

Mesure du bruit d'un convertisseur DC-DC

et de quelques autres alimentations

Le but est de mesurer le niveau de bruit d'un convertisseur de 5Vdc à +/-12Vdc Murata MEA1D0512SC afin de valider son utilisation dans un circuit de symétrisation des sorties du DSPi. La symétrisation sera faite avec des DRV134.

1. Caractéristiques du Murata MEA1D0512SC

http://power.murata.com/datasheet?/data/power/ncl/kdc_mea.pdf

DC/DC converter de 5V vers +12V et -12V ,

Puissance : 1W (42mA max sur chaque rail).

entrée : 4.5 à 5.5Vdc (absolute max : 7Vdc)

régulation : nominal 4% , max 5%

Ripple + noise : nominal 6mVpp , max 20mVpp

reflected ripple current : nominal 4mApp , max 12mApp

Rendement : 87%

Switching Fréq : 65kHz

charge capacitive maximale : 47uF. Murata recommande de ne pas dépasser 10uF.

Grace à cet excellent rendement, la consommation maximale sur le 5V d'entrée sera de 97mA, arrondi à 100mA.

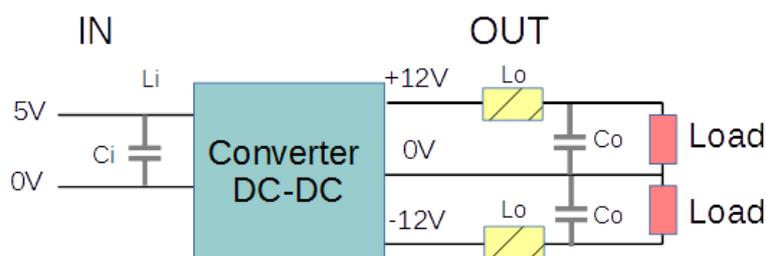
Le bruit nominal en sortie de 6mVpp = 0,05% = -33dB (20mVpp = 0,16% = -28dB)

Il serait intéressant de confirmer ces chiffres à la mesure, de mesurer le bruit **rms** qui est plus pertinent et de vérifier le bruit rms une fois **filtré**.

A titre de comparaison, LM317 ou LM337 sont donnés pour un niveau de bruit nominal rms de 0.003% de 10 à 10kHz.

2. Filtrage d'un convertisseur DC-DC

Le filtrage typique d'un convertisseur est fait en sortie par un réseau LC (Lo, Co).



En entrée c'est plus compliqué.

Un convertisseur de ce type a un courant renvoyé vers la source (« reflected current ») qui sort du convertisseur. Il convient de le limiter pour éviter de polluer la source (le DSPi y en l'occurrence) et aussi car du bruit incontrôlé en entrée influe sur la sortie. Le chapitre *Ressources* regroupe des documents pour expliquer l'origine des bruits de commutation et de la fréquence de modulation du convertisseur.

Murata, comme beaucoup de fournisseurs, ne dit rien sur le filtrage amont.

Murata suggère $L_{out} = 47\mu\text{H}$ (11R473C – 540mohm, 0.5A max,) et $C_{out} = 1\mu\text{F}$ (formé de plusieurs condensateurs type X7R ou COG, la valeur totale est limitée selon convertisseur, ici $4\mu\text{F}$ absolue max, $10\mu\text{F}$ recommandé). Cf datasheet.

La recommandation habituelle pour un tel filtre en sortie est de choisir une fréquence de coupure inférieure d'au moins un ordre à la fréquence ciblée. Ici on cherche à atténuer 65kHz.

