

CONCOURS CONCEPTION AMPLIFICATEUR

Francis Brooke

<http://www.francisaudio.fr/>

Les schémas simulés

1.	Le Jean-Marc Plantefevé 30W paru dans la RDS217.....	2
2.	Le schéma de Selem	3
3.	Le schéma de Faugeras	4
4.	Le 8W publié dans L'Audiophile n°27.....	5
5.	Le schéma de l'Audiophile n°32 de mars 95	6
6.	Le schéma inspiré du 14W classe A paru dans la revue LED n°2 p.58	7
7.	Mon schéma 40W Mosfet classe AB	8
8.	Le schéma de Christophe	9
9.	Le 50W Compact d'Elektor n°227 de mai 1997	10
10.	Le LED 165 de mai 2001	11
11.	Le schéma de Mike Renardson.....	12
12.	Le PSS600 de PSS Audio.....	13
13.	Le Palimpseste de Jean-Michel Le Cleac'h.....	14
14.	Le Dartzeel.....	16
15.	Le Zenquito évolution de Jean-Marc Plantefevé	18
16.	Le Mosquito de Jean Marc Plantefevé	19
17.	Le Son of Zen de Nelson Pass dans la variante avec source de courant	20
18.	Le JBL SA660	21
19.	Le schéma de Jimmy Thomas.....	22
20.	Le Artec ARTP70 "signature" de Jean-Pierre Voiturier	23
21.	Le Profet/Triphon II de Selectronic.....	24
22.	Le schéma de François Mastroianni	25
23.	Le LFA50 d'Elektor.....	26
24.	Schéma inspiré du Shabda de Jean-Michel Le Cleac'h	27
25.	Le schéma de Hervé Lebbolo	29
26.	Le schéma de la revue Nouvelle Electronique n°39.....	30
27.	Le Bryston 9B-SST	31
28.	Le Dalix présenté dans la RDS en Mai 98.....	32
29.	Le Vander Elst PX 701	33
30.	Le Denon PMA-S10II	34
31.	Le schéma de Wim de Jager paru dans Electronics World en décembre 1999	36
32.	Le schéma de Ian Hegglin paru dans Electronics World en septembre 1995.....	37
	Références.....	38

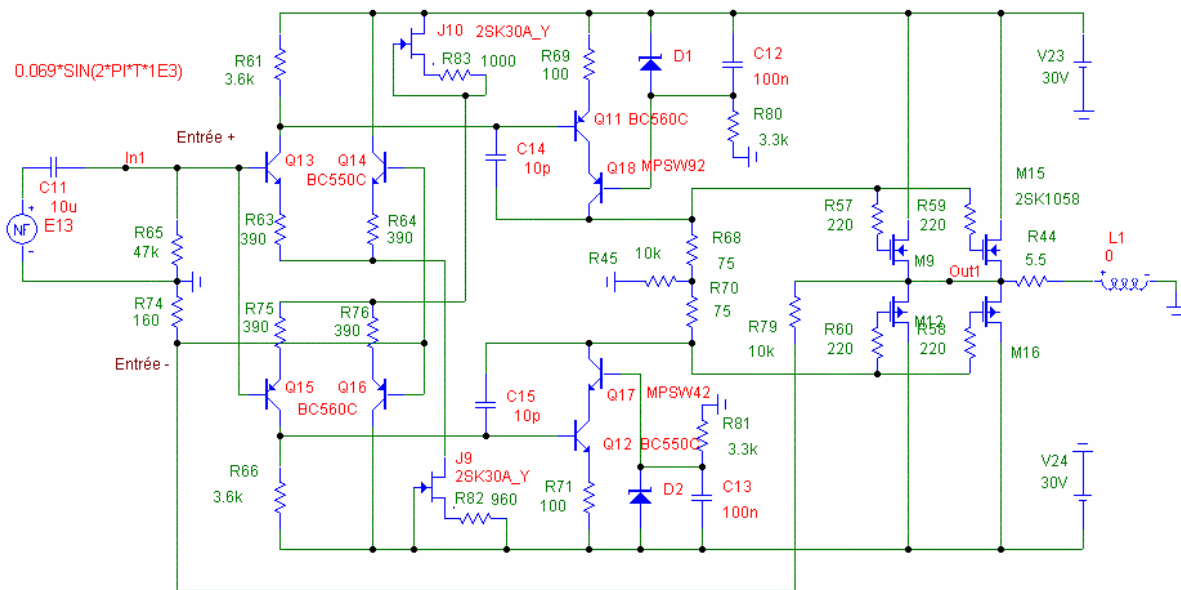
Historique

Rev.2 Troisième campagne septembre 2006 à avril 2007 : schémas 24 à 32

Rev.1 Deuxième campagne janvier à juin 2006 : schémas 13 à 23

Rev.0 Première campagne de simulation juin à septembre 2005 : schémas 1 à 12

1. Le Jean-Marc Plantefevre 30W paru dans la RDS217



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C01_RDS217.gif

Simulation0 : Puissance : 43 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-70.6dB et H3/H1=-88.9dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

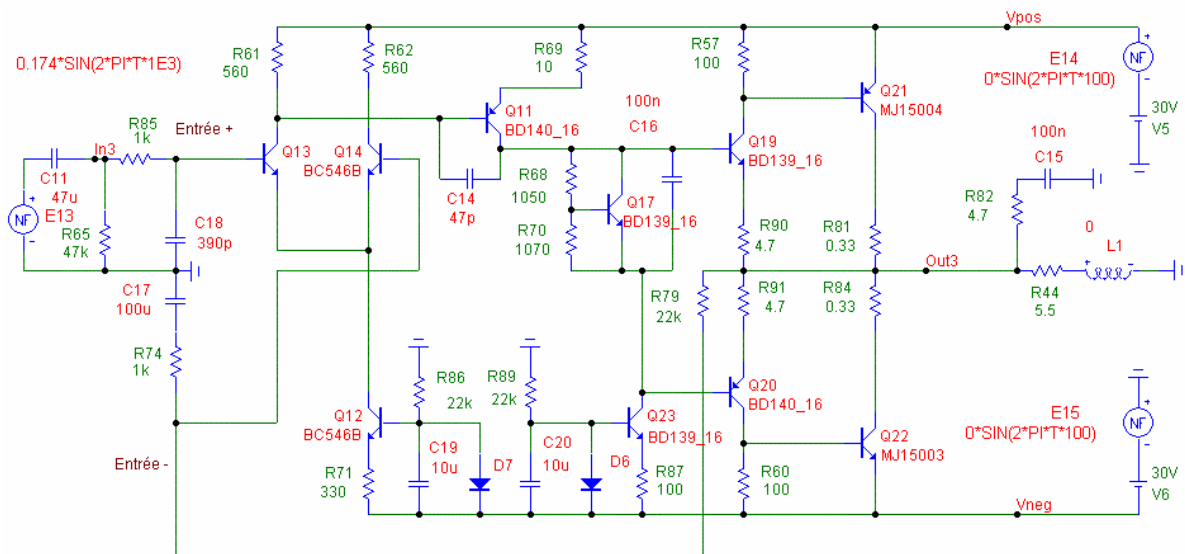
Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie -1mV a 27°C et -458mV a 75°C

Simulation3 : Rejection ondulation alimentation : -60dB

Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive (8ohm//1µF) : +16%

Simulation5 : Impédance de sortie sur R = 5,5 ohm : 0,075 ohm

2. Le schéma de Selem



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C02_Selem1.gif

Simulation0 : Puissance : 62 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-103.1dB et H3/H1=-97.1dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie -128mV a 27°C et -70mV a 75°C

Simulation3 : Rejection ondulation alimentation : -46dB

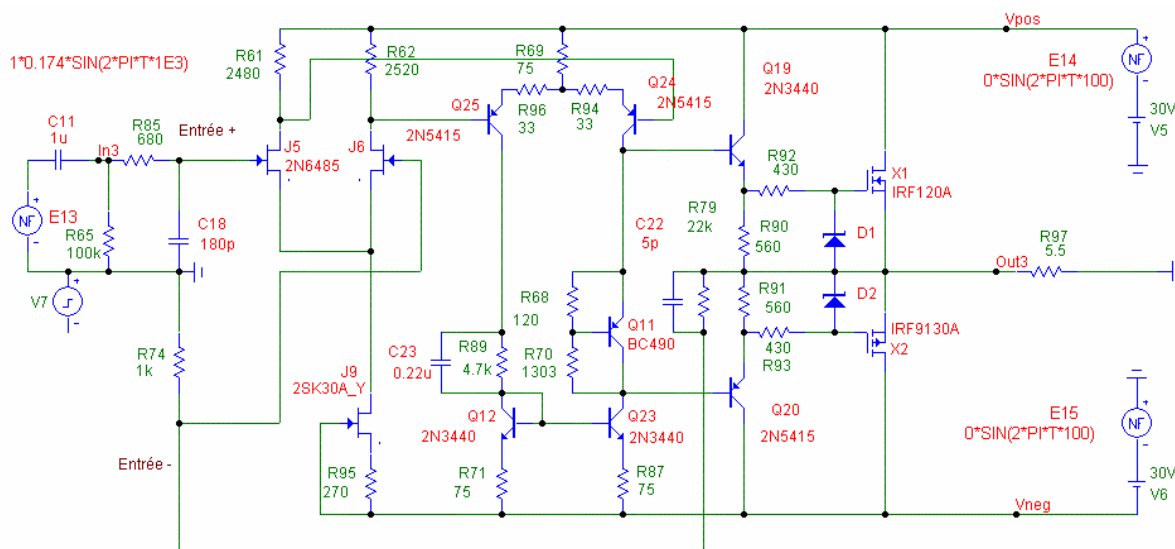
Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive : instable pour une capacité en // du 8ohm supérieure a 20nF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R = 5,5 ohm : 0,00032 ohm

Pour obtenir une bonne stabilité avec une charge 8ohm//1uF, les solutions classiques sont :

- réduction du gain en boucle ouverte (ajout R=33ohm aux bornes des émetteurs de Q13 et Q14),
- réduction de la bande passante en boucle ouverte (augmentation de C14 de 47 a 68pF)
- réduction de la bande passante en boucle fermée (mise en place d'un condensateur de 47pF en // de R79)
- mise en place d'une boucle de contre-réaction locale sur l'étage de sortie (raccordement des émetteurs de Q19 et Q20 aux résistances R81 et R84).

3. Le schéma de Faugeras



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C03_Faugeras.gif

Du fait de l'absence de certains modèles Spice, les BD529/530 ont été remplacés par des 2N3440/2N5415 ($F_t > 15\text{MHz}$) et le LM334Z a été remplacé par un FET.

Le remplacement le plus critique pour la stabilité du montage est celui des BD529/530 ($F_t = 150\text{MHz typ.}$). En effet le remplacement par des transistors plus rapides comme les BD139/140 ($F_t = 190\text{MHz typ.}$) se traduit par un montage instable y compris sur charge purement résistive.

Simulation0 : Puissance : 49 Weff/5.5ohm ($H3/H1 = 1\%$)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion $H2/H1 = -91.4\text{dB}$ et $H3/H1 = -78.3\text{dB}$ pour $U_s = 4\text{V}$ à 1kHz sur $R = 5.5\text{ohm}$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie -1mV à 27°C et $+39\text{mV}$ à 75°C

Simulation3 : Rejection ondulation alimentation : -32dB

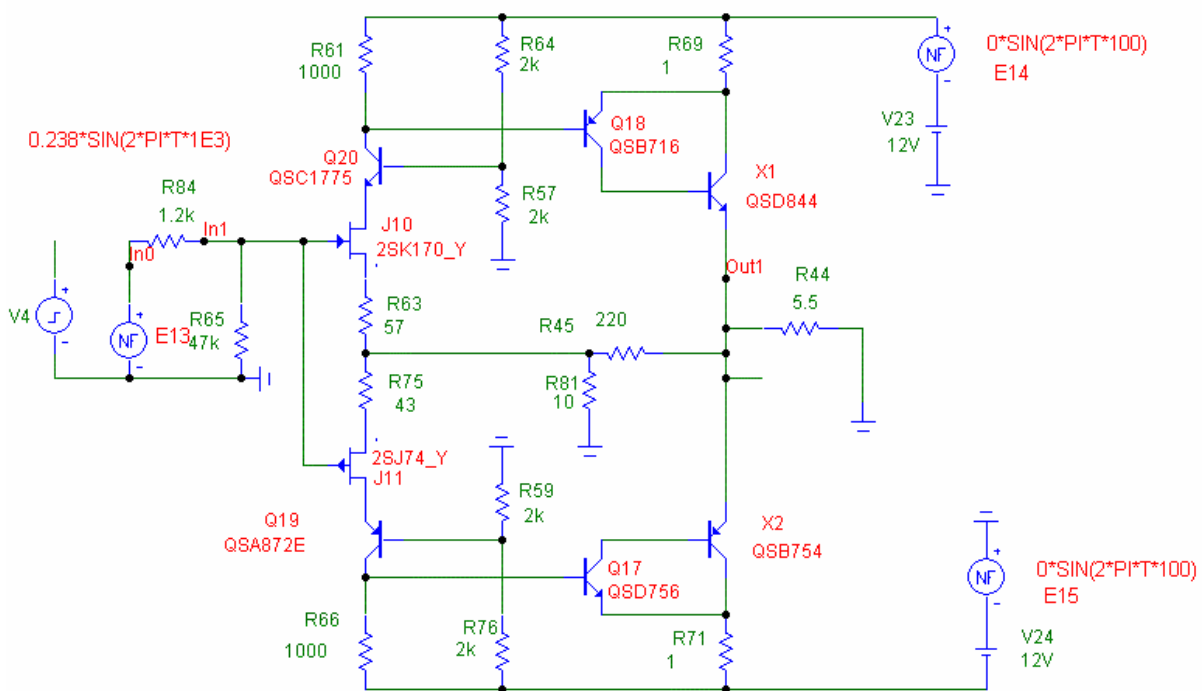
Simulation4 : Dépassement sur signal carre 1kHz sur $8\text{ohm}/1\mu\text{F}$: $+12\%/-69\%$

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R = 5,5\text{ ohm}$: $0,0071\text{ ohm}$

La mauvaise rejection de l'alimentation est typique du montage Kaneda utilisé. L'utilisation d'un générateur de courant parfait à la place du 2SK30 ne change pas rien à ce constat.

La non symétrie de la simulation4 est la conséquence de la non symétrie du schéma. Avec les transistors d'origine du deuxième étage BD529/530, le dépassement serait plus important.

4. Le 8W publié dans L'Audiophile n°27



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C04_8W.gif

Simulation0 : Puissance : 6,6 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-50.4dB et H3/H1=-57.4dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie +4mV a 27°C et +6mV a 75°C

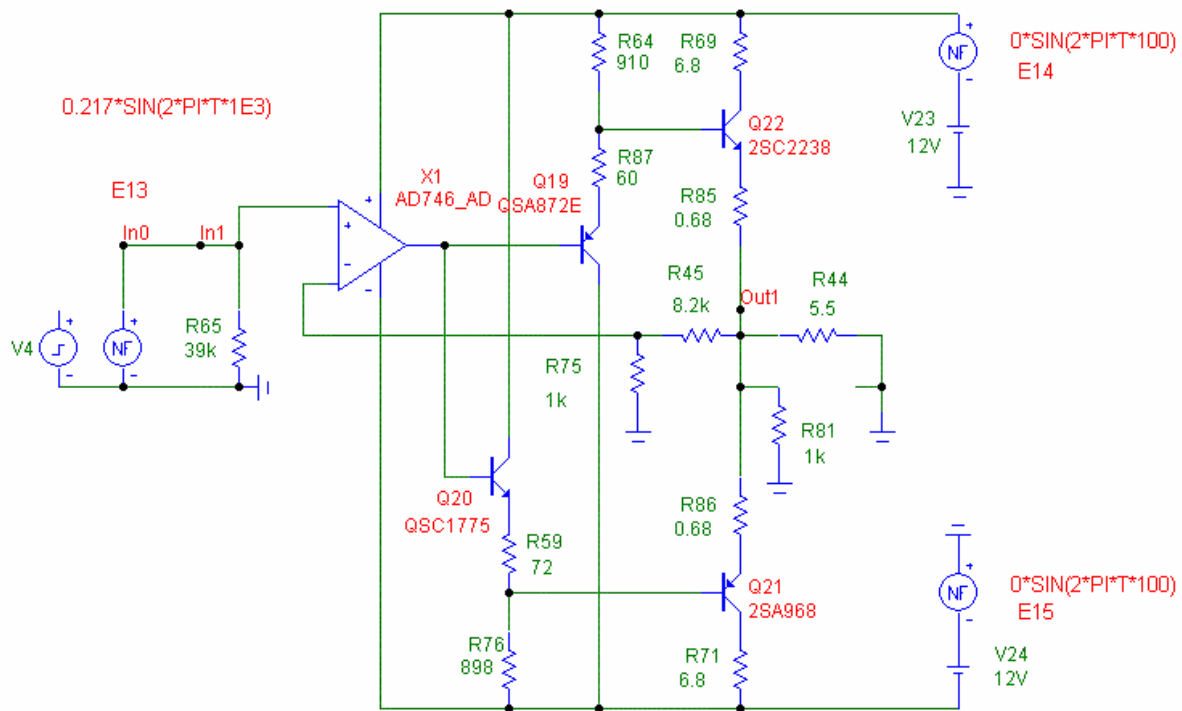
Simulation3 : Rejection ondulation alimentation -72dB

Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive : +14%/-41% 8ohm//100nF, stable pour 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R = 5,5 ohm : 1,34 ohm

En résumé : une linéarité modeste (conséquence de l'étage d'entrée à base de FET), une bonne rejection de l'alimentation et une stabilité correcte.

5. Le schéma de l'Audiophile n°32 de mars 95



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C05_ad746.gif

Ce schéma est particulier pour plusieurs raisons :

- une des contraintes était l'absence de condensateur sur le trajet du signal audio,
- les transistors de sortie travaillent à puissance constante en petits signaux grâce aux résistances de 6,8 ohm placées aux collecteurs,
- il est utilisé un ampli OP réputé musical,
- d'après les auteurs, l'écoute n'a pas montré de différence évidente avec un montage monotriode 3A/157M (?!).

Par rapport au schéma d'origine, le couple de driver audio 2SC1096 et 2SA934 a été remplacé par les plus classiques 2SC2238 et 2SA968.

