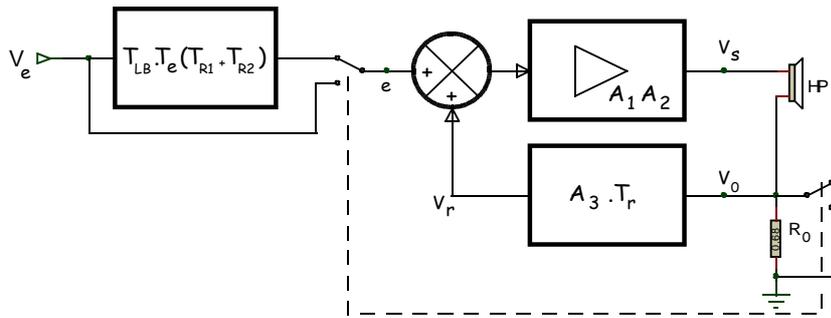


fig:1

Auquel correspond le schéma de principe

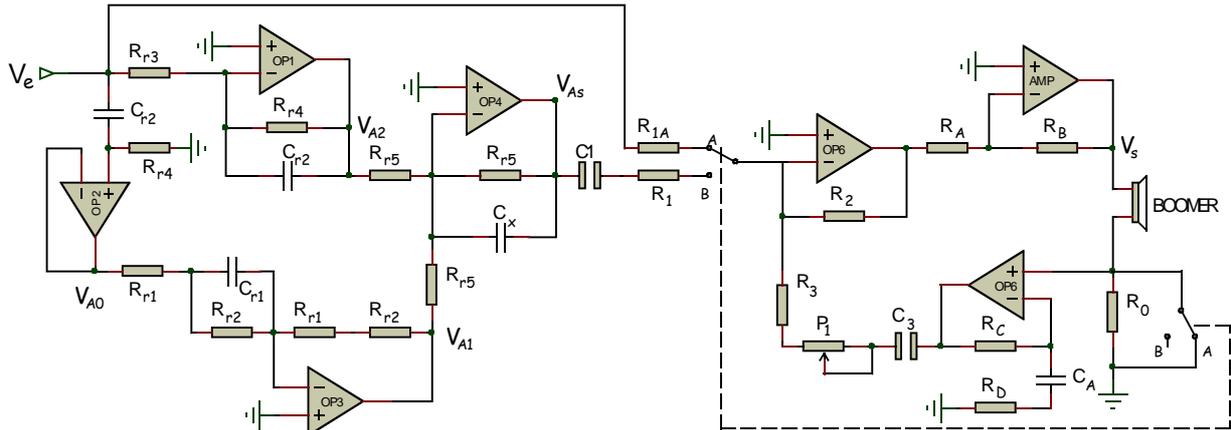


fig:2

◆ **L'environnement**

Rep	Val.	Unit	Rep	Val.	Unit	Rep	Val.	Unit
$^{\circ}C$	22		kt	1,08				
$\rho_0$	1,293	kg/m <sup>3</sup>	$\rho$	1,2	kg/m <sup>3</sup>	$Z_i$	411,97	kg/m <sup>2</sup> .s
$c_0$	331,2	m/s	$c$	344,28	m/s			

tab:1

◆ **Éléments de calcul**

Rep	Val.	Unit	Rep	Val	Unit	Rep	Val	Unit
$R_0$	0,68	$\Omega$	$\alpha_0$	0,1003				
$R_e$	6,1	$\Omega$	$\tau_e$	116,52	$\mu s$	$F_e$	1365,91	Hz
$L_e$	0,79	mH						
$B.l$	6,8	N/A						
$M_{ms}$	13,7	g						
$S_d$	120	cm <sup>2</sup>	$D_d$	12,36	cm	$r_d$	6,18	cm
			$f_a$	886,58	Hz	$\tau_a$	179,52	$\mu s$
			$\tau_{mM}$	105,74	$\mu s$	$f_{Mm}$	1505,22	Hz
			$\tau_{cM}$	149,63	$\mu s$	$f_{cm}$	1063,69	Hz
						$f'_{cm}$	1532,78	Hz
$a(\tau_e)$	0,17		$1/a(\tau_e)$	5,86				
$F_{min}$	40	Hz	$G_r$	31,51	dB	$G_e$	3,17	dB
$F_{max}$	8000	Hz						
$E_{Hp}$	0,878							
$E_{cfb}$	60,58		$G(E)$	36,77	dB			

