

Les explications qui suivent sont reprises du premier projet de construction pour Ulrich du groupe Rizzo en 2009 et 2010. (10 alims à + - 400 V)

Les principales différences entre les deux développements sont les suivantes :

- Pas de système d'inversion automatique de polarité des tensions +HV et -HV, supposé superflu par M. Antoine Masson
- 4 alimentations utilisant les mêmes IGBT (tensions max : + - 500 Vdc)
- 2 alimentations supportant + - 800 V avec IGBT IR G4PF50W PBF
- 6 filtres de lissage, à placer juste avant l'entrée dans les chambres à vide, optimisés pour le nouveau design
- Condensateurs de filtrage aux entrées +HV et -HV différents, supportant les tensions.

Résultats :

Les temps de montée sont de l'ordre de 200 ns, sans dépassement et de parfaite apparence, avec les nouveaux six filtres externes.

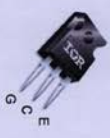
Les cartes et le câblage des fiches et prises du rack sont identiques à la première version des 10 alimentations pulsées à + - 400 V décrites ci-après. A noter que le premier projet pour Ulrich, supporterait aussi de travailler jusqu'à + - 500 V mais pas au-delà.

Nouveaux design et nouveaux filtres :





2X + - 800 V

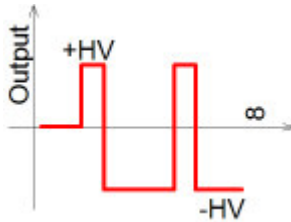


Fast S-IGBT
+ Diode 900V 51A
IR G4PF50W PBF
Distributor: 602432

TTL PULSED +. 500V (4X) AND +. 800V (2X) POWER SUPPLY

Cahier des charges

Cet appareil produit une dizaine de tensions continues de +HV et -HV dont la valeur maximale peut atteindre + - 400 V DC, au rythme d'un signal TTL indépendant appliqués à chacun des dix canaux. Les temps de montée et descente sont plus courts que 1 μ s. Le temps entre deux pulses est de 50 ms. La durée de l'expérience est infinie (des journées de suite).



Le passage de - HV à + HV ainsi que celui de + HV à - HV est piloté par un signal TTL.

Le boîtier ne contient pas l'alimentation haute tension, elles sont externes et l'utilisateur règle les tensions appliquées sur les divers canaux.

Un système électronique vérifie la polarité des tensions et croise automatiquement les tensions +HV et -HV. Ainsi la tension « *la plus positive* » aboutit toujours sur la ligne +High Voltage (IGBT SKP 15N60 supérieur).

Le but est de créer un découpage d'alimentations DC dont l'une est positive et l'autre négative.