La tension maximale de sortie étant de 3,7V, la tension de sortie des simulations 1 et 4 a été fixée à 2V.

Simulation0 : Puissance : 1,1 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-127.1dB et H3/H1=-120.6dB pour Us=2V à 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie +2.3mV à 27°C et +3.3mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : environ -130dB

Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carré 1kHz sur charge capacitive +-47% 8ohm//100nF, +42/-60% pour 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie : 0,00004 ohm

En résumé : mise à part la stabilité sur charge capacitive perfectible et une puissance de sortie limitée, c'est un des meilleurs résultats.

Le gain en boucle ouverte élevé de l'AD 746 n'y ait pas étranger !

6. Le schéma inspiré du 14W classe A paru dans la revue LED n°2 p.58

<http://perso.wanadoo.fr/francois.mastroiannidiy/autres/classe%20A%2021w.gif>

La conception d'origine (1969) est de John Linsley-Hood :

<http://www.tcaas.btinternet.co.uk/index.htm>

<http://www.paulkemble.com/sound3b.html>

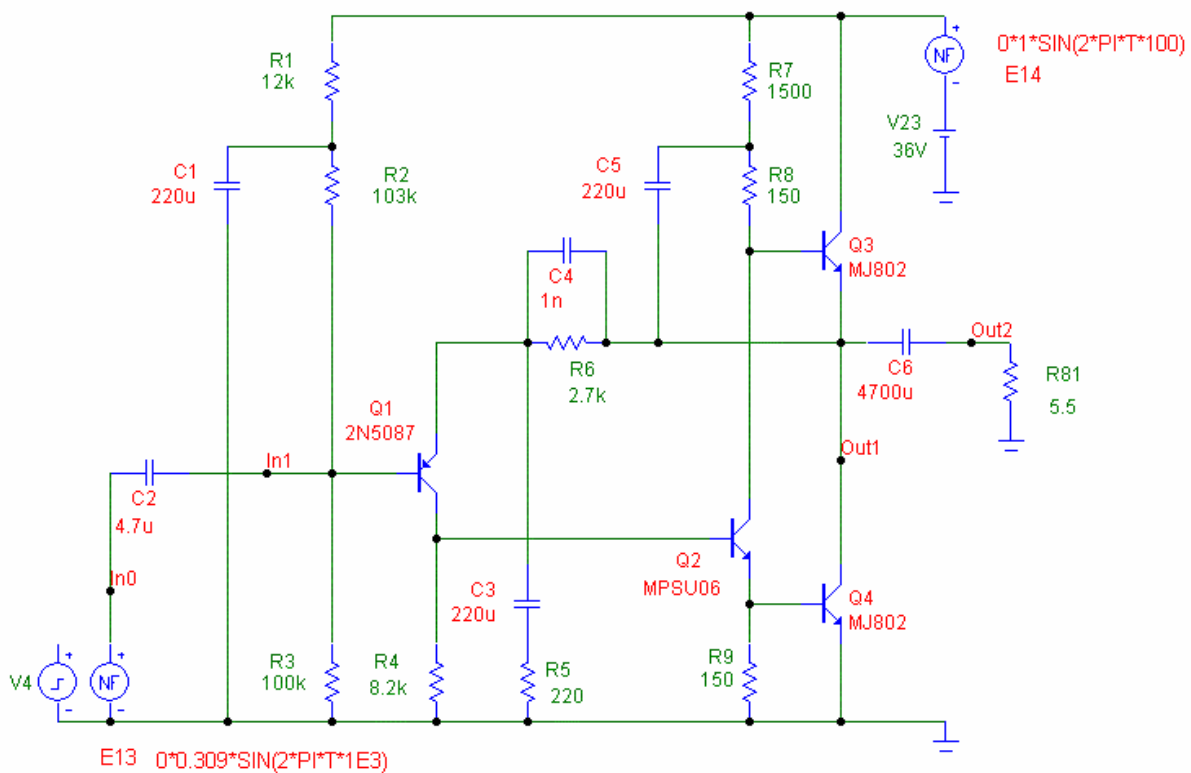
http://sound.westhost.com/jll_hood.htm

Par rapport au schéma de LED :

- il est installé le condensateur C4 qui limite la bande passante à environ 60 kHz et favorise la stabilité sur charge capacitive,
- il n'est pas installé le réseau RC en parallèle de R4,
- le condensateur C5 est raccorde au bon endroit.

La puissance est ramenée à 10W et l'alimentation est simplifiée comme dans le schéma du livre Amplificateurs hi-fi a transistors de R. et J.P. Brault p.258-260.

R2 est ajusté pour avoir 18V en sortie. R7 est ajusté pour avoir un courant de repos d'environ 0,5A.



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C06_Brault259.gif

Simulation0 : Puissance : 5,1 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-61.9dB et H3/H1=-75.5dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

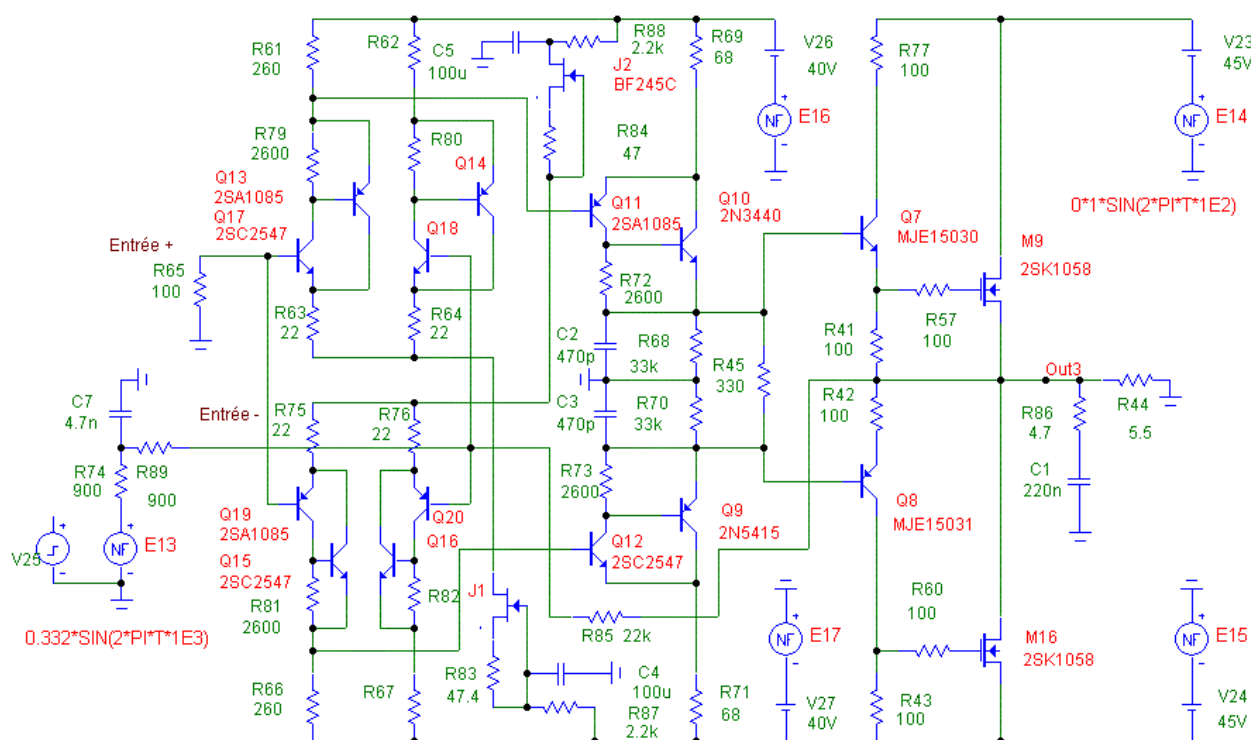
Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie avant condensateur par rapport à 18V -19mV a 27°C et -192mV a 75°C

Simulation3 : Rejection ondulation alimentation : -62dB

Simulation4 : Stabilité, Pas de dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive 8ohm//100nF et 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie : 0,082 ohm

7. Mon schéma 40W Mosfet classe AB



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C07_FB1b.gif

C'est la version 40W/8ohm classe AB avec contre-réaction du 6W/8ohm classe A sans contre-réaction de :

<http://francis.audio.monsite.wanadoo.fr/page4.html>

Il est caractérisé par :

- un montage inverseur,
- une bonne linéarité grâce aux compounds des premier et deuxième étages,
- un étage de sortie quasi-complémentaire,
- un écrêtage symétrique grâce aux deux niveaux d'alimentation.

La stabilité en fréquence est obtenue par :

- une bande passante limitée à l'entrée par le réseau R74/R89/C7,
- un gain en boucle ouverte limité à environ 1600 par R63.64/R75.76 et R68.70,
- une bande passante en boucle ouverte limitée par C2/C3,
- le réseau de Boucherot R86/C1.

Simulation0 : Puissance : 89 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-100.9dB et H3/H1=-105.9dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie +0.91mV a 27°C et -0.82mV a 75°C

Simulation3 : Rejection ondulation alimentation : -92dB (+/-40v) et -106dB (+/-45v)

Simulation4 : Stabilité, Pas de dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive 8ohm//100nF ou 8ohm//1µF

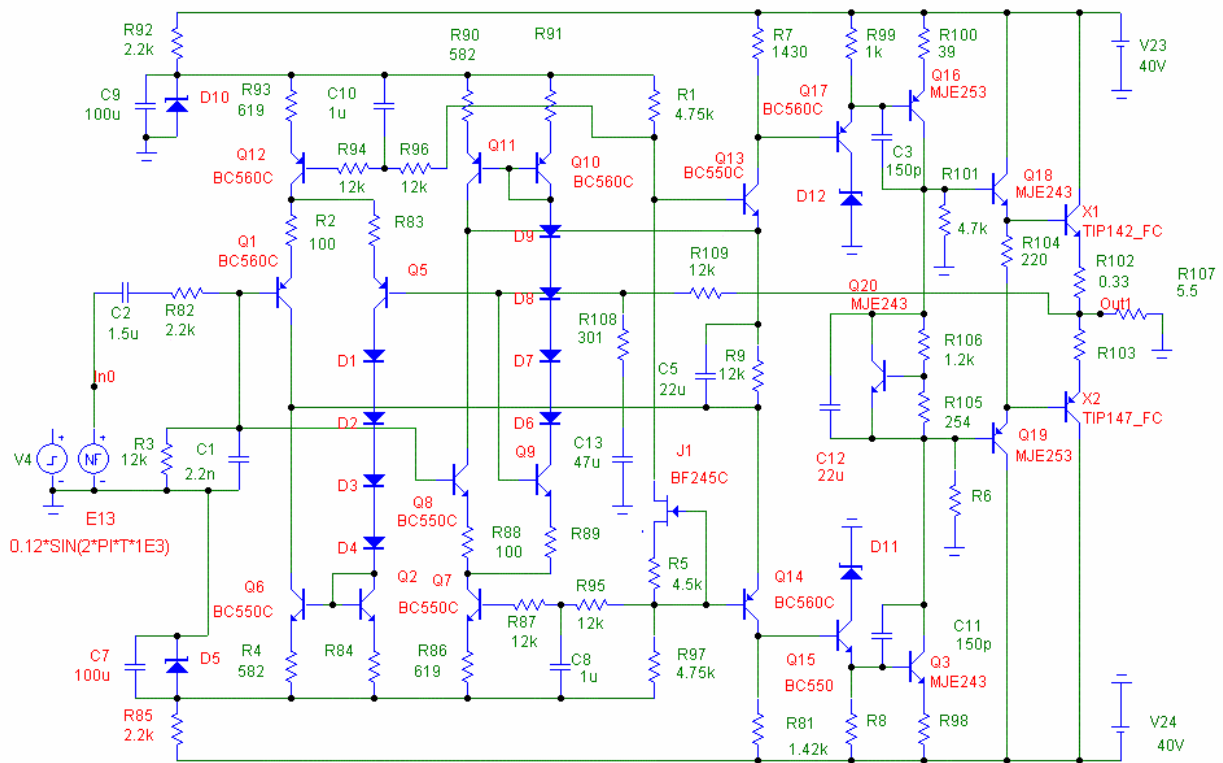
Simulation5 : Impédance de sortie : 0,016 ohm

La linéarité est excellente malgré le gain modéré en boucle ouverte.

L'ajout de cascades au premier étage a peu d'effet sur la linéarité.

L'ajout de cascades au deuxième étage a un effet défavorable (+1.7dB pour H2/H1 et +3.5dB pour H3/H1).

8. Le schéma de Christophe



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C08_Christophe.gif

Par rapport au schéma d'origine, les Darlington BDX66B/67B ont été remplacés par des TIP142/147 pour raison de non disponibilité des modèles Spice des BDX.

R7 (1430ohm) a été ajusté pour avoir environ 0V en sortie.

R105 (254ohm) a été ajusté pour avoir un courant de repos d'environ 20mA.

Simulation0 : Puissance : 93 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-84.0dB et H3/H1=-74.3dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

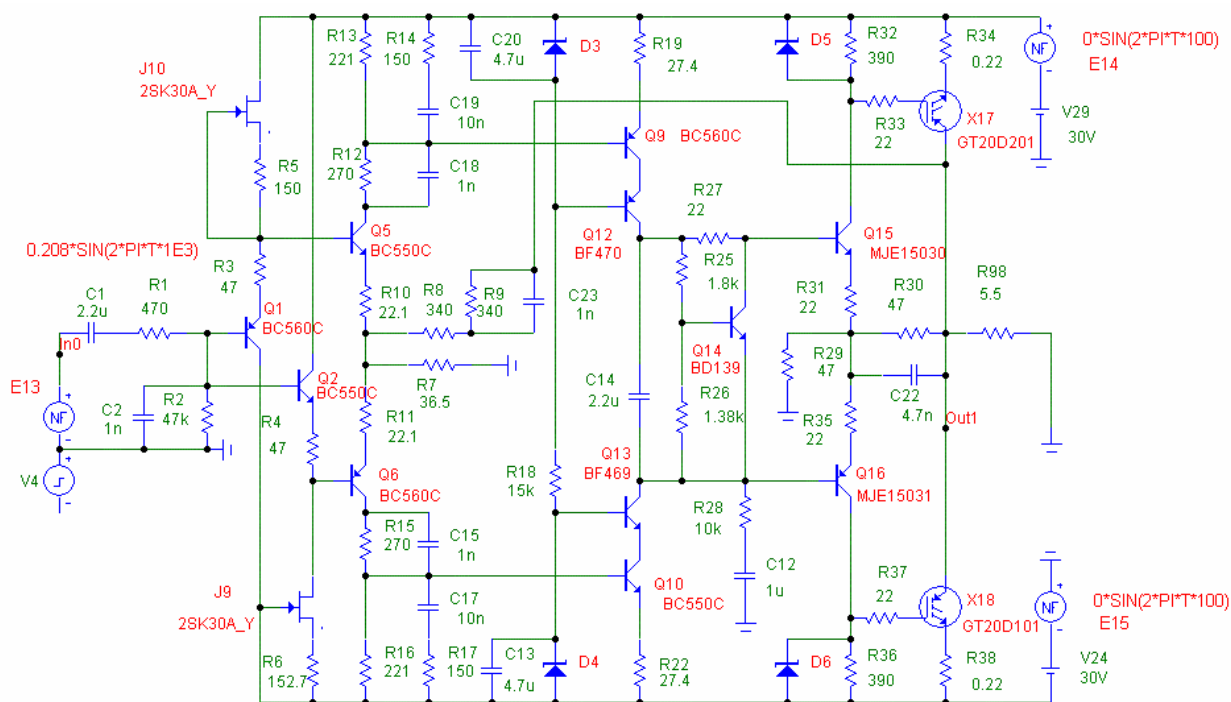
Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie -0.27mV a 27°C. A partir de 60°C la dérive est trop importante et se traduit par un blocage de l'étage d'entrée.

Simulation3 : Rejection ondulation alimentation : -57dB

Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive. Légèrement instable pour la partie négative du signal carre. Après augmentation de C11 de 150p a 220pF, le circuit est stable sans dépassement sur 8ohm//100nF et 8ohm//1µF.

Simulation5 : Impédance de sortie : 0,00084 ohm

9. Le 50W Compact d'Elektor n°227 de mai 1997



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C09_50W_compact.gif

Ce schéma est caractérisé par :

- l'absence du classique différentiel en entrée,
- l'utilisation d'IGBT en sortie,
- un gain de 2 sur l'étage de sortie,
- le fait que ce montage reste un des favoris d'Elektor en termes de "naturel et respect du détail".

Le schéma d'origine a été simplifié :

- pas de LM317/337 pour la partie amplificateur de tension,
- remplacement des BF871/872 utilisés en cascode par des BF469/470,
- pas de OP77 pour réduire la tension continue en sortie.

R26 a été ajusté pour viser un courant de repos d'environ 400mA,

R6 a été ajusté pour viser 0V continu en sortie.

Comme d'habitude, la qualité des modèles est un point critique de la simulation. En l'occurrence le modèle disponible du GT20D201 disponible comporte une erreur : il faut remplacer VTO=3 par VTO=-3 !

