

Alimentation à etat solide pour GEC 30W

Yves Monmagnon, Novembre 2007
y.monmagnon@wanadoo.fr
www.dissident-audio.com

Objet

L'objet de ce papier est de décrire le processus aboutissant à la création d'une alimentation basée sur un redressement à état solide utilisant donc des diodes silicium en remplacement d'un circuit à tube.

Les besoins seront extraits de la documentation publiée par GEC pour un ampli de 30W à tubes employant un Push Pul de KT88 en mode Ultra Linéaire.

Le cheminement complet sera présenté de façon didactique afin qu'il puisse être appliqué à d'autres contextes.

Les résultats inclueront les détails de construction du transformateur spécifique résultant de cette étude.

L'amplificateur GEC 30W

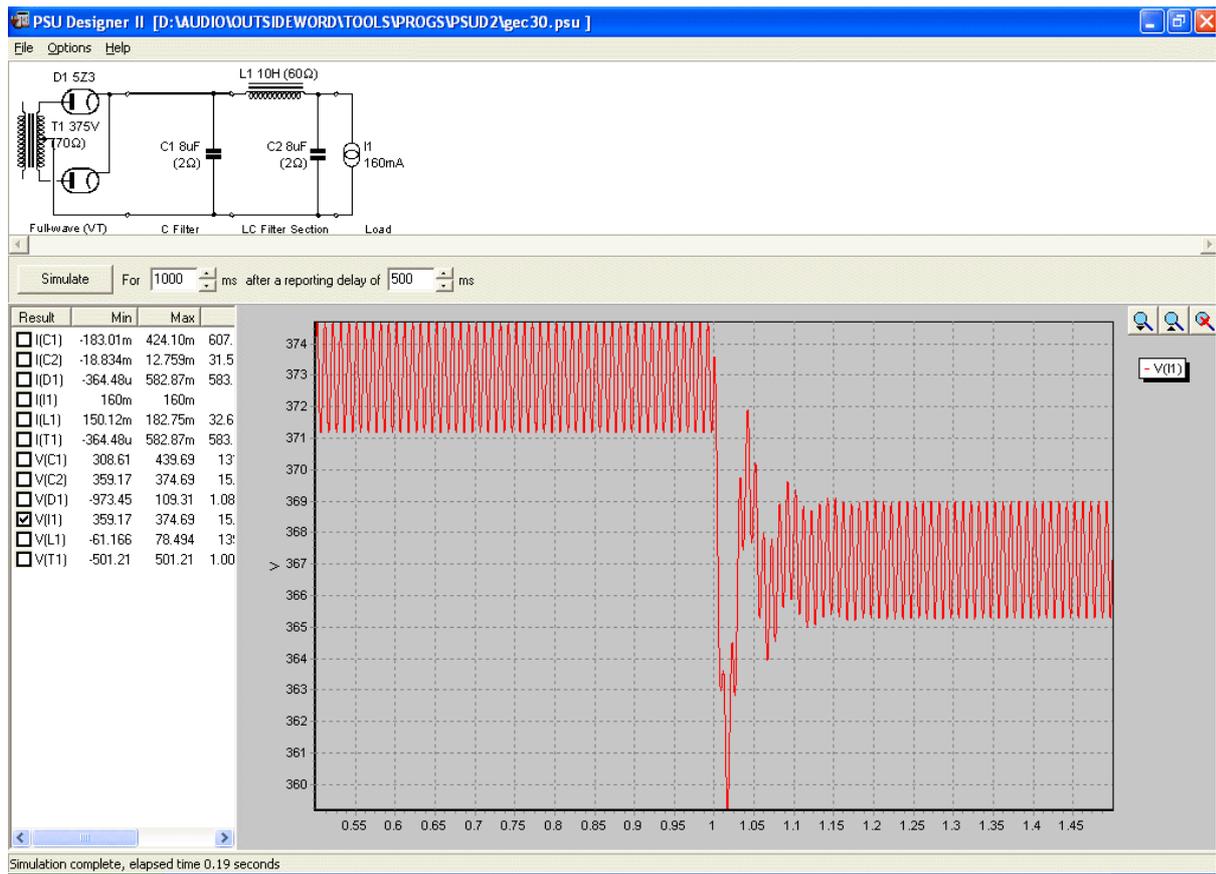
Le [papier original](#) publié par GEC montre une structure classique de Push Pull en mode Ultra Linéaire à polarisation automatique par résistances dans les anodes des tubes de sortie.

