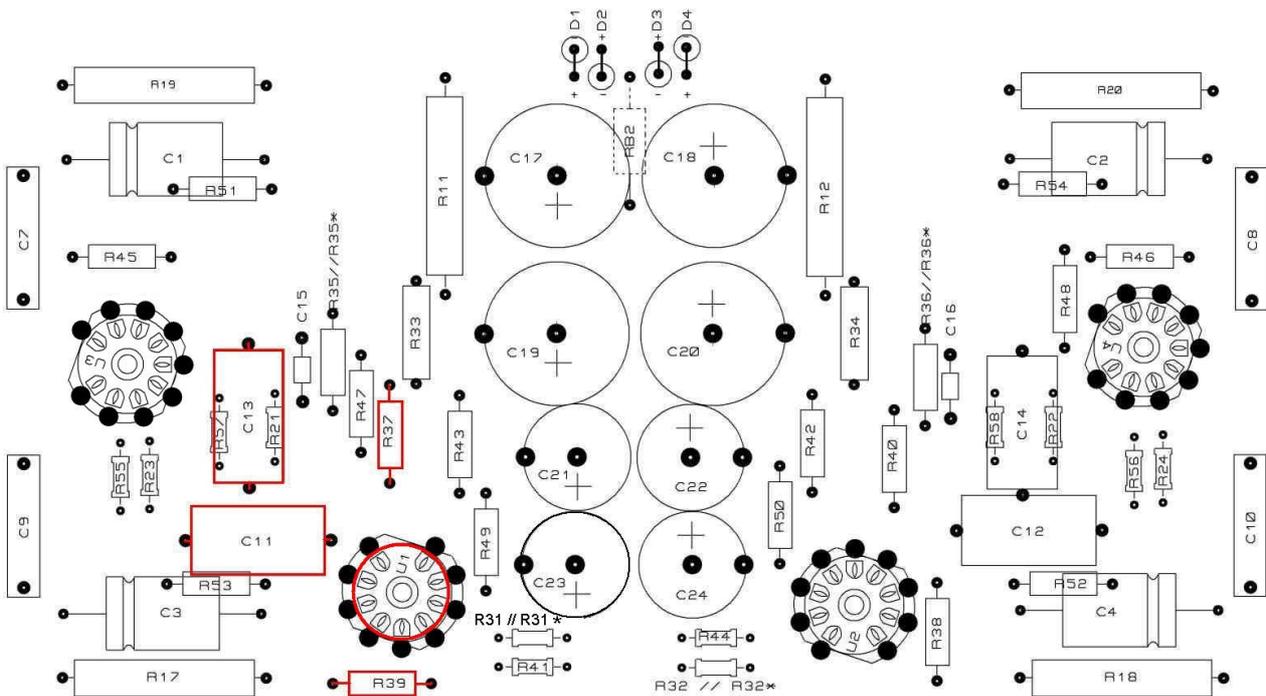


Etude de l'ampli préampli ALP2A d' Yves Cochet

Fonction FS1g-2 amplification en tension



position des composants de la fonction FS1g – 2: "amplification en tension"

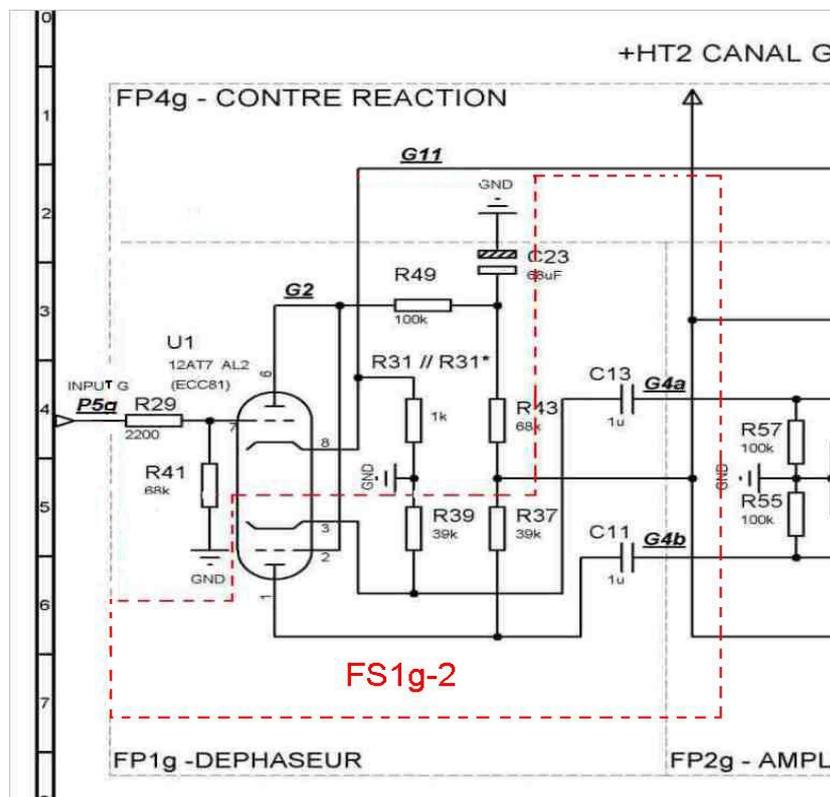
Mac-clure 2012 version 1d

Table des matières

1 Présentation.....	3
2 Paramètres idéaux et paramètres réels.....	4
3 Etude théorique.....	5
1) Etude statique: calcul du point de fonctionnement.....	6
Etude statique avec utilisation du modèle prospice du tube ECC81.....	8
2) Etude dynamique :calcul de l'amplification en tension.....	11
3) Etude graphique avec utilisation de la documentation constructeur du tube.....	15
4) Etude fréquentielle.....	24
Simulation sans charge RC.....	24
Simulation avec charge RC.....	29
5) Modélisation.....	40
Modélisation avec le modèle prospice d'Isis de Protéus version 7.....	40
Modélisation avec le modèle Mac-Clure de Protéus version 7.....	42
6) Etude temporelle.....	44
Signal d'entrée triangulaire.....	44
Signal d'entrée rectangulaire.....	45
Signal d'entrée impulsionnel.....	46
7) Mesures sur l'ampli – préampli ALP2a d'Yves Cochet.....	46
8) Conclusions.....	46

FS1g -2 : déphaseur cathodyne

1 Présentation



La fonction FP1g réalise la génération de 2 signaux électriques "Vg1-0" et Vg1-180" identiques, image du signal d'entrée "Input G" mais en opposition de phase. Une amplification en tension est également réalisée pour commander convenablement le push – pull de sortie (via la fonction FP2g).

La fonction amplification est réalisé à base de la triode ECC81 (U1-1).

La fonction déphasage est réalisé à base de la triode ECC81 (U1-2).