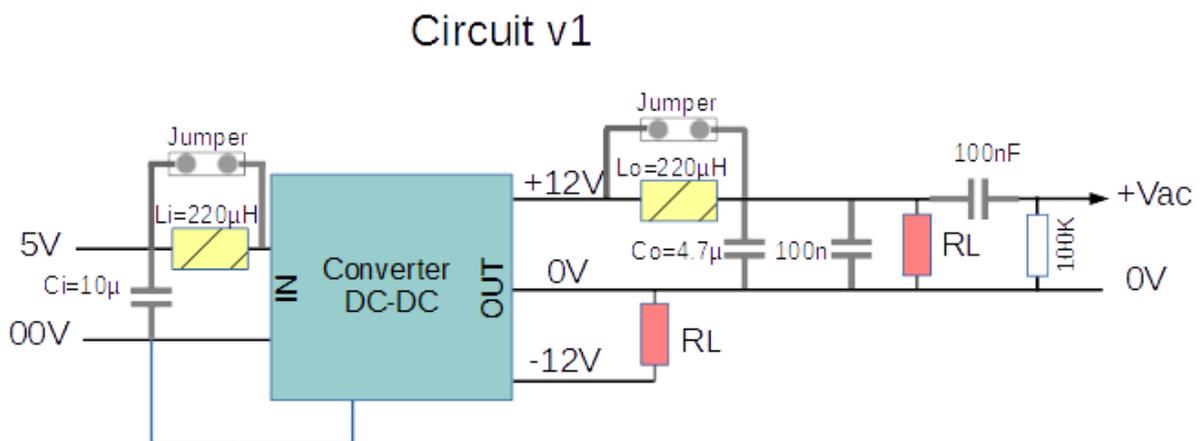
Partons sur l'idée de $L_i = 100\mu\text{H}$ ou $200\mu\text{H}$, $C_i = 10\mu\text{F}$ ou plus

Pour C_o la limite est fixée par Murata autour à $10\mu\text{F}$ par rail. Comme il faut une capacité de découplage de $1\mu\text{F}$ sur chaque DRV134, cad autour de $6\mu\text{F}$.

Je choisis $C_o = 4,7\mu\text{F}$ et $L_o = 100\mu$ ou $220\mu\text{H}$. $F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ce qui donne 5kHz pour $220\mu\text{H}/4.7\mu\text{F}$.

3. Circuit de mesure et précautions

Le niveau de bruit est mesuré à l'oscilloscope et avec une carte son avec REW pour voir le spectre de fréquences.



Les jumpers permettent la mesure en filtré ou non.

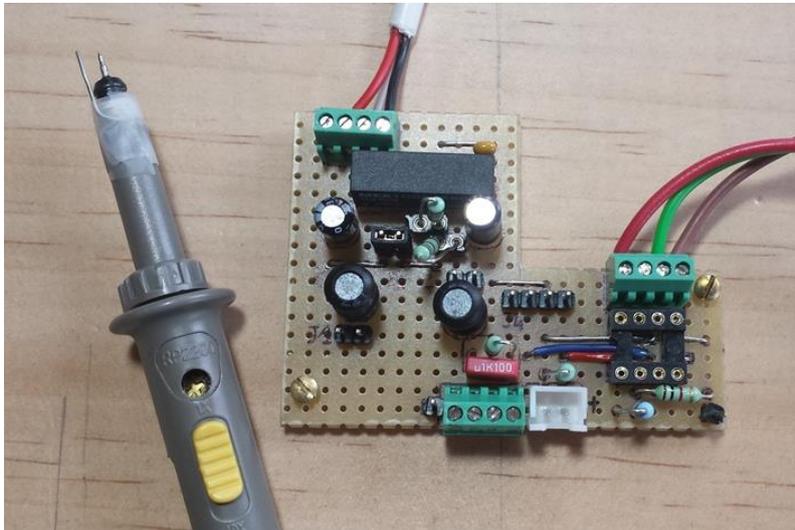
La liaison (fil bleu) entre 0V du 5V (marqué 00V) en entrée et 0V de sortie est indispensable pour minimiser le bruit en sortie. Cela pourrait être une petite résistance de 10ohm au lieu d'un fil.

C_i et L_i forment un filtre pour protéger la source des ondulations retournées par le convertisseur. C_o et L_o forment un filtre LC en sortie.

Seul le rail +12V est mesuré filtré et sur la carte son. Le filtre 100nf/100K permet de protéger l'entrée de la carte son.

Le premier circuit était sur plaque d'expérimentation de type matrice sans soudure : la cata ! La plaque rayonnait rendant les mesures fausses et peu reproductibles.

J'ai donc réalisé un circuit soudé sur plaque d'essai à bandes.



