Alimentation à état 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 Pull 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 incluront les détails de construction du transformateur spécifique résultant de cette étude.

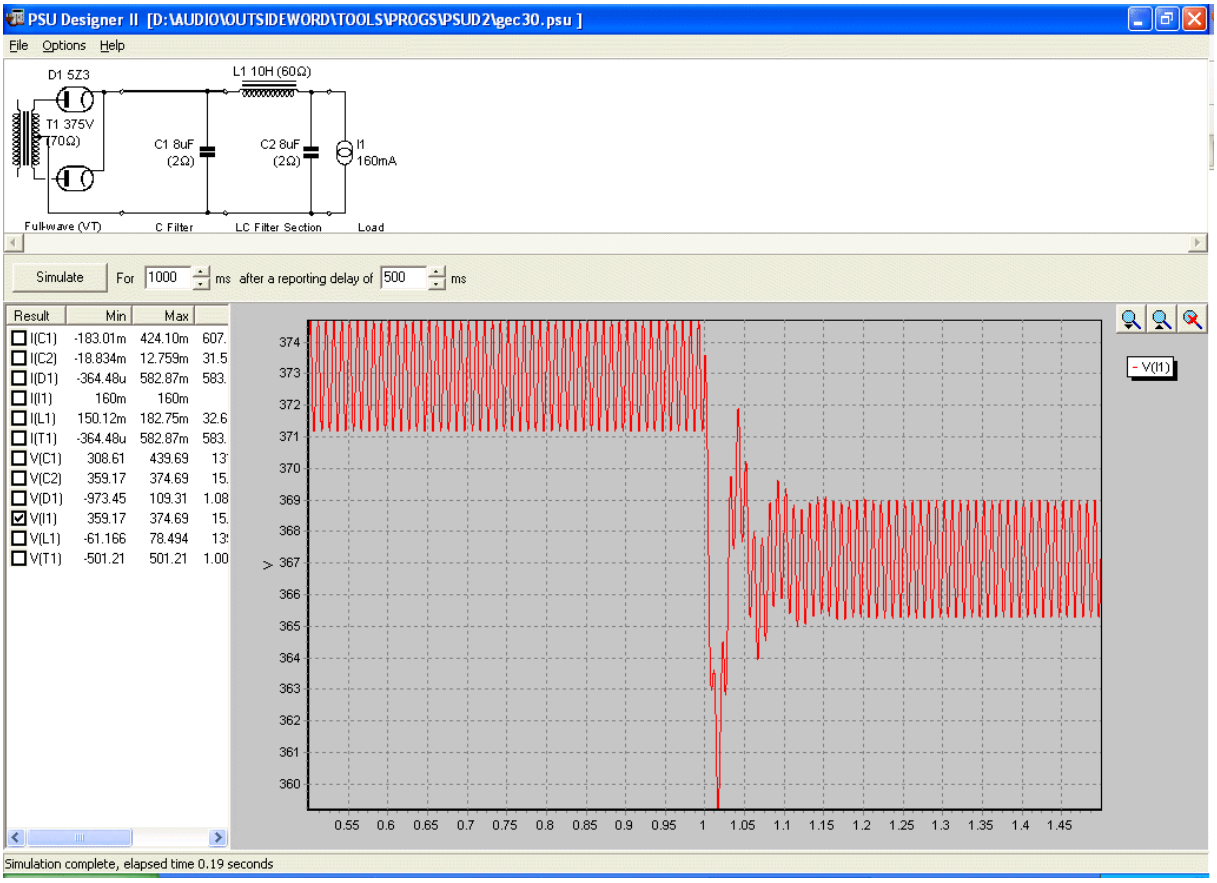
L'amplificateur GEC 30W

Le papier original publié par GEC montre une structure classique de Push Pull en mode Ultra Linéaire à polarisation automatique par résistances dans les cathodes 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 PSUDII donne le résultat suivant.