La résistance entre l'anode de U1 (1/2) et la haute tension "+HT2" est réalisée par deux résistors R43 (68k) et R49 (100k). Un condensateur de filtrage C23 (68uF) est connectée entre le point commun de ces deux résistors et la masse. Ceci permet un filtrage de la tension d'alimentation plus efficace pour éviter d'entre un phénomène de "ronflette" en provenance de +HT2. La fonction FS1g-2 génère 2 signaux identiques, image de "Input G", mais en opposition de phase. L'amplification en tension est proche de 1 (légèrement inférieur à 1). C'est pour cela que l'on a besoin de la fonction FS1g-1 "amplification en tension". Les 2 signaux électriques "Vg1-0" et Vg1-180" peuvent ensuite attaquer les drivers (fonction FP2 – g : amplification en tension) de commande du push – pull (amplification en puissance classe AB1).

2 Paramètres idéaux et paramètres réels

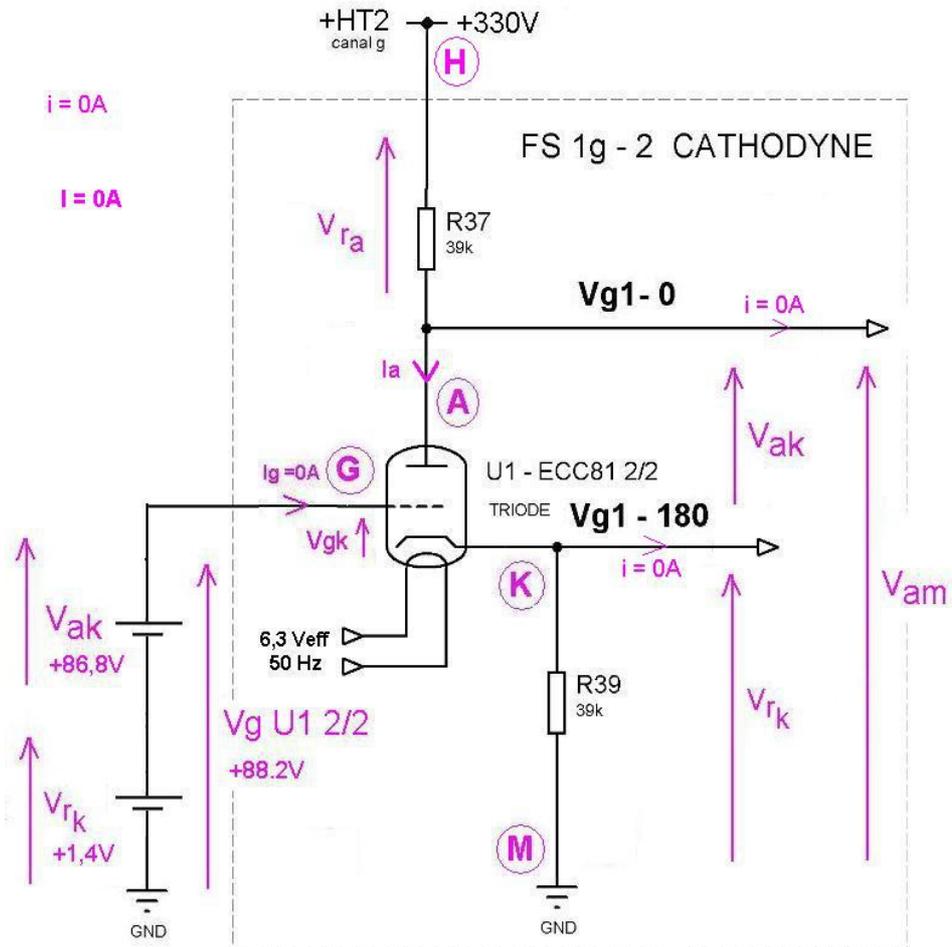
Les paramètres idéaux sont:

- résistance d'entrée de "Input G2" infinie
- résistances de sortie de Vg1-0 et Vg1-180 nulles
- pas de défaut de linéarité (distorsion nulle)
- amplification désirée obtenue
- bande passante infinie ...

Les paramètres "atteignables" seront:

- grande résistance d'entrée sur "Input G2"
- résistances de sortie Vg1-0 et Vg1-180 faibles et de valeur proches l'une par rapport à l'autre. (difficile à obtenir dans le cas d'un montage cathodyne...)
- bandes passantes les plus grandes possibles et de valeur proches l'une par rapport à l'autre. (difficile à obtenir dans le cas d'un montage cathodyne...)
- défaut de linéarité la plus faible possible

3 Etude théorique



(Etude statique)

L'étude de la structure FS1g - 2 se décompose de la façon suivante:

- Une étude statique: calcul du point de fonctionnement.
- Une étude dynamique :calcul de l'amplification en tension
- Une étude graphique avec utilisation de la documentation constructeur de la lampe.
- Etude fréquentielle
- modélisation
- Une simulation avec le logiciel ISIS.
Une étude dynamique avec utilisation du modèle équivalent du tube ECC81
Une étude dynamique avec utilisation du modèle générique "MC"
- Mesures sur l'ampli – préampli ALP2a d'Yves Cochet.
 - point de fonctionnement
 - amplification en tension
 - bande passante
- Mes conclusions

1) Etude statique: calcul du point de fonctionnement

(3)

ECC81 2/2 (FS 1.2g)

Etude statique (calcul du point de fonctionnement)

Tension d'entrée continue (pas de signal utile)

La tension tension V_{G1} ($V_{G1}, U_1, 2/2$) vaut :

$$V_{G1} = V_{AK} + V_{RK}$$

$$V_{G1} = 86,8 + 1,4 = 88,2V$$

$$V_{G1} = +88,2V$$

↳ (voir calculs FS 1.1g)

loi des mailles :

maille GKMG

$$-V_{GK} - V_{KM} + V_{G1} = 0V$$

$$\Rightarrow V_{G1} = V_{GK} + V_{KM} \rightarrow V_{GK} + V_{KM} = +88,2V$$

maille MKAHM

$$V_{RK} + V_{AK} + U_{RA} - U_{HM} = 0V \rightarrow U_{HM} = V_{RK} + U_{AK} + U_{RA} \quad (2)$$

$$\Rightarrow U_{RK} + U_{AK} + U_{RA} = +330V$$

$$V_{AK} = -\mu V_{GK} \quad (3) \quad (\text{loi fondamentale de la triode})$$

$$(2) \Rightarrow +HT2 = R_{39} \cdot I_A + U_{AK} + R_{37} I_A$$

(appel $I_A = I_K$ en I_{G1} ou I_A ; loi des nœuds)

$$+HT2 = (R_{39} + R_{37}) I_A + U_{AK} \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{l} (3) \\ (4) \end{array} \right\} \rightarrow +HT2 = (R_{37} + R_{39}) I_A - \mu V_{GK} \quad (5)$$

$$\text{or (1)} \Rightarrow V_{GK} = +V_{G1} - V_{KM} \Rightarrow U_{GK} = V_{G1} - R_{39} \cdot I_A \quad (6)$$

$$(5) \rightarrow +HT2 = (R_{37} + R_{39}) I_A - \mu (V_{G1} - R_{39} I_A)$$

$$(6) \Rightarrow +HT2 = (R_{37} + R_{39}) I_A - \mu V_{G1} + \mu R_{39} I_A$$

$$+HT2 = (R_{37} + R_{39} + \mu R_{39}) \cdot I_A - \mu U_{GM} \quad (A)$$

$$\rightarrow +HT2 + \mu U_{GM} = (R_{37} + R_{39} + \mu R_{39}) I_A$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{+HT2 + \mu U_{GM}}{R_{37} + R_{39} + \mu R_{39}}$$