Deux versions sont décrites, l'une avec des KT66, l'autre avec des KT88, c'est à cette dernière que s'applique cet article.

L'alimentation originale

Elle doit délivrer une tension de 375V pour un courant variant de 160 à 170mA si on ne considère que l'étage de puissance. La consommation des petits étages est estimée à 15mA ce qui donne au total 175 à 185mA.

La simulation du circuit utilisé par GEC avec [PSUDI](#) donne le résultat suivant.



Avec une charge variant de 175 à 185 mA, la tension chute de 6 Volts non sans quelque accident dûs aux resonances de la self de filtre et des condensateurs.

L'ondulation atteint 4V crête à crête.

Ces valeurs sont parfaitement correctes compte tenu de la technologie employée, mais les ingénieurs de chez GEC ne disposaient pas de diodes au silicium ni de condensateurs de fortes valeurs.

La nouvelle alimentation.

Le but est d'obtenir des performances comparables à celle de l'alimentation d'origine en profitant des avantages découlants de l'utilisation de diodes au silicium pour supprimer la self de filtrage ce qui conduit à utiliser des condensateurs de filtrage de plus forte valeurs.

C'est possible parce que les diodes au silicium supportent des courants de crête bien supérieurs à ceux autorisés par les tubes.

Les crêtes de courant qui en résultent devront prises en compte dans la définition du transformateur..

Le transformateur.

Il doit fournir non seulement la haute tension mais aussi le courant de chauffage des tubes : 1,8A pour chaque KT88 et 0,6A pour chaque 6SN7, soit un total de 5 Ampères sous une tension de 6,3V, quelques 25 Watts.

En première approximation, l'enroulement HT devrait fournir $375/1,414=265V$. Une valeur plus élevée sera nécessaire pour compenser les pertes ohmiques tant dans le transfo lui même que dans la cellule de filtrage.

Le courant à fournir sous 375V est de 190 mA, soit une puissance de 72 Watts ce qui demande, sous 265V, un courant moyen de $72/265=270mA$. Au total, le transformateur aura à délivrer un centaine de watts.

Avant de poursuivre, télécharger le logiciel de calcul :

www.dissident-audio.com/Pst/Pst.zip

et prendre le temps de lire la notice d'installation et d'utilisation :

www.dissident-audio.com/Pst/DocPst.zip.

Itérations et optimisations.

On commence par saisir les valeurs estimées ci dessus dans le logiciel de calcul de transformateur d'alimentation.

Puis on utilise les résultats obtenus pour renseigner les caractéristiques du transfo dans PSUDII.

Sauf grand hasard (ou grande expérience), les résultats de la simulation ne sont pas conformes à ce que l'on espérait.

Il faut adapter le transformateur, modifier ses caractéristiques dans PSUDII et itérer jusqu'à obtenir un résultat final satisfaisant.

Premier pas.

En entrant les valeurs dans PST et en le laissant faire tout seul, on obtient ceci :

Pst Version 1.0.8 D:\AUDIO\MYPROJECTS\TOOLS\TRANSFOS\POWSUPPLY\Papers\GEC30W1.psx

Projet

Spécifications

Freq (Hz)

Pri	Volts	Amps
	230	0.45
Sec 1	6.3	5
Sec 2	265	.27
Sec 3		
Sec 4		

Informations

Volts par spire 0.29
Watts fournis 103.05
Watts consommés 116.45
Rendement 88%

Création

Yves Monmagnon, Juillet 2005
Y.Monmagnon@wanadoo.fr
www.dissident-audio.com

Cuivre

Amp/mm² Hauteur utilisée (mm) 10.
Hauteur utile (mm) 13.5

Spires par Volt 3.44

Diamètre	Long	Resist.	Volts	Haut	Spires
Calculé	Réel	(Ohms)	Réels	(mm)	Couche
0.44	0.44	791	164.5	20.88	239.4
1.46	1.46	22	4.6	.05	6
0.34	0.34	911	189.5	39.91	254.2
0.	0.				2.5
0.	0.				2.7

Pertes Cu (W@60°C) 8.4

Fer

Noyau EI96B

Fe (Kg) 1.92
Fe (Cm²) 13.1

T réel 1.

Pertes Fe (W) 5.