Avec une charge variant de 175 à 185 mA, la tension chute de 6 Volts non sans quelque accident dus aux résonnances 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'atteindre des performances comparables à celle de l'alimentation d'origine en profitant des avantages découlant de l'utilisation de diodes au silicium pour supprimer la self de filtrage ce qui conduit à utiliser des condensateurs de filtrage de plus fortes 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 être 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 30 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

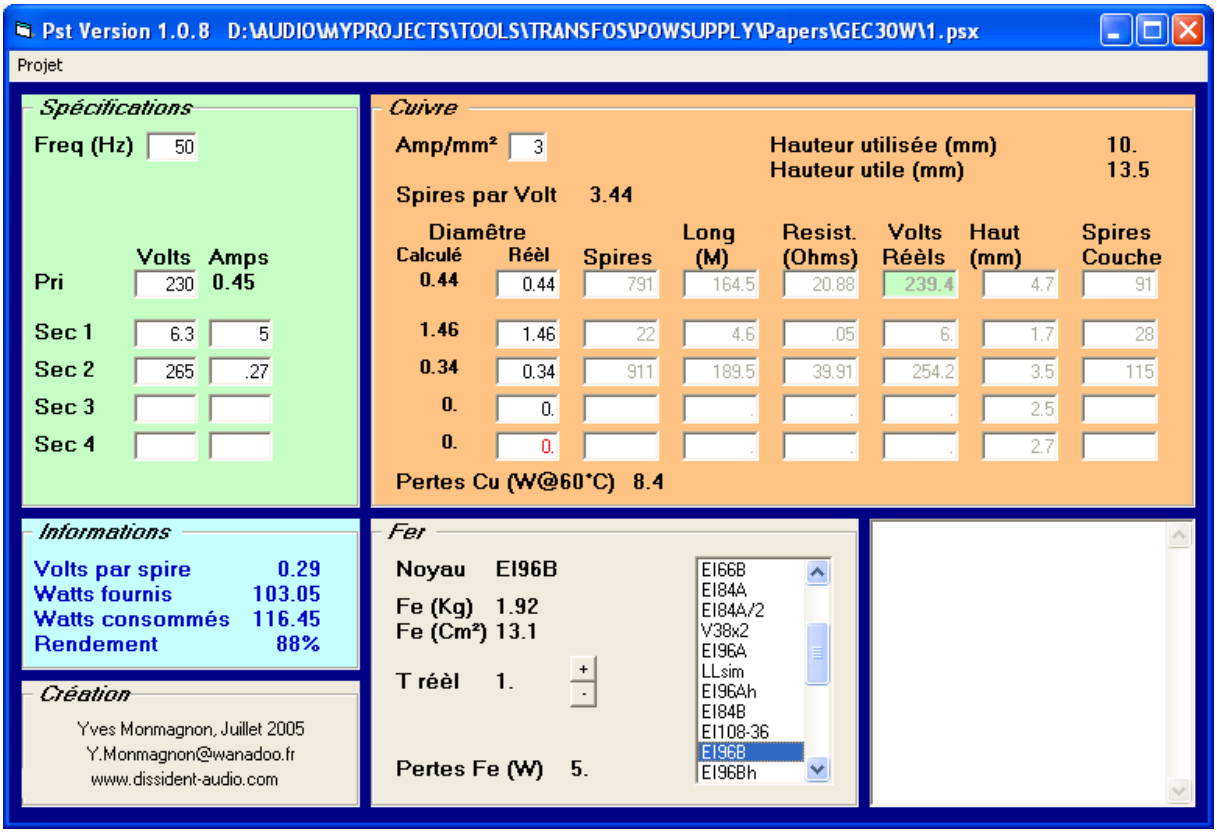
et prendre le temps de lire la notice d'installation et d'utilisation :
www.dissident-audio.com/Pst/DocPst.zip.

Itérations et optimisations.

On commence par saisir les valeurs estimées ci-dessus dans le logiciel de calcul de transformateur d'alimentation (PST)
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 jamais immédiatement conformes à ce que l'on espérait.
Il faut adapter le transformateur, modifier ses caractéristiques dans PSUDII et itérer jusqu'à aboutir à un résultat final satisfaisant.