La sonde 1 est préparée pour une mesure optimale (fil de masse entouré autour de la sonde)

Au départ je pensais amplifier le bruit pour mieux le mesurer (AOP type TL072, gain 50). Cela fonctionne mais s'est avéré inutile et ne donne pas une meilleure précision. Je n'ai pas utilisé la partie droite du circuit dans ce doc.

Mesurer des niveaux si faibles à l'oscilloscope demande des précautions, à commencer par le pcb et la sonde. Les recommandations ne manquent pas sur internet. L'app note d'ADI (référence dans la section ressources) est bien pédagogique. Pour des raisons pratiques je n'ai pas tout respecté.

La plaque à trous est loin de valoir un vrai pcb avec plan de masse. De même, les composants utilisés ne sont pas les meilleurs non plus (par exemple, condensateurs électrochimiques au lieu de X7R ou COG). Ma sonde n'est pas top et je n'ai pas de terminaison 50ohm.

Les résultats obtenus ne seront pas les plus précis possibles mais un majorant du bruit.

CHARGE

Les mesures sont faites sur charge résistive. Je ne sais pas faire mieux simplement.

Un DRV134 consomme un peu moins de 6mA*.

$6 \times 6 = 36\text{mA}$. Pas loin du courant max du convertisseur DC-DC.

Comme le bruit est supposé varier selon la charge, je mesurai sur charge résistive de 1k (12mA) et de 330ohm par rail (36mA)

(*) la consommation du DRV134 dépend de sa charge de ligne. Je n'envisage ici qu'une charge supérieure à 10K, ce qui exclut la possibilité d'utiliser des transfo 600ohms. C'est un choix.

4. Sensibilité oscilloscope

L'oscilloscope est un RIGOL DS1052E, 50Mhz. Sondes standard, en x1.

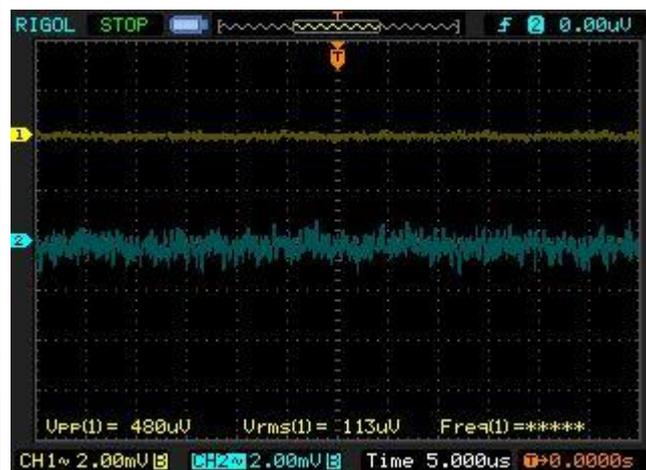
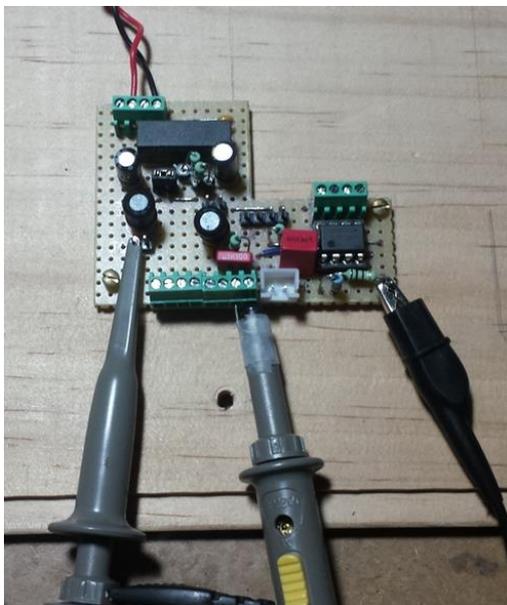
Bande passante limitée à 20Mhz pour limiter le bruit. Mesure en AC.

Pour cette mesure de sensibilité, la sonde est à la masse et touche le GND du circuit. Le calibre est réglé au mini (2mV/div).



