

L'alimentation

1^{er} juin 2004

présenté et proposé par
Iznogood de la <http://iznogood-factory.org>

Table des matières

I	Introduction	3
II	Présentation	4
1	La modularité	4
2	L'agencement des blocs	5
2.1	La vue schématique d'ensemble	5
2.2	La vue schématique du mode tracking	6
2.3	La vue schématique du mode double	7
III	L'électronique de puissance	8
3	Le principe de fonctionnement	8
3.1	Le principe du bloc de régulation	8
3.2	L'alimentation secondaire	9
3.3	Le principe de régulation développé	10
4	Le mode tracking	11
5	Le mode double	12
6	Les schémas électroniques	13
IV	L'électronique de contrôle	14
7	Le principe	14
8	Le schéma	15
9	L'isolation	16
10	Le contrôle par ordinateur	17
V	Conclusion	18

Première partie

Introduction

Ce document suppose que vous avez un minimum de connaissance en électronique, même si je reprendrais quelques définitions ou formules. Il existe de nombreux cours/formations sur internet pour démarrer, veuillez vous y référer. (rem : mettre quelques références en annexe).

Un laboratoire d'électronique est constitué d'outils de base. Comme il existe un proverbe qui dit qu'un bon ouvrier doit avoir de bons outils, nous allons nous créer ces outils en prenant ce qu'il y a de plus complet. Les idées proviennent non seulement dans les revues mais aussi de ce qui existe dans le commerce. Nous ferons tout cela en le réalisant avec des outils libres afin de préserver notre indépendance vis à vis des systèmes commerciaux ou attachés à une entreprise.

Lorsque je parle d'outils libres, je fais bien sûr référence à GNU/Linux (le système d'exploitation) avec :

- Debian <http://www.debian.org>;
- gEDA <http://geda.seul.org> (le logiciel de conception de schémas électroniques);
- Lyx <http://www.lyx.org> (l'éditeur de texte qui m'a permis de réaliser cet article) pour la partie logicielle et lorsque le moment sera venu, j'irais voir sur :
- opencollector <http://opencollector.org> et
- opencores <http://opencores.org> pour trouver des outils qui permettent de réaliser le microcontrôleur de l'alimentation et bien d'autres encore...

Nous démarrons progressivement avec l'alimentation.

L'idée de départ est d'avoir une alimentation qui fasse tout (sauf le café! Heu.. Et encore, pourquoi pas...;-) il existe déjà quelques montages sous Linux pour installer et faire fonctionner une machine à café) pour ne plus à avoir à y revenir. En effet, il n'y a rien de plus ennuyeux, lorsque l'on veut alimenter un montage de s'apercevoir qu'il manque :

- de la puissance;
- de la tension;
- de la réactivité.

Il existe de nombreux montages qui permettent de le faire, à commencer par l'article 251 de Guido Socher présenté sur <http://linuxfocus.org> où certains outils de conception proposés sont libres.

Mais celle qui reste la plus complète est dans ERP (Electronique Radio Plan, revue qui a disparu dans les années 90 mais dont les sujets étaient très fouillés). Et comment est-elle? Une alimentation 2 * 0-40 V, 3 A en mode indépendant ou -40 / +40 V-3 A en mode tracking! Fabuleux! Merci Mr OGUIC! Et la cerise sur le gâteau : c'est micro-contrôlé! Alléluia! L'article est page 23 du numéro 550 de septembre 1993 et malgré son grand âge, il me semble que l'on a pas encore fait mieux jusqu'ici. En effet, si les idées ne sont pas révolutionnaires, elles sont néanmoins très efficaces.

Je vous l'ai dit dans l'introduction, on va pas réinventer la roue et on va reprendre les grandes lignes de l'article que je ne peux pas mettre en ligne pour des raisons de droits. Mais nous allons le faire par étapes : d'abord l'alimentation en elle-même dans ce qu'elle a de plus simple.

Deuxième partie

Présentation

Le principe de base est simple. Il s'agit de deux cartes à peu près identiques que l'on fait interagir entre elles.