Premier pas.

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



On constate que plusieurs corrections sont nécessaires.
Les pertes cuivre (résistance des enroulements) à la densité de courant choisie (3 Ampères par mm²) sont excessives.
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 enroulements 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.

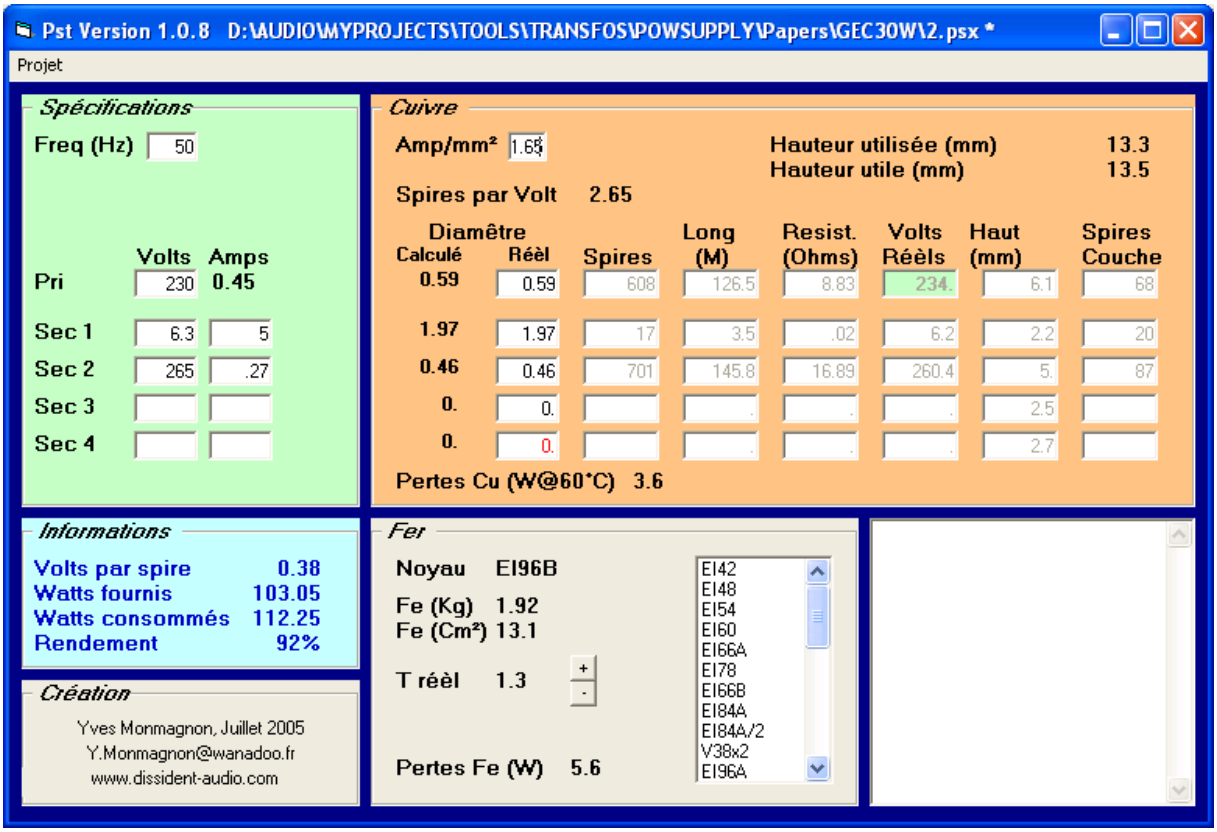
Induction.

L'induction (en Tesla) est actuellement de 1 (« T réel » 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 fer 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 « pollution » magnétique plus sévère.