- EI66B
- EI84A
- EI84A/2
- V38x2
- EI96A
- LLsim
- EI96Ah
- EI84B
- EI108-36
- EI96B**
- EI96Bh

On constate que plusieurs corrections sont nécessaires.

Les pertes cuivre (résistance des enroulements) à la densité de courant choisie (3 Ampères par mm²)

La tension de chauffage en charge n'est que de 6V, la HT de 254 et encore à condition que le primaire reçoive 239V pour compenser sa propre résistance.

Une autre indication est le rapport entre les pertes fer (5Watts) et les pertes cuivre(7,9W) que l'on tente habituellement d'équilibrer.

Il y a deux façons de réduire les pertes cuivre.

- Diminuer la densité du courant
- Augmenter l'induction

Densité du courant.

La valeur de 3A par mm² est déjà raisonnable. La réduire va augmenter les sections de fil, donc diminuer la résistance des enroulement et, en conséquence, les pertes par effet Joule donc, au final, la température du transfo.

On peut voir (en haut à droite) qu'il reste de la place sur la bobine, seuls 10mm sont utilisés sur les 13,5 disponibles.

Induction.

L'induction (en Tesla) est actuellement de 1 (au centre de la zone « Fer » en gris.

Elle définit le nombre de spires par volts. Accepter une plus forte induction augmente les pertes fer mais réduit le nombre de spires par volt.

Chaque enroulement aura moins de spires donc une moindre résistance avec les mêmes conséquences que ci-dessus.
 L'induction admissible dépend de la qualité des tôles utilisées.
 Avec des tôles « standard » les pertes augmentent considérablement au delà de 1 Tesla, les tôles de qualité M6X peuvent être utilisées sans risque jusqu'à 1,3 Tesla, du moins dans le contexte présent de l'alimentation d'un amplificateur audio.
 En usage industriel ces valeurs sont souvent dépassées dans le but de réduire les coûts au prix d'une plus grande « pollution » magnétique.

Deuxième tentative.

Histoire de voir jusqu'où on peut aller, l'induction a été augmentée à 1,3 Tesla (implique de la tôle M6X) et la densité de courant réduite à 1,65A/mm² ce qui remplit presque complètement la bobine :

Spécifications

Freq (Hz)

Pri	Volts	Amps
	<input type="text" value="230"/>	<input type="text" value="0.45"/>
Sec 1	<input type="text" value="6.3"/>	<input type="text" value="5"/>
Sec 2	<input type="text" value="265"/>	<input type="text" value="0.27"/>
Sec 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Sec 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Informations

Volts par spire **0.38**
 Watts fournis **103.05**
 Watts consommés **112.25**
 Rendement **92%**

Création

Yves Monmagnon, Juillet 2005
 Y.Monmagnon@wanadoo.fr
 www.dissident-audio.com

Cuivre

Amp/mm² Hauteur utilisée (mm)
 Hauteur utile (mm)

Spires par Volt

Diamètre		Long (M)	Resist. (Ohms)	Volts Réels	Haut (mm)	Spires Couche	
Calculé	Réel						
0.59	<input type="text" value="0.59"/>	<input type="text" value="608"/>	<input type="text" value="126.5"/>	<input type="text" value="8.83"/>	<input type="text" value="234"/>	<input type="text" value="6.1"/>	<input type="text" value="68"/>
1.97	<input type="text" value="1.97"/>	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="3.5"/>	<input type="text" value="0.02"/>	<input type="text" value="6.2"/>	<input type="text" value="2.2"/>	<input type="text" value="20"/>
0.46	<input type="text" value="0.46"/>	<input type="text" value="701"/>	<input type="text" value="145.8"/>	<input type="text" value="16.89"/>	<input type="text" value="260.4"/>	<input type="text" value="5."/>	<input type="text" value="87"/>
0.	<input type="text" value="0."/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text"/>
0.	<input type="text" value="0."/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="2.7"/>	<input type="text"/>

Pertes Cu (W@60°C)

Fer

Noyau

Fe (Kg)
 Fe (Cm²)

T réel

Pertes Fe (W)

EI42
 EI48
 EI54
 EI60
 EI66A
 EI78
 EI66B
 EI84A
 EI84A/2
 V38x2
 EI96A

L'amélioration est évidente, il suffit de constater que le rendement global est passé de 88% à 92% (Zone « informations » en bleu).