Si on les met en parallèle, nous avons le mode double (il est bien entendu que je parle de parallélisme électronique et non pas mécanique!) où la tension de sortie des deux cartes est identique et c'est le courant de sortie qui est doublé : nous avons 0 à 40 V-6 A, ce qui règle en partie le problème de la puissance.

Si nous prenons le mode indépendant, nous avons deux fois 0 à 40 V-3 A indépendamment variable.

Nous avons aussi le mode tracking qui fait que chacune des cartes s'occupent d'une partie de la tension : l'une s'occupe de la tension positive et l'autre de la négative et lorsque une des cartes (la carte maître) voit sa tension augmenter, l'autre, de manière symétrique, voit sa tension diminuer. L'éventail va donc de -40V à +40V, symétrique par rapport au point milieu qui est au zéro. Ou bien si l'on ne s'occupe que des extrêmes, nous avons une somme de tensions positives de 0 à 80V ou négative de -80 à 0. Il suffit alors de mettre l'une des extrémités ou l'autre à 0 pour avoir une ddp de 80V. Au fait, une ddp signifie une différence de potentiel, c'est à dire une différence de tensions.

1 La modularité

Les éléments de cette alimentation sont modulaires. Il est possible de ne fabriquer qu'un module d'alimentation, deux, d'y associer ou non la partie microcontrôleur. Il est aussi possible d'y inclure le module d'interface avec un ordinateur. Une partie concernera le logiciel qui sera développé d'une manière indépendante.

Dans les autres développements possibles, les transformateurs d'entrée pourront être remplacés par un système à découpage qui prendra le primaire du secteur et qui pourra adapter sa tension de sortie en fonction du courant demandé.

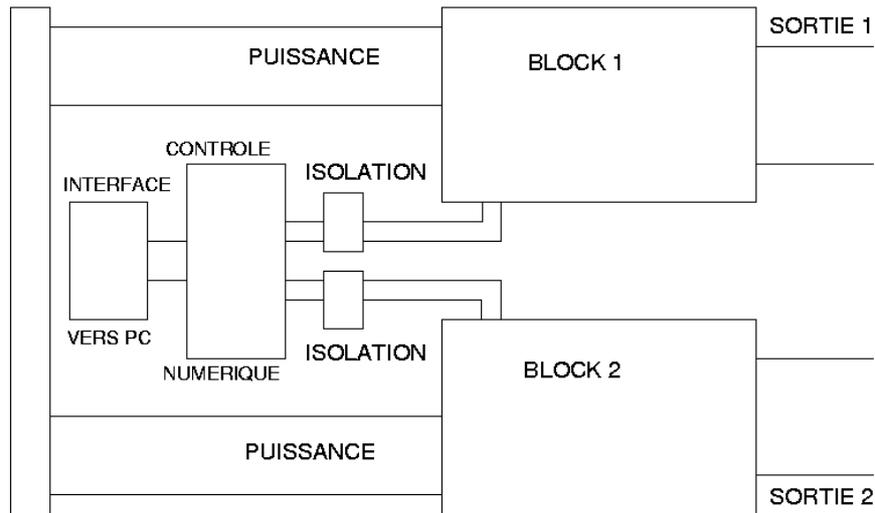
Nous avons donc :

- un bloc alimentation primaire ;
- deux blocs d'alimentation principaux ;
- un bloc de contrôle numérique ;
- un bloc d'isolation ;
- un bloc de liaison avec un ordinateur.

Nous tenterons de toujours garder la plus grande modularité pour se laisser la possibilité de faire évoluer l'alimentation.