tab:2

◆ **Valeurs calculées des composants**

Circuit de simulation			Asservissement en vitesse					
Rep	Val.	Unit	Rep	Val.	Unit	Rep	Val.	Unit
$C_{r1}$	47	nF	$R_1$	10	k $\Omega$	$C_A$	22	nF
$R_{r1}$	7219	$\Omega$	$R_2$	10	k $\Omega$	$R_C+R_D$	5296	$\Omega$
$R_{r2}$	3184	$\Omega$	$R_3$	10,00	k $\Omega$	$R_C$	4392	$\Omega$
$C_{r2}$	22	nf	$P_1$	10	k $\Omega$	$R_D$	904	$\Omega$
$R_{r3}$	4806	$\Omega$	$R_A$	4,75	k $\Omega$	$C_1 >>$	0,4	$\mu$ F
$R_{r4}$	180858	$\Omega$	$R_B$	47,36	k $\Omega$	$C_3 >>$	0,4	$\mu$ F
$C_x$	2,2	nF						
$R_{r5}$	9043	$\Omega$	$A_{b0}$	9,97		$G_{b0}$	19,97	dB
$G$	31,51	dB						

tab:3

Dans ces tableaux

- les valeurs colorées en bleu sont celles qui sont imposées par la mesure ou délivrées par le constructeur.
- Les valeurs colorées en rouge sont arbitraires ou le fruit d'une optimisation des valeurs.

Les formules de calcul sont conformes à celles qui ont été développées dans le 2° chapitre.

Les résistances ont une précision de 1% et sont choisies, dans le code E96, à une valeur la plus approchée possible des valeurs calculées.

◆ **Valeurs câblées**

Circuit de simulation			Asservissement en vitesse					
Rep	Val.	Unit	Rep	Val.	Unit	Rep	Val.	Unit
$C_{r1}$	47	nF	$R_1$	10	k $\Omega$	$C_A$	22	nF
$R_{r1}$	7,17	k $\Omega$	$R_2$	10	k $\Omega$	$R_C+R_D$	5,33	k $\Omega$
$R_{r2}$	3,16	k $\Omega$	$R_3$	10	k $\Omega$	$R_C$	4,42	k $\Omega$
$C_{r2}$	22	nf	$P_1$	10	k $\Omega$	$R_D$	909	$\Omega$
$R_{r3}$	4,87	k $\Omega$	$R_A$	4,75	k $\Omega$	$C_1$	10	$\mu$ F
$R_{r4}$	182	k $\Omega$	$R_B$	47,5	k $\Omega$	$C_3$	10	$\mu$ F
$C_x$	2,2	nF						
$R_{r5}$	9,09	k $\Omega$	$A_{b0}$	10		$G_{b0}$	20	dB
$G$	31,45	dB						

tab:4

### 3-1-1 Analyse du réseau de simulation de l'admittance de rayonnement:

C'est la partie gauche, du schéma de la figure 2, qui est pris en compte pour l'analyse de ce réseau.

Le signal est appliqué en  $V_e$  et la tension de sortie est  $V_{as}$ . Des points de mesures supplémentaires  $V_{A0}, V_{A1}, V_{A2}$ , permettent de mieux cerner le fonctionnement.

#### ◆ Diagramme asymptotique du simulateur

Les composantes de ce diagramme sont représentées dans la couleur correspondant à leur fonction de transfert,  $T_{LB}$ ,  $T_{R1}$ ,  $T_{R2}$  du chapitre 2.