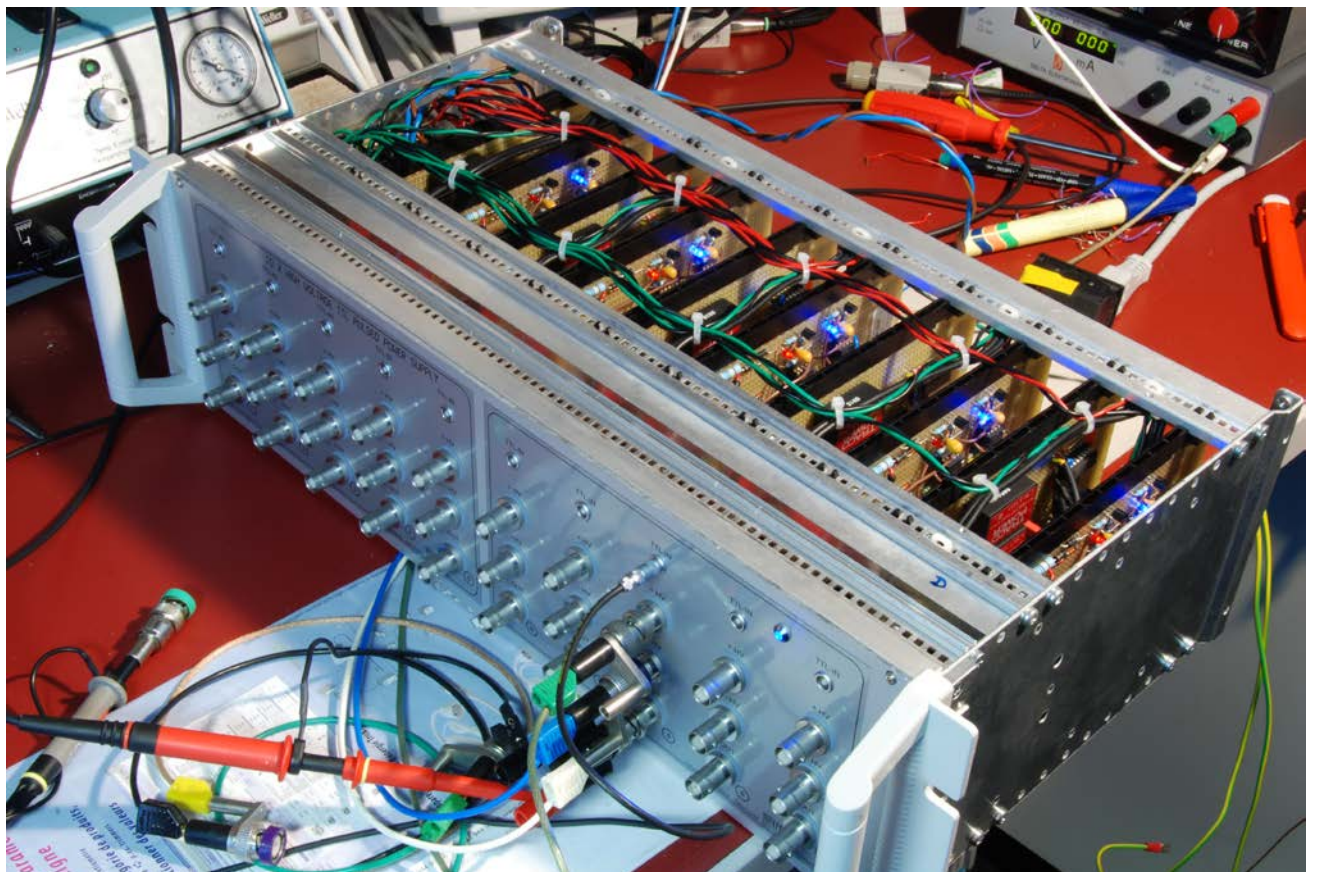
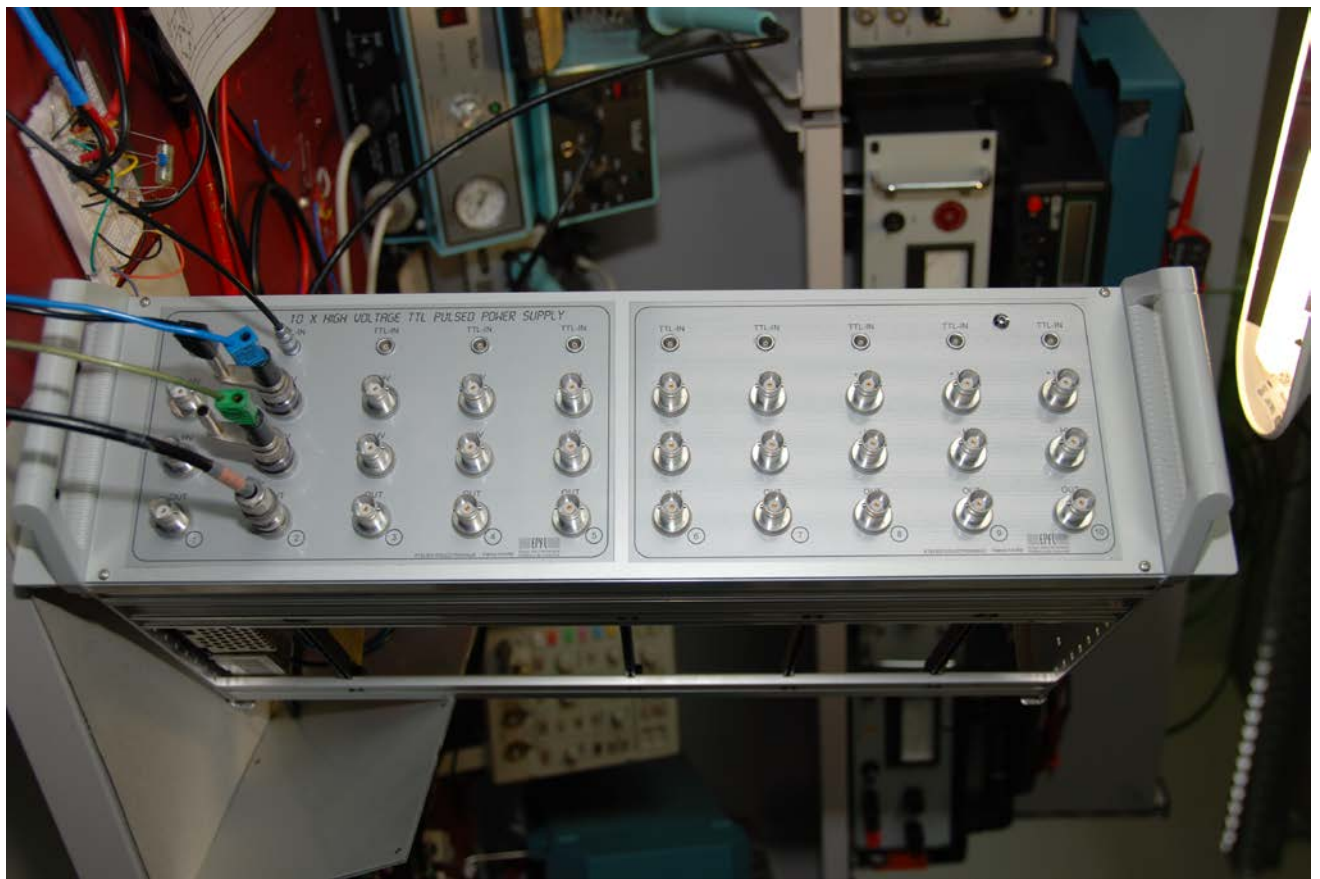
- **Entrées, sorties :**

- 1 entrée de haute tension positive +HV par BNC standard
- 1 entrée de haute tension négative -HV par BNC standard
- 1 sortie OUT de tension pulsée entre +HV et -HV par BNC standard
- 1 entrée TTL par prise Lemo

- **Modules :**

- 10 modules identiques et indépendants permettant de disposer de 10 hacheurs d'alimentation haute tension + et -. En réalité, les modules sont groupés par deux : chaque carte gère deux alimentations. Il en est de même pour les cartes qui surveillent la polarité des tensions. Nous avons donc :
 - 5 cartes qui contiennent l'électronique de commutation pour 10 systèmes indépendants, associées à :
 - 5 cartes de surveillance de polarité pour les 10 systèmes

Schéma électronique : à la fin de ce document.



Des transistors MOSFET peuvent être utilisés comme commutateur électronique. Cependant, il est préférable d'utiliser des IGBT qui sont des commutateurs idéaux car rapides et facilement pilotables par des circuits à optocoupleurs dédiés.

Les courants consommés par la charge sont extrêmement faibles puisqu'il s'agit de plaques servant à piéger des électrons dans le spectromètre. On peut donc choisir, par exemple, des IGBT SKP 15N60 qui sont rapides et supportent 600V Vce pour un courant Ic de 15A. De tel courant ne seront jamais atteints. De plus le boîtier est TO-220AB, petit donc pratique pour l'assemblage.

Description du schéma (voir à la fin du document)

Un IGBT se met en court circuit pendant que l'autre se bloque et inversement. Par exemple, pour que la sortie passe à +HV, l'IGBT supérieur passe en court-circuit alors que son voisin inférieur se bloque. Du fait du retard dans les inverseurs logiques les commutations sont légèrement asynchrones.

La sortie OUT se trouve court-circuitée vers +HV puis vers -HV.

Un circuit de commande à optocoupleur FOD3180 est prévu pour chaque IGBT. Le signal de commande TTL est déphasé par un inverseur 74F04PC.

Alimentations

La sortie OUTPUT constitue un potentiel variant entre +HV et -HV. C'est un potentiel de masse flottante par rapport au FOD3180 supérieur.

Les alimentations Traco TEL 3-1213 produisent une tension de +15V par rapport à leur -Vout et alimentent les circuits de commande FOD3180. Du fait des potentiels de masse différents et flottants, il est indispensable d'avoir une alimentation pour chaque FOD3180. Ces alimentations reçoivent une tension d'entrée de 12V. Elles sont totalement isolées par rapport à cette tension, de sorte que les masses -Vin et -Vout sont indépendantes.