2 L'agencement des blocs

2.1 La vue schématique d'ensemble



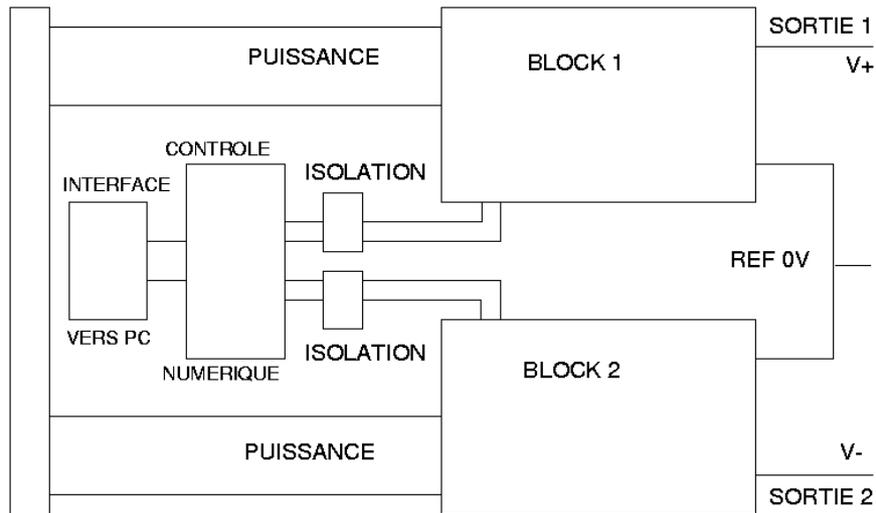
L'alimentation est découpée en trois blocs qui correspondent aux différentes possibilités :

- deux modules de puissance
- un module de gestion numérique

Les deux modules de puissance sont indépendants et comme tels, ils peuvent fonctionner en direct, avec des commandes manuelles. Outre le bouton de marche-arrêt, chaque alimentation possède son réglage en tension et en courant.

Le module de gestion numérique est raccordé à ces deux modules de puissance d'une manière indirecte puisqu'il est isolé galvaniquement (cela est souhaitable vu le traitement quelque fois infligé aux alimentations). Il sert non seulement à commander les blocs de puissance mais à recevoir des informations (limitation de courant atteinte, tension effondrée). Il peut faire fonctionner l'alimentation directement mais peut aussi recevoir des informations et en donner à un ordinateur via l'interface pour PC (vus le développement actuel de l'interface USB et la présence de pilotes sous licences libre, il y a toutes les chances que ce soit lui qui soit choisi, mais n'anticipons pas).

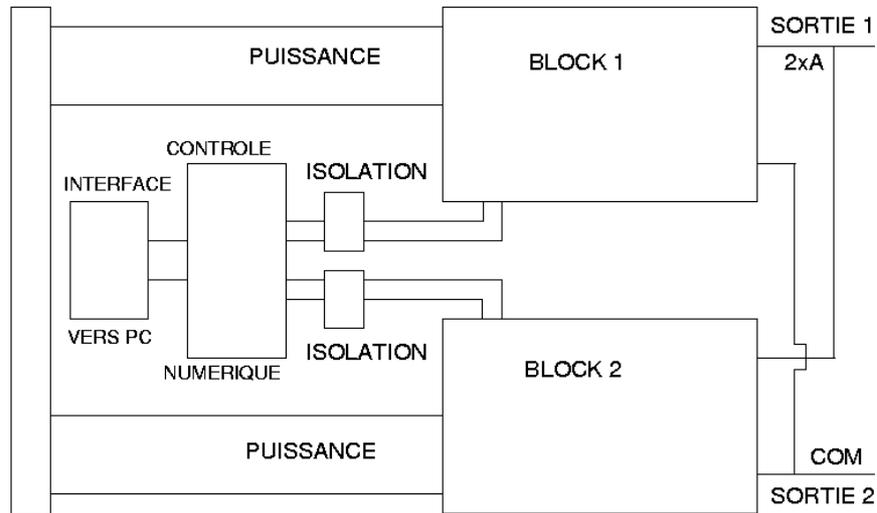
2.2 La vue schématique du mode tracking



Ce schéma permet deux possibilités de sorties dans la mesure où les entrées de puissance sont isolées galvaniquement par l'utilisateur d'un transformateur pour chaque bloc. On voit clairement que la sortie positive du bloc 2 est reliée à la sortie négative du bloc 1. Cette liaison nous permet d'avoir un 0 V ou une référence. Cela signifie que la sortie V+ du bloc 1 se comportera normalement et balayera la plage 0 - 40 V. Par contre le bloc 2, qui voit sa sortie V+ bloquée à 0 V, fera que sa sortie V- balayera la plage 0 - -40 V symétriquement avec la V+ du bloc 1.