<http://www.intusoft.com/models.htm#freemodels>

Simulation0 : Puissance : 33 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-108.0dB et H3/H1=-111.5dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie -0.006V a 27°C et -2.8V a 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -54dB pour le schéma présenté, il est clair que l'utilisation le LM317/337 améliore les choses,

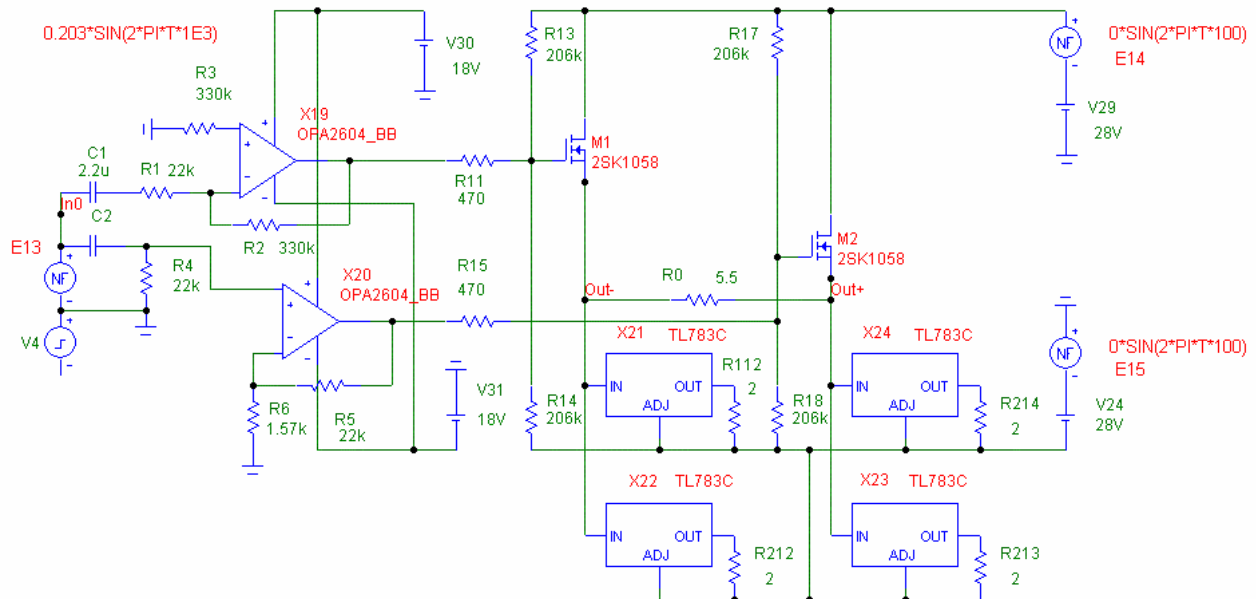
Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carré 1kHz sur charge capacitive instable sur 8ohm//100nF et sur 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie : 0,0014 ohm

La linéarité est excellente mais la mauvaise stabilité thermique (conséquence de l'utilisation d'IGBT) justifie effectivement l'utilisation d'un circuit externe de compensation de l'offset. L'instabilité sur charge capacitive demande des réglages que la complexité du circuit (C2,C17,C19,C12,C22) et l'absence de réseau de Boucherot ne rend pas aisé.

10. Le LED 165 de mai 2001

<http://zorbytronic.free.fr/pa/pafiledb.php?action=download&id=14>



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C10_LED165.gif

Ce schéma est caractérisé par :

- un ampli OP pour l'amplification de tension,
- un transistor de puissance fonctionnant en classe A et chargé par un générateur de courant constant,
- une absence de boucle de contre-réaction globale,
- une sortie symétrique.

Le schéma, signé Bernard Duval, est une amélioration des schémas LED108 de Mai 1993 et LED94 de Février 1992 (LM344 + IRF150 charge par LM317) : la sortie symétrique évite le condensateur en série avec la charge.

Dans le même genre, il y avait eu le LED89 de Septembre 1991 (NE5534 + BDX67C charge par LM317), le LED81 de Novembre 1990 et le LED70 de Octobre 1989 (LM344 + LM395/MJ15002ou15025 charge par LM317).

Simulation0 : Puissance : 4,3 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-85.4dB et H3/H1=-47.7dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie sur la sortie différentielle +0.05mV a 27°C et -2.8mV a 75°C

Simulation3 : Rejection ondulation alimentation mieux que -120dB pour l'alimentation +/-28V,

Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive +3% sur 8ohm//100nF et +2% sur 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie 2.8 ohm

Dans le montage de base avec un seul Mosfet en sortie :

http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C10_LED165_variante.gif

La simulation donne H2/H1=-36.5dB et H3/H1=-55.3dB, c'est donc le mode ponté du montage LED165 qui diminue considérablement H2 et qui fait que H3 devient prépondérante, ce que, en général, on cherche à éviter.

Le remplacement du 2SK1058 par un Darlington comme le TIP142 se traduit par une réduction de 26dB de H2 et de 21dB de H3. Les Mosfet ne sont pas des modèles de linéarité comme source suiveuse !

11. Le schéma de Mike Renardson

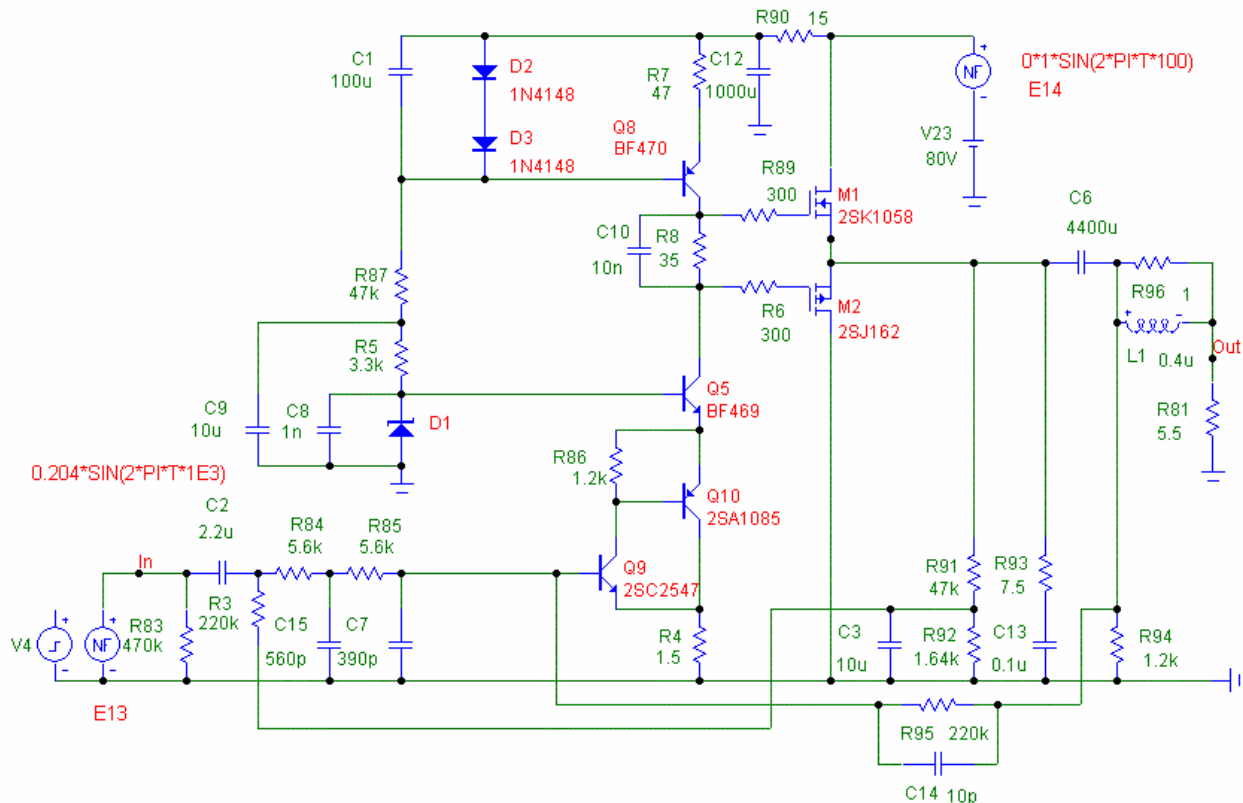
<http://www.angelfire.com/ab3/mjramp/simple1.html>

La distorsion annoncée est très basse : $H_2/H_1 = -110\text{dB}$ et $H_3/H_1 = -120\text{dB}$ pour un montage comprenant seulement 6 transistors!

On notera un premier étage compound et cascode chargé par un générateur de courant constant.

Une version améliorée, avec une distorsion encore plus basse, est présentée en ajoutant un transistor : <http://www.angelfire.com/ab3/mjramp/amp7.html>

C'est la version de base qui a été simulée :



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C11_Renardson1.gif

Simulation0 : Puissance : 90 W_{eff}/5.5ohm ($H_3/H_1 = 1\%$)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion $H_2/H_1 = -107.4\text{dB}$ et $H_3/H_1 = -110.7\text{dB}$ pour $U_s = 4\text{V}$ à 1kHz sur $R = 5.5\text{ohm}$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie par rapport au point milieu (+40V) +10mV à 27°C et -3276mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -90dB

Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive +0/-2% sur 8ohm//100nF et +0/-2% sur 8ohm//1μF

Simulation5 : Impédance de sortie : 0.00093 ohm

La linéarité est excellente avec un spectre de distorsion est un peu "noyé" dans le bruit de fond de la simulation.

La stabilité thermique est perfectible. Un moyen de corriger la dérive thermique due à la variation de la tension V_{be} du transistor d'entrée est de rajouter une jonction dans le circuit de polarisation :

http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C11_Renardson1a.gif

12. Le PSS600 de PSS Audio

<http://www.pssaudio.com/Technique/SCH%20Ampli%209-D.pdf>

<http://www.pssaudio.com/Technique/Nomenclature%20ampli%20PSS%209-D.pdf>

A l'occasion du sujet «Choix ampli pro d'occas? » ouvert fin 2003 sur Delphi :

http://forums.delphiforums.com/HAUTE_FIDELITE/messages?msg=11860.1

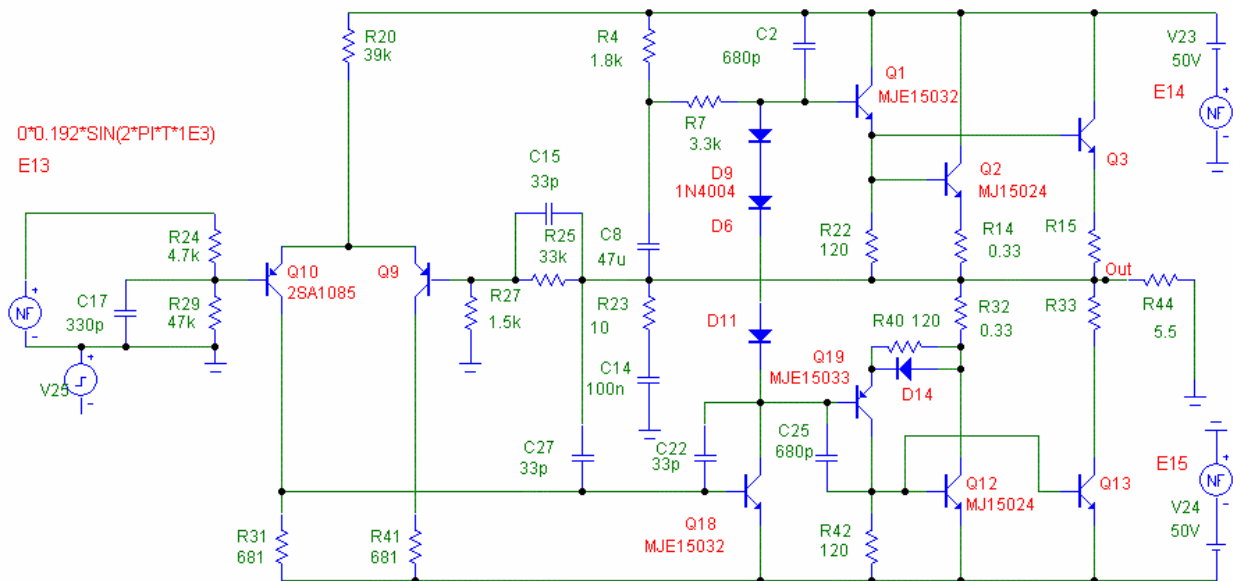
Le concepteur des amplificateurs PSS Audio est intervenu en mettant l'accent sur ses choix subjectifs :

http://forums.delphiforums.com/HAUTE_FIDELITE/messages?msg=11860.38

http://forums.delphiforums.com/HAUTE_FIDELITE/messages?msg=11860.69

http://forums.delphiforums.com/HAUTE_FIDELITE/messages?msg=11860.126

Le schéma simulé a été simplifié au niveau de la protection contre les surintensités. Il est supposé que les valeurs des résistances R25 et R27 sont inversées sur le schéma ou la nomenclature.



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C12_PSSAudio9D.gif

Simulation0 : Puissance : 196 Weff/5.5ohm (H3/H1=1%)

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-76.9dB et H3/H1=-73.9dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie +442mV a 27°C et -110mV a 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation -22dB

Simulation4 : Stabilité sur signal carre 1kHz sur charge capacitive : instable sur 8ohm//100nF et 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie : 0.0053 ohm

Compte-tenu de la polarisation de l'étage de sortie (3 diodes pour polariser 4 jonctions), le courant de repos par transistor de puissance de la branche négative est a 27°C de 1,2 µA !

La stabilité thermique est parfaite.

A ce sujet, le commentaire de Pierre Lacombe illustre bien que les problèmes de dérive thermique pour un étage de sortie bipolaire à faible courant de repos:

http://forums.delphiforums.com/HAUTE_FIDELITE/messages?msg=11860.77

La réjection de l'alimentation est modeste.

Les capacités C17, C22, C2, C25, C15, C27 et le réseau R23/C14 n'empêchent pas l'instabilité sur charge capacitive.

13. Le Palimpseste de Jean-Michel Le Cleac'h

L'idée initiale était un amplificateur hybride Mosfet + Tube :

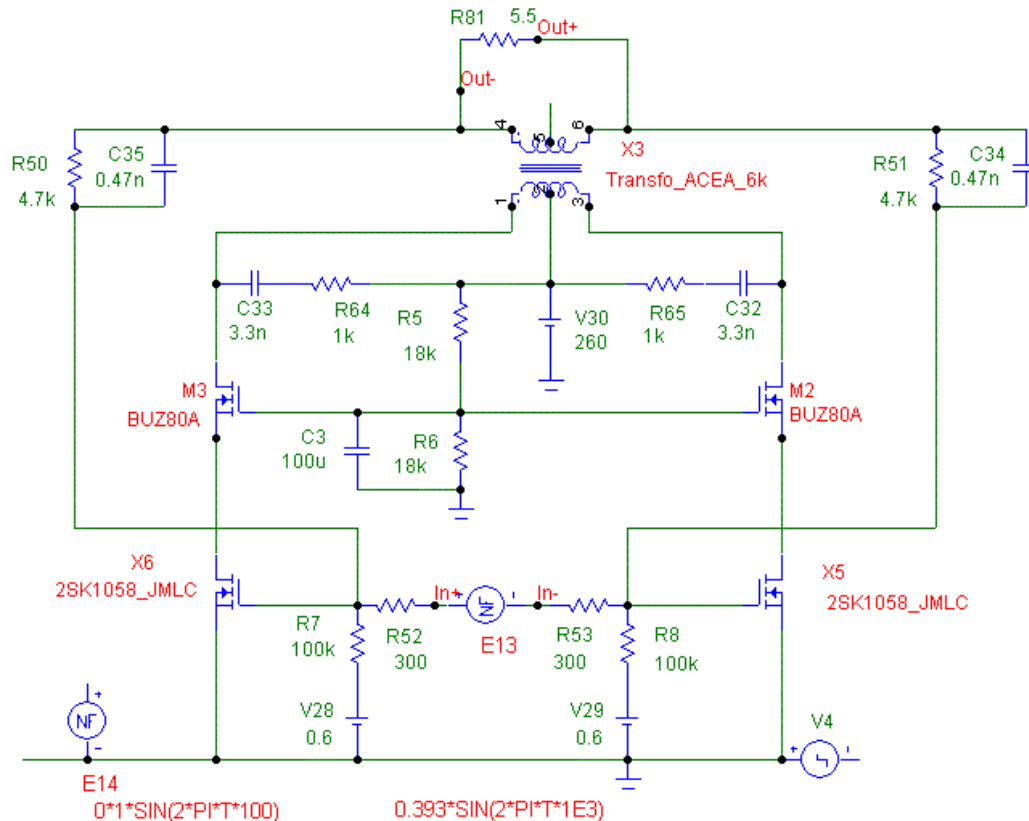
<http://fr.groups.yahoo.com/group/son-qc/message/14337>

Le prototype de Jean-Michel avec tubes 6550 a été provisoirement abandonné suite à des problèmes de claquage des 2SK135 à la mise sous tension liés au délai de mise en chauffe des tubes.

Le schéma a évolué en remplaçant les tubes par des Mosfet. Il a été proposé en deux versions, sans et avec contre-réaction.

Les schémas correspondants et les explications de Jean-Michel sur la conception de cet amplificateur se trouvent ici : <http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/Palimpseste.doc>

Le schéma avec contre-réaction a ensuite été affiné à la simulation pour devenir celui-ci :



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C13_Palimpseste_cr.gif

Les principales caractéristiques sont :

- seulement 4 transistors,
- entrée symétrique,
- sortie sur transformateur,
- fonctionnement en classe A quadratique.

Une des difficultés est d'avoir un modèle représentatif pour les Mosfet.

Jean Luc Paillard a élaboré un modèle pour le 2SK1058 sur la base de mesures.

Ce modèle est inspiré de celui de Scott & Parker, soit :

$$I_d = \text{BETA} * (1 + (\text{LAMBDA} * \text{Sqrt}(V_{ds}))) * 0.495 * (V_{gs} - 0.1103)^2$$

Afin de faciliter la convergence des calculs, V_{ds} a été remplacée par sa valeur.

Le réglage du courant de repos (100mA, soit le point d'indifférence thermique) est défini par la polarisation des 2SK1058.

Simulation0 : Puissance : $8W_{eff}/5.5ohm$ ($H3/H1$)=1%

Simulation1 : Linéarité, Distorsion $H2/H1=-114dB$ et $H3/H1=-94dB$ pour $U_s=4V$ a 1kHz sur $R=5.5ohm$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C et à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : parfaite

Simulation4 : Stabilité, Pas de dépassement sur signal carre 1kHz sur charge capacitive 8ohm//1 μ F ou 8ohm//100nF

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R = 5,5 ohm$: 7 ohm

Compte-tenu de la simplicité du montage, on notera une très bonne linéarité.

La bonne stabilité sur charge capacitive est obtenue grâce à un taux de contre-réaction peu élevé.

L'impédance de sortie est élevée, l'application principale de cet amplificateur est l'alimentation d'une compression afin de linéariser sa courbe de réponse en fréquence.