$$I_A = \frac{+HT2 + \mu U_{GM}}{R_{37} + R_{39}(1 + \mu)}$$

V. N.: (valeurs numériques)

$$+HT2 = +330V ; U_{GM} = +88,2V$$

$$\mu = +60 \text{ (pour } I_A = 10\mu A)$$

$$R_{37} = 39k\Omega$$

$$R_{39} = 39k\Omega$$

$$I_A = \frac{330 + 60 \cdot 88,2}{39 \cdot 10^3 + 39 \cdot 10^3 (1 + 60)} = \frac{330 + 5292}{39 \cdot 10^3 [1 + (1 + 60)]}$$

$$\Rightarrow I_A = \frac{+5622}{2418} = +2,325mA$$

$$I_A = +2,325mA$$

$$U_{KM} = R_{39} \cdot I_A = 39 \cdot 10^3 \cdot 2,325 \cdot 10^{-3} = +90,675V$$

$$U_{RK} = R_{37} I_A = U_{KM} = +90,675V$$

$$\text{donc } U_{AK} = +HT2 - U_{KM} - U_{HA} = 330 - (2 \times 90,675)$$

$$\rightarrow U_{AK} = 148,65V$$

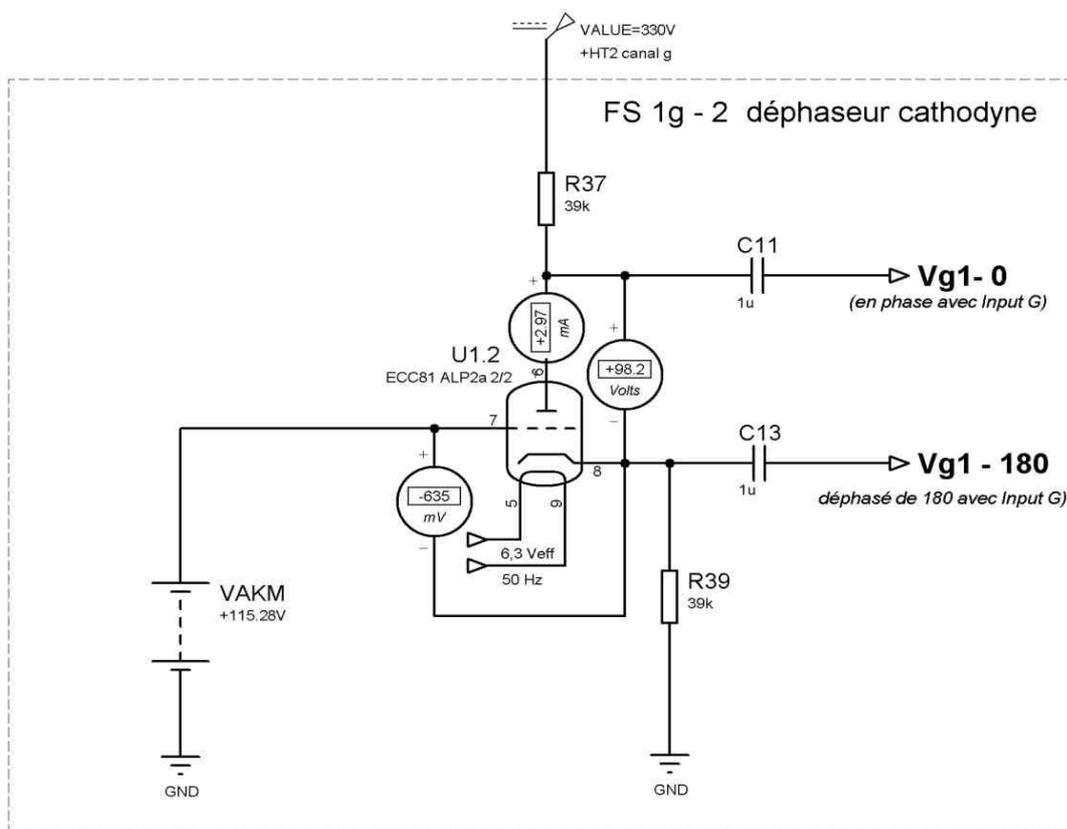
point de fonctionnement :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_A = +2,325mA \\ U_{AK} = 148,65V \end{array} \right.$$

$$V_{GK} = V_{GM} - V_{KM} = +88,2 - 90,675 \Rightarrow V_{GK} = -2,475V$$

SIMULATION

- Etude statique avec utilisation du modèle prospice du tube ECC81



Point de fonctionnement:

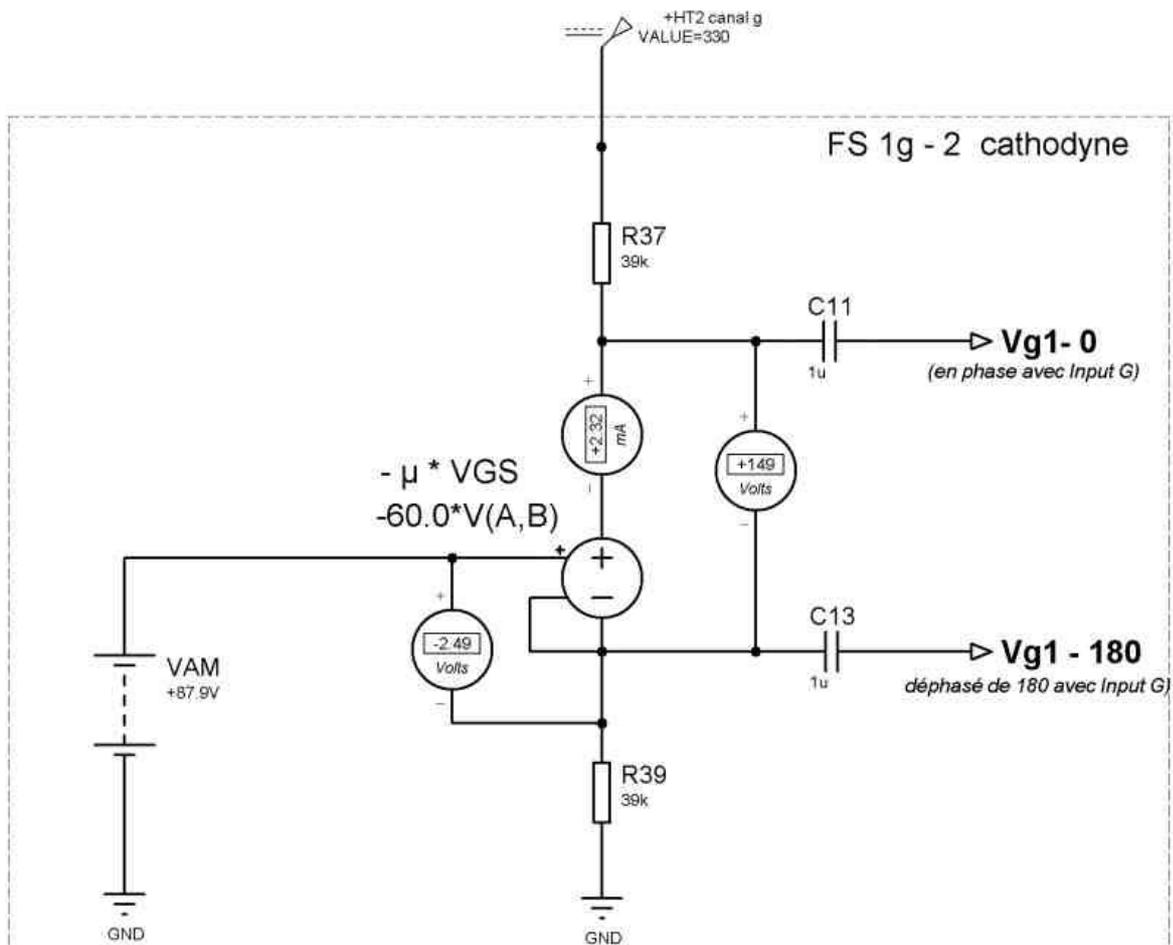
$I_a = +2,97 \text{ mA}$

$V_{ak} = +98,2 \text{ V}$

et

$V_{gk} = -0,635 \text{ V}$

- Etude statique avec utilisation du modèle générique "Mac-Clure" du tube ECC81



Point de fonctionnement:

$$I_a = +2,32 \text{ mA}$$

$$V_{ak} = +149 \text{ V}$$

et

$$V_{gk} = -2,49 \text{ V}$$

Il est à noter que la résistance R_i ici n'apparaît pas dans ce schéma structurel.

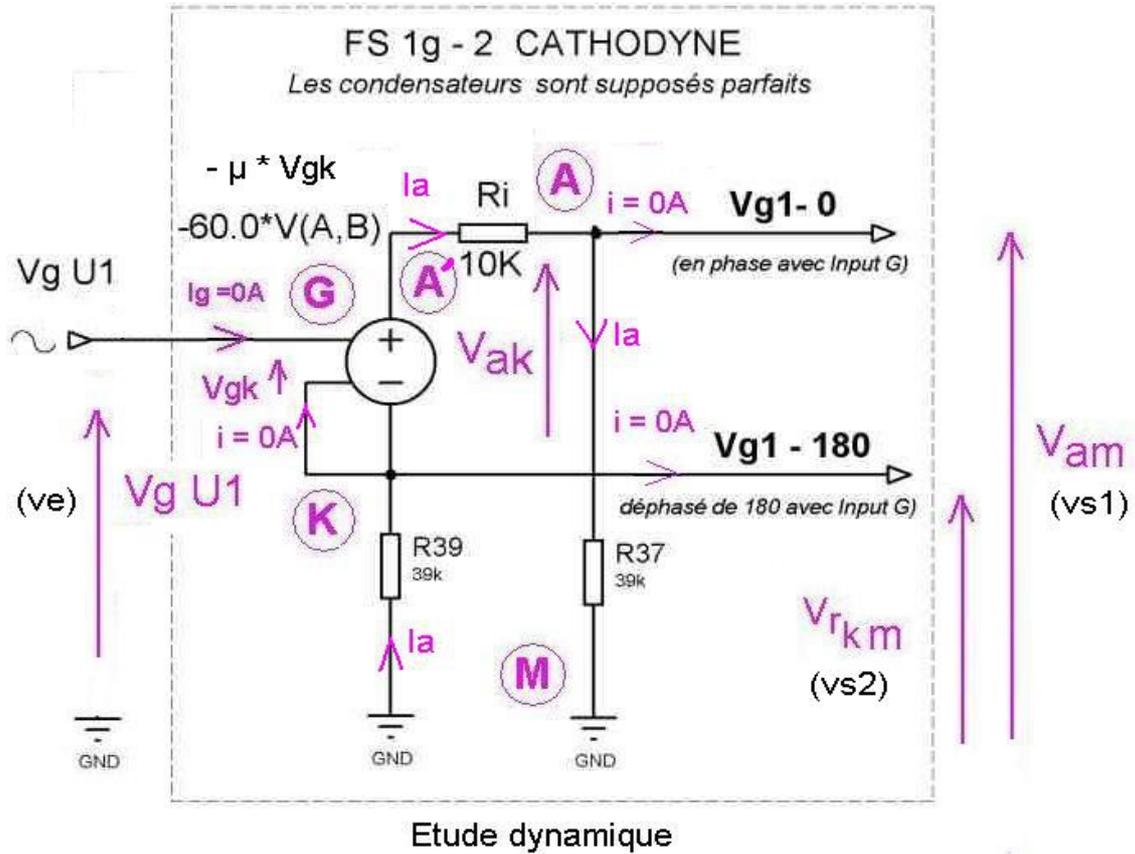
Etude de l'amplificateur ALP2a d'Yves COCHET

- Tableau récapitulatif du point de fonctionnement statique: pas de signal audio (avec Input G = 0V)

	par le calcul	simulation modèle prospice 7	simulation modèle générique M.C.
Vak (V)	158,870	98,200	149,000
Ia (mA)	2,325	2,970	2,320
Vgk (V)	-2,475	-0,635	-2,490

2) Etude dynamique

1 calcul de l'amplification en tension



1/5

Etude dynamique de FS 1g-2 : amplification en tension
 ECC81 1/2 (FS 1g-2) : calcul de "Vs2"
 j'applique la relation Charles :

$$V_{AM} = V_{AA'} + V_{AK} + V_{KM}$$

$$\rightarrow R_{37} I_A = -R_i I_A + (-\mu V_{GK}) + V_{S2} \quad (1)$$

et

$$V_{GK} = V_{GK} + V_{KM}$$

$$\rightarrow V_{GK} = V_{GM} - V_{KM} = V_e - V_{S2} \quad (2)$$

$$(1) \text{ et } (2) \Rightarrow R_{37} I_A = -R_i I_A + (-\mu [V_e - V_{S2}]) + V_{S2} \quad (3)$$

$$\text{or } R_{39} I_A = -V_{KM} = -V_{S2} \rightarrow I_A = -\frac{V_{S2}}{R_{39}} \quad (5)$$

$$(3) \text{ et } (5) \Rightarrow R_{37} \left(-\frac{V_{S2}}{R_{39}}\right) = -R_i \left(-\frac{V_{S2}}{R_{39}}\right) + (-\mu [V_e - V_{S2}]) + V_{S2}$$

$$\rightarrow -V_{S2} \times \frac{R_{37}}{R_{39}} = +V_{S2} \times \frac{R_i}{R_{39}} - \mu V_e + \mu V_{S2} + V_{S2}$$

$$\rightarrow \mu V_e = V_{S2} \times \frac{R_i}{R_{39}} + \mu V_{S2} + V_{S2} + V_{S2} \times \frac{R_{37}}{R_{39}}$$

$$\rightarrow \mu V_e = V_{S2} \left[\frac{R_i}{R_{39}} + \mu + 1 + \frac{R_{37}}{R_{39}} \right]$$

$$\rightarrow \frac{V_{S2}}{V_e} = \frac{\mu}{1 + \mu + \frac{R_i + R_{37}}{R_{39}}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\mu} + \frac{R_i + R_{37}}{\mu R_{39}}}$$

$$\Rightarrow A_{V_{S2}} = \frac{V_{S2}}{V_e} = \frac{V_{g1} - 180}{V_{g1} - 0} \Rightarrow A_{V_{S2}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\mu} + \frac{R_i + R_{37}}{\mu R_{39}}}$$

si μ très grand $\Rightarrow A_{VS} \approx +1$

(a)