Cette mesure représente l'incertitude des mesures : $160\mu V_{pp}$ – $113\mu V_{rms}$

Mesure du bruit du circuit avec sonde 1 (jaune) et 2 (bleue) en place, rien sous tension:



Bruit sonde 1 : $160\mu V_{pp}$ – $113\mu V_{rms}$.

Le bruit sur la sonde 2 est de l'ordre de $500\mu V$, presque 5 fois supérieur à la sonde1, simplement car elle n'est pas optimisée et utilise le câble masse avec pince standard.

5. Carte son + REW RTA

Carte son USB EMU0204 24/192, rapport S/B 120dB annoncé et 117dB mesuré.

Entrée haute impédance 1Mohm. Câble signal blindé. La carte son est calibrée avec REW.

Avec les drivers ASIO pour REW, les mesures seront pertinentes jusqu'à 96kHz.

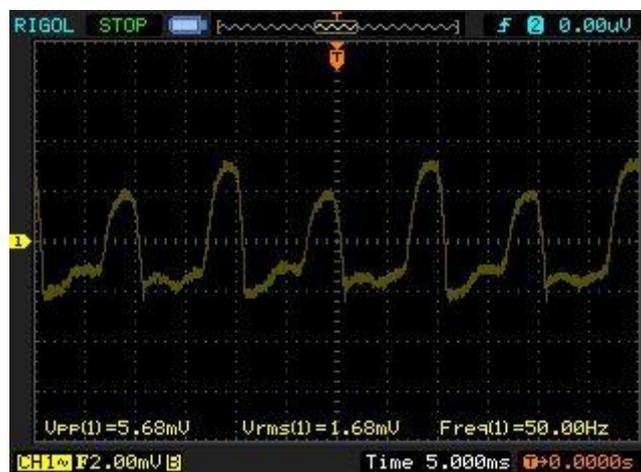
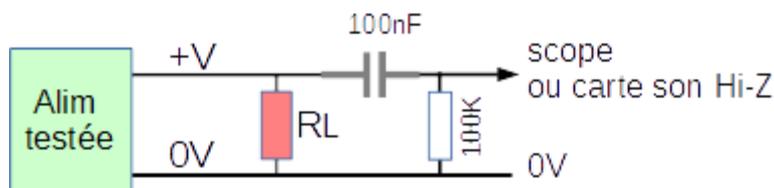
Les mesures sont faites en RTA au 1/12^e d'octave. Mesurer en « spectrum » n'apporte pas de précision utile.

6. Mesure alimentation linéaire « de référence »

Il s'agit d'une alimentation linéaire +15V à base de LM317 / LM337 réalisée dans les règles de l'art.

Cette mesure non filtrée d'une alimentation linéaire connue servira de référence pour comparer aux autres.

Schéma de la mesure :



Le courant de charge pour cette mesure est de 52mA. La mesure est identique avec charge de 300mA.

La mesure est de même niveau sur rail + et rail-.

Bruit = 5.7mVpp – 1.7mVrms @50Hz.

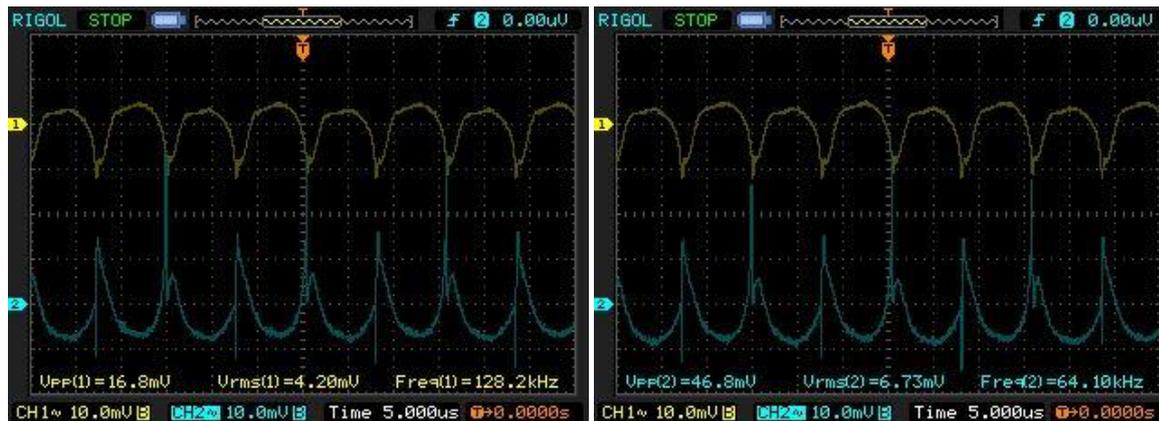
Ce bruit représente 0,011% soit 4x plus que la spec théorique du LM317 qui est de 0,003% de ripple+noise de 10Hz à 10kHz. L'alimentation LM317/337 utilisée possède 2200µF de filtrage par rail.