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 afin de remplir presque complètement la bobine :



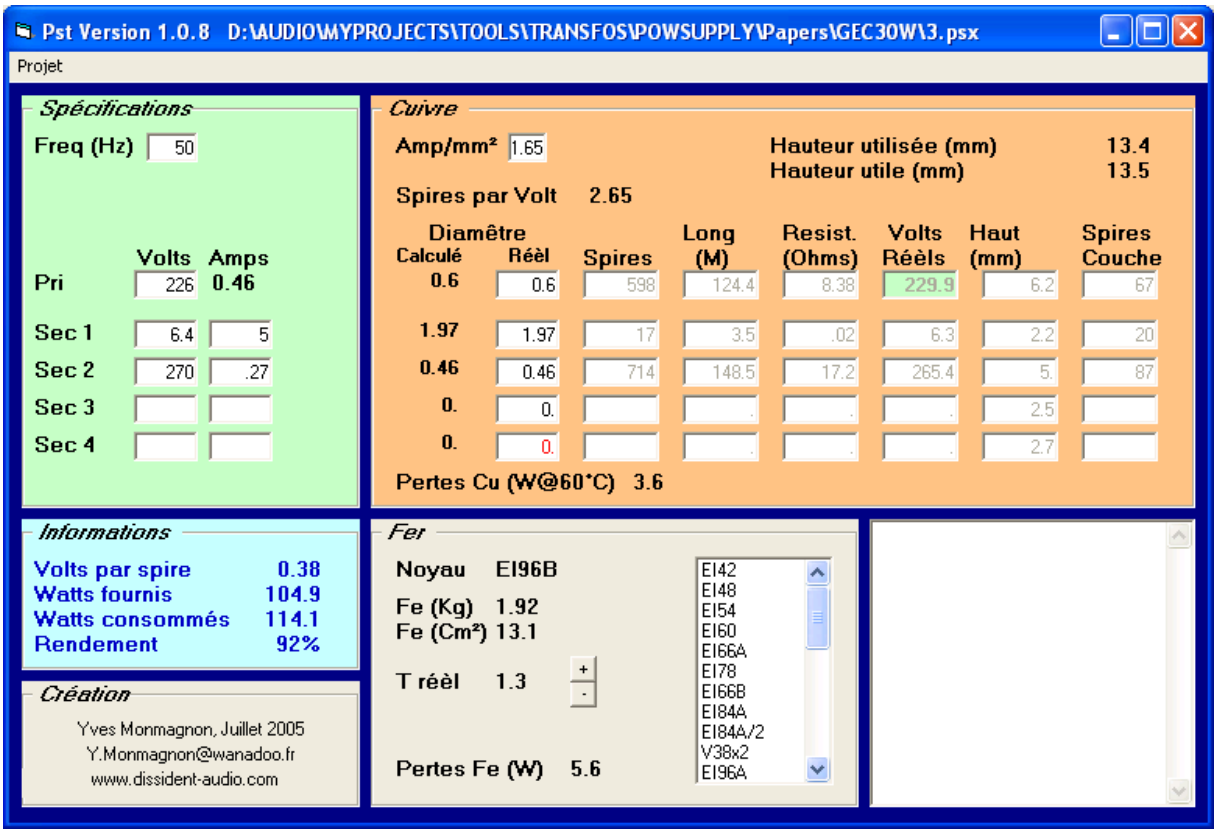
L'amélioration est évidente, il suffit de constater que le rendement global est passé de 88% à 92% (Zone « informations » en bleu).

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 0,45A 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.