2/5

Le résultat est positif, les signaux v_e et v_{s2} sont en phase.

application numérique

$$R_i = 10\text{ k}\Omega \text{ (datasheet)}; R_{37} = R_{39} = 39\text{ k}\Omega$$

$$\mu = 60 \text{ (datasheet)}$$

$$\rightarrow A_v = \frac{1}{1 + 1/60 + \frac{10^4 + 39 \cdot 10^3}{60 \cdot 39 \cdot 10^3}} \rightarrow A_v = +0,963$$

$$A_{v_{s2}} = +0,963$$

l'amplification en tension est légèrement inférieure à +1

ECC81 1/2 (FS19-2) : calcul de v_{s1}

j'applique (encore...) la relation de Charles

$$\rightarrow v_{s1M} = v_{AA'} + v_{A'K} + v_{KM}$$

$$\rightarrow v_{s1M} = -R_i I_A + (-\mu v_{GK}) - R_{39} I_A \quad (1)$$

je pose $v_{s1M} = v_{s1}$ pour alléger l'écriture

$$\text{d'autre part } v_{s1} = R_{37} I_A \rightarrow I_A = \frac{v_{s1}}{R_{37}} \quad (2)$$

$$(1) \text{ et } (2) \Rightarrow v_{s1} = -R_i \frac{v_{s1}}{R_{37}} - \mu v_{GK} - R_{39} \frac{v_{s1}}{R_{37}} \quad (3)$$

$$\text{d'autre part } v_{GM} = v_{GK} + v_{KM} = v_e$$

$$\rightarrow v_{GK} = v_{GM} - v_{KM} = v_e - v_{KM} = v_e - (-R_{39} I_A) \quad (4)$$

$$(3) \text{ et } (4) \Rightarrow v_{s1} = -\frac{R_i}{R_{37}} v_{s1} - \mu (v_e + R_{39} I_A) - \frac{R_{39} v_{s1}}{R_{37}}$$

$$V_{S1} = -\frac{R_i}{R_{37}} V_{S1} - \mu \left(v_e + \frac{R_{39}}{R_{37}} v_{S1} \right) - \frac{R_{39}}{R_{37}} U_{S1}$$

$$\rightarrow U_{S1} + U_{S1} \times \frac{R_i}{R_{37}} + U_{S1} \frac{R_{39}}{R_{37}} \mu + \frac{R_{39}}{R_{37}} U_{S1} = -\mu v_e$$

$$\rightarrow U_{S1} \left[1 + \frac{R_i}{R_{37}} + \mu \frac{R_{39}}{R_{37}} + \frac{R_{39}}{R_{37}} \right] = -\mu v_e$$

$$\Rightarrow A_{V_{S1}} = \frac{U_{S1}}{v_e} = - \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R_{37}} + \frac{R_{39}}{R_{37}} (1 + \mu)}$$

divisons par μ (toujours pourquoi pas !)

$$\rightarrow \boxed{A_{V_{S1}} = - \frac{1}{\frac{1}{\mu} + \frac{R_i}{\mu R_{37}} + \frac{R_{39}}{R_{37}} \left(\frac{1}{\mu} + 1 \right)}} \quad (*)$$

en posant $\mu \gg 1 \rightarrow$
 et $\mu R_{37} \gg R_i \rightarrow A_{V_{S1}} = - \frac{R_{37}}{R_{39}}$

application numérique :

$$\mu = 60; R_i = 10k\Omega \text{ (datasheet ECC81)}$$

$$R_{37} = R_{39} = 39k\Omega$$

$$\rightarrow A_{V_{S1}} = - \frac{1}{\frac{1}{60} + \frac{10 \cdot 10^3}{60 \cdot 39 \cdot 10^3} + 1 \cdot \left(\frac{1}{60} + 1 \right)} = -0,963$$

$$\Rightarrow \boxed{A_{V_{S1}} = -0,963}$$

On peut conclure que $|A_{V_{S1}}| = |A_{V_{S2}}| = 0,963$. Les signaux ont des tensions identiques à la phase près. L'égalité des signaux U_{g1-0} et U_{g1-180} dépend de la précision des valeurs

de R_{37} et R_{39} .

Influence de la tolérance des composants.

en comparant les formules Messieurs de A_{VS_2} (a) et A_{VS_1} , on remarque que les composants résistifs R_{37} et R_{39} sont les composants qui interviennent de façon significative pour la valeur de A_V .

La nomenclature nous donne R_{37}, R_{39} : $39k\Omega \pm 5\%$ 1W

$$R = 39k\Omega \pm 5\% \rightarrow R = 39k\Omega \pm 1,95k\Omega$$

$$\rightarrow R_{\text{mini}} = 39 - 1,95 = 37,05k\Omega$$

$$\rightarrow R_{\text{maxi}} = 39 + 1,95 = 40,95k\Omega$$

Calculons les cas extrêmes: (on prend $\mu = 60$ et $R_i = 10k\Omega$)

a) $R_{37} = 37,05k\Omega$ et $R_{39} = 40,95k\Omega$

$$\rightarrow A_{VS_1} = -0,873649$$

$$\rightarrow A_{VS_2} = +0,965422$$

b) $R_{37} = 40,95k\Omega$ et $R_{39} = 37,05k\Omega$

$$\rightarrow A_{VS_1} = -1,063176$$

$$\rightarrow A_{VS_2} = +0,961192$$

note: en prenant la formule simplifiée $A_V = \pm \frac{R_{39}}{R_{37}}$

alors A_V varie entre 0,904 et 1,105

Pour améliorer la précision, on peut soit faire un tri des valeurs de R_{37} et R_{39} , plus simple: utiliser des résistances à 1%. (j'évite personnellement le

retours au potentiomètre.

Les calculs avec $R = \pm 1\%$ sont fait ultérieurement (l'avantage des résistors à 1%, mise à part une meilleure tolérance, est d'avoir un coefficient de température beaucoup plus stable

bons:

calcul de la puissance dissipée (pour valider en pos la puissance choisie de 1W.

$$R_{37} = R_{39} = 39 \text{ k}\Omega$$

$$I_A = +2,325 \text{ mA} \rightarrow \text{je prends } 2,5 \text{ mA par sécurité}$$

$$P_w = R I^2 \rightarrow P_{R37} = P_{R39} = 39 \cdot 10^3 \times (2,5 \cdot 10^{-3})^2$$

$$P_{R37} = P_{R39} = 0,244 \text{ W}$$

la valeur de 1W peut sembler un peu élevée. (1/4W est trop juste et 1/2W est OK, donc 1W aussi bien sûr. Il faut vérifier par contre la tension maxi au borne du résistor (voir datasheet resistor).

Cette étude sera faite ultérieurement (voir projet ampli 2012 (2013?))