14. Le Dartzeel

C'est "En toute modestie, le meilleur amplificateur audio du monde, manufacture en Suisse." :
http://www.dartzeel.com/Pages_F/NHB108_1.html

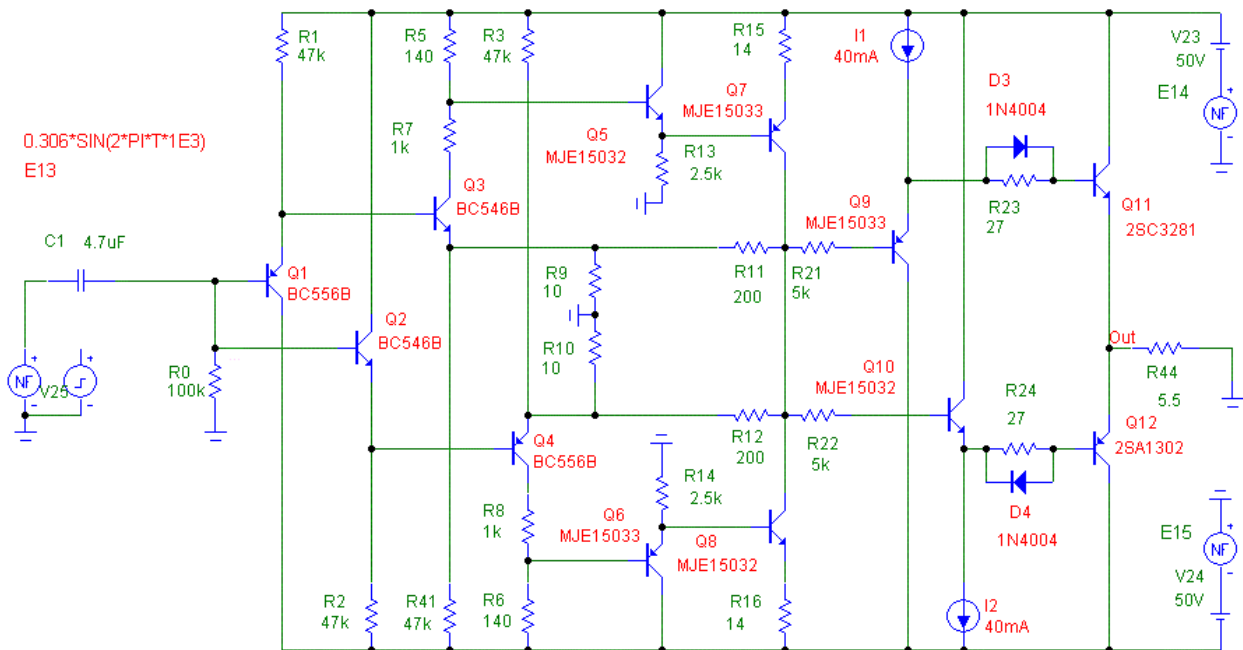
Dartzeel est un des rares constructeurs qui n'attache pas d'importance à la distorsion harmonique. Ainsi on peut lire dans le "Manuel technique de l'audiophile" :

http://www.dartzeel.com/PDF_Files/AudioManuFR.pdf

"Prenons un amplificateur dont le taux de distorsion est de 1%, et faisons-lui reproduire un instrument naturellement enrichi d'environ 20% d'harmoniques.

Qui pourrait faire la différence entre un instrument produisant 20.000% d'harmoniques avec l'amplificateur produisant 20.025% de ces mêmes harmoniques?"

C14_Dartzeel_r4.gif



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C14_Dartzeel_r4.gif

La puissance nominale est de 100W/8ohm.

L'étage d'entrée fait penser à celui du 50W Compact d'Elektor :

http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C09_50W_compact.gif

Par contre, la boucle de contre-réaction globale n'intègre pas l'ensemble driver collecteur commun + transistors de puissance.

Les brevets de cet amplificateur sont ici :

<http://jpihorn.free.fr/Brevets/WO03043185-FR.pdf>

<http://jpihorn.free.fr/Brevets/WO03043185-US.pdf>

Les résistances R01 et R02 fixe la tension continue en sortie a environ 0V.

Le courant de repos a été fixé à environ 500mA.

Simulation1 : Linéarité, Distorsion $H2/H1=-56\text{dB}$ et $H3/H1=-60\text{dB}$ pour $U_s=4\text{V}$ a 1kHz sur $R=5.5\text{ohm}$
Les mesures réalisées par :
http://www.soundstagemagazine.com/measurements/dartzeel_nhb108_model_one/
confirment la prédominance de l'harmonique 2 dans le spectre de distorsion.

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie -24mV à 27°C et -113mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -44dB

Simulation4 : Stabilité, dépassement 8% avec signal carre 1kHz sur charge capacitive $8\text{ohm}/1\mu\text{F}$ et 19% sur $8\text{ohm}/100\text{nF}$

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R = 5,5\text{ ohm}$: $0,58\text{ ohm}$

Les performances générales (linéarité, stabilité thermique, réjection de l'alimentation modestes) sont moyennes.

L'impédance de sortie est relativement élevée.

15. Le Zenquito évolution de Jean-Marc Plantefevé

<http://perso.wanadoo.fr/jm.plantefevé/sche.html>

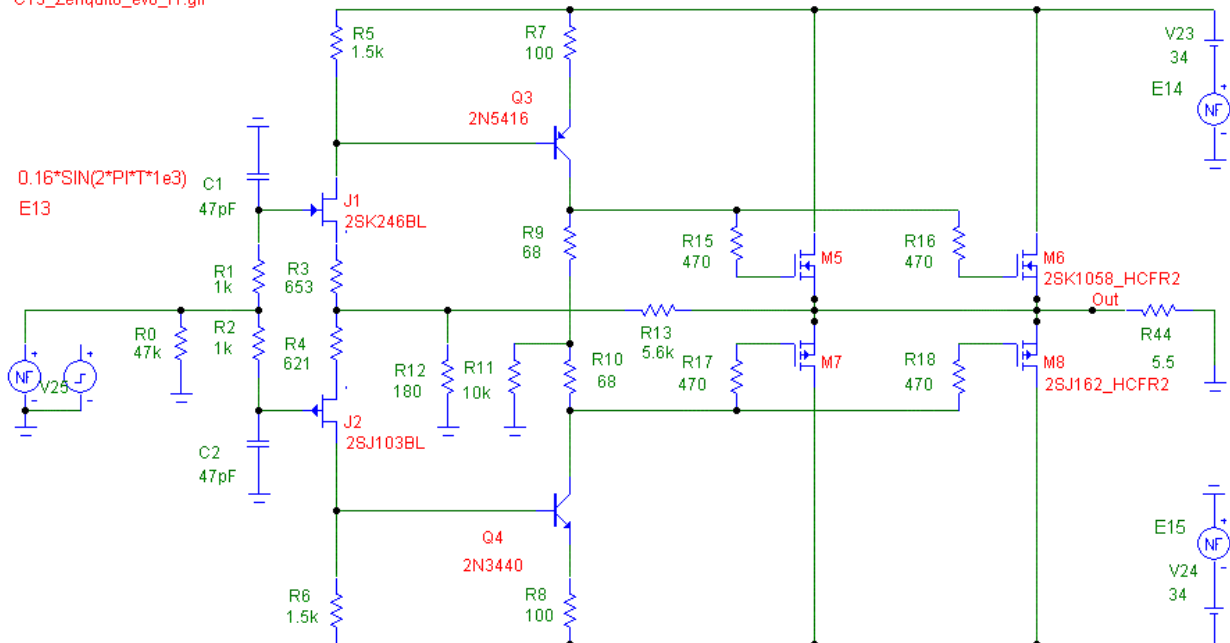
La galerie présentée sur le site de Jean-Marc montre bien la popularité de ce montage :

<http://perso.wanadoo.fr/jm.plantefevé/gale.html>

Une des principales caractéristiques est sa relative simplicité.

Le schéma simulé est la version 50W classe AB alimentée en +/-34V.

C15_Zenquito_evo_r1.gif



rev.1 : changement sens J2, adaptation VTO et KP modèles 1058 et 162, ajustement R3, R4, R9 et R10

http://perso.orange.fr/francis.audio2/C15_Zenquito_evo_r1.gif

Le fichier de simulation, accompagné des modèles nécessaires, pour Micro-Cap 8 Evaluation se trouve ici :

http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C15_ZENQUITO_EVO.CIR

Les courants de repos des deux premiers étages (1 et 10mA) accompagnés de $U_{\text{sortie}}=0\text{V}$ sont obtenus par R3, R4.

Le courant de repos du troisième étage ($2 \times 160\text{mA}$) est obtenu par R9, R10.

Les modèles des 2SK1058 et 2SJ162 ont été définis sur la base des data sheet, des mesures de Jean Luc Paillard et des mesures de Philippe "Philby" :

<http://www.homecinema-fr.com/forum/viewtopic.php?t=29778181&postdays=0&postorder=asc&start=195>

Il a été pris $V_{\text{TO}}=-400\text{mV}$ et $K_{\text{P}}=32.4\text{u}$ pour le 2SK1058 et $V_{\text{TO}}=230\text{mV}$ et $K_{\text{P}}=20\text{u}$ pour le 2SJ162.

Simulation0 : Puissance nominale : 76 W_{eff}/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion $H2/H1=-73\text{dB}$ et $H3/H1=-83\text{dB}$ pour $U_{\text{s}}=4\text{V}$ à 1kHz sur $R=5.5\text{ohm}$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C et -264mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -50dB

Simulation4 : Stabilité, Dépassement sur signal carré 1kHz sur charge capacitive : +35% pour 8ohm//1µF et +0% pour 8ohm//100nF

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R=5,5\text{ohm}$: 0,16 ohm

En conclusion ce montage est un bon compromis simplicité/performances.

Les perfectionnistes peuvent reprocher un taux de distorsion un peu élevé dans l'absolu, une stabilité thermique moyenne et une rejection de l'alimentation modeste (conséquence de la structure de l'étage d'entrée).

16. Le Mosquito de Jean Marc Plantefevé

C'est un montage proche du Zenquito:

<http://perso.wanadoo.fr/jm.plantefeve/sche.html>

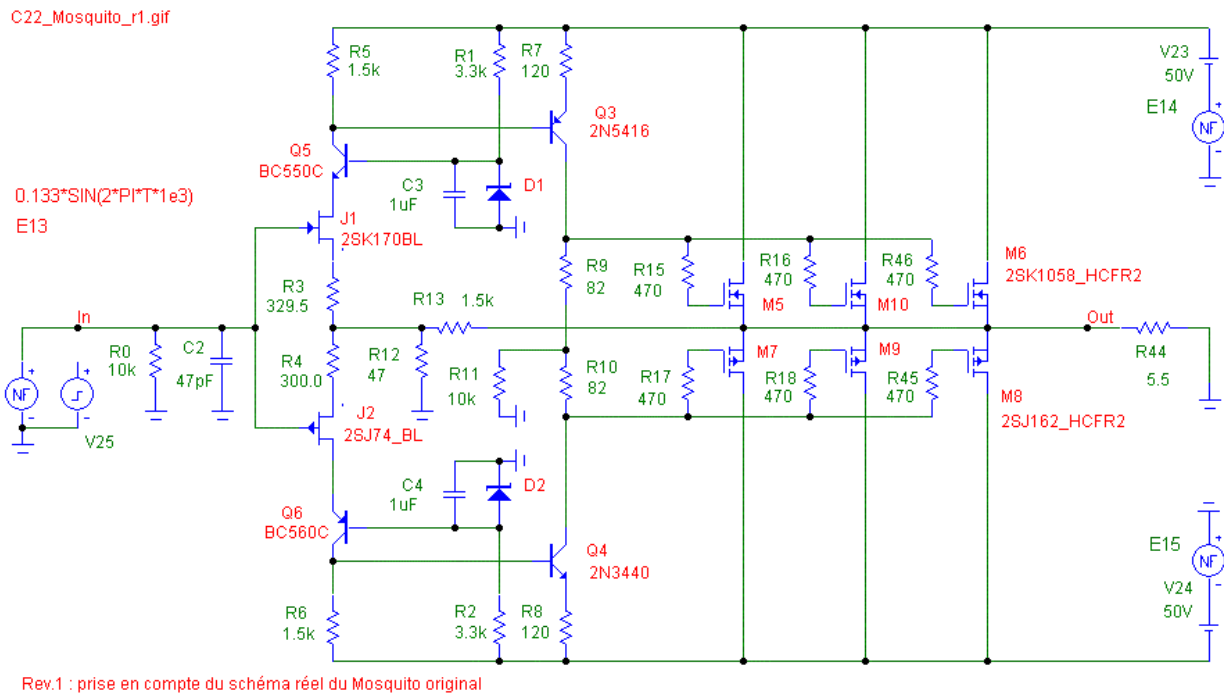
http://perso.orange.fr/francis.audio2/C22_Mosquito_r1.gif

Les 2SK146/2SJ103 ont été remplacés par un montage cascode 2SK170/2SJ74 + BC546/556.

La boucle de contre-réaction a une impédance plus basse.

Le reste du circuit est inchangé.

Le courant de repos est de $3 \times 110 \text{mA}$, autrement dit les Mosfet sont à leur point d'indifférence thermique.



En échangeant les 2SK1058/2SJ162 par les BUZ900DP/905DP, le Mosquito devient Buzquito et peut être alimenté avec une tension plus élevée pour donner une puissance supérieure.

Simulation0 : Puissance nominale : 78 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion $H2/H1 = -83 \text{dB}$, $H3/H1 = -94 \text{dB}$ et $H4/H1 = -128 \text{dB}$ pour $U_s = 4 \text{V}$ à 1kHz sur $R = 5.5 \text{ohm}$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0V à 27°C et -80mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -60dB

Simulation4 : Stabilité, dépassement avec un signal carré 1kHz : 26% sur charge capacitive $8 \text{ohm} // 1 \mu \text{F}$ et 89% sur $8 \text{ohm} // 100 \text{nF}$

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R = 5,5 \text{ohm}$: $0,039 \text{ohm}$

Le Mosquito est donc sensiblement plus linéaire que le Zenquito Evolution, il a également une meilleure stabilité thermique et une meilleure réjection de l'alimentation.

Ce schéma est utilisé par J.F. "JFG67" Gros avec un courant de repos plus élevé ($3 \times 417 \text{mA}$) et une tension d'alimentation un peu plus basse ($\pm 42 \text{V}$).

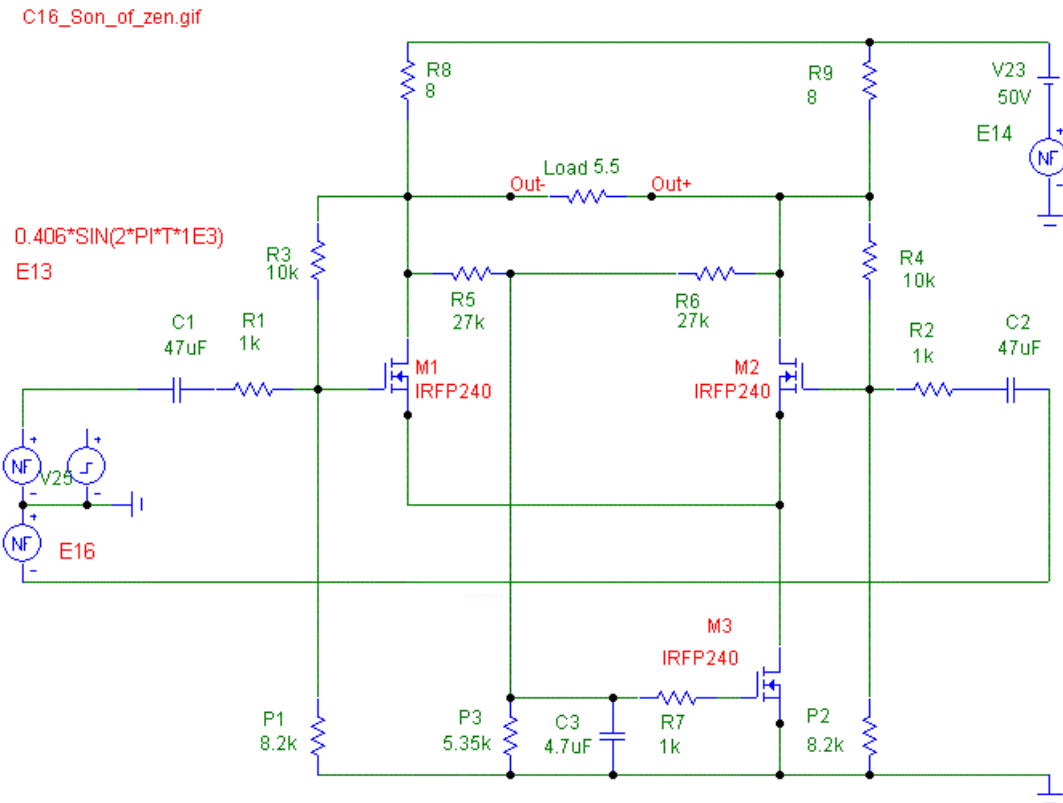
Ce fonctionnement en classe A apporte un spectre de distorsion un peu différent avec $H2/H1 = -93 \text{dB}$, $H3/H1 = -102 \text{dB}$, $H4/H1 = -140 \text{dB}$ qui montre une linéarité sensiblement plus élevée que le montage d'origine.

17. Le Son of Zen de Nelson Pass dans la variante avec source de courant

<http://www.passdiy.com/pdf/zen-v7.pdf>

Deux caractéristiques pour ce montage :

- la simplicité du schéma (seulement 3 Mosfet),
- l'impressionnante consommation (375 W !).