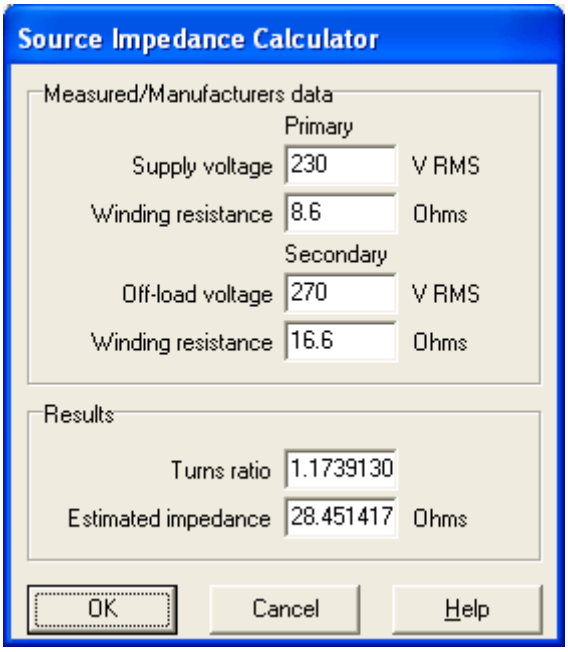


Première itération avec PSUDII

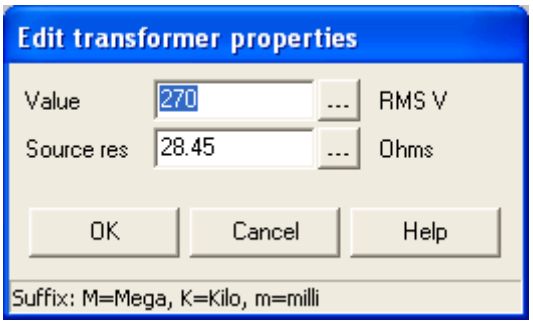
Simulons maintenant le redressement et le filtrage de la H.T. avec ce transfo.

On choisit un pont de diodes suivi arbitrairement d'un filtre CRC 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 :