La résistance des enroulements ne pouvant jamais être nulle, les tensions en charge restent évidemment inférieures aux tensions à vide, il faut donc augmenter ces dernières.

On obtient les valeurs en charge souhaitées en prenant, à vide, 6,4V pour le chauffage et 270V pour la HT.

De même, on prend en compte la résistance du primaire en réduisant la tension « théorique » de 230 à 226V
 Les 4 volts sont perdus dans la résistance de l'enroulement (8,8Ohms) quand il y circule 0,44A et on retrouve bien les 230V (229,9 calculés comme indiqué en vert dans la colonne des tensions réelle) aux bornes du primaire.

Troisième essai.

The screenshot shows the 'Pst Version 1.0.8' software interface. The window title is 'D:\AUDIO\MYPROJECTS\TOOLS\TRANSFOS\POWSUPPLY\Papers\GEC 30W\3.psx'. The interface is divided into several panels:

- Spécifications:** Freq (Hz) is set to 50. A table shows primary and secondary specifications:

	Volts	Amps
Pri	226	0.46
Sec 1	6.4	5
Sec 2	270	.27
Sec 3		
Sec 4		
- Cuivre:** Amp/mm² is 1.65. Hauteur utilisée (mm) is 13.4, Hauteur utile (mm) is 13.5. Spires par Volt is 2.65. A table shows wire specifications:

Diamètre	Long (M)	Resist. (Ohms)	Volts Réels	Haut (mm)	Spires Couche
0.6	124.4	8.38	229.9	6.2	67
1.97	3.5	.02	6.3	2.2	20
0.46	148.5	17.2	265.4	5.	87
0.				2.5	
0.				2.7	

 Pertes Cu (W@60°C) is 3.6.
- Informations:**
 - Volts par spire: 0.38
 - Watts fournis: 104.9
 - Watts consommés: 114.1
 - Rendement: 92%
- Fer:** Noyau EI96B. Fe (Kg) 1.92, Fe (Cm²) 13.1. T réel is 1.3. Pertes Fe (W) is 5.6. A list of core types is visible: EI42, EI48, EI54, EI60, EI66A, EI78, EI66B, EI84A, EI84A/2, V38x2, EI96A.
- Création:** Yves Monmagnon, Juillet 2005. Y.Monmagnon@wanadoo.fr. www.dissident-audio.com

Première itération avec PSUDII

Simulons maintenant le redressement et le filtrage de la H.T. avec ce transfo.

On choisi un pont de diodes suivi arbitrairement d'un filtre CLC 100µF, 47Ohms et 100µF.

La charge est de 175mA pendant 1 seconde puis passe à 185mA comme dans la simulation de l'alimentation GEC originale.

Les caractéristiques du transfo sont saisies dans cette fenêtre :