7. Mesures convertisseur à l'oscilloscope SANS filtrage LC

Dans ce chapitre, le 5V est fourni par une alim de labo (régulateur 7805) et Li et Lo sont by-passées par les jumpers, donc aucun filtre LC n'est actif, ni en entrée ni en sortie.

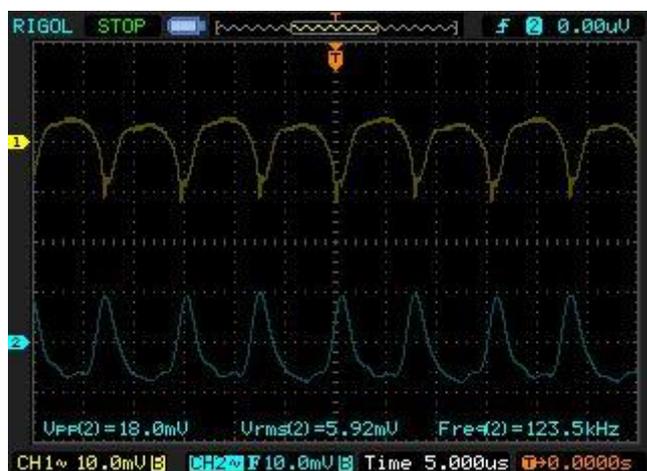
a. Bruit en sortie avec charge $R_L=390\Omega$ sur chaque rail.

Tension entrée : 4.98V Tension sortie : +11,96V et -11.96V. Courant = 30mA par rail.



La mesure sur le rail négatif semble perturbée par les HF captées par la sonde 2 qui n'est pas optimisée !

Avec le filtre numérique passe-bas à 500kHz sur l'oscilloscope, la mesure est plus fiable.



Rail +12V en jaune bruit : 17mVpp – 4.2mVrms @ 128kHz

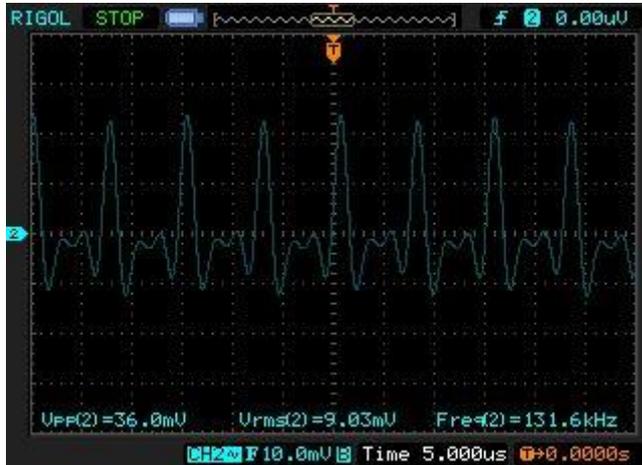
Rail +12V en bleu bruit : 18mVpp – 5.9mVrms @ 128kHz

La fréquence correspond au double de la fréquence de commutation du convertisseur.