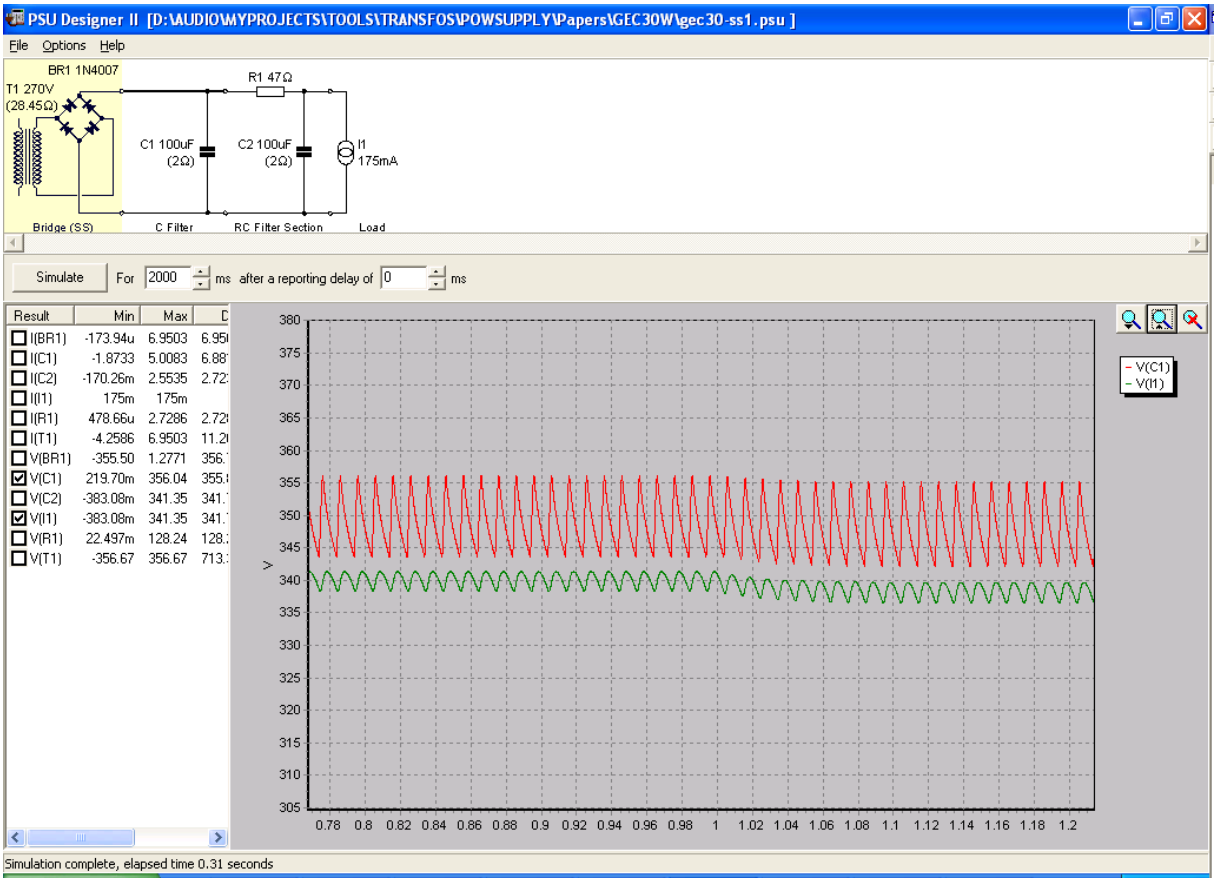


qui s'obtient en choisissant « Ohms » depuis celle ci



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

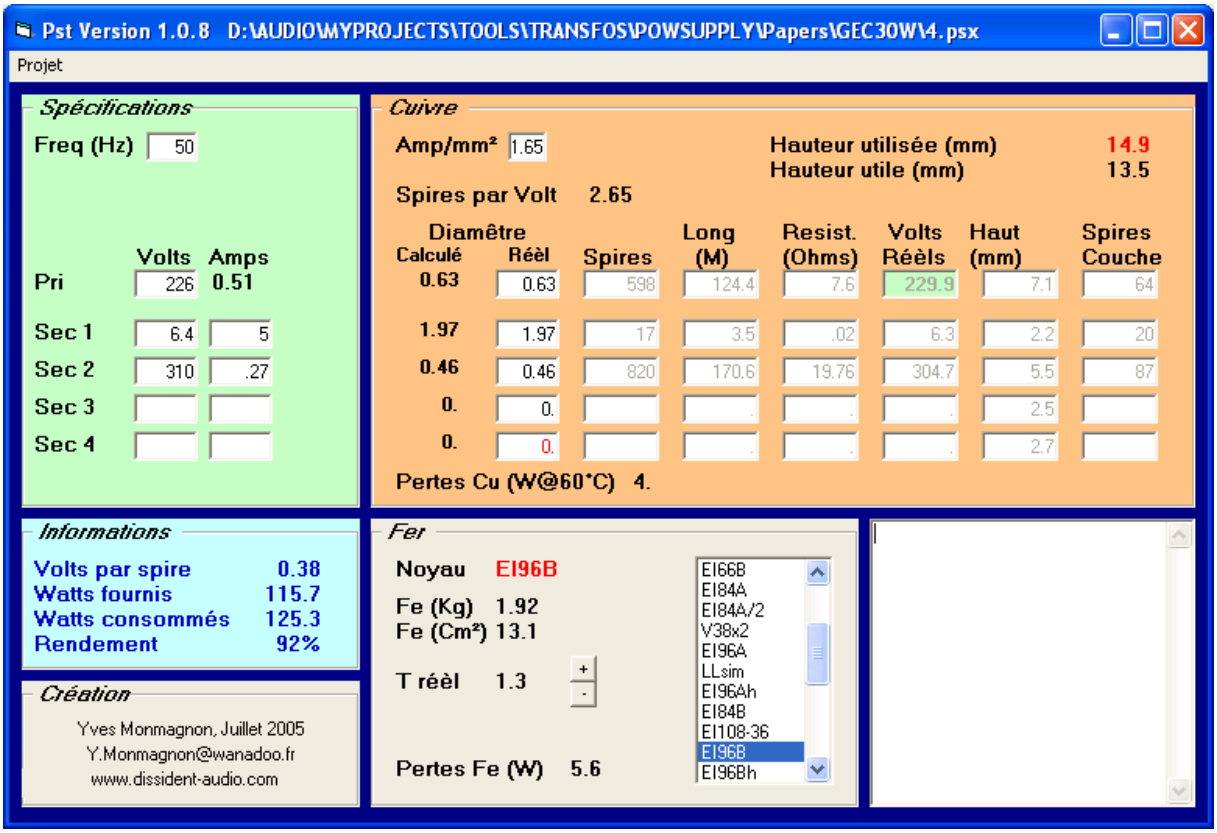
La première simulation donne ceci :



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 provoque 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.