Source Impedance Calculator

Measured/Manufacturers data

Primary

Supply voltage V RMS

Winding resistance Ohms

Secondary

Off-load voltage V RMS

Winding resistance Ohms

Results

Turns ratio

Estimated impedance Ohms

qui s'obtient en choisissant « Ohms » depuis celle ci

Edit transformer properties

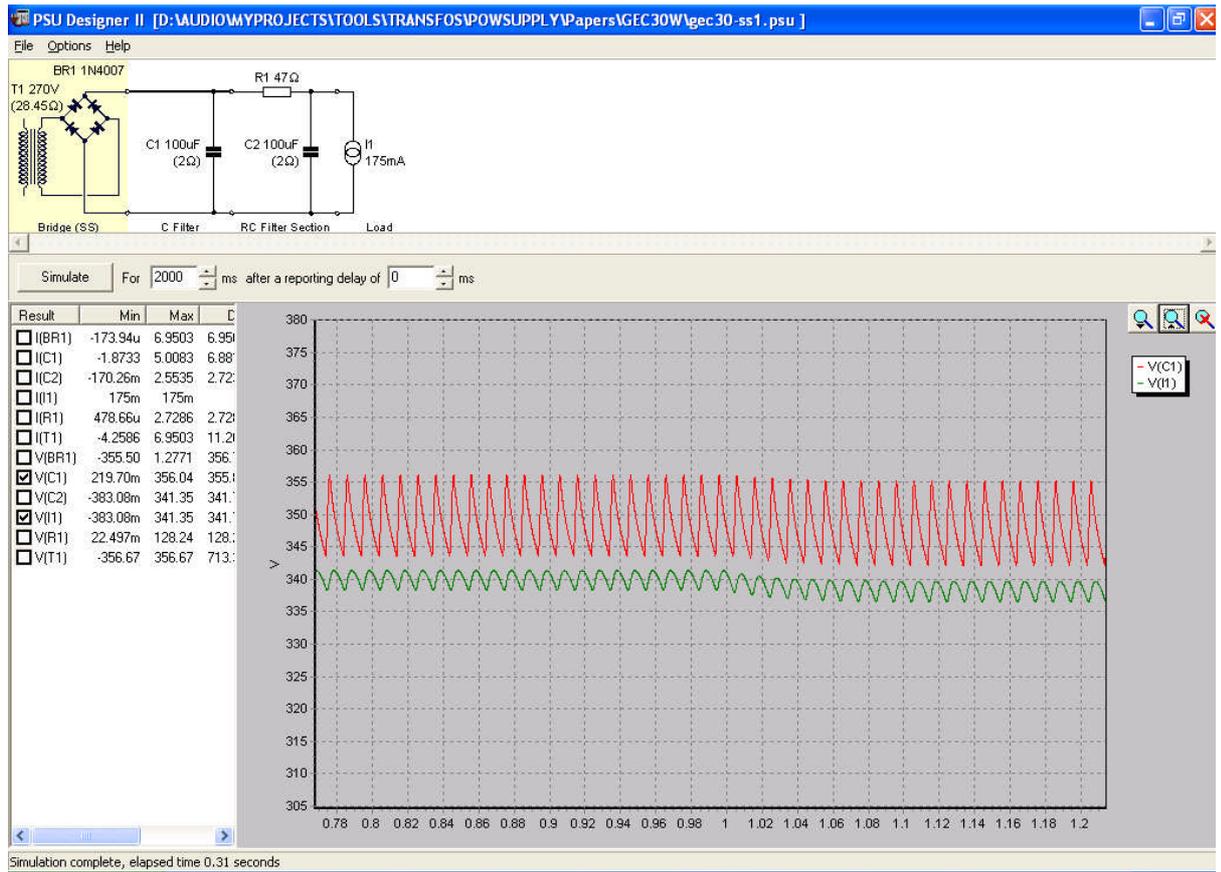
Value ... RMS V

Source res ... Ohms

Suffix: M=Mega, K=Kilo, m=milli

Les valeurs de résistances primaire et secondaire étant celle fournies par PST.

La première simulation donne ceci :



En rouge, la tension sur le condensateur de tête, en vert sur la charge. Avec un « zoom » sur le moment où la consommation augmente, on constate tout d'abord que la tension est trop basse d'environ 40V, mais que l'ondulation résiduelle et la régulation sont très nettement améliorées par rapport au circuit original.

Le manque de tension est la conséquence des appels de courant brefs mais importants et répétitifs (>1Ampère) au moment de la recharge des condensateurs qui provoquent une chute de tension proportionnelle à l'impédance apparente du transformateur.

On retourne donc au calcul du transfo et on ajoute 40V au secondaire HT.

Pst Version 1.0.8 D:\AUDIO\MYPROJECTS\TOOLS\TRANSFOS\POWSUPPLY\Papers\GEC30W14.psx

Projet

Spécifications

Freq (Hz)

	Volts	Amps
Pri	<input type="text" value="226"/>	<input type="text" value="0.51"/>
Sec 1	<input type="text" value="6.4"/>	<input type="text" value="5"/>
Sec 2	<input type="text" value="310"/>	<input type="text" value="0.27"/>
Sec 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Sec 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Cuivre

Amp/mm²

Hauteur utilisée (mm) **14.9**

Hauteur utile (mm) 13.5

Spires par Volt 2.65

Diamètre	Long	Resist.	Volts	Haut	Spires
Calculé	Réel	(Ohms)	Réels	(mm)	Couche
0.63	<input type="text" value="0.63"/>	<input type="text" value="598"/>	<input type="text" value="124.4"/>	<input type="text" value="7.6"/>	<input type="text" value="229.9"/>
1.97	<input type="text" value="1.97"/>	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="3.5"/>	<input type="text" value="0.02"/>	<input type="text" value="6.3"/>
0.46	<input type="text" value="0.46"/>	<input type="text" value="820"/>	<input type="text" value="170.6"/>	<input type="text" value="19.76"/>	<input type="text" value="304.7"/>
0.	<input type="text" value="0."/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="2.5"/>
0.	<input type="text" value="0."/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="2.7"/>

Pertes Cu (W@60°C) 4.