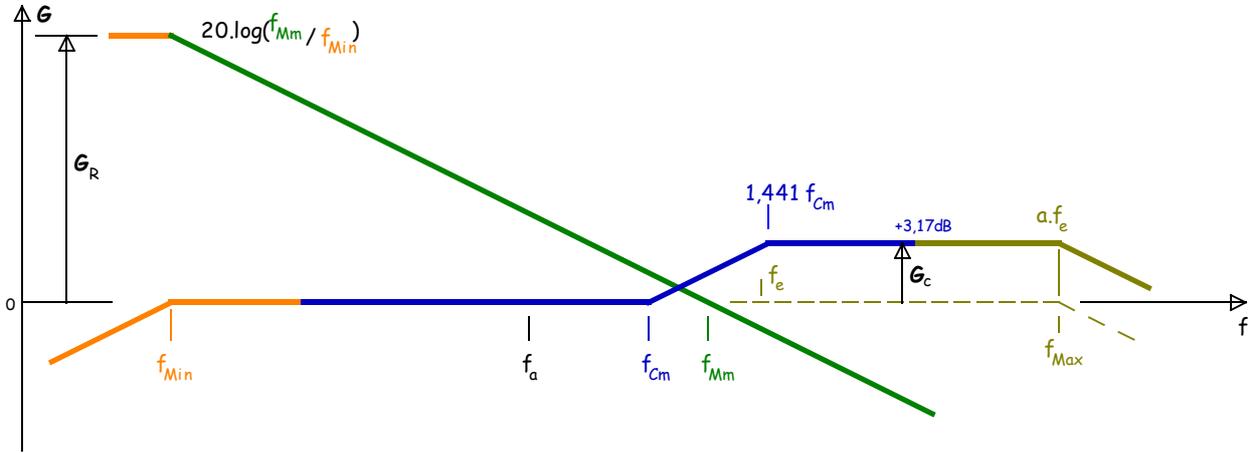


fig:3

Ce diagramme montre la réserve dynamique nécessaire pour une fréquence  $f_{min}$  déterminée

$$G_R = 20. \log (f_{Mm}/f_{min})$$

or  $\tau_{Mm} = 0,589. \tau_a$ , ce qui permet de déterminer  $G_R$  en fonction du rapport  $f_a/f_{min}$

$$G_R = 20. \log (f_a/f_{min}) + 4,6$$

Les fréquences  $f_a$  et  $f_{Mm}$  dépendent du diamètre radiant du HP. De ce fait, la réserve dynamique est d'autant plus faible que le diamètre du HP est important.

Il est certain que l'usage d'un HP de fort diamètre diminuerait la réserve dynamique.

Fort heureusement, pour notre projet initial, le facteur d'efficacité de l'asservissement en vitesse est tel que sa tension d'entrée n'est pas obligatoirement importante. Nous y reviendrons.

#### ◆ Diagrammes de Bode

La figure 4 représente la résultante de  $\{T_{LB}, T_{R1}\}$ , et  $\{T_{LB}, T_{R2}\}$  du simulateur du boomer considéré