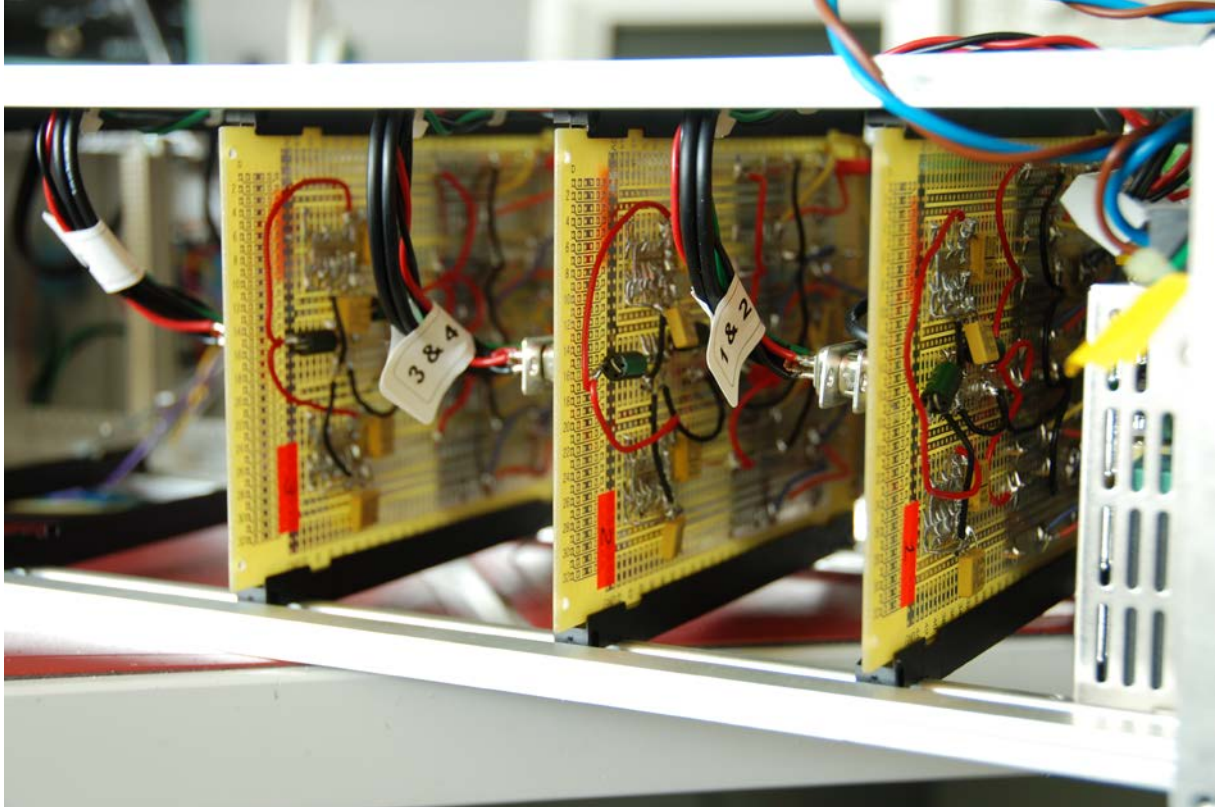
Rapidité des circuits

Les temps de montées et descente t_r , t_f des 74F04PC sont inférieurs à 4 ns. Les temps de réactions des circuits de commande FOD3180 sont de l'ordre de 200 ns. Les IGBT SKP 15N60 ont des temps de réactions entre 30 et 230 ns. L'ensemble est très rapide, grâce à l'emploi de circuits récents.

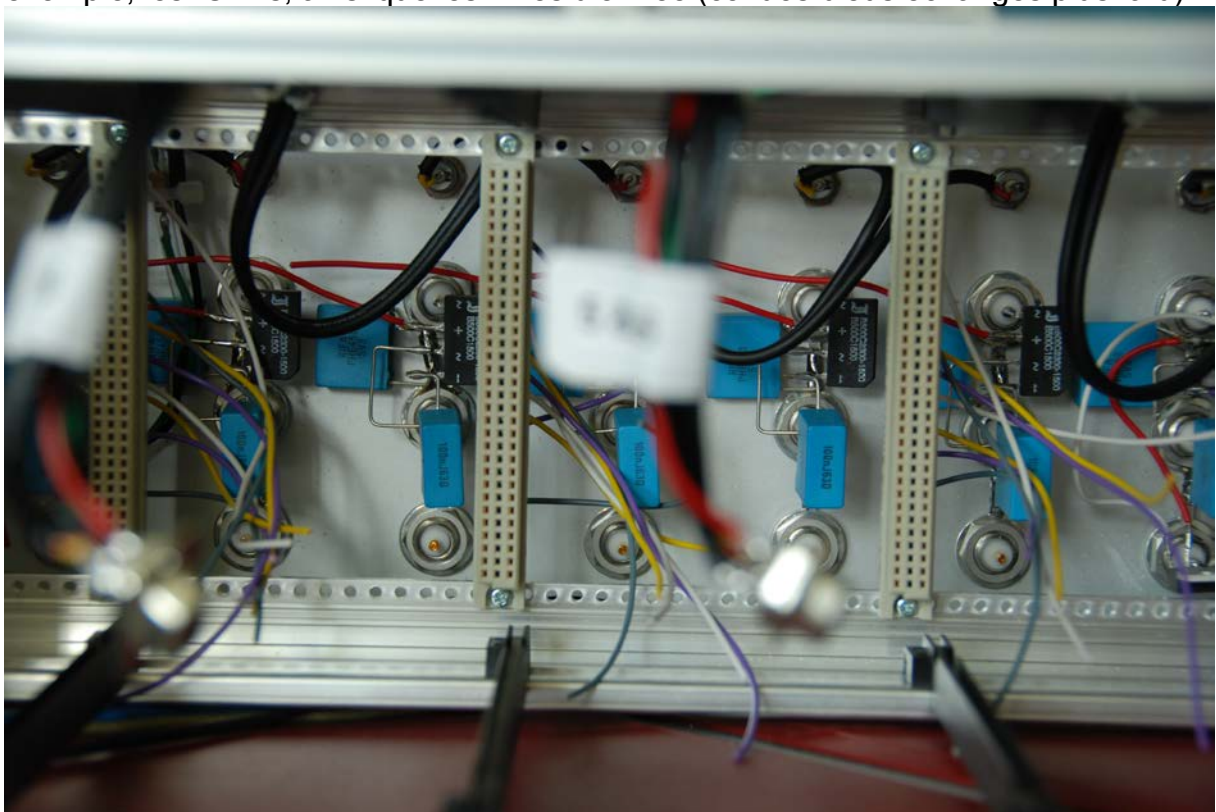
Du fait des commutations très rapides ainsi que des tensions +HV et -HV élevées, la mise au point au niveau du câblage s'est révélée très délicate. Elle a nécessité un câblage particulier.