Conclusion sur les calculs

La fonction FS19-2 remplit son rôle de déphaseur.

La précision de la structure dépend de R_{37} et R_{39}
L'amplification en tension du déphaseur cathodyne est légèrement inférieur à +1.

On peut améliorer la linéarité du déphaseur en utilisant des résistors à 1%.

- 2 calcul de la résistance de sortie $V_{g1} - 0$

Le calcul théorique est reportée à une date ultérieure...

Ceci dit, pour avoir un ordre d'idée, je simule en utilisant la méthode de la demi - tension

- 3 calcul de la résistance de sortie $V_{g1} - 180$

Le calcul théorique est reportée à une date ultérieure...

Ceci dit, pour avoir un ordre d'idée, je simule en utilisant la méthode de la demi - tension

- 3) Etude graphique avec utilisation de la documentation constructeur du tube

L'étude graphique est reportée à une date ultérieure...

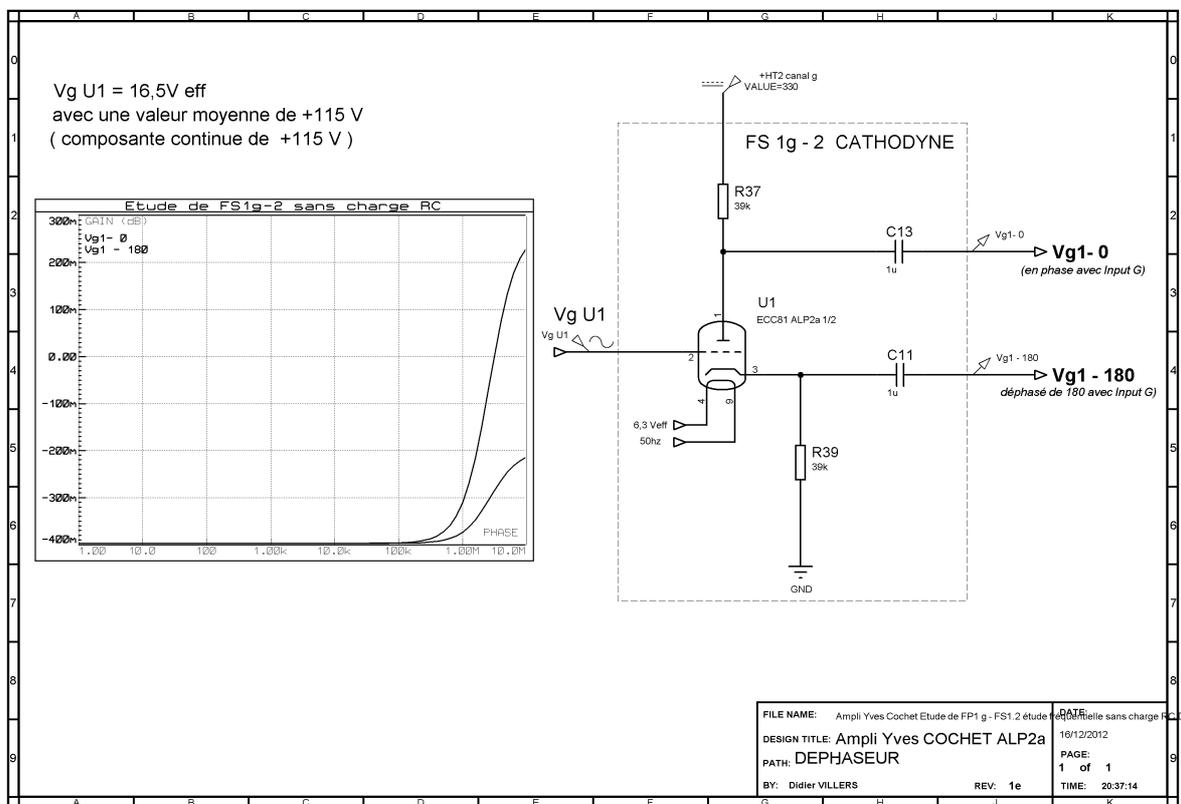
4) Etude fréquentielle

Le calcul de la bande passante sera (peut être) fait ultérieurement. Mac-Clure est toujours fatigué par tous ces calculs mais il faudra bien y revenir un jour ou l'autre . Bref utilisons la simulation.

Simulation sans charge RC

- simulation avec le modèle proteus (pspice)

Le schéma structurel est le suivant:



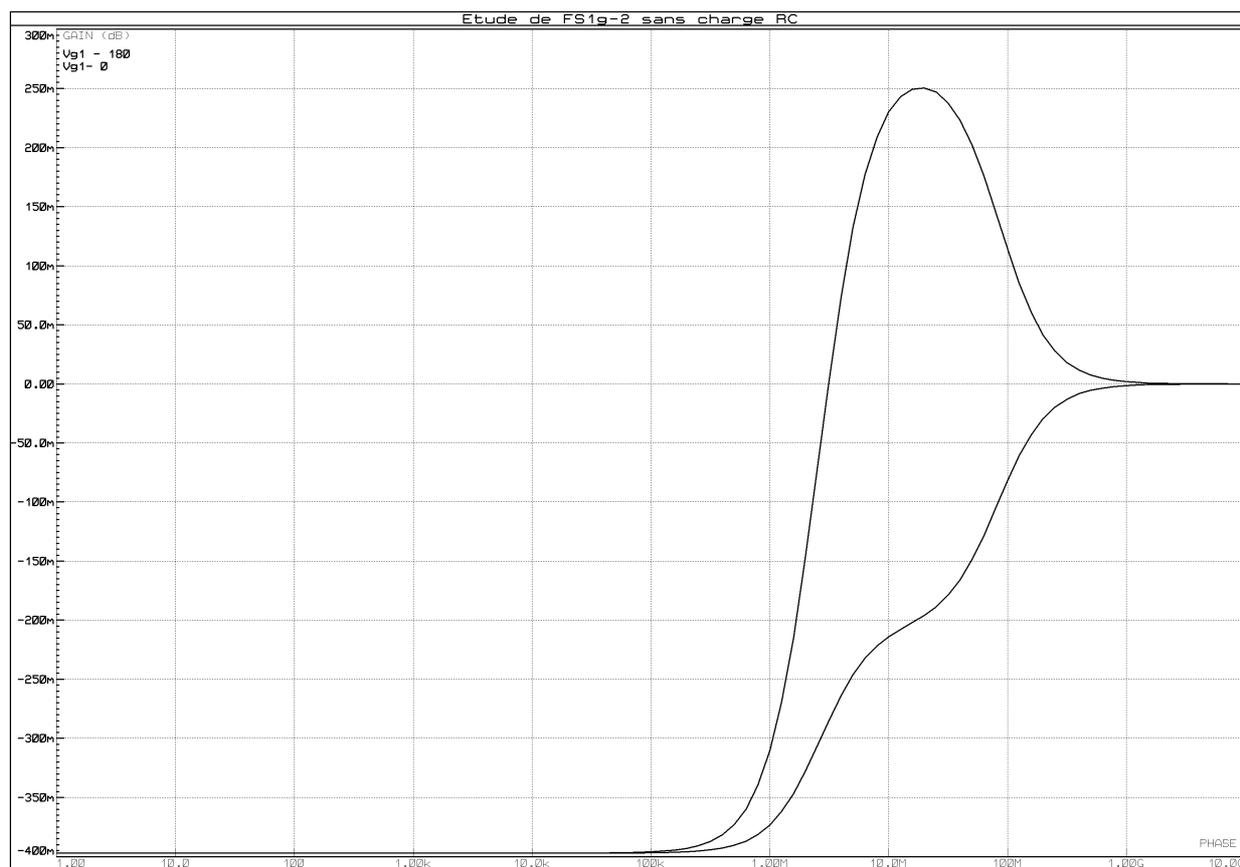
Je fais varier le signal d'entrée de 1 Hz à 10 Mhz le signal d'entrée Vg U1.