Informations

Volts par spire 0.38

Watts fournis 115.7

Watts consommés 125.3

Rendement 92%

Fer

Noyau **EI96B**

Fe (Kg) 1.92

Fe (Cm²) 13.1

T réel 1.3

Pertes Fe (W) 5.6

- EI66B
- EI84A
- EI84A/2
- V38x2
- EI96A
- LLsim
- EI96Ah
- EI84B
- EI108-36
- EI96B**
- EI96Bh

Création

Yves Monmagnon, Juillet 2005

Y.Monmagnon@wanadoo.fr

www.dissident-audio.com

Et voilà, pas de chance la bobine déborde !

Que peut on optimiser ?

D'abord, remplaçons les diamètres de fil calculés par les valeurs disponibles dans le commerce !

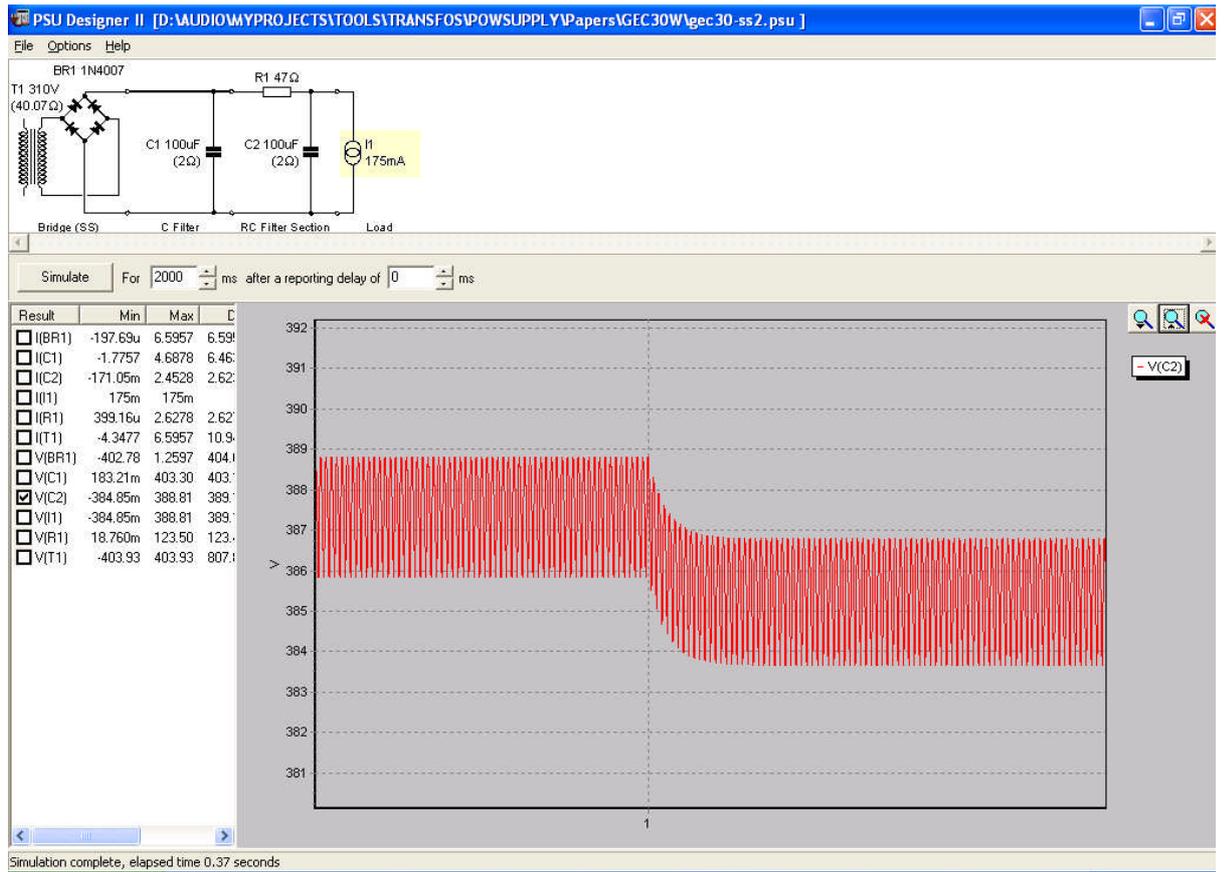
La simulation précédente ayant montré que régulation était excellente, on se permet d'arrondir en dessous.