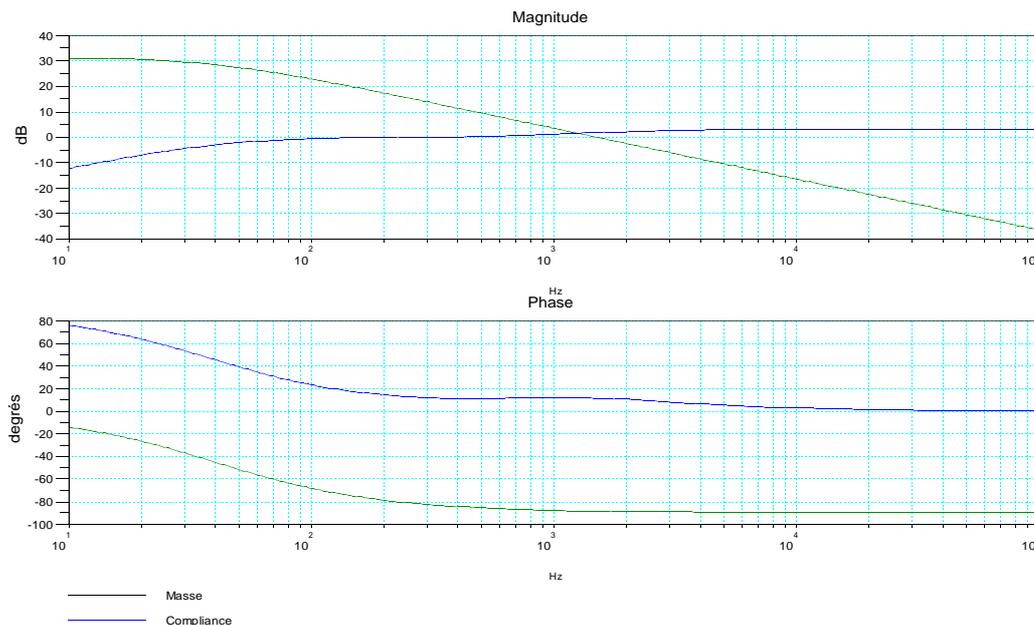


fig:4

La figure suivante montre le diagramme de bode du simulateur complet.

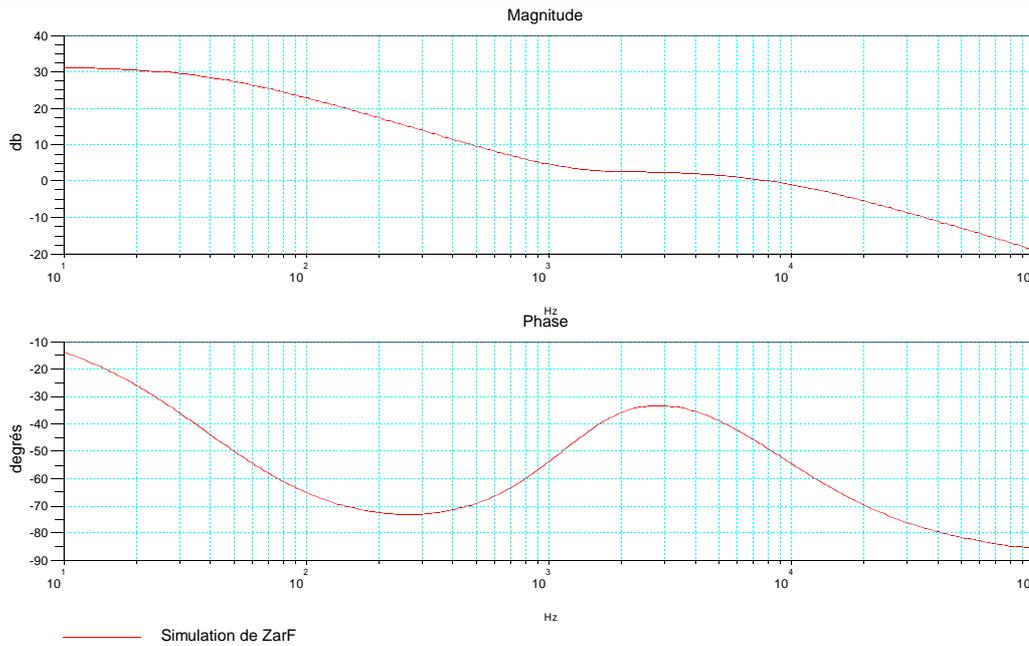


fig:5

Ces deux figures montrent la difficulté d'asservir un HP de faible diamètre, sur une bande large, sans trop affaiblir le niveau d'entrée de l'amplificateur dans la zone fréquentielle supérieure à 1kHz.

### 3-1-2 Analyse du comportement du Boomer en boucle ouverte

#### ◆ L'enceinte close:

Le câblage entre l'amplificateur et le HP étant très court, il est négligé.