Les liaisons sont les plus courtes possibles.

Les dix systèmes sont répartis sur 5 paires de cartes électroniques elles-mêmes placées entre deux colonnes de prises BNC. Chaque couple de cartes dessert deux groupes d'alimentations, donc deux canaux. Elles sont introduites depuis le panneau arrière pour raccourcir le plus possible les liaisons entre les composants sur la carte et ceux câblés directement sur les prises BNC (pas de cartes de commutation ici).

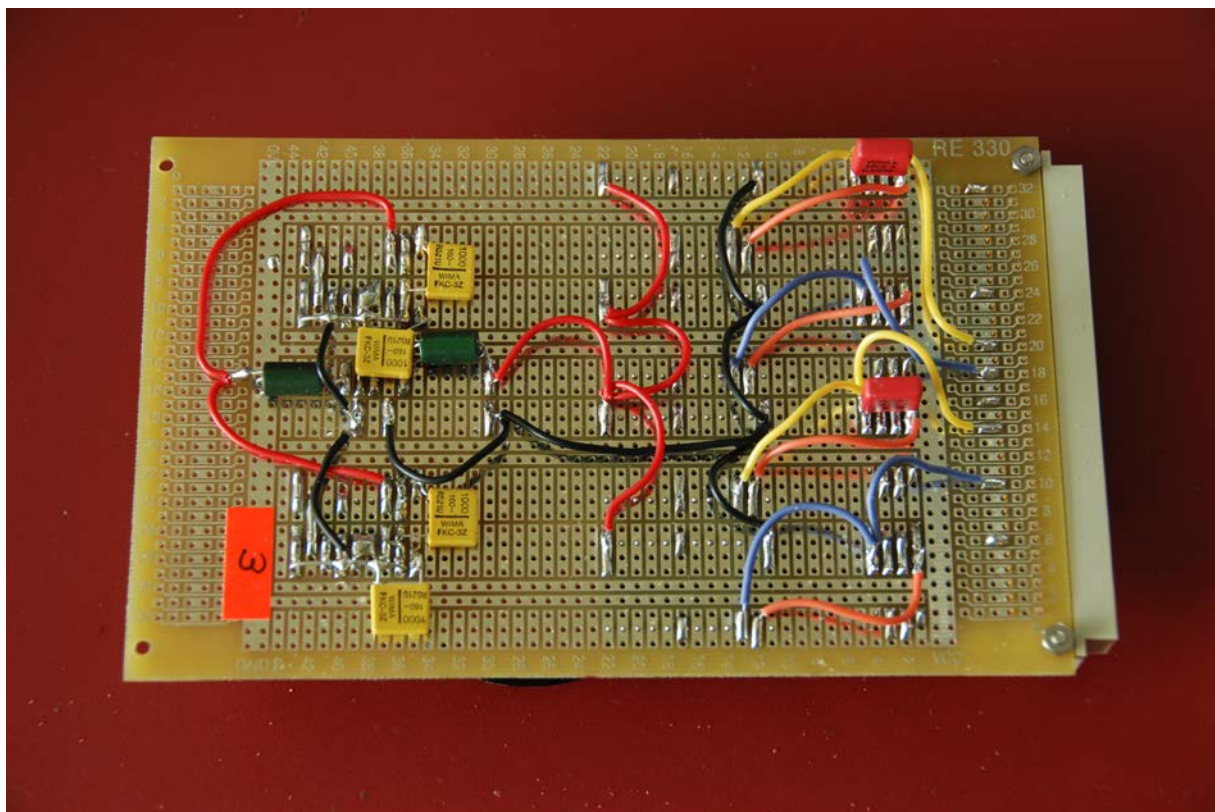
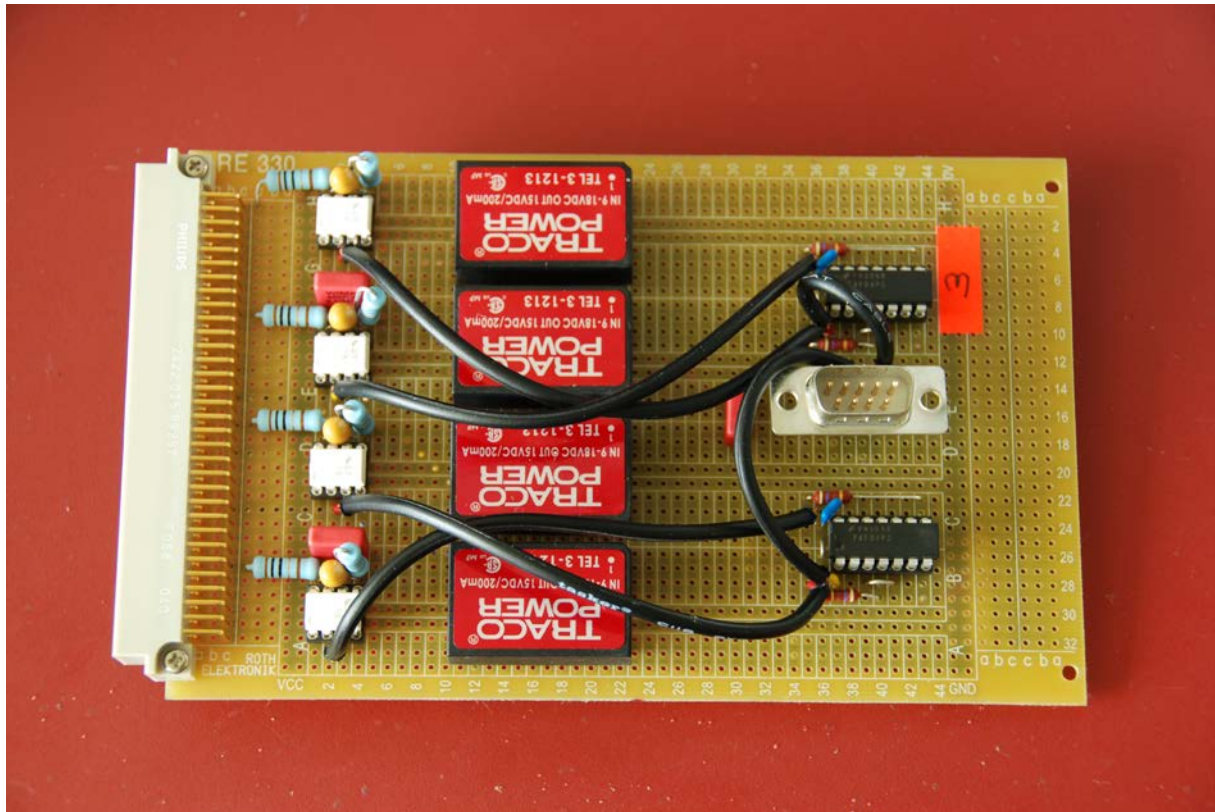