Le primaire serait bobiné en 0,6, le secondaire BT en 1,8 et le secondaire HT en 0,4mm de diamètre.

Un retour sous PSUDII avec ces nouvelles donnée indique une haute tension filtrée un peu au dessus de la cible.

La dernière ligne droite.

Finalement après deux itérations et avec un enroulement HT de 310V on obtient ceci en sortie de filtre :



Le résultat se compare favorablement à celui du circuit original avec une très nette amélioration au moment de l'augmentation de la consommation ce qui est le signe d'une faible impédance interne jusqu'aux plus basses fréquences, gage d'une amélioration de la tenue aux transitoires génératrices d'appels de courant.

Le transformateur final.

Est réalisable de cette façon :

Pst Version 1.0.8 D:\AUDIO\WYPROJECTS\TOOLS\TRANSFOS\POWSUPPLY\Papers\GEC30W\Final.psx

Projet

Spécifications

Freq (Hz)

	Volts	Amps
Pri	<input type="text" value="226"/>	<input type="text" value="0.51"/>
Sec 1	<input type="text" value="6.4"/>	<input type="text" value="5"/>
Sec 2	<input type="text" value="310"/>	<input type="text" value="0.27"/>
Sec 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Sec 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Informations

Volts par spire **0.38**
Watts fournis **115.7**
Watts consommés **125.9**
Rendement **92%**

Création

Yves Monmagnon, Juillet 2005
Y.Monmagnon@wanadoo.fr
www.dissident-audio.com

Cuivre

Amp/mm² Hauteur utilisée (mm)
Hauteur utile (mm)

Spires par Volt

Diamètre Calculé	Diamètre Réel	Spires	Long (M)	Resist. (Ohms)	Volts Réels	Haut (mm)	Spires Couche
0.64	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="text" value="598"/>	<input type="text" value="124.4"/>	<input type="text" value="8.36"/>	<input type="text" value="230.3"/>	<input type="text" value="6.2"/>	<input type="text" value="67"/>
2.	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="3.5"/>	<input type="text" value="0.02"/>	<input type="text" value="6.3"/>	<input type="text" value="2.2"/>	<input type="text" value="20"/>
0.46	<input type="text" value="0.4"/>	<input type="text" value="820"/>	<input type="text" value="170.6"/>	<input type="text" value="25.8"/>	<input type="text" value="303"/>	<input type="text" value="4.5"/>	<input type="text" value="98"/>
0.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text"/>
0.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="2.7"/>	<input type="text"/>

Pertes Cu (W@60°C) **4.6**

Fer

Noyau **EI96B**

Fe (Kg) **1.92**
Fe (Cm²) **13.1**

T réel

Pertes Fe (W) **5.6**

- EI66B
- EI84A
- EI84A/2
- V38x2
- EI96A
- LLsim
- EI96Ah
- EI84B
- EI108-36
- EI96B**
- EI96Bh

En clair :

Transformateur d'alimentation 120W,50Hz.

Noyau EI96b, Tôles M6X, empilage 45mm (colonne 32x45)

- Primaire : 230V, 0,5A. 600 tours fil diamètre 0,6mm.
- Secondaire 1 : 6,3V, 4A. 17 tours fil diamètre 2mm
- Secondaire 2 : 310V, 0,27A. 820 tours fil diamètre 0,4mm.
- Isolement >= 1KV

Le secondaire basse tension (1) qui sera au potentiel de la masse sert d'écran statique entre le primaire et le secondaire haute tension (2). Ces spécifications sont assez différentes de celles d'un transformateur industriel de même puissance et peuvent surprendre un bobineur professionnel.

Si il vous propose un équivalent présumé identique, fuyez ou tentez de le convaincre que tels sont vos besoins tout en évitant de donner l'impression que vous voulez lui apprendre son métier.

Personne n'aime ça !

Bien évidemment, la solution décrite ici n'est pas unique, d'autres choix d'optimisation et d'autres critères de choix sont toujours possibles.

La méthode de travail décrite ici n'a pour but que de vous permettre de créer et de valider ce qui satisfait le mieux vos besoins tout en s'adaptant à vos moyens.

Bonnes réalisations, Yves.