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C16_Son_of_zen.gif

Les différentes tensions de ce montage sont ici :

http://perso.orange.fr/francis.audio2/C16_Son_of_zen_tension.gif

Simulation0 : Puissance nominale : 21 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-128dB et H3/H1=-60dB pour Us=4V à 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0V à 27°C et à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : parfaite

Simulation4 : Stabilité, Pas de dépassement avec un signal carré 1kHz sur charge capacitive 8ohm//1µF ou 8ohm//100nF

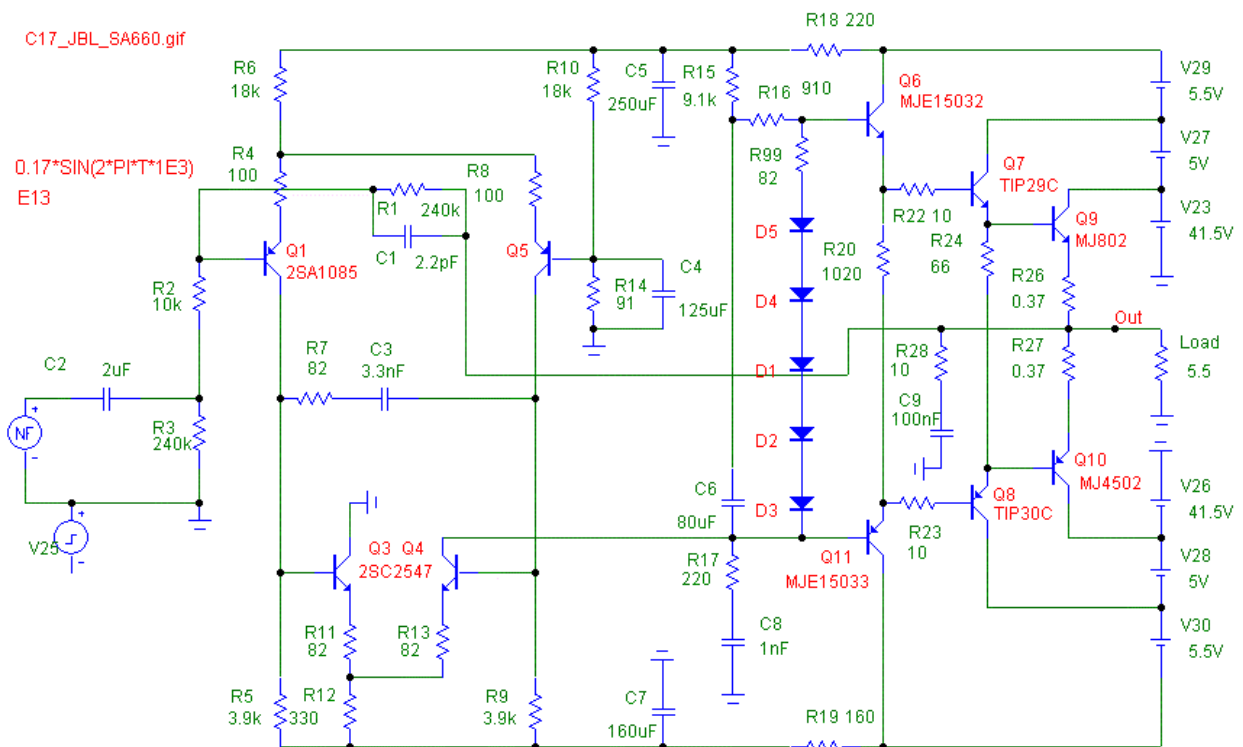
Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 3,2 ohm

De bonnes performances dans l'ensemble, mais l'impédance de sortie élevée limite les applications de cet amplificateur.

Il est impératif de prévoir un refroidissement adapté des transistors.

18. Le JBL SA660

<http://www.jblproservice.com/pdf/Vintage%20JBL-UREI%20Electronics/JBL-SA600~SA660.pdf>
qui est paru dans le livre Amplificateurs Hi-Fi à transistors des frères Brault (2eme édition p.245).



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C17_JBL_SA660.gif

La tension de sortie en continue a été réglée à environ 0V par action sur R14.

Il a été ajouté la résistance R99 afin d'avoir un courant de repos d'environ 100mA sur l'étage de sortie.

Les compensations en fréquence d'origine sont nombreuses : R7/C3 (bande passante en boucle ouverte limitée à 14kHz), R17/C8, R1/C1 (bande passante en boucle fermée limitée à 300kHz), R28/C9 (réseau de Boucherot en sortie).

Malgré cela, et avec les transistors choisis (en l'absence des références utilisées par JBL), le montage est instable sur signal carré et charge résistive de 8 ohms.

Le condensateur C3 a donc été augmenté de 1.5 à 3,3nF, le montage est alors stable sur signal carré et charge résistive mais pas sur signal carré et charge capacitive.

Le condensateur C8 a ensuite été augmenté de 75pF à 1nF afin de trouver un début de stabilité sur charge capacitive.

Le document de JBL cité plus haut montre que les drivers Q7/Q8 sont en réalité des TO66, il s'agit probablement des 2N3584/2N6421.

Simulation0 : Puissance nominale : 130 W_{eff}/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-109dB et H3/H1=-87dB pour U_s=4V à 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie +2mV à 27°C et +99mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -66 dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carré 1kHz : Instable sur 8ohm//0.1µF, dépassement +40%/-55% sur 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 0,00061 ohm

En conclusion, une bonne linéarité et une très faible impédance de sortie mais une stabilité sur charge capacitive perfectible.

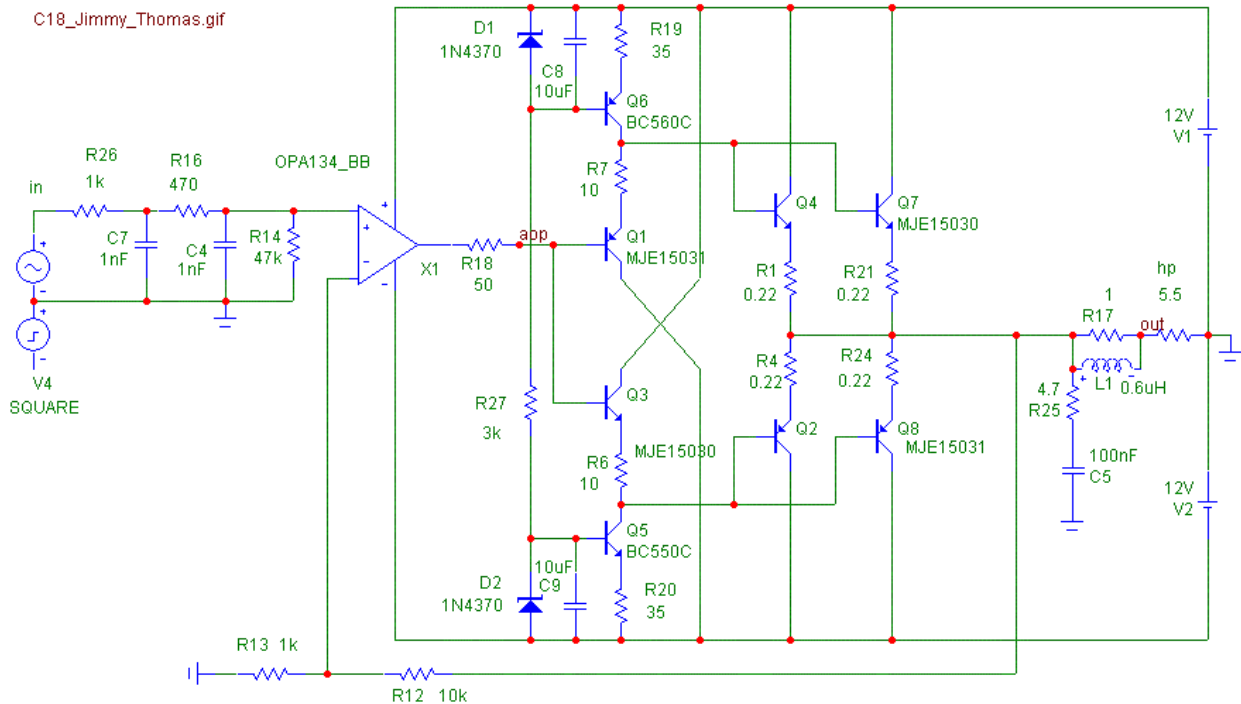
19. Le schéma de Jimmy Thomas

<http://jimmy.thomas.free.fr/index.html>

Il est prévu pour être alimenté par batteries +/-12V.

Il est caractérisé par l'utilisation d'un ampli OP OP134 pour l'étage amplificateur de tension et par un courant de repos élevé (2x600mA).

La puissance attendue est de l'ordre de 10W/8ohm.



http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/C18_Jimmy_Thomas.gif

Simulation0 : Puissance nominale : 8,6 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-125dB et H3/H1=-133dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie +0,06mV à 27°C et à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -160 dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carre 1kHz : stable sans dépassement sur 8ohm//0.1µF et 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 0,5 µohm

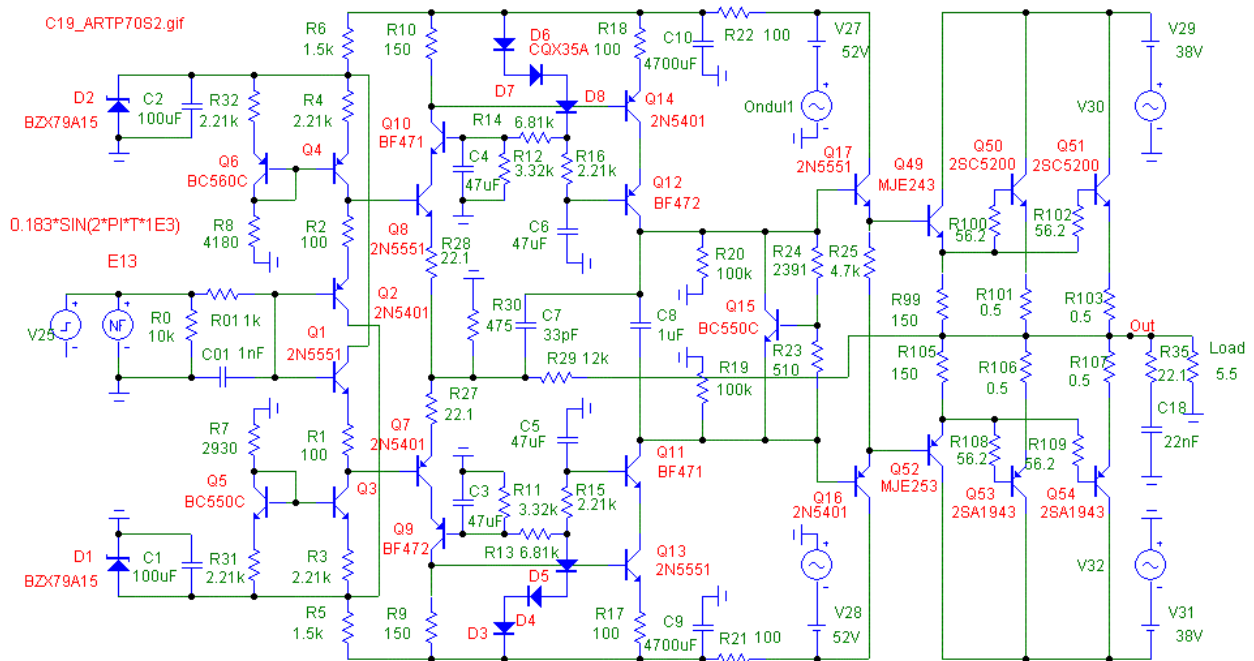
En conclusion l'utilisation de l'OP134 apporte des performances exceptionnelles.

La puissance disponible est un peu plus importante que celle du montage C05 a base d'AD746.

20. Le Artec ARTP70 "signature" de Jean-Pierre Voiturier

<http://www.artec-france.com/produits.php?lang=fr&product=ARTP70-Signature&old=true>

Il s'agit de la première génération de l'ARTP70 signature. La génération actuelle est la série ES.



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C19_ARTP70S2.gif

Le premier étage est voisin de celui du 50W compact d'Elektor.

Les transistors de sortie 2SC5200/2SA1943 sont caractérisés par un produit gain x bande passante élevé (30MHz).

Le courant de repos est relativement important (0,55A) et permet un fonctionnement en classe A jusqu'à 5W/8ohm.

Simulation0 : Puissance nominale : 99 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-74dB, H3/H1=-87dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C et +39mV à 75°C

Simulation3 : Rejection ondulation alimentation : -76dB pour l'étage amplificateur de tension et -89dB pour l'étage amplificateur de courant

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carre 1kHz : stable sans dépassement sur 8ohm//0.1µF et 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 0,04 ohm

En conclusion les performances sont globalement bonnes malgré un schéma relativement complexe.

Les émetteurs suiveurs Q16, Q17 garantissent une attaque à basse impédance des drivers de sortie.

En leur absence :

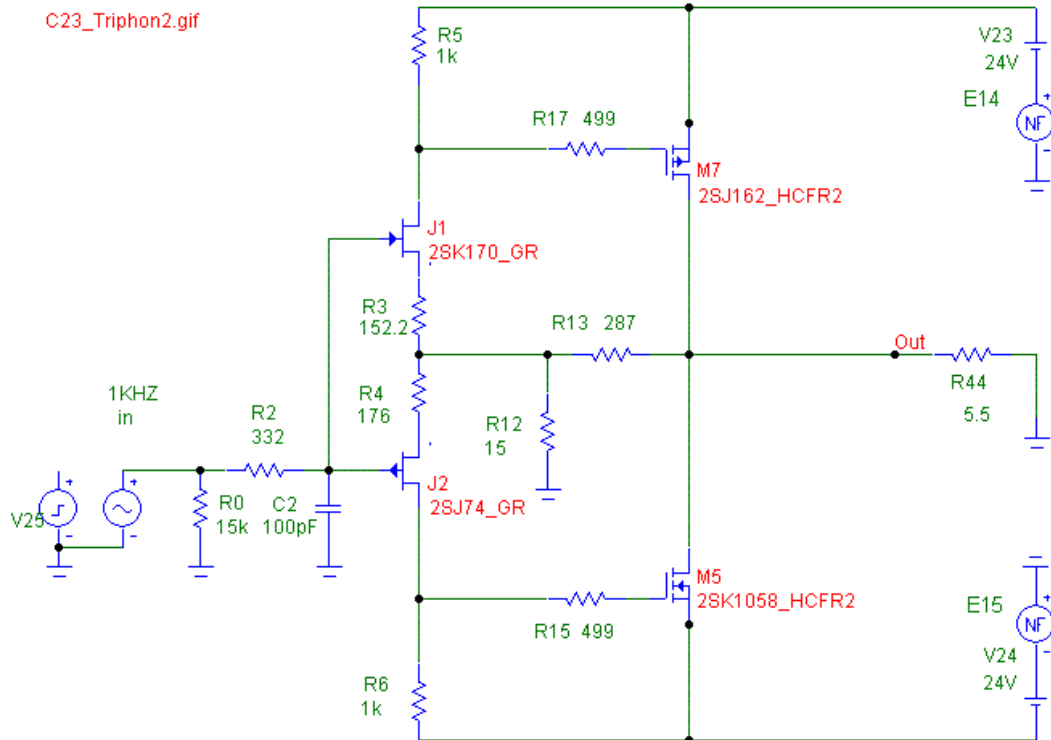
http://perso.orange.fr/francis.audio2/C19_ARTP70S2_var1.gif

la distorsion augmente significativement : H2/H1 passe à -53dB et H3/H1 passe à -69dB.

On notera le point de vue de Jean-Pierre Voiturier, concepteur de ces amplificateurs, à propos du dégradé du spectre de distorsion : "La qualité des timbres dépend du spectre de distorsion. Lorsque les harmoniques impaires prédominent, les timbres sont brillants. Lorsque le spectre de distorsion est régulier les timbres sont plus naturels"

21. Le Profet/Triphon II de Selectronic

<http://www.selectronic.fr/upload/produit/fichetechnique/4180.pdf>



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C23_Triphon2.gif

Simulation0 : Puissance nominale : 29 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-47dB, H3/H1=-53dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C et +13mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -40dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carre 1kHz : stable sans dépassement sur 8ohm//0.1µF et 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 2,9 ohm

En conclusion le schéma est d'une grande simplicité, mais ses performances sont globalement modestes (en particulier linéarité et rejection alimentation).

On notera une impédance de sortie élevée.

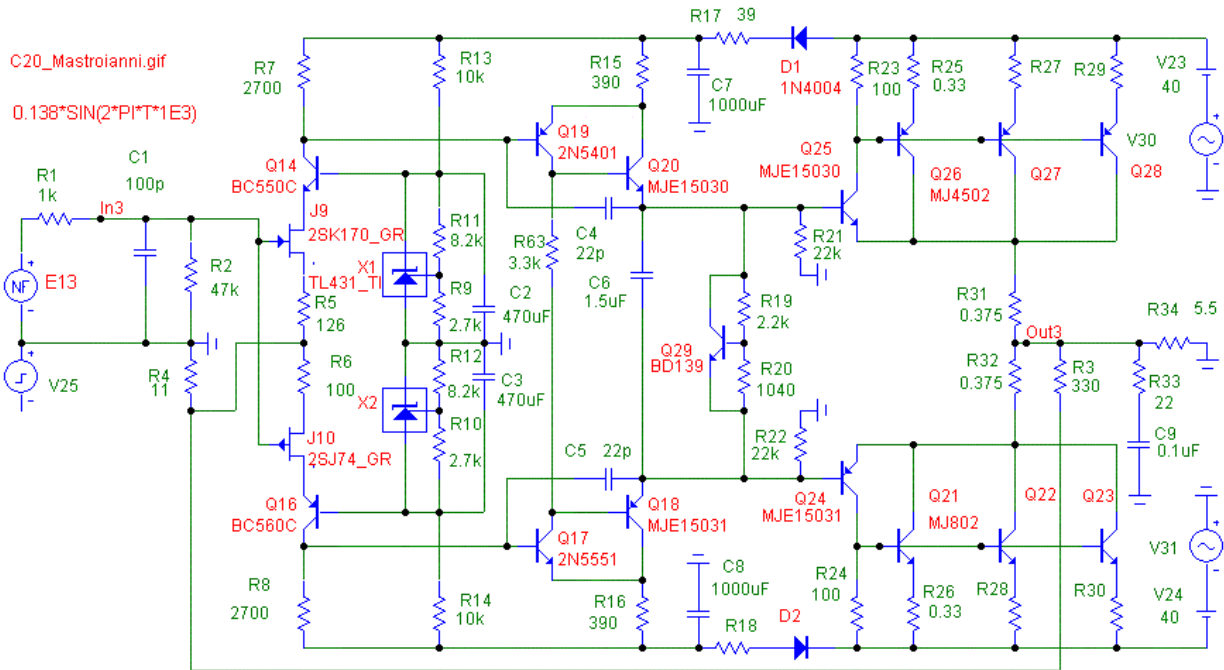
22. Le schéma de François Mastroianni

<http://perso.wanadoo.fr/francois.mastroiannidiy/bloc%20bipo%20classe%20A.htm>

C'est un amplificateur 60W dont 30W en classe A sous 8ohm avec un courant de repos total élevé de 1,4A (3x450mA).

On notera l'utilisation des "vieux" MJ802/4502. La Ft de ces transistors est faible (>2Mhz), mais ces transistors sont plus linéaires que d'autres plus récents selon :

<http://www.dself.dsl.pipex.com/ampins/dipa/dipa.htm#5>



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C20_Mastroianni.gif

Simulation0 : Puissance nominale : 99 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-96dB et H3/H1=-109dB pour Us=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie +2mV à 27°C et -34mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -87dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carre 1kHz : instable sur 8ohm//0.1µF ou 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 0,020 ohm

En conclusion les performances sont globalement bonnes, mais la stabilité sur charge capacitive est à améliorer.