Certains composants sont soudés directement sur les prises BNC comme par exemple, les IGBTs, ainsi que les filtres d'entrée (condos bleus échangés plus tard).



Toutes les prises BNC sont isolées du boîtier. Leurs masses sont réunies 3 par 3 (+HV -HV et OUT) mais restent indépendantes pour chaque alimentation. Toutes les alimentations ont leur masse à la terre. Le spectromètre est lui-même à la terre.

L'implantation des composants sur les cartes respecte des distances les plus courtes possibles. C'est le cas des FOD3180 qui sont logés tout près du connecteur. Le câblage est manuel avec également des distances courtes. Un câblage de type caniveau avec du fil émaillé est à proscrire à cause des tensions en jeu et des dv/dt très rapides. Les IGBT sont soudés directement sur les BNC.



Les signaux de commandes utilisent du câble blindé depuis la face avant jusqu'à la porte 74F04PC. Ces circuits logiques disposent de leur propre alimentation de 5V avec masse indépendante.

Des condensateurs de découplage de 1nF ont été ajoutés à l'entrée des FOD3180 pour assurer un signal de commande propre.

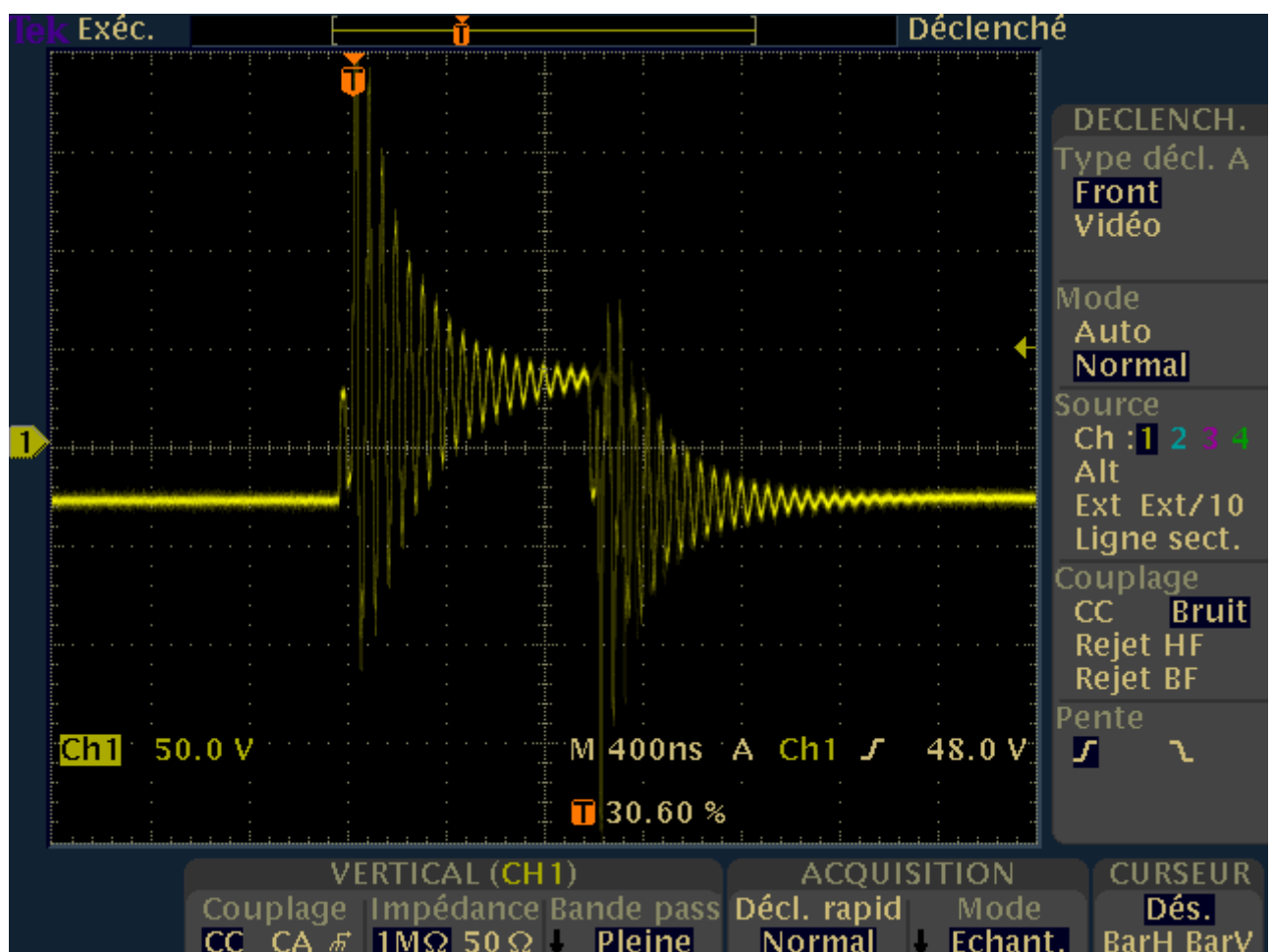
D'une manière générale, les composants marqués en rouge dans le schéma correspondent à des adjonctions dans le but de réduire du bruit, des risques d'oscillations ou instabilités.

Performances

La rapidité des composants et la particularité du câblage permettent d'obtenir des performances excellentes au niveau des temps de commutations. Cependant, il convient de comprendre ce qu'il se passe lorsque le signal OUTPUT passe dans un câble blindé !