Vg est un signal sinusoïdal de tension efficace de 16,5 V avec une composante continue de +115V.

La courbe de réponse est visible à la page suivante:

Ci dessous les mêmes courbes de réponse pour une variation de 1Hz à 10Ghz. D'accord je fais dans la HF maintenant, mais bon, les courbes sont intéressantes, cela montre que les courbes sont complexes et tendent vers 0 dB.

Etude de l'amplificateur ALP2a d'Yves COCHET



Le courbe de Bode Vg1-0 est la courbe avec la bosse. Vg1-180 c'est l'autre en forme de marche d'escalier.

Les courbes de Bode Vg1-0 et Vg1-180 sont pratiquement identiques, de 1 Hz à 100 kHz. (courbes plates). Après c'est plus compliqué. Les deux courbes sont des "passe-haut" Les équations de Bode ne sont simples...

L'étude de ces courbes de Bode, à l'aide du simulateur, montre une belle et grande bande passante plate pour les 2 signaux (0 à 70 kHz pour Vg1-0 et 0 à 134 kHz pour Vg1-180). Ceci dit elles sont différentes et cela ne plait pas toujours aux audiophiles (puristes ?). Je ne me sens pas capable de donner une bande passante à -1 dB, encore moins à -3dB. Y a t'il un effet sur la qualité finale du son ? Je ne sais répondre. Il faut pousser davantage l'étude du déphaseur cathodyne, en particulier sur l'étude temporelle des signaux .

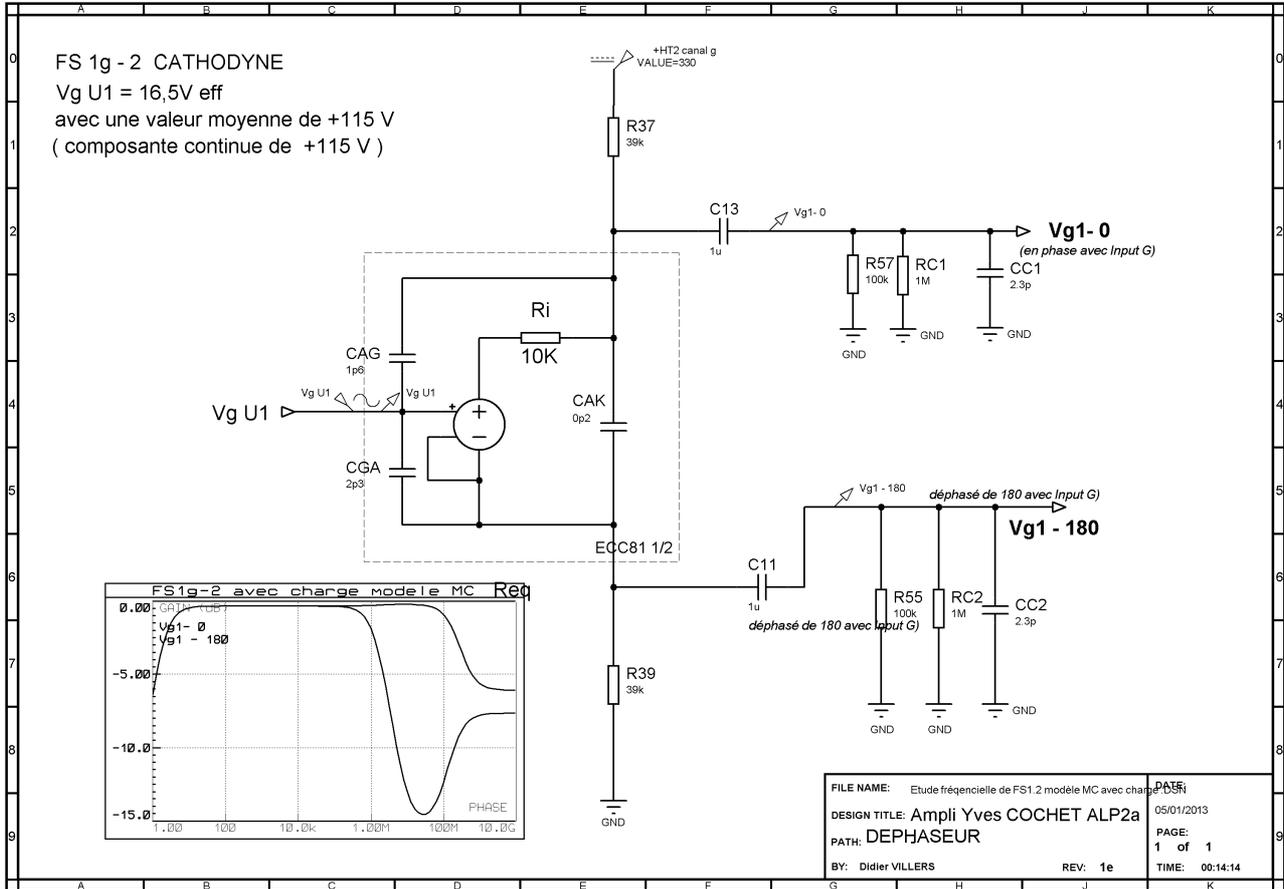
Maintenant, avec mes oreilles de cinquantenaire et mes acouphènes, les signaux de 100kHz et ne me posent guère de problèmes ...