On notera que l'introduction d'un buffer entre étage de gain en tension et étage de puissance (comme pour l'ARTP) améliore la linéarité avec H2/H1=-107dB et H3/H1=-125dB.

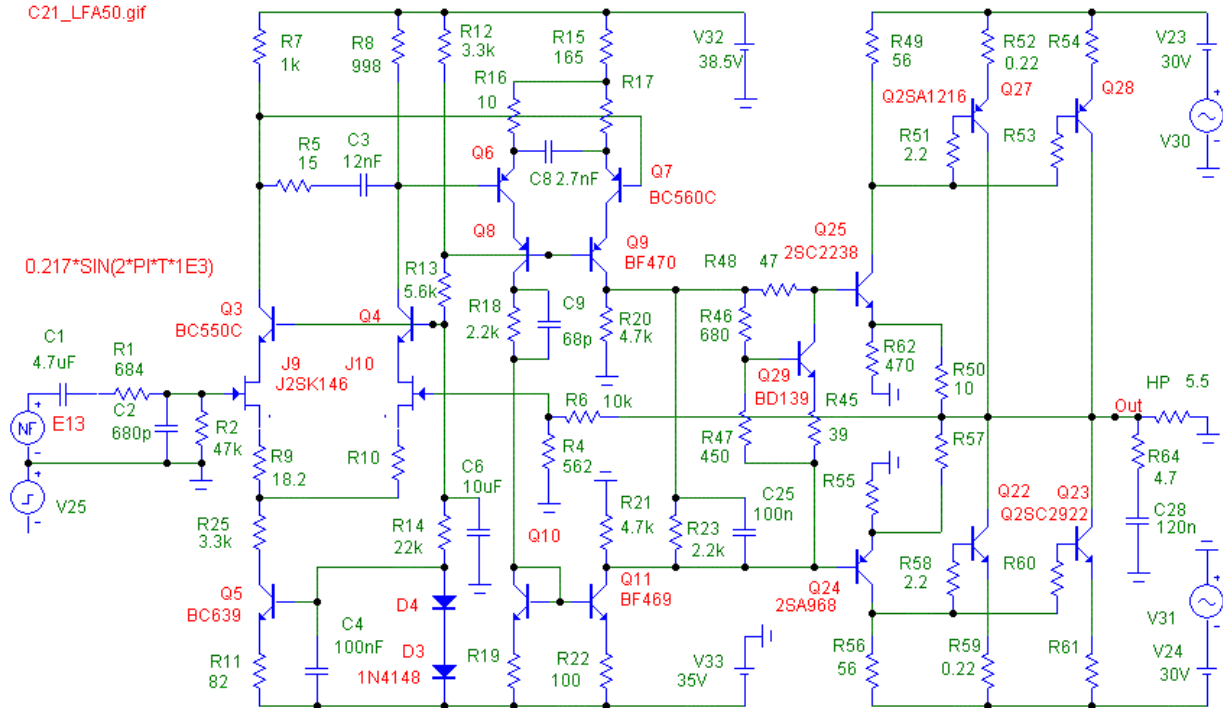
http://perso.orange.fr/francis.audio2/C20_Mastroianni_var4.gif

23. Le LFA50 d'Elektor

<http://www.hilberink.nl/amps/amps5.htm>

<http://www.jls-info.com/julien/audio/ampliLFA.htm>

Cet amplificateur 50W/8ohm délivre 25W en classe A avec un courant de repos de $2 \times 625\text{mA} = 1,25\text{A}$.



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C21_LFA50.gif

Simulation0 : Puissance nominale : 70 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-103dB et H3/H1=-112dB pour $U_s=4\text{V}$ a 1kHz sur $R=5.5\text{ohm}$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie +1,3mV à 27°C et +9.6mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -78/-108dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carre 1kHz : instable sur 8ohm//0.1µF ou 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R=5,5\text{ ohm}$: 0,0019 ohm

En résumé une bonne linéarité et une stabilité thermique correct.

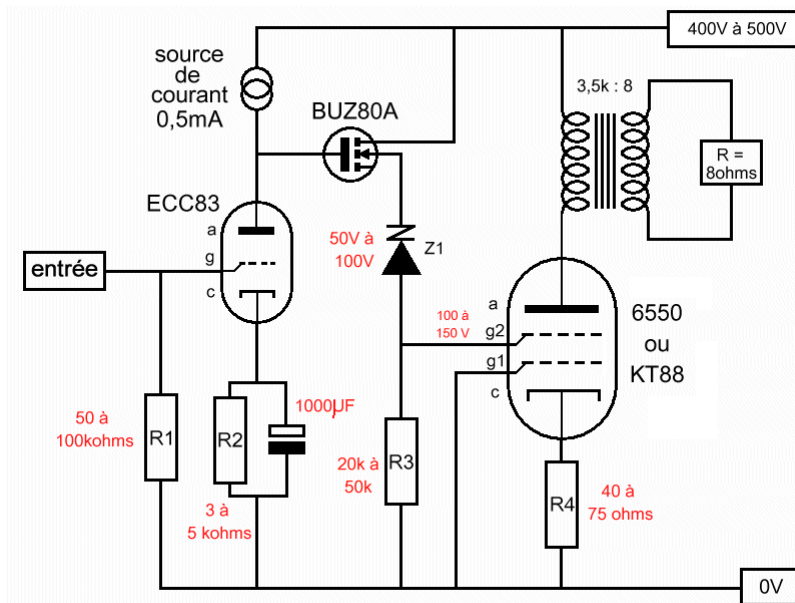
Toutefois, malgré les compensations en fréquences R5/C3, C8..., le montage est instable sur charge capacitive.

Le remplacement des 2SK146 par des bipolaires SSM2210 et l'inclusion d'un condensateur en série avec R4 dans la boucle de CR amène à cette variante.

L'harmonique H3 devient prépondérante avec H2/H1=-106dB et H3/H1=-96dB.

http://perso.orange.fr/francis.audio2/C21_LFA50_var2.gif

24. Schéma inspiré du Shabda de Jean-Michel Le Cleac'h



http://perso.orange.fr/francis.audio2/Shabda_sans_CR.gif

Le schéma semble être hybride, mais les transistors présents n'apporte pas de gain et sont utilisés de manière passive : source de courant, suiveur de tension, décalage de tension. On peut donc le considérer comme un amplificateur à tube.

Une triode chargée par une source de courant constitue un étage amplificateur de tension le plus linéaire qui soit. Il n'existe pas plus linéaire !

On pourra s'en convaincre en regardant le graphique sur la page :

http://home.pacifier.com/~gpimm/Active_loads_and_signal_current_control.html

qui montre en bleu la droite de charge correspondant à une charge résistive et en rouge la droite de charge pour une charge par source de courant constant.

On voit que la courbe rouge intersecte le réseau de courbes I_a-U_a à des points parfaitement équidistants.

La distorsion est donc très faible (moins de 1% de distorsion pour un signal de 100Volt RMS ! avec une ECC83 a 0,5mA, gain de 100)

Bien entendu cette distorsion n'est obtenue que si l'impédance de l'étage qui va suivre est quasi-infinie or l'étage de sortie est tout le contraire, c'est ce qui explique la présence du Mosfet haute tension intercalé en suiveur de tension à forte impédance d'entrée et faible impédance de sortie entre l'étage d'entrée et l'étage de sortie

Un autre avantage plus méconnu d'une charge par source de courant est l'isolation parfaite de l'étage d'entrée contre les bruits provenant de l'alimentation.

A ce sujet on lira notamment : http://www.bottlehead.com/et/bottlehead_technology_story.htm

« A second advantage, not as widely appreciated, is that the current source provides a great deal of isolation from the power supply. »

Le tube 4Y75R est utilisé en "enhanced triode mode", c'est à dire que sa grille G1 étant à la masse, il est contrôlé par l'écran G2.

Il y a assez peu de réalisations pratiques avec le mode "enhanced triode".

Un schéma avec des EL509 en sortie : <http://www.geocities.com/bobdanielak/technoteNo33.html>

Coté réalisations industrielles, le premier appareil de Tim de Paravicini à utiliser ce mode est son intégré EAR

859 avec des EL519 en sortie : <http://www.ear-yoshino.com/news/news.asp?ID=95>

Coté français, il y a cette réalisation : <http://perso.orange.fr/jeanluc.b/715%20B.htm>

Pour les simulations le 4Y75R a été remplacé par un tube plus courant, le KT88.

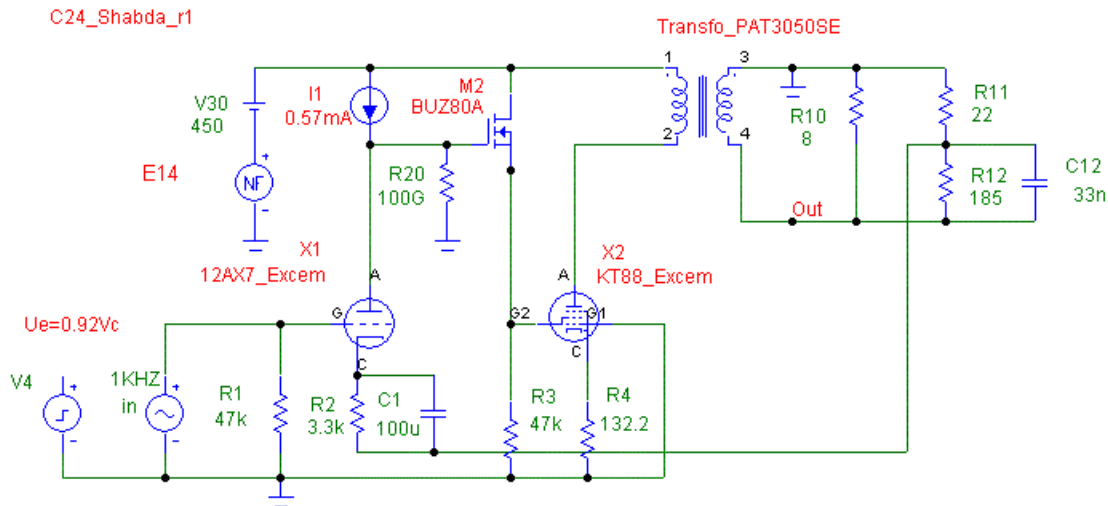
Plusieurs modèles Spice sont disponibles pour cette tétrode :

- le modèle de Norman Koren http://www.normankoren.com/Audio/Tubemodspice_article.html
- le modèle de Duncan Munro <http://www.duncanamps.com/spicevalvesp.html>
- le modèle de Excem http://www.excem.fr/download/tubes_13.zip

Le premier modèle donne un point de fonctionnement sensiblement différent de celui attendu,
 Le deuxième donne un point de fonctionnement à peu près correct mais a des problèmes de convergence lors des calculs en régime dynamique.
 Le modèle de Excem donne un point de fonctionnement correct sans problème de convergence. C'est donc ce modèle qui a été retenu.

Le modèle du transformateur de sortie 5kohm/8ohm a été défini en fonction des caractéristiques du transformateur PAT 3050-SE : <http://www.plitron.com/Pages/Products/Audio/3050-se.htm>

Le schéma simulé :



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C24_Shabda_r1.gif

Le fichier de simulation :

http://perso.orange.fr/francis.audio2/C24_SHABDA_R1.CIR

Par rapport au schéma de base de Jean-Michel, il a été recherché un point de fonctionnement qui minimise la distorsion. Ceci c'est traduit par les actions suivantes : augmentation de I1, augmentation de Vg2, augmentation de R4, augmentation de l'impédance d'entrée du transformateur.

Une légère contre réaction globale de 6dB a été appliquée.

Le condensateur C12 a été ajouté afin de garantir une bonne stabilité sur charge capacitive.

Simulation0 : Puissance : 13W_{eff}/8ohm (H3/H1)=1%

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-63dB et H3/H1=-64dB pour Us=4V a 1kHz sur R=8ohm
 Soit une DHT de 0,1% dont l'ordre de grandeur est cohérent avec les mesures de Jean-Michel (0,14% 1W/8ohm pour le montage en boucle ouverte).

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C et à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -53dB

Simulation4 : Pas de dépassement sur signal carré 1kHz sur charge capacitive 8ohm//0,1µF ou 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R = 8 ohm : 6.8 ohm

Compte-tenu de la simplicité du montage, on notera une très bonne linéarité.
 L'impédance de sortie élevée destine cet amplificateur à l'alimentation de compressions.

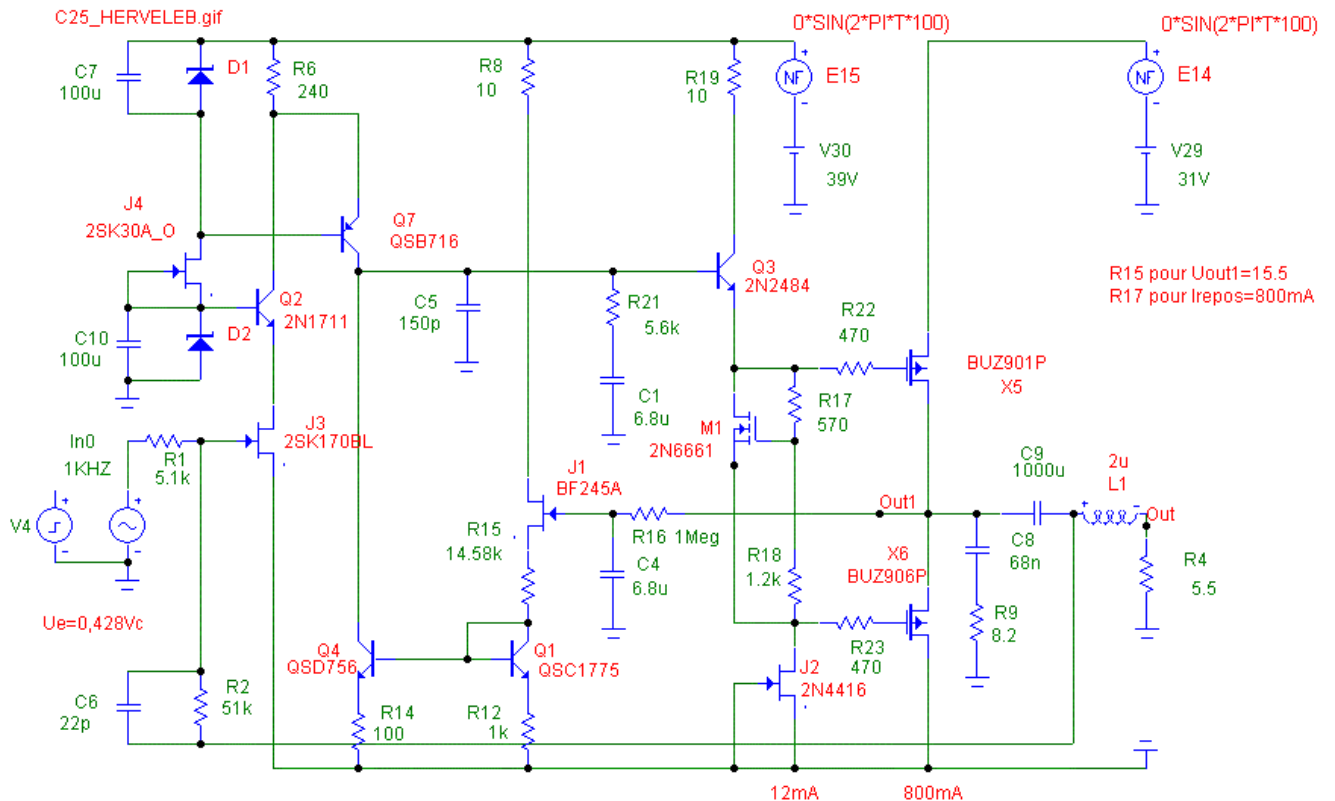
25. Le schéma de Hervé Lebbolo

<http://lpne-electronique.in2p3.fr/rv/bminv/bminv2-pcb.pdf>

Cet amplificateur est caractérisé par la présence d'une capacité entre étage de sortie et charge.
L'étage d'entrée ne voit donc pas les dérives lentes des différents étages.
La stabilisation de la polarisation s'effectue non sur l'étage d'entrée mais sur un étage intermédiaire.

Le montage est inverseur et ne fait appel en entrée qu'à un seul fet à courant élevé (10mA) et tension V_{ds} faible.
Les avantages du simple fet sont la simplicité de ce montage et une distorsion principalement paire.

La bande passante en boucle ouverte est élevée (200kHz).



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C25_HERVELEB.gif

Le fichier de simulation :

http://perso.orange.fr/francis.audio2/C25_HERVELEB.CIR

Simulation0 : Puissance : 15W_{eff}/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-64dB et H3/H1=-88dB pour $U_s=4V$ à 1kHz sur $R=5.5ohm$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie Out1 15,428V à 27°C et 15,439V à 75°C, soit une augmentation de 11mV

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -84dB pour le +39V et -67dB pour le +31V

Simulation4 : Dépassement sur signal carré 1kHz sur charge capacitive 8ohm//0,1µF : +8% 8ohm//1µF : +50%

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R=5,5 ohm$: 0,028 ohm à 1kHz et 0,16 ohm à 20Hz

Comme attendu, la distorsion est essentiellement composée de H2 (0,06%).
On notera la bonne stabilité thermique avant le condensateur de sortie.

26. Le schéma de la revue Nouvelle Electronique n°39

<http://perso.orange.fr/francis.audio2/NouvelleElectro39.gif>

Son originalité concerne l'étage de sortie quasi-complémentaire.

Ce type de structure avait été proposé par Siliconix lorsque seul le type N des Mosfet était disponible (voir les notes d'application AN76-3 http://perso.orange.fr/francis.audio2/Siliconix_AN76-3.jpg et AN80-5 http://perso.orange.fr/francis.audio2/Siliconix_AN80-5.jpg).