La résistance  $R_0$  étant court circuitée, C'est le  $Q_{ts}$  du HP qui est pris en compte.

Les calculs amènent à un volume  $V_b=13,5 \text{ dm}^3$ , auquel correspond une compliance mécanique de 0,6847 mm/N, et une fréquence caractéristique de 57,7Hz à  $20 \cdot \log(0,577) = -4,8\text{dB}$ . HPDev permet une appréciation de 68,8Hz à -3dB.

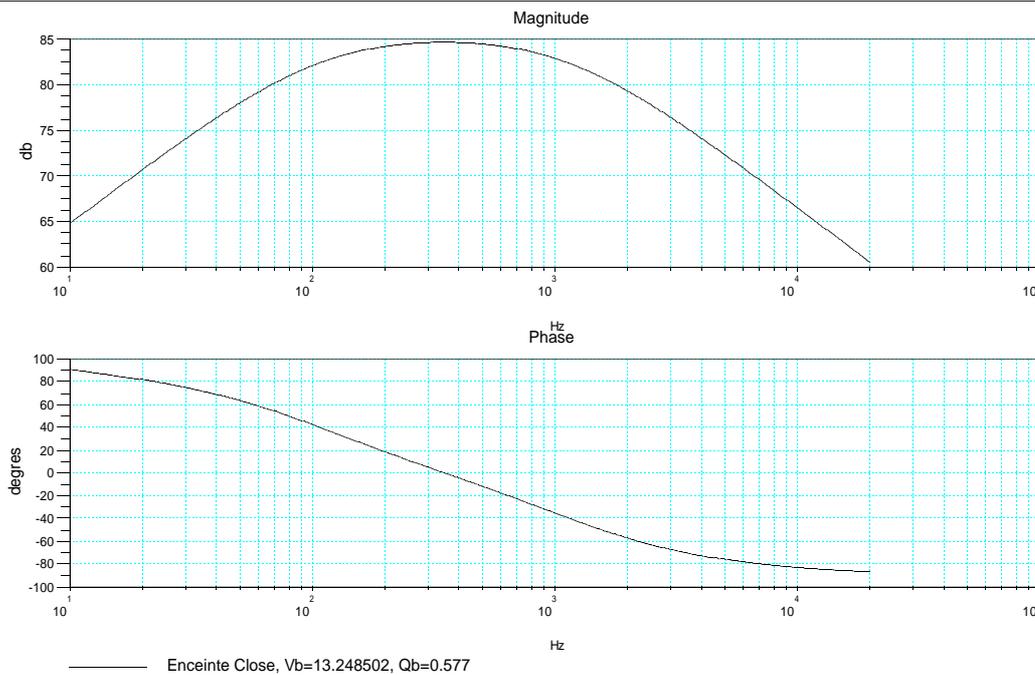


fig:6

### Remarques:

- La prise en compte de  $R_0$  dans le calcul de l'enceinte aurait abouti à  $V_b = 16,52 \text{ dm}^3$
- La fréquence haute exploitable est de  $1,8 \text{ kHz}$ ,

### ◆ L'amplificateur bouclé

Le tableau 4 fait apparaître un gain en boucle ouverte  $A_{BO} = 10$  soit  $G_{BO} = 20 \text{ dB}$

L'amplification est confiée à un LM3886. Alimenté sous  $\pm 40 \text{ V}$  il délivre  $80 \text{ W}$  sur une charge pure de  $8 \text{ Ohms}$ .

Cette puissance est suffisante pour l'application.

Le schéma retenu est le suivant.