L'autre possibilité est de ne pas se servir du REF 0 V comme d'une référence mais plutôt se servir du V- du bloc 2 comme référence à 0 V. À ce moment là, le V+ du bloc 1 balayera la plage de tension 0 - 80V.

2.3 La vue schématique du mode double



Ici, ce n'est pas la tension que nous cherchons à moduler mais le courant. Les deux couples de sorties sont mis en parallèle afin de fournir 0 - 40 V mais en doublant le courant de sortie de 0 à 6 A. Cela sera réalisable avec un concentrateur équipé de deux diodes de puissance anti-retour ou de MOSFET qui dirigeront le sens du courant.

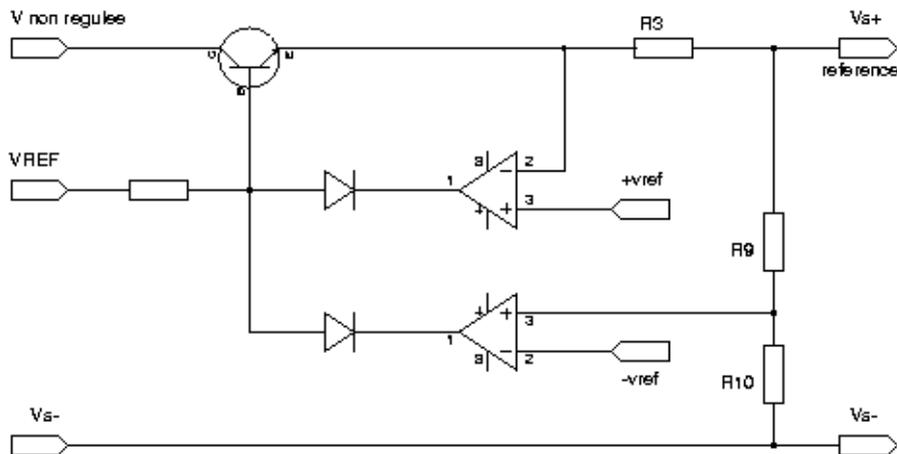
Troisième partie

L'électronique de puissance

3 Le principe de fonctionnement

3.1 Le principe du bloc de régulation

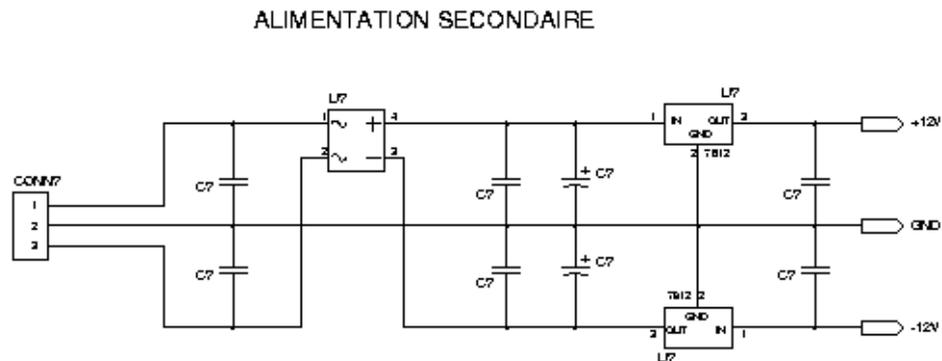
Elle est illustré sur le schéma qui suit :



Ici, le transistor est commandé par 2 AOP. Celui du bas fait la régulation en tension et celui du haut s'occupe de la régulation du courant. Lorsque les deux AOP sont inactifs, c'est à dire que les diodes sont en mode bloquant, seul VREF alimente le transistor. Occupons-nous maintenant de l'AOP chargé de la régulation en tension. Supposons que nous mettions une consigne de -1 V sur -Vref (et donc sur l'entrée inverseuse (v-)) et que $(V_{s+}) - (V_{s-}) = 0$ V, la sortie de l'AOP est à l'état haut et la diode est bloquée. Le transistor est donc alimenté seulement par VREF et donc conduit. Donc V_{s+} augmente. A l'entrée positive (appelée entrée non-inverseuse) de l'AOP, on a $(V_{+}) = \frac{((V_{s+}) - (V_{s-})) * R_{10}}{R_9 + R_{10}}$. Hé oui, le diviseur de tension est inversé car il ne faut pas oublier que la référence de l'alimentation des AOP est sur V_{s+} .