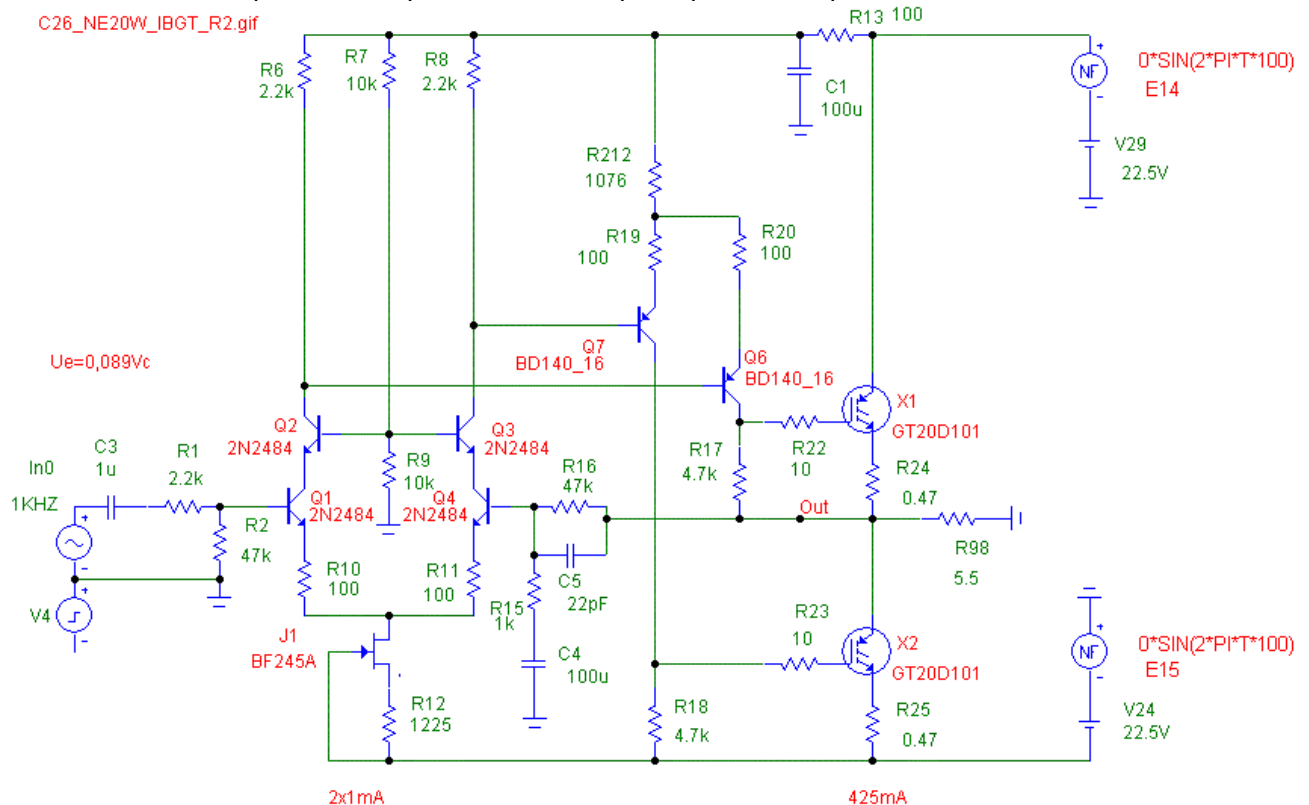
Le schéma d'origine est caractérisé par une très mauvaise réjection de l'ondulation de l'alimentation : -6dB !

Une amélioration sensible est obtenue en polarisant Q1 à la masse

http://perso.orange.fr/francis.audio2/C26_NE20W_IBGT_r1.gif

La réjection de l'alimentation passe alors à -50dB.

On notera par ailleurs que le réseau R13/C1 de filtrage de l'alimentation est mal placé et que le générateur de courant autour de Q5 peut être simplifié en étant remplacé par une simple résistance :



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C26_NE20W_IBGT_r2.gif

Le fichier de simulation : http://perso.orange.fr/francis.audio2/C26_NE20W_IBGT_R2.CIR

Simulation0 : Puissance : 20W_{eff}/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-86dB et H3/H1=-80dB pour U_s=4V a 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie -0.7mV à 27°C et -0.9mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -56dB

Simulation4 : Pas de dépassement pour un signal carré 1kHz sur charge capacitive 8ohm//0,1µF ou 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 0,0045 ohm

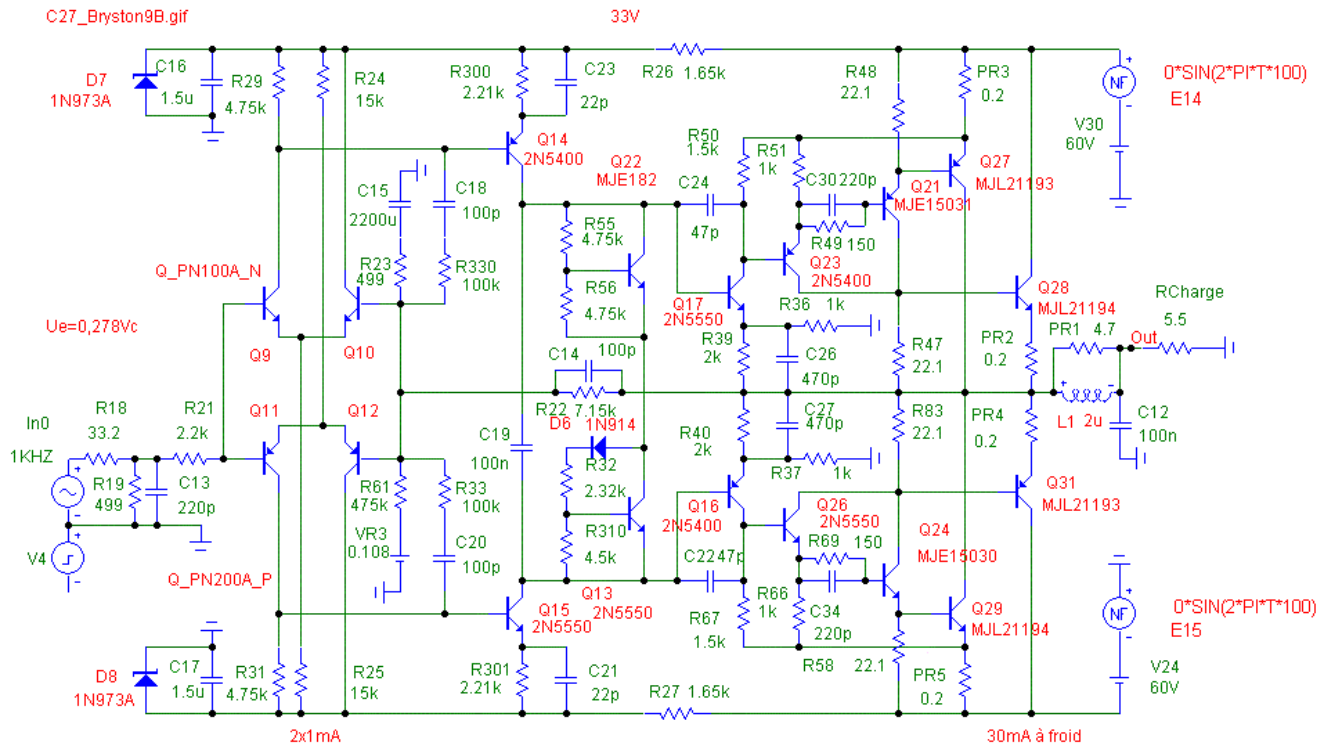
Les résultats sont dans la moyenne des schémas simulés.

27. Le Bryston 9B-SST

<http://www.bryston.ca/BrystonSite05/pdfs/SSTAmplifiers/9Bsst-Schematic12%282002-07,2004-06%29.pdf>

Ce montage est un mélange de simplicité (les différentiels d'entrée ne comportent ni résistances d'émetteurs ni source de courant constant) et de complexité (le multiplicateur de V_{de} et la douzaine de condensateur de compensation en fréquence !).

Son originalité est l'étage de sortie où chaque polarité est constituée d'un NPN MJL21194 et d'un PNP MJL21193.



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C27_Bryston9B.gif

Le fichier de simulation : http://perso.orange.fr/francis.audio2/C27_BRYSTON9B.CIR

Simulation0 : Puissance : 269W_{eff}/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion $H2/H1 = -117\text{dB}$ et $H3/H1 = -103\text{dB}$ pour $U_s = 4\text{V}$ à 1kHz sur $R = 5.5\text{ohm}$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie -0.3mV à 27°C et -0.8mV à 75°C

Le courant de repos de chaque transistor passe d'environ 30mA à froid à environ 80mA à chaud.

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -96dB

Simulation4 : Dépassement pour un signal carré 1kHz sur charge capacitive $+33\%$ pour $8\text{ohm}/0,1\mu\text{F}$ et $+95\%$ pour $8\text{ohm}/1\mu\text{F}$

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R = 5,5\text{ohm}$: $0,000067\text{ohm}$

On notera une bonne linéarité, conséquence d'un gain en boucle ouverte important (98dB), et une bonne réjection de l'alimentation.

Le dégradé harmonique montre une prédominance des harmoniques impaires.

On notera que la suppression de Q27 et Q29 améliore légèrement la linéarité : $H3/H1$ passe de -103 à -106dB .

http://perso.orange.fr/francis.audio2/C27_Bryston9B_r1.gif

28. Le Dalix présenté dans la RDS en Mai 98

<http://www.dalixaudio.com/>

<http://perso.orange.fr/dalixaudio/datasheets/A260.pdf>

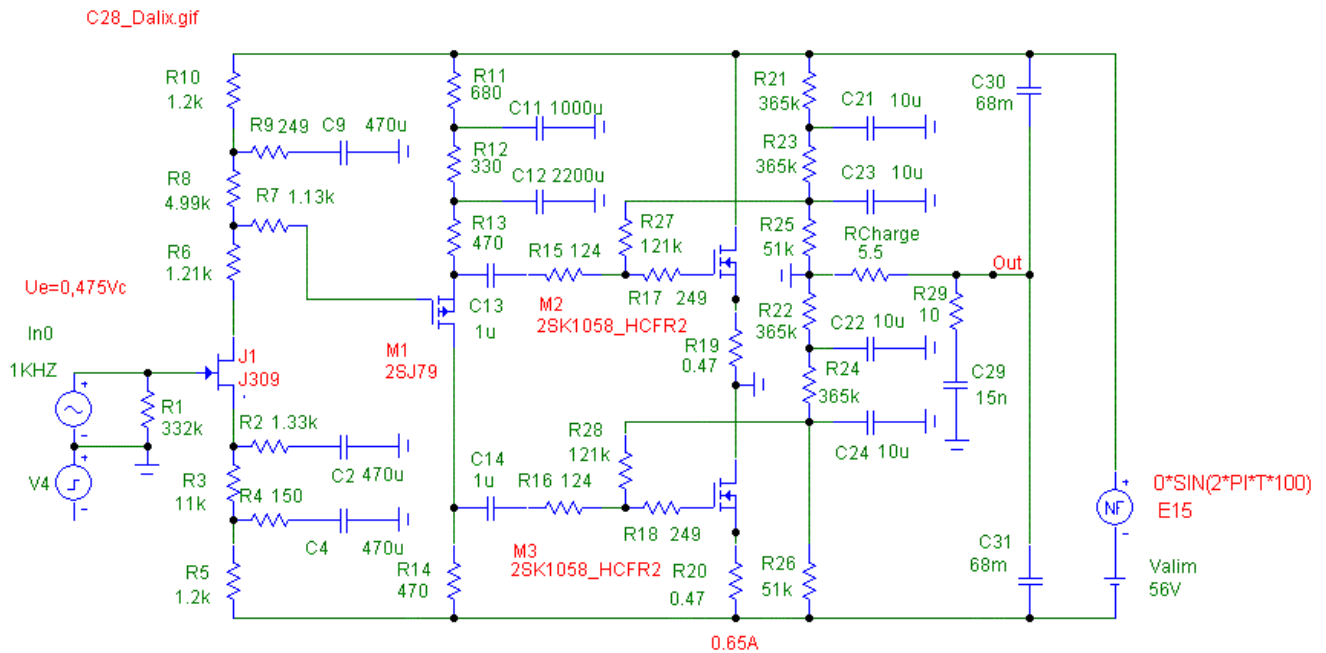
Un point fort du montage est sa simplicité apparente (4 transistors).

Son originalité est le fonctionnement de l'étage de sortie quasi complémentaire qui impose une alimentation flottante pour chaque canal.

On retrouve cette idée sur le QSC USA1310 :

<http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/tom/files/usa1310.gif>

Les transistors d'origine sont des BUZ900D mais, compte-tenu des problèmes de convergences rencontrés avec le modèle spice de ce transistor, il a été utilisé les 2SK1058.



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C28_Dalix.gif

Le fichier de simulation : http://perso.orange.fr/francis.audio2/C28_DALIX.CIR

Simulation0 : Puissance nominale : 19 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linearité, Distorsion H2/H1=-59dB et H3/H1=-59dB pour Us=4Vc à 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C et 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -17 dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carré 1kHz : dépassement +4% sur 8ohm//0.1µF, pas de dépassement sur 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 4,9 ohm

La mauvaise réjection de l'alimentation justifie les précautions prises : présence de deux filtrages avec double self à champs croisés.

On notera l'impédance de sortie élevée.

29. Le Vander Elst PX 701

http://perso.orange.fr/francis.audio2/VanDer_Elst.doc

On notera que l'argumentation technique est assez similaire à celle de l'amplificateur Hartley 120 :

http://www.hartley-electronics.com/accueil_francais/produits/ampli/ampli.htm

Toutefois le courant de repos de l'Hartley est probablement plus faible que celui du Vander Elst puisque le banc d'essai de la RDS n°315 p61 montre clairement une importante distorsion de croisement :

http://www.hartley.fr/photos/s120_p2.jpg

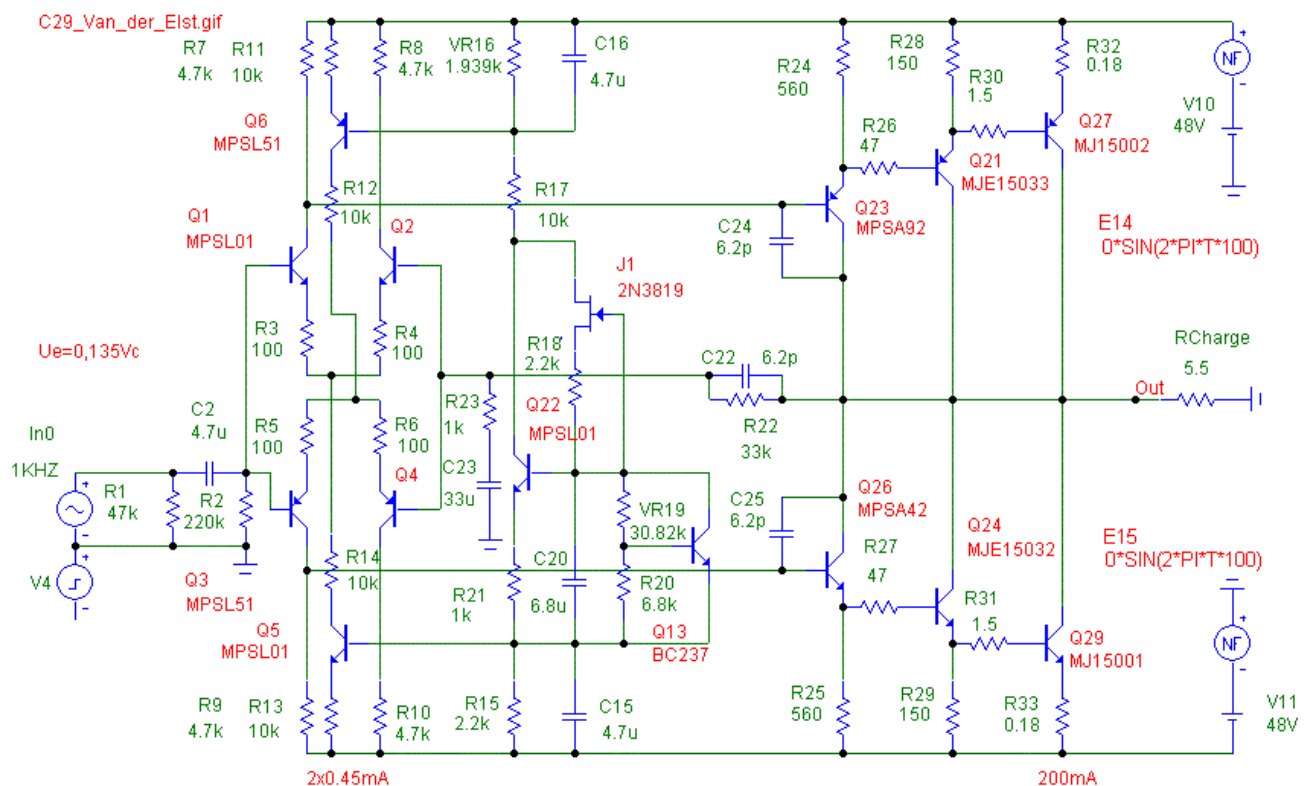
Un schéma assez semblable est utilisé sur le Musical Fidelity A1 :

<http://perso.orange.fr/francis.audio2/mf-a1.gif>

L'amplificateur ne comprend que deux étages, ce qui fait son originalité. Pour Q11/Q12, les BF757/760 ont été remplacés, par manque de modèle Spice, par les plus classiques MJE15032/15033.

La valeur de la résistance R17, erronée sur le schéma d'origine, a été diminuée afin de permettre la polarisation de l'étage de sortie.