Théorie :

Lorsque qu'un signal carré à flancs raides traverse un câble blindé d'un mètre par exemple, il se produit des oscillations violentes comme on le voit ci-dessous :

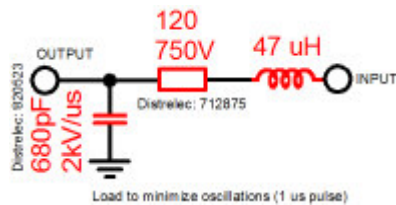


Dans cet exemple : les tensions +HV et -HV étaient de +/- 30V. On constate que la surtension passe à +200V soit 6,6 x plus pendant un temps limité à 1 us.

De telles surtensions, même si elles ne durent qu'une microseconde, peuvent endommager les instruments de mesure comme les oscilloscopes par exemple.

Ce phénomène est classique en électronique. La capacité et la résistance parasite du câble blindé créent un système oscillant.

Le raccordement d'un filtre LRC au bout du câble permet d'atténuer totalement ces oscillations tout en conservant un signal à temps de montée et descente adéquat par rapport au cahier des charges initial mais tout de même atténué par la présence de ce filtre.

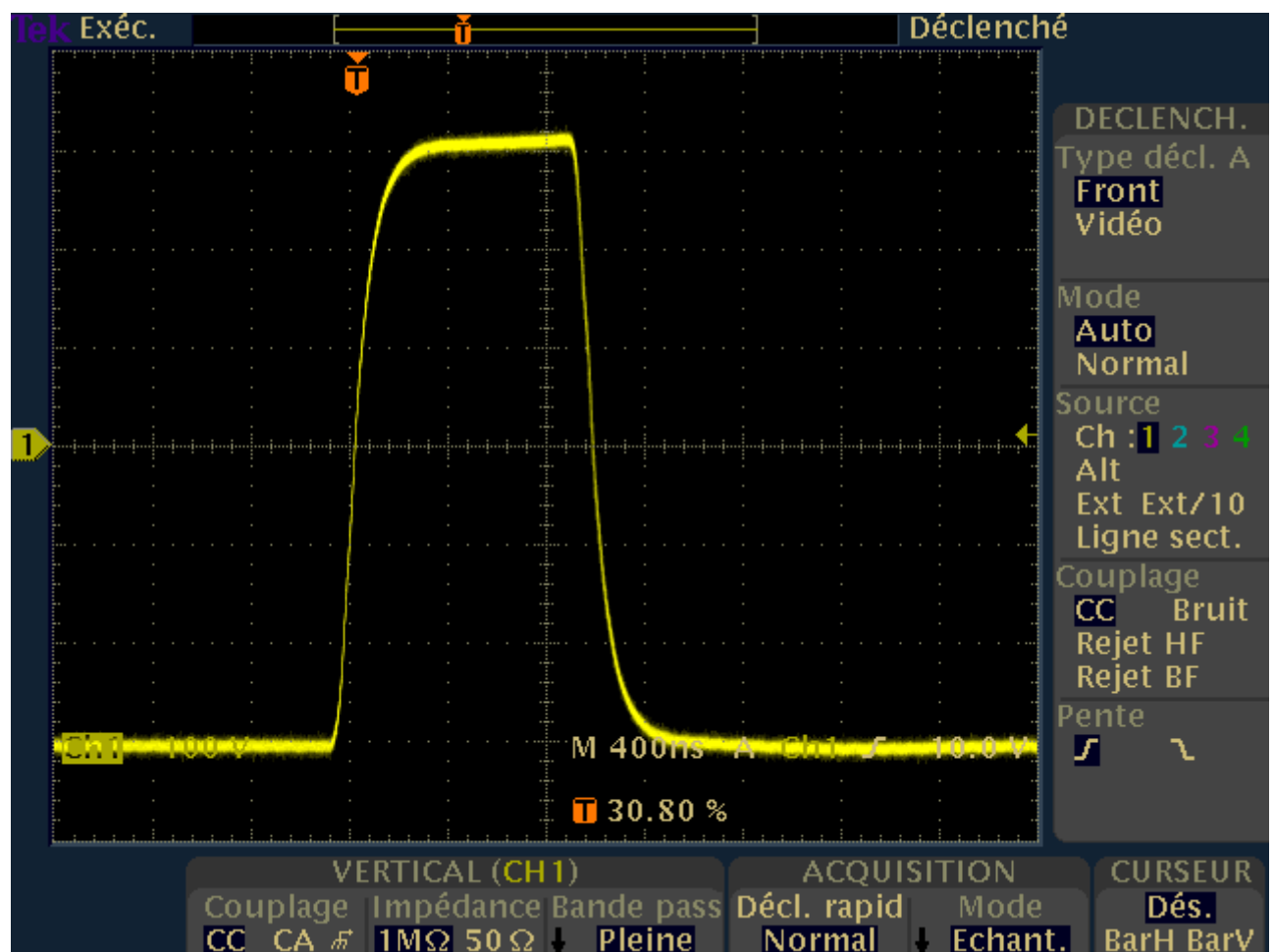


Ce filtre, de type série, offre l'avantage de ne pas consommer d'énergie. La self est constituée d'une simple boucle dans un noyau en ferrite. Son rôle est particulièrement efficace pour supprimer les oscillations.

Dans le cas du spectromètre de masse, il n'est pas possible d'introduire ce filtre dans les chambres à haut vide en raison de la diffusion des composants. Même les soudures à l'étain sont prohibées. Une solution consiste à placer le filtre tout près du spectromètre. Une distance de 40 cm environ sépare alors la sortie du filtre des grilles sur lesquelles doivent être appliqué la haute tension. Ce bout de câble recrée des oscillations mais l'amplitude est négligeable et ce phénomène dure moins de 1 us.