3.2 L'alimentation secondaire

C'est ce qui fait la particularité de ce montage : l'alimentation des AOP a un point milieu à V_{s+} de la sortie de tension. Ce qui fait que les AOP ne sont pas alimentés en $\pm 12V$ mais en $V_{s+}+12V$ et en $V_{s+}-12V$: le potentiel de référence est variable. Ce qui veut dire que les régulateurs sont alimentés par un transformateur annexe dont le point milieu est sur V_s et noté sur le schéma référence. Comme il l'est indiqué sur le schéma :



Ce principe permet aux AOP de ne jamais voir de grandes tensions sur leurs entrées.

Il sera sûrement possible de remplacer les régulateurs classiques, linéaires par une alimentation à découpage, ce qui permettra d'éliminer les transformateurs secondaires.

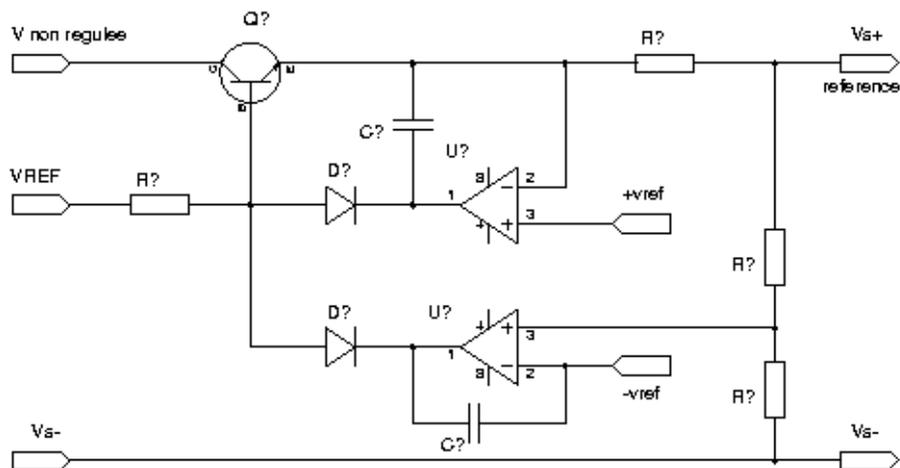
Bon, revenons à cette tension qui augmente sur l'entrée non-inverseuse de l'AOP de régulation en tension. Elle augmente jusqu'à atteindre $-1 V$, c'est à dire quand $((V_{s+})-(V_{s-})) = 8 V$ (avec $R_{10} = 21.5 k$ et $R_9 = 150 k$). A ce moment, (V_+) devient inférieur à l'entrée inverseuse (V_-) et la sortie de l'AOP passe à l'état bas : la diode devient conductrice et tire tout le courant fournit par V_{REF} . La base du transistor n'est plus alimentée et donc le transistor ne conduit plus. Fabuleux, non ? Nous avons notre régulation de tension.

Pour la régulation de courant le principe est strictement le même, sauf qu'au lieu de prendre l'information sur R_9 et R_{10} , on la prend sur R_3 . En effet, à gauche de la résistance R_3 , nous avons notre point de référence et comme la tension aux bornes d'une résistance est proportionnelle au courant qui la traverse : nous pouvons la préserver pour la régulation en courant et le tour est joué. Seules les amplitudes jouent : alors que pour la régulation en tension, on donnait des consignes de 0 à $-5 V$; pour la consigne de courant, nous allons de 0 à $+2 V$. Et on recommence : on donne une consigne de $+1 V$, mais cette fois sur l'entrée non-inverseuse (V_+) et tant que la mesure de la tension aux bornes de R_3 ne dépasse pas $+1 V$ (c'est à dire que le courant ne dépasse pas $1.65 A$ dans une résistance de $0.6 Ohm$), la sortie de l'AOP reste à l'état haut et donc le transistor conduit...

La suite vous la connaissez. Simple, non ?