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.

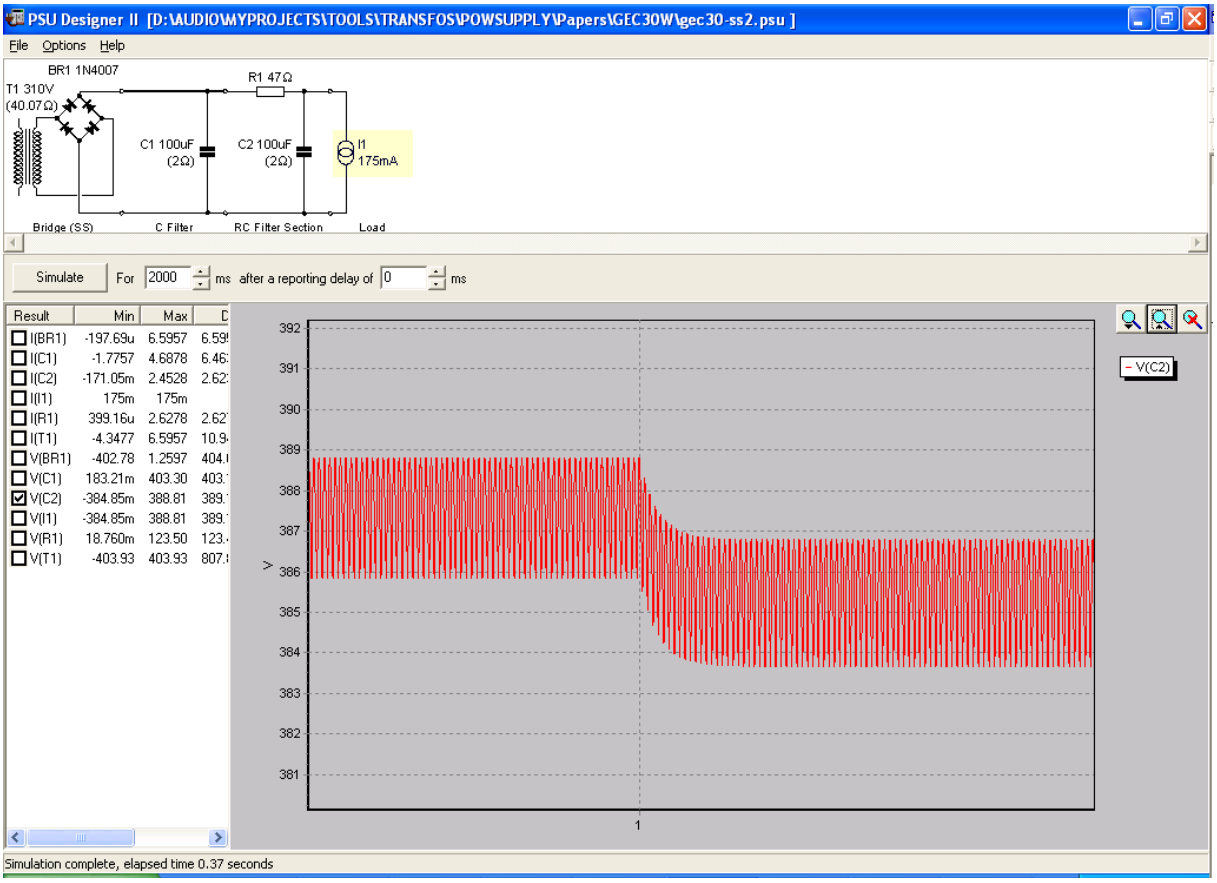
Le primaire serait bobiné en 0,6mm, le secondaire BT en 2mm et le secondaire HT en 0,4mm de diamètre.