On notera la bonne réputation des MJ utilisés en sortie : <http://www.tcaas.btinternet.co.uk/jlhtrans.htm>



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C29_Van_der_Elst.gif

Le fichier de simulation : http://perso.orange.fr/francis.audio2/C29_VAN_DEL_ELST.CIR

Simulation0 : Puissance nominale : 60 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-75dB et H3/H1=-44dB pour Us=4Vc à 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C et -43mV à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -88 dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carré 1kHz : dépassement +123% sur 8ohm//0.1µF et +91% sur 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 0,0053 ohm

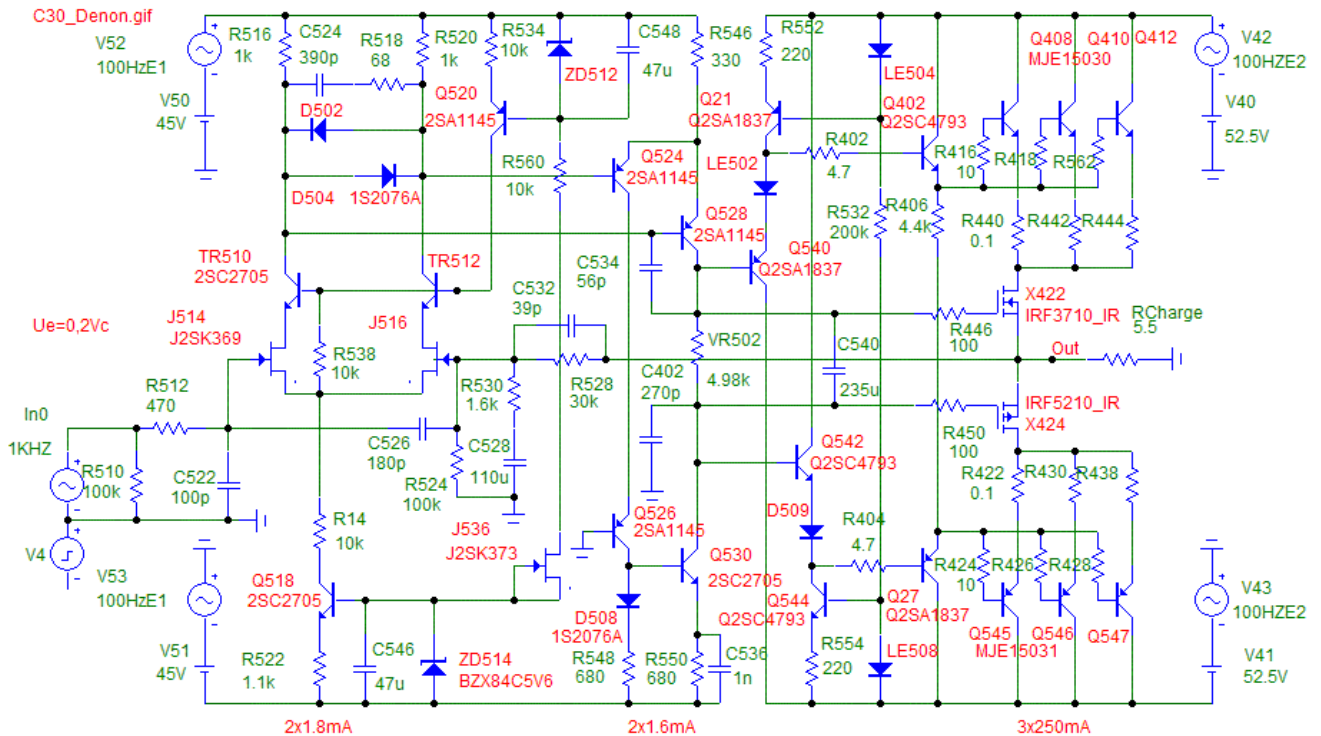
En résumé une bonne réjection de l'alimentation, mais une stabilité sur charge capacitive perfectible.

La distorsion est élevée avec une prédominance marquée des harmoniques impaires.

30. Le Denon PMA-S10II

<http://www.homecinema-fr.com/forum/viewtopic.php?t=29738779>

Le schéma simulé : http://perso.orange.fr/francis.audio2/C30_Denon.gif



Le fichier de simulation : http://perso.orange.fr/francis.audio2/C30_DENON.CIR

Deux points méritent d'être soulignés :

- le premier étage est un vrai cascode (contrairement aux 8W C04, Mosquito C22, LFA50 C21 et NE39 C26) grâce au générateur de courant constant formé autour de Q520,
- l'étage de sortie est de type cascode (Mosfet 2SK1303/2SJ216 + bipolaires 2SC3854/2SA1490).

Ce type d'étage de sortie cascode est également présent (2SK1303/2SJ216 + Darlington 2SD2401/2SB1570) en version ponté dans le Denon PMA-S1 : <http://www.homecinema-fr.com/forum/viewtopic.php?t=29838067>

Différents modifications ont été apportées afin de rendre la simulation possible :

- par manque de modèle Spice, les 2SC3854/2SA1490 (120V 8A 80W) ont été remplacés par les MJ15030/31
- pour la même raison, les 2SK1303/2SJ216 de sortie ont été remplacés par les "presque complémentaires" (selon <http://en.wikipedia.org/wiki/Transistor>) IRF3710/IRF5210.

Le point d'indifférence thermique d'environ 15 à 70 A est du même ordre de grandeur que celui des 2SK1303/2SJ216 (environ 25 A).

- les modèles des IRF3710 et IRF5210 ont été modifiés (ajout d'une résistance de 470kohm entre G et S) afin de permettre la convergence des calculs.
- le gain d'origine ($1 + 31k/160 = 195$) a été ramené à 20 afin de faciliter la comparaison avec les autres circuits.

Par ailleurs, le transistor de stabilisation thermique a été supprimé.

En effet, la correction apportée par ce dernier est excessive par rapport au coefficient de température légèrement positif des IRF.

Ainsi lorsque la température augmente de 27 à 40°C, la tension Vgs des IRF doit diminuer de 8,08 à 8,06 V afin de conserver un courant de repos de 750mA. Pour la même variation de température, la tension Vce aux bornes du transistor « thermomètre » 2SC3421 passe de 8,08 à 7,81 V. Comme la pente dI/dV_{gs} de ce type de Mosfet est très importante, le courant de repos passe alors de 750mA à... environ 0mA !

Dans la pratique, le montage fonctionne car le transistor « thermomètre » a une température qui évolue plus faiblement que celle des transistors de puissance.

Le 2SK369 en entrée est un FET très faible bruit développé par Toshiba. Il est équivalent, à la puissance dissipée près, au 2SK147 : http://www.toshiba.com/taec/components2/Datasheet_Sync/53/6937.pdf

Le 2SK369 est souvent recommandé pour les amplificateurs phono type bobine mobile :

http://www.klaus-boening.de/html/lab_page.html

<http://www.klaus-boening.de/html/phonostage.html>

Ces caractéristiques ont été mesurées par : http://www-d0.fnal.gov/hardware/cal/notes/jfet_gm.pdf

Simulation0 : Puissance nominale : 136 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-112dB et H3/H1=-130dB pour Us=4Vc à 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C et à 75°C

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -82dB pour l'alimentation des deux premiers étages et -119dB pour l'étage de puissance

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carré 1kHz : dépassement 1% sur 8ohm//0.1µF et 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 2 µhm

En résumé, des résultats sont excellents du fait d'un gain en boucle ouverte important (100 dB).

Le 2SK369 en entrée et le courant de repos élevé assurent la prédominance de la distorsion d'ordre 2.

31. Le schéma de Wim de Jager paru dans Electronics World en décembre 1999

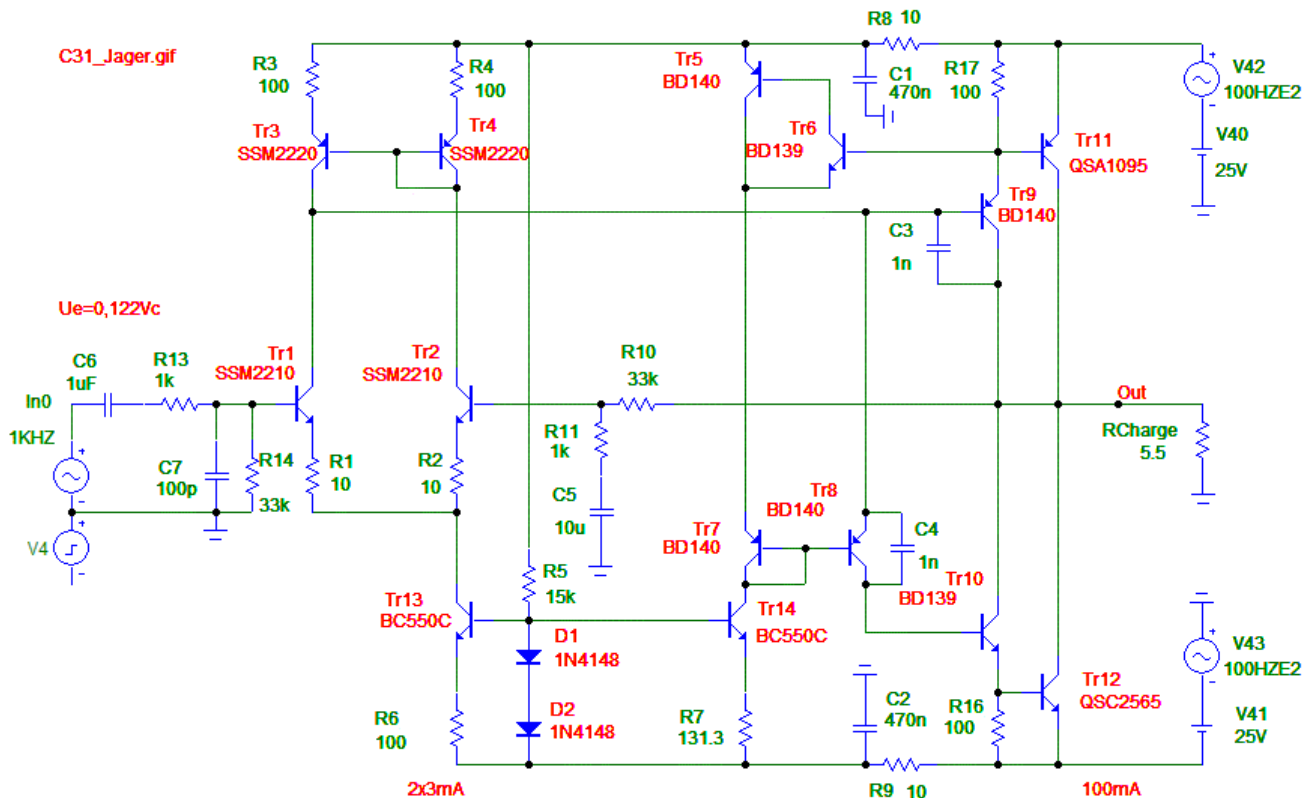
<http://perso.orange.fr/francis.audio2/AmpJager.doc>

Les caractéristiques revendiquées sont :

- l'absence de distorsion de croisement (les transistors de sortie sont toujours conducteurs),
- une excellente stabilité thermique (en l'absence de résistance d'émetteur) grâce à une commande en courant des transistors de sortie,
- une bonne stabilité sur charge capacitive malgré l'absence de réseau de Boucherot,
- un écrêtage doux en évitant la saturation des transistors de sortie.

On notera le montage en miroir de courant de Tr3/Tr4 qui convertit l'entrée différentielle en une unique sortie en courant. On notera également l'utilisation de transistors de sortie 2SC2565/2SA1095 avec une Ft élevée (60MHz typ) afin de limiter l'augmentation du courant de polarisation aux hautes fréquences.

Le schéma simulé : http://perso.orange.fr/francis.audio2/C31_Jager.gif



Le fichier de simulation : http://perso.orange.fr/francis.audio2/C31_JAGER.CIR

Simulation0 : Puissance nominale : 53 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion H2/H1=-81dB et H3/H1=-88dB pour Us=4Vc à 1kHz sur R=5.5ohm

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 3mV à 27°C (Irepos=100mA) et 2mV à 75°C (Irepos=110mA)

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -59dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carré 1kHz : dépassement 8% sur 8ohm//0.1µF et 4% sur 8ohm//1µF

Simulation5 : Impédance de sortie sur R=5,5 ohm : 2,7 mohm

La stabilité thermique est remarquable. Les autres performances sont dans la moyenne.

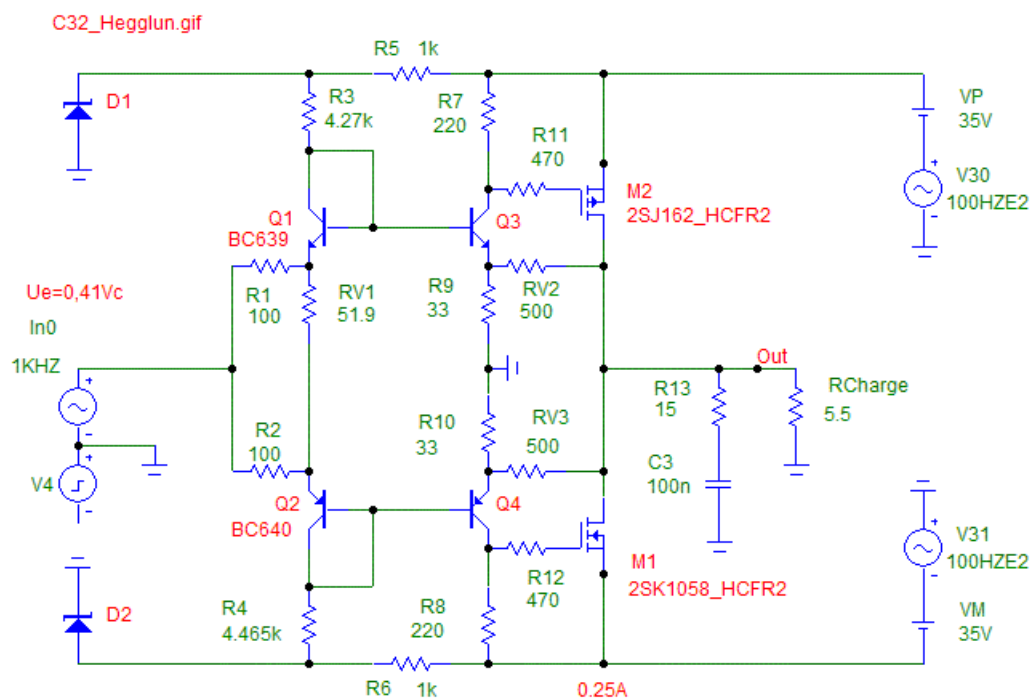
32. Le schéma de Ian Hegglun paru dans Electronics World en septembre 1995

<http://perso.orange.fr/francis.audio2/AmpHegglun.doc>

Le fonctionnement en classe A quadratique est inspiré d'un montage de D. Self.

Avec $RV2=RV3=10\text{kohm}$, le montage fonctionne pratiquement en boucle ouverte.
Les valeurs de $RV2$ et $RV3$ ont donc été réduites afin d'apporter un peu de contre-réaction.
 $RV1$ est ajustée pour avoir un courant de repos de 250 mA.
 $R4$ est ajustée pour avoir une tension continue en sortie nulle.

En remplaçant les $Q1/Q2/Q3/Q4$ par une paire de FET on se rapproche des Triphon II / Profet de Selectronic :
<http://www.selectronic.fr/upload/produit/fichetechnique/4180.pdf>



http://perso.orange.fr/francis.audio2/C32_Hegglun.gif

Simulation0 : Puissance nominale : 71 Weff/5.5ohm

Simulation1 : Linéarité, Distorsion $H2/H1=-50\text{dB}$ et $H3/H1=-60\text{dB}$ pour $Us=4Vc$ à 1kHz sur $R=5.5\text{ohm}$

Simulation2 : Stabilité thermique, Tension continue en sortie 0mV à 27°C ($I_{\text{repos}}=250\text{mA}$) et 16mV à 75°C ($I_{\text{repos}}=234\text{mA}$)

Simulation3 : Réjection ondulation alimentation : -45dB

Simulation4 : Stabilité sur charge capacitive avec un signal carré 1kHz : pas de dépassement sur 8ohm//0.1 μF ou 8ohm//1 μF

Simulation5 : Impédance de sortie sur $R=5,5\text{ ohm}$: 2.3 ohm

Les performances sont globalement modestes.

On notera un écrêtage en douceur et une bonne stabilité sur charge capacitive.

L'impédance de sortie est élevée.

Références

La simulation d'un amplificateur à tubes pour casque :

http://www.headwize.com/projects/showfile.php?file=cmoy5_prj.htm

Nelson Pass a publié des mesures qui permettent la comparaison entre réponse d'un haut-parleur attaqué par un amplificateur en tension ou par un amplificateur en courant :

<http://www.passdiy.com/pdf/cs-amps-speakers.pdf>

Un article de Malcolm Hawksford au sujet de la diminution de distorsion obtenue par l'utilisation d'un amplificateur en courant:

http://www.essex.ac.uk/ese/research/audio_lab/malcolmspubdocs/J12%20Distortion%20reduction%20MC%20current%20drive.pdf

Les réalisations JBL/Urei :

<http://www.jblproservice.com/pdf/Vintage%20JBL-UREI%20Electronics/UREI-1176LNmanual.pdf>

Le calcul d'une « distorsion harmonique pondérée » :

[http://www.klippel.de/download/bin%5CAN7%20-%20Weighted%20Harmonic%20Distortion%20\(HI-2\).pdf](http://www.klippel.de/download/bin%5CAN7%20-%20Weighted%20Harmonic%20Distortion%20(HI-2).pdf)

La dissonance due aux harmoniques impaires de rang élevé :

<http://www.phy.mtu.edu/~suits/badnote.html>

<http://home.austin.rr.com/jmjensen/DissonanceCurve.html>

<http://users.bigpond.net.au/d.keenan/Music/EqualTemperedMusicalScales.htm>

Les bases de l'acoustique musicale :

http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/spc/phydoc/lycee/terminale/physique/Sons/Sons_texte.htm

<http://e2phy.in2p3.fr/2004/actes/leroulley.pdf>

L'effet de la polarisation et du niveau de sortie sur le rapport H2/H3 de tube 12AU7 :

<http://web.mit.edu/cheever/www/h3.htm>

Le schéma du préamplificateur RIAA AudioResearch PH1 à transistors avec une alimentation haute tension (285V):

http://www.arcdb.ws/PH1/ARC_PH1_schematic1.gif

<http://www.arcdb.ws/PH1/PH1.html>

Le schéma simplifié de l'amplificateur hybride Luxman LV-105 :

http://perso.wanadoo.fr/francis.audio2/Luxman_LV-105.jpg

La simulation Spice par Adrea Cuffioli d'un amplificateur de type single end à tube :

<http://www.audiodesignguide.com/my/se.html>

Le schéma du Palouda : http://perso.orange.fr/francis.audio2/Rds236_palouda.gif

Le schéma de l'AXL d'Elektor : <http://perso.orange.fr/francis.audio2/Elektor081.gif>

Le John Linsley-Hood 30 Watt Classe A avec Mos-fet :

<http://tkhifi.homepage.dk/klasiskediagrammer/hood30watt.html>

Some history of transistor amplifiers :

<http://www.hilberink.nl/amps/amps0.htm>

D'autres schémas :

<http://sound.westhost.com/project3a.htm>

<http://perso.wanadoo.fr/jm.plantefeve/>

www.ptsoundlab.com/secelectro/amplis/passlabaleph.htm

www.ptsoundlab.com/secelectro/amplis/powerfollower99c/powerfollower.htm

http://web.telecom.cz/macura/pma2_en.html

<http://www.angelfire.com/ab3/mjramp/newamp2.html>

http://users.swing.be/edwinpaij/ampli_mosfet_simple.htm