3.3 Le principe de régulation développé

Ok, on continue avec le premier schéma en l'améliorant un peu comme suit :



Facile, me direz-vous, il a juste ajouté des condensateurs! Oui mais les AOPs changent de comportement : on passe d'un comparateur simple à un intégrateur. La fonction est différente : le comparateur agissait d'une manière brusque : dès que $((V+)-(V-))$ changeait de signe, la sortie changeait passant de V_{lim+} à V_{lim-} ou inversement. Maintenant, il va varier beaucoup plus lentement car la fonction fait la somme des instants passés avec le présent. Enfin, tout est relatif comme le contre le calcul fait ci-après : le gain du système est de la forme $\frac{V_e}{R_e} = -\frac{V_s}{Z_c}$, avec :

- V_e , la tension d'entrée sur l'entrée inverseuse ;
- R_e , la résistance d'entrée (celle correspondant à $-v_{ref}$ car on injecte pas le courant directement dans l'AOP mais on protège son entrée en limitant son courant par une résistance et cela permet de faire l'intégrateur) ;
- V_s , la tension de sortie de l'AOP et ;
- Z_c , qui est l'impédance du condensateur et de forme $\frac{1}{jC\omega}$ d'où $\frac{V_s}{V_e} = -\frac{Z_c}{R_e} - \frac{1}{jRC\omega} = H(\omega)$ et $|H(\omega)| = \frac{1}{RC\omega}$ c'est à dire le gain en fonction de la fréquence.

(rem pour moi : partie à développer sur les complexes ou trouver un pointeur efficace)

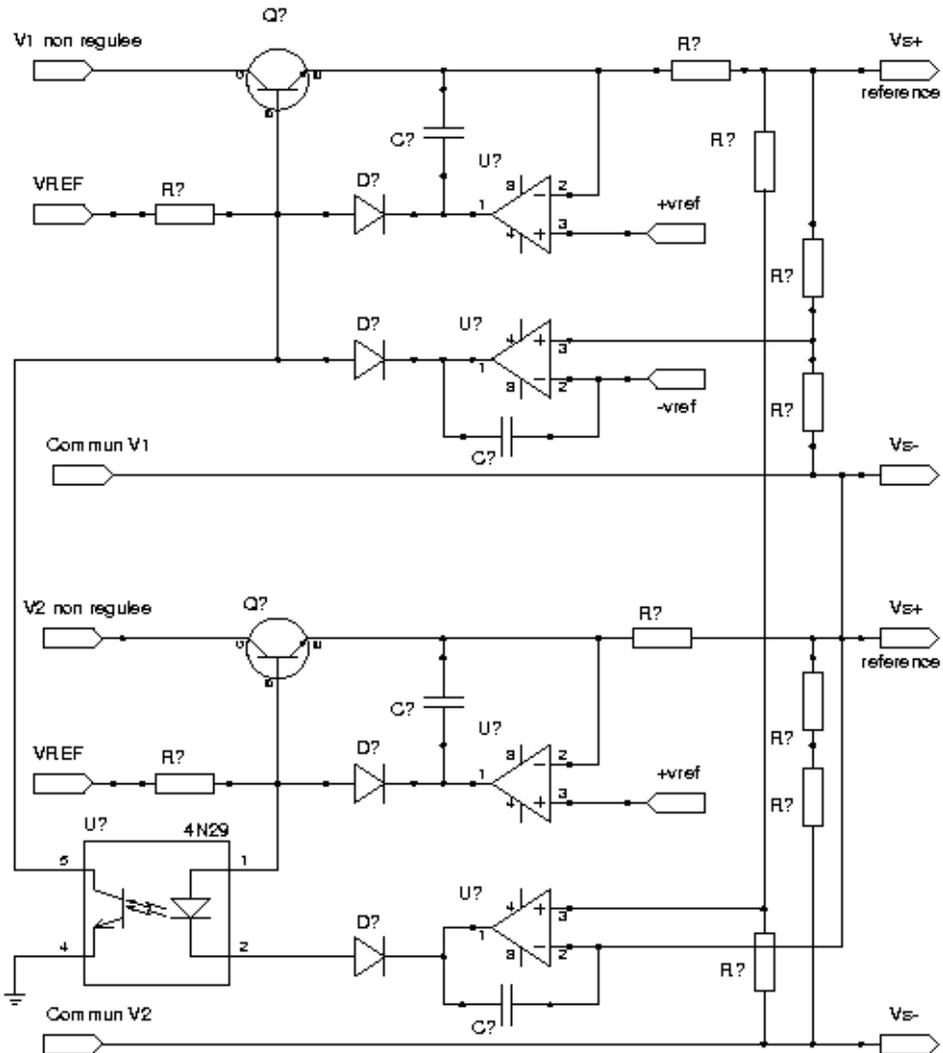
Nous avons donc notre fonction de transfert qui nous permet de connaître notre type de filtre. Ici, la fréquence de coupure est $\omega_0 = \frac{1}{RC}$. Au fait, pour vérification, plus ω augmente, plus $|H(\omega)|$ diminue et comme cela correspond bien à ce que nous attendions car les hautes fréquences sont atténuées, cela rassure! Pour R_e , nous prenons $6,81\text{ k}\Omega$ (l'explication de cette valeur viendra plus tard!) et 1 nF pour la capacité, ce qui nous donne une fréquence de coupure de $\frac{1}{2\pi * 6,81.10^3 * 1.10^{-9}} = 23\text{ kHz}$ normalisée à -3 dB .