Ceci revient à augmenter légèrement la densité de courant dans le primaire et le secondaire haute tension.
Le diamètre du secondaire basse tension n'a pas été réduit parce qu'il ne nécessite que 17 spires alors que la bobine peut en recevoir 20. Il n'y a donc pratiquement rien à gagner.

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

La dernière ligne droite.

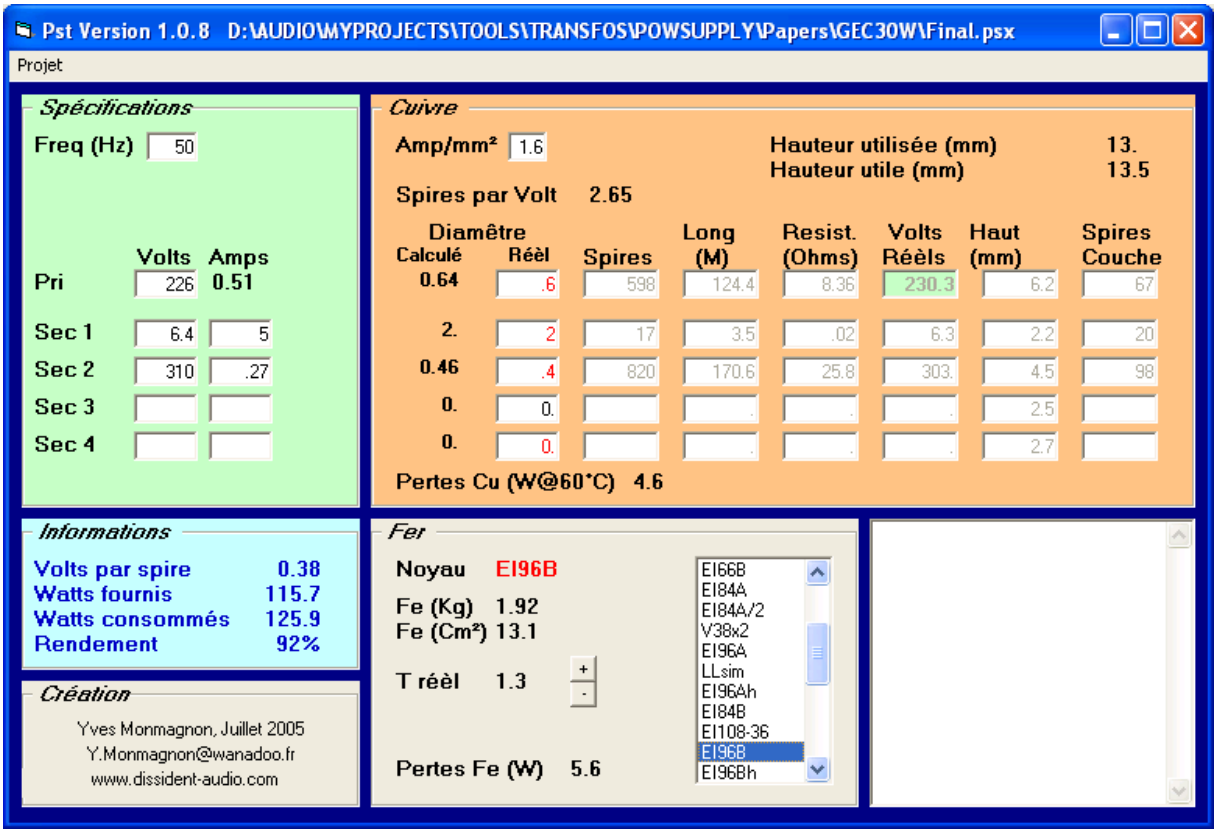
Finalement après deux itérations et avec un enroulement HT de 310V on obtient ceci en sortie de filtre :



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 toujours génératrices d'appels de courant.

Le transformateur final

Est réalisable de cette façon :



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

Ce transfo terminé devrait peser environ 2,5Kg
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, cette solution 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.