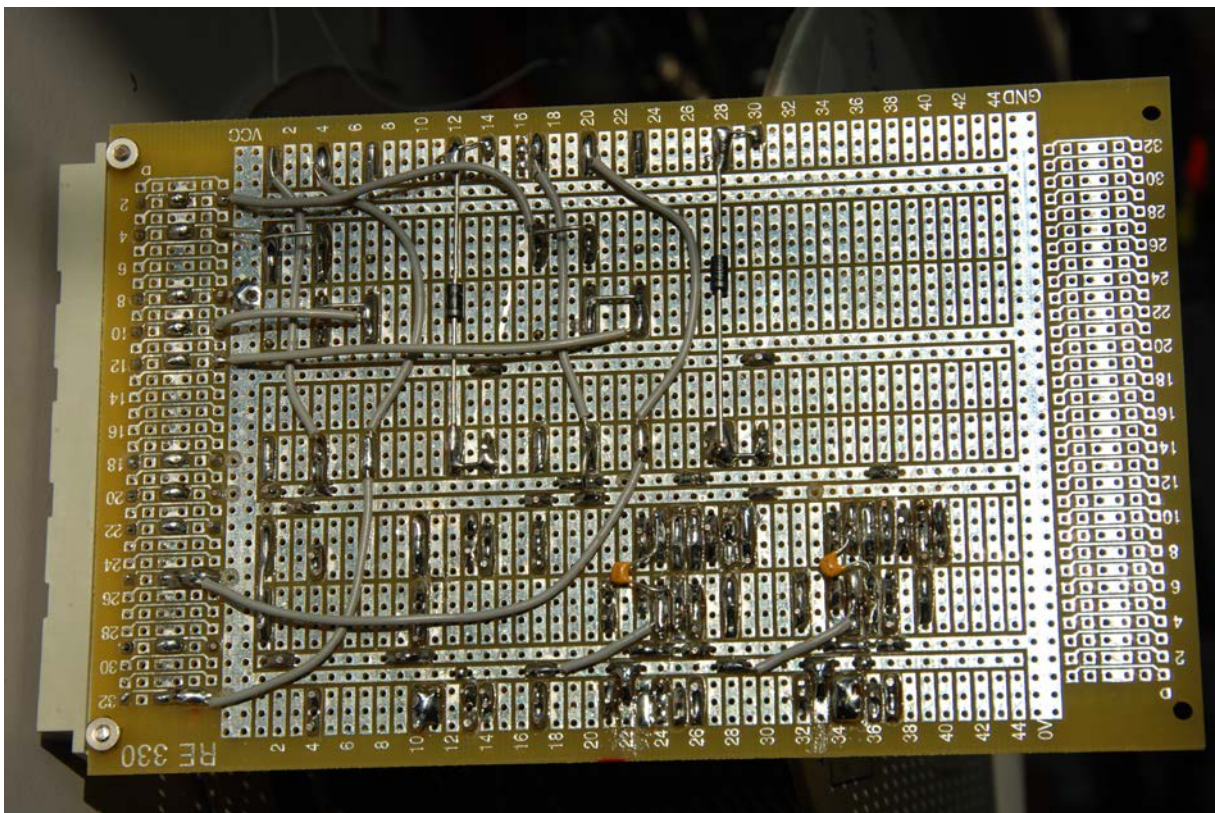
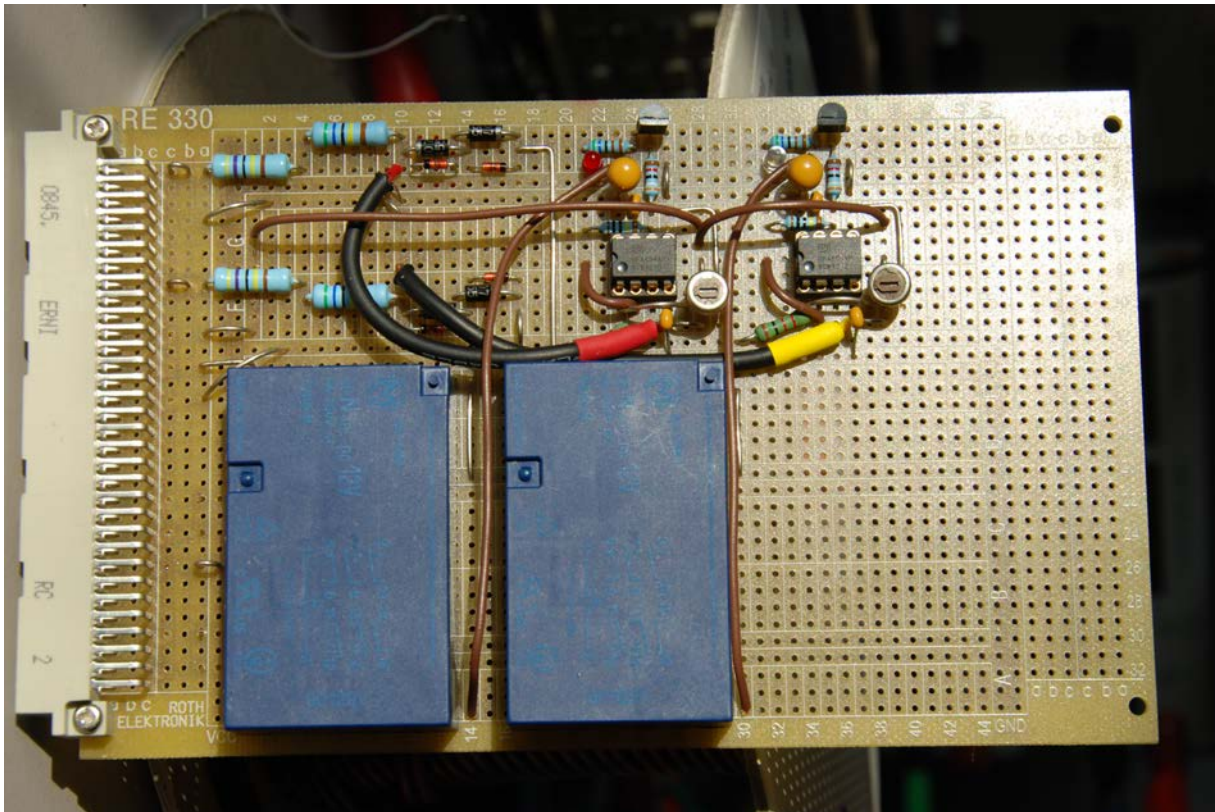


L'usage du filtre LRC série permet d'obtenir un signal parfait comme ci-dessous.
Tensions commutées : ± 300 Vdc. Les temps de montées et descente sont de l'ordre de 200ns dus à la présence du filtre notamment. Ces temps sont conformes au cahier des charges initial.



Deuxième partie : Système de commutation automatique de polarité

(Les doubles alimentations +12V/-12V manquent sur ces images)



Dans un second temps, nous avons développé une électronique de surveillance automatique de polarité des tensions appliquées aux BNC +HV et -HV. Certaines expériences nécessitent l'application de tensions identiques en polarité et très proches l'une de l'autre, comme par exemple : -342,5V et -343,0V. Dans un tel cas, la hauteur de « l'escalier » sur OUTPUT, ne sera que de 0,5V avec une ligne de base à -342V.