(rem pour moi : partie à développer sur les fréquences et les dB ou trouver un pointeur efficace)

Pourquoi est-ce important de rendre la réponse du système plus lente? Tout simplement parce que cela l'empêche de devenir instable, c'est à dire que le système ne se met pas à osciller.

4 Le mode tracking

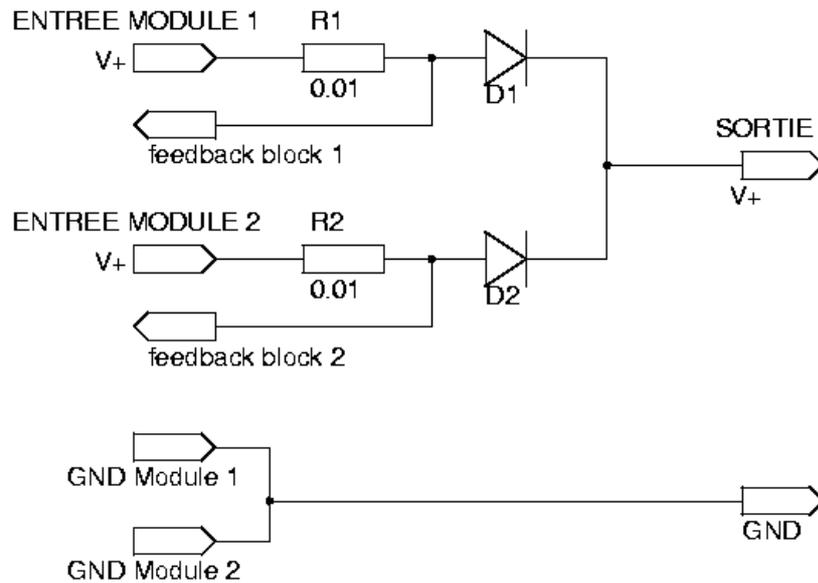
Après avoir détaillé le mode simple, passons à la vitesse supérieure : le mode tracking. Nous travaillons ici avec deux blocs d'alimentation. L'un balaye la plage de 0 à +40 V et l'autre celle de 0 à -40 V. Le schéma en est le suivant :



La particularité du mode tracking est l'optocoupleur. Lorsque la tension positive varie, elle fait varier la tension négative dans la même proportion.