Etude de l'amplificateur ALP2a d'Yves COCHET

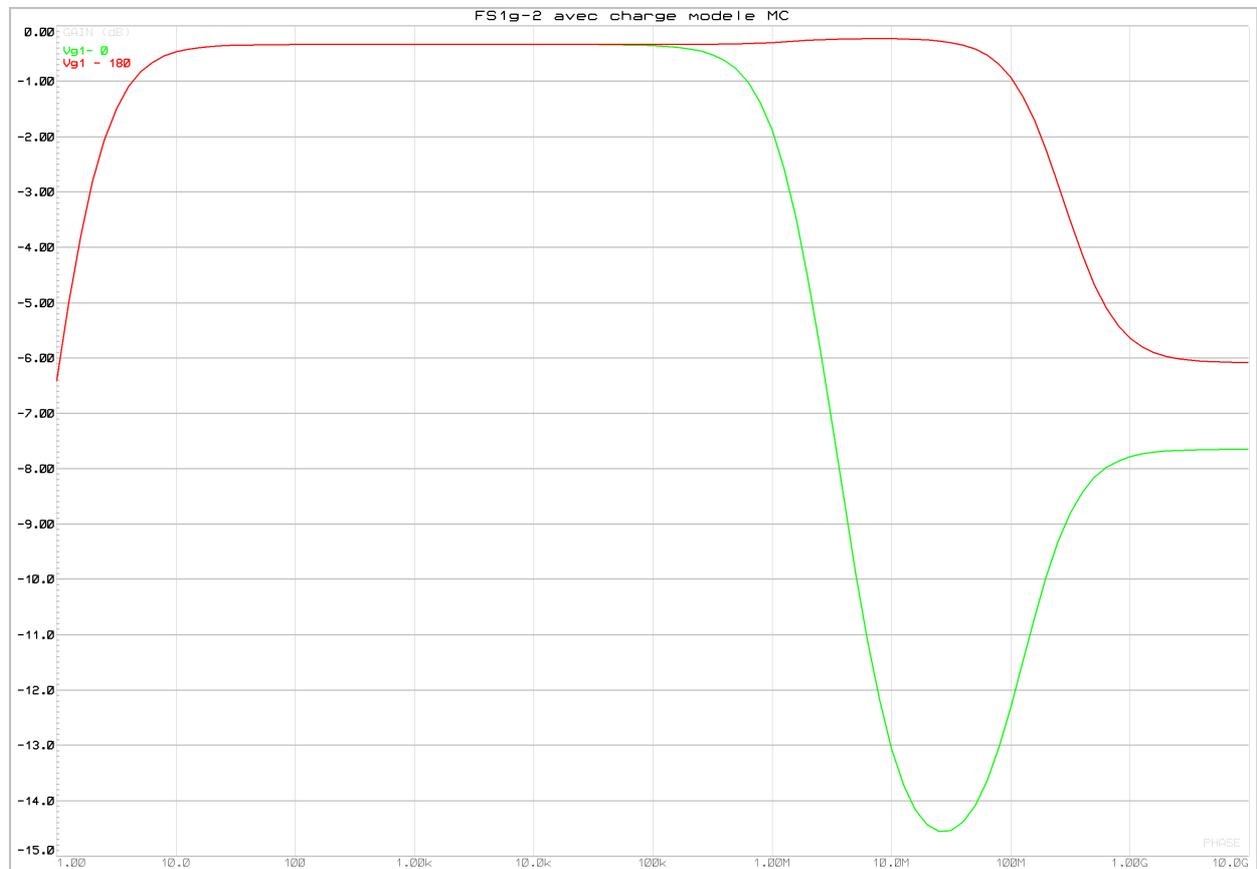
- simulation avec le modèle Mac-Clure

Le schéma structurel est le suivant:



Simulation avec charge RC

simulation avec le modèle Mac-Clure + charge Rc (grille de l'autre triode incluse)



Il s'agit ici d'une courbe passe bande pratiquement plate de 10 Hz à 100 khz. Ce n'est plus un filtre passe haut. Après 100 kHz, les courbes sont différentes.

5) Modélisation

1 Modélisation avec le modèle prospice d'Isis de Protéus version 7

à terminer

2 Modélisation avec le modèle Mac-Clure de Protéus version 7

à terminer

6) Etude temporelle

1 Signal d'entrée triangulaire

J'utilise un signal triangulaire pour visualiser la linéarité du signal de sortie de la fonction FS1-1 "amplification".

Fréquences retenues:

1 Hz – 10 Hz – 20 Hz – 100 Hz – 1000 Hz – 5000 Hz – 10 kHz – 20 kHz – 100 kHz - 1 Mhz

Toutes les courbes de simulation sont visibles sur l'annexe 1:

Fichier: "Ampli ALP2a FS1g-2 etude temporelle triangle annexe 1.zip"

2 Signal d'entrée rectangulaire

Fréquences retenues:

J'utilise un signal rectangulaire pour visualiser les temps de montées et de descentes du signal de sortie de la fonction FS1-1 "amplification".

1 Hz – 10 Hz – 20 Hz – 100 Hz – 1000 Hz – 5000 Hz – 10 kHz – 20 kHz – 100 kHz - 1 Mhz

3 Signal d'entrée impulsionnel

1 Hz – 10 Hz – 20 Hz – 100 Hz – 1000 Hz – 10 kHz – 20 kHz – 100 kHz - - 500kHz 1 Mhz

Toutes les courbes de simulation sont visibles sur l'annexe 2:

Fichier: "Ampli ALP2a FS1g-2 etude temporelle rectangulaire annexe 2.zip"

Les signaux d'impulsion +10V et de durée très faible par rapport à la période sont quasi-identiques jusqu'à 10 kHz. A 20kHz la distorsion est visible. Après on navigue sur la mer: jolie courbe de charge de condensateur ou d'intégrateur. Il y a peu de différence avec ou sans charge Ze. Passons aux mesures.

Toutes les courbes de simulation sont visibles sur l'annexe 3:

Fichier: "Ampli ALP2a FS1g-2 etude temporelle signaux impulsionnels annexe 3.zip"

7) Mesures sur l'ampli – préampli ALP2a d'Yves Cochet.

Les mesures seront réalisées à une date ultérieure (je déménage)

- point de fonctionnement

à terminer

- amplification en tension

à terminer

- bande passante

à terminer

8) Conclusions

- La première conclusion est que je n'ai pas terminé l'étude (c'est pas bien je sais mais il faut savoir s'arrêter pour étudier autre chose et revenir après sur certains problèmes). Bref les conclusions ne sont pas définitives; elle sont encore " à conclure.."
- Le déphaseur cathodyne me semble fonctionner très correctement sur les fréquences audibles. Je devrais compléter cette étude par la mesure (par simulation ou à l'aide d'une maquette) de la (des) distorsion(s).
- L'amplification en tension est légèrement inférieur à +/- 1 suivant la sortie. Ceci explique la nécessité d'amplifier en amont le signal audio (c'est le rôle de la fonction FS1g-1 "amplification
- Le montage est simple à mettre en oeuvre. Il n'y a pas de problème majeur à priori à la mise au point de ce montage (pas de réglage).
- Pour améliorer la qualité du montage il faut utiliser des résistors à 1% (si vous en possédez à 1 pour mille cela convient parfaitement) pour R37 et R39.
- A 20 kHz les signaux de forme triangulaire Vg1-0 et Vg1-180 sont pratiquement parfait
- Les signaux de forme rectangulaire sont très corrects jusqu'à une fréquence de 20 kHz. Il est à noter toutefois une impulsion brève d'amplitude non négligeable dans le cas de sortie sans charge (avec toutefois un signal rectangulaire qui a un temps de montée de 1 ns.
- Les signaux de forme impulsionnels sont pratiquement de même forme que les signaux de forme rectangulaire (assez logique)
- L'équilibre (l'égalité) de la valeur des charges de sortie sur Vg1-0 et Vg1-180 influe fortement sur la qualité des signaux de sortie.
- Le signal Vg1-0 est de moins bonne qualité que le signal Vg1-180 (montage

suiveur)

- A partir de signaux de fréquences supérieures à 100kHz, on est dans les "choux" (particulièrement vrai pour le signal Vg1-0)