Pour simplifier l'exploitation de cette installation, il est très pratique de disposer d'une permutation automatique des tensions appliquées aux BNC +HV et -HV. En effet, la commutation sur OUT impose de respecter la polarité des tensions. C'est-à-dire que la tension **la plus positive** doit toujours être appliquée à la ligne +High Voltage (IGBT SKP 15N60 supérieur). L'utilisateur peut donc connecter deux alimentations aux entrées +HV et -HV sans se préoccuper de savoir laquelle est la plus élevée des deux. De plus, lorsque les tensions sont très proches l'une de l'autre, rien ne garantit que la plus élevée est celle que l'on soupçonne en raison des ajustages d'usine ou d'éventuelles dérives.

Principe du comparateur de niveau

Le principe de détection de polarité des tensions +HV et -HV repose sur un amplificateur à très haut gain ($A_v = 1001$) dont l'entrée négative, via une résistance de 1K, est non pas tirée à une masse fixe mais placée directement sur la ligne +HV qui sert alors de masse flottante. Ainsi, l'ampli OP OPA604 dispose d'une masse flottante par rapport à son signal d'entrée sur l'entrée positive. Cette même entrée positive observe -HV via deux résistances en série de somme égale à 10 MOhms. Elle est protégée par deux réseaux de diodes Zéner de 10V. Une diode standard évite la polarisation inverse des Zéner.

Le courant consommé aux alimentations est extrêmement faible lorsque les tensions +HV et -HV s'approchent tangentiellement. Ce courant augmente proportionnellement à la différence entre les tensions +HV et -HV. Par exemple, si l'utilisateur veut produire des impulsions entre +400V et -400V (valeurs maximales admissibles !), le courant consommé sera de $800V / 10 \text{ MOhms}$ soit 80uA. Les alimentations peuvent délivrer 500uA. Il reste donc encore 420uA pour le spectromètre.

L'ampli OPA604 est très réactif. Dès que -HV dépasse de 50 mV seulement +HV, il part en saturation et fait tirer le relais. Nous avons prévu un seuil de 0,5V. Toutefois une haute sensibilité est préférable pour garantir une commutation stable en tenant compte des dérives des alimentations +HV et -HV. En principe, l'utilisateur ne programmera pas des tensions différentes de moins de 0,5V. Le relais permute les connexions de sorte que la ligne +High Voltage reçoit -HV alors que la ligne -High Voltage reçoit +HV. L'approche tangentielle est bien maîtrisée (pas d'oscillation) grâce au condensateur de 100nF en parallèle sur la résistance de contre-réaction de 1MOhms.

Grâce au principe de la masse flottante, la sensibilité est la même partout sur toute l'étendue des tensions appliquées soit entre -400V et +400V.

Un filtre passif LRC a été ajouté à l'entrée des tensions +HV et -HV. Il est évident que les alimentations DC doivent être « propres » pour éviter des oscillations intempestives lorsque les tensions s'approchent tangentiellement. En effet, si les alimentations sont trop bruitées, le détecteur oscillera à cause du bruit et entraînera un dysfonctionnement.

Cependant, les condensateurs de 4,7uF atténuent la réactivité, notamment en cas de variations tangentielles. En effet, il faut attendre que les condensateurs se chargent ou se déchargent lorsqu'on modifie une tension d'où la baisse de réactivité pendant les ajustages des tensions.

Si l'utilisateur injecte, par défaut, une tension plus élevée dans +HV que dans -HV, le relais ne tire pas et la tension de +HV est acheminée sur la ligne +High Voltage. C'est le mode de fonctionnement normal.

En cas de panne ou de dysfonctionnement du système de commutation automatique, le réparateur peut inhiber toutes les cartes de détection en coupant l'alimentation +12V grâce à un commutateur isolé qui se trouve au centre du panier à carte (pas très visible !). Cela a pour effet de couper l'entrée du 12V sur les cartes, ce qui éteint les alimentations +12V/-12V nécessaires aux amplis opérationnels de détection. Il est absolument indispensable que chaque canal dispose de sa propre alimentation +12V/-12V du fait des potentiels flottants, de niveau quelconque, pour chacun des 10 blocs. En cas de coupure du +12V, toutes les cartes sont mortes donc tous les relais sont en position de repos. Le système peut fonctionner pour autant que l'utilisateur programme des tensions +HV plus hautes que -HV !

A noter que les cartes doivent rester dans le panier pour assurer la transmission des tensions depuis les BNC vers l'autre jeu de cinq cartes.

Conseils d'utilisation

Lorsque l'utilisateur programme des tensions de même potentiel et très proches l'une de l'autre, il doit être attentif aux risques d'oscillations dus à la qualité ou au bruit. Dans ce cas particulier, il est recommandé de contrôler la sortie OUT au moyen d'un oscilloscope muni d'une sonde 10X.

Attention de ne raccorder que la sonde et d'observer UNIQUEMENT la sortie OUT pour éviter des ponts de masses par les entrées de l'oscilloscope !

Le système supporte des alimentations dont les masses sont raccordées à la terre, de même qu'un oscilloscope peut avoir sa masse d'entrée reliée à la terre ou être flottante.

Dans d'autres cas de mesures pour lesquelles les polarités des alimentations sont différentes ou alors à polarités identiques mais à grand écart de tension, il ne devrait pas y avoir de problème. Le circuit de détection observera la tension la plus positive et permutera en conséquence les tensions.

L'électronique n'est toutefois pas infaillible. C'est pourquoi, de toute évidence, il est vivement recommandé de faire un contrôle par oscilloscope sur toutes les sorties OUT avant de lancer une nouvelle série d'expériences nécessitant un nouveau set de tensions.

Attention, en cas d'instabilité :

-
- débrancher toutes les sorties OUT et en raccorder une seule à l'oscilloscope. Celui-ci doit absolument disposer d'une sonde 100x (évt. 10x si vous travaillez à basse tension)
 - Ne rien connecter sur les autres entrées de l'oscilloscope, Trigger inclus.
 - Vous pouvez également débrancher toutes les entrées TTL-IN.
 - Vérifier le comportement lorsque l'approche des tensions est tangentielle
 - Enlever ou croiser des cartes du système de commutation automatique
 - Attention : les cartes qui contiennent les relais bleus doivent rester dans le panier, fussent-elles non alimentées, car elles acheminent les tensions +HV/-HV aux autres cartes de commutation.
-

Images générales : (ici, les canaux 9 et 10 n'étaient pas encore modifiés)