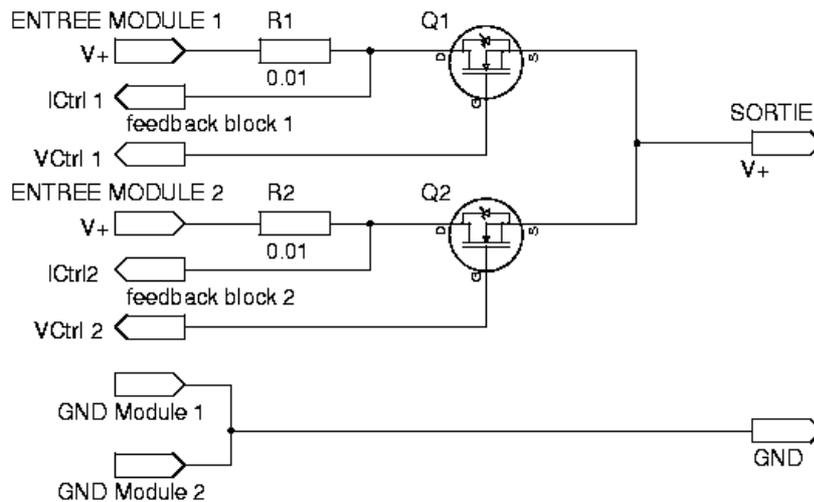
5 Le mode double

Le mode double correspond au mode qui permet de mettre les deux sorties en parallèle. On obtient en sortie 0 - 40 V 6 A. Ici, c'est un petit module ajouté qui permet de le réaliser. Il devra être branché sur les modules de sortie en tension. D'où le schéma :



Les résistances de 0.01Ω permettent de réguler le courant d'une diode sur l'autre.

Une évolution possible serait de remplacer les diodes par des MOSFETS de puissance, non seulement afin de limiter la chute de tension aux bornes des diodes mais aussi pour permettre de mieux réguler la forme du courant qui circule et la répartir sur les deux alimentations équitablement.



C'est le mode le plus simple. Mais pour gérer le feedback, il faudra 2 entrées supplémentaires pour le retour d'informations.

Ces deux entrées seront aussi utilisées pour le contrôle en tension lors de l'alimentation normale.

6 Les schémas électroniques

Mettre ici les deux schémas complets

Quatrième partie

L'électronique de contrôle

7 Le principe

Le principe de base est de récupérer les informations de tension et de courant analogiques, les convertir en numérique, traiter ses informations en fonction des données programmées sur l'interface d'entrée et les retransformer en analogique pour commander les amplificateurs opérationnels.

La conversion de l'analogique vers le numérique se fera avec un CAN.

La conversion en sens inverse se fera avec un CNA. Facile, non ?

Le traitement des informations se fera avec un microcontrôleur. Ce dernier aura non seulement la charge de gérer l'alimentation mais il sera aussi responsable de la gestion des instructions qui lui seront entrées, que ce soit en gérant le clavier ou en gérant les échanges avec un ordinateur et de l'affichage des données sur un LCD.

8 Le schéma

A venir

L'élément le plus intéressant est le microcontrôleur. Avec l'évolution de la technique, il est maintenant possible de programmer un FPGA avec du VHDL et garder ainsi le contrôle sur cette partie importante du dispositif.

9 L'isolation

A venir.

Le fait de travailler avec de la puissance et de la tension variable nous oblige à sécuriser le contrôle et toute la chaîne de traitement qui existe derrière (surtout lorsque lon parle d'un ordinateur. Il serait vraiment dommage de détruire son ordinateur pour avoir fait une erreur de manipulation!).

10 Le contrôle par ordinateur

A venir

Il se déroule en deux phases parallèles, celle du matériel qui sert à réaliser l'interface vers et de l'ordinateur et celle de la partie purement logicielle.

Pour cette dernière partie, on utilisera le trio Glade, Anjuta et donc Gtk+.

Cinquième partie

Conclusion

Ce n'est qu'un début d'article qui sera étalé dans le temps en fonction de mes disponibilités et de l'apprentissage que je ferai des différents outils. L'objectif principal n'est pas d'avoir la meilleure alimentation ou celle la meilleure marché mais d'utiliser une chaîne complète d'outils et de matériels libres. C'est à dire que rien de l'alimentation ne dépende d'un constructeur, fondeur ou d'une société commerciale. La raison en est simple, cela permettra à quiconque d'apprendre de A à Z comment fonctionne une alimentation ou de n'apprendre que quelques lettres de cet alphabet mais, au moins vous connaîtrez ces lettres.

C'est surtout un Merci aux enseignants de l'AFPA et du CNAM qui ont pris du temps pour me donner un avenir.

Cordialement.