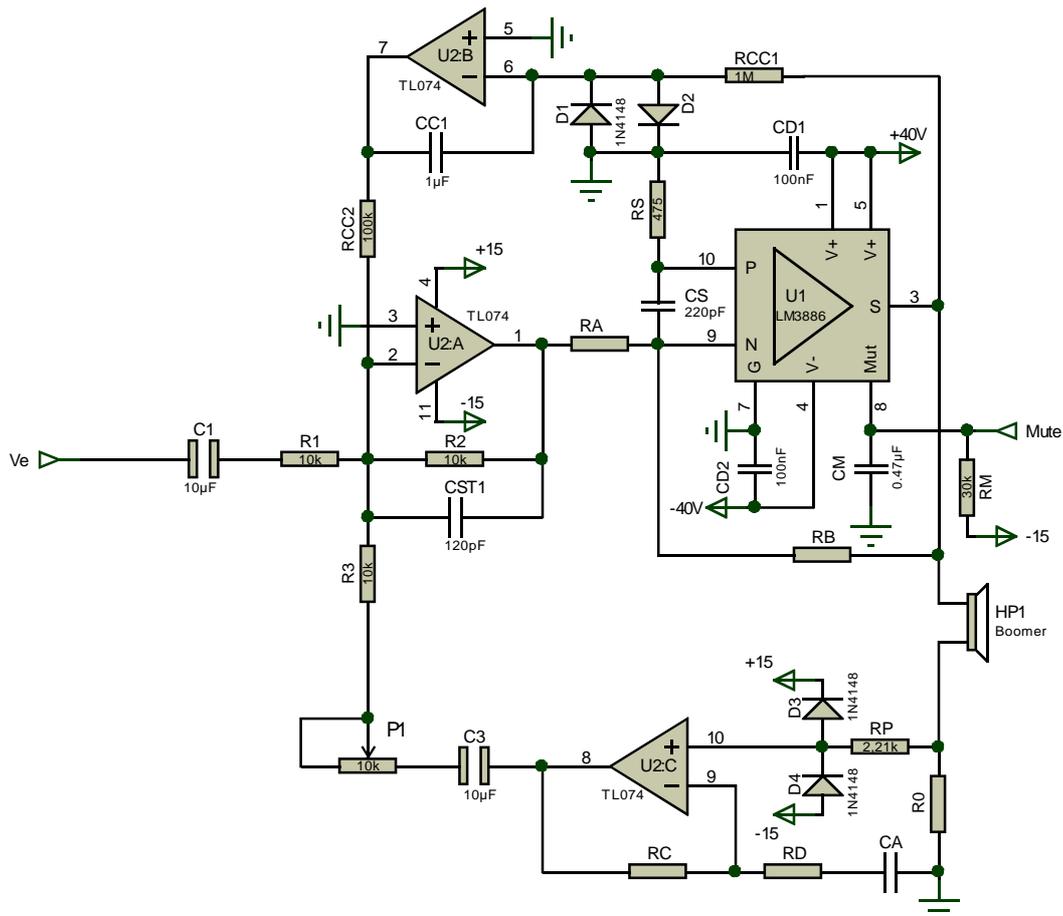


fig:7

Montage éprouvé, sa stabilité est assurée par la présence de  $R_S = 475 \Omega$  et  $C_S = 220 \text{ pF}$ . Sans oublier  $R_A$  parallèle à  $R_B$ .

Lors de l'analyse son impédance de sortie est considérée nulle. Dans la pratique rien ne contrarie cette hypothèse.  $U2:B$ ,  $RCC1, RCC2, CC1$  limitent toute dérive, en continu de l'amplificateur.

Afin d'être rigoureux il est nécessaire de l'intégrer dans l'analyse finale du système, tout comme nous devons le faire pour la fonction de transfert de l'amplificateur.

Le muting (Pas de modulation en sortie de l'amplificateur) est obtenu en mettant l'entrée « Mute » à la masse.

$R_M$  définit le courant de repos de l'amplificateur. Un courant de  $500 \mu\text{A}$  fixe le courant de repos à une dizaine de mA. La distorsion de recouvrement n'est pas audible pour cette valeur.

Un circuit commun de muting est nécessaire pour le contrôle des deux voies. Il sera développé à la fin du chapitre.

Les valeurs de  $R_1$  à  $R_3$ ,  $R_A$  à  $R_D$  sont celles qui apparaissent dans le tableau 4.