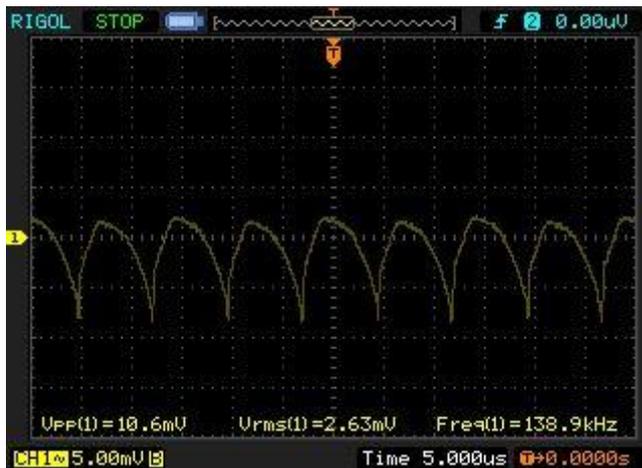
b. Mesure du bruit en entrée, sur le 5V, lorsque le convertisseur est en fonctionnement :

Pour cette mesure, le 5V est toujours fourni par l'alim de labo. Son bruit propre est comparativement très faible, hormis un peu de 50Hz.

Le courant « reflected ripple current » du convertisseur génère un bruit significatif renvoyé par le convertisseur vers l'alimentation 5V amont.



c. Mesure bruit en sortie avec Rload = 1K (courant = 12mA)



Rail +12V en jaune bruit : 11mVpp – 2.6mVrms @ 138kHz

Le bruit est deux fois moindre à 12mA qu'à 30mA.

d. Conclusions des mesures non filtrées

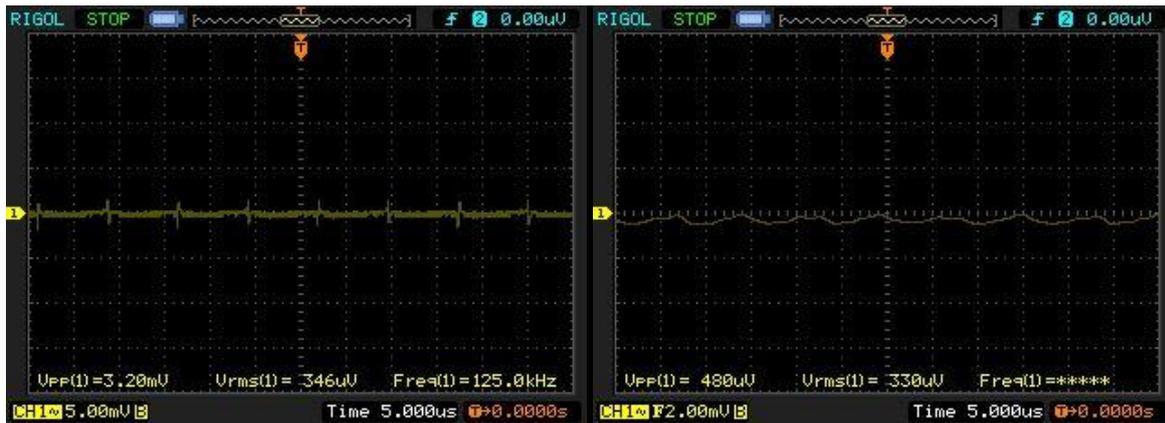
- Le bruit non filtré en sortie du convertisseur est conforme aux specs.
- Le bruit est concentré autour de 2* fréquence de switching + pointes haute fréquence
- Le bruit augmente avec la consommation de courant, mais il ne faut pas non plus tomber trop bas. En dessous de 10% de charge par rapport au nominal, le bruit explose.
- Le bruit renvoyé vers la source amont (rejected current ripple) est significatif.

8. Mesures convertisseur à l'oscilloscope AVEC filtrage LC

Le 5V est toujours fourni par une alim de labo mais cette fois les jumpers sur Li et Lo sont retirés : le filtrage LC est actif en entrée et en sortie.

RL=390ohm sur chaque rail (i=30mA)

a. Mesure du bruit en sortie



A gauche mesure sans filtre numérique ; A droite même mesure avec filtrage numérique passe-bas à 500kHz sur l'oscilloscope.

Il reste après filtrage par Lo et Co une petite trace du ripple de commutation à très haute fréquence. Le bruit résiduel est descendu autour de 330 à 350µVrms, cad a peine plus élevé que le bruit du circuit. Il n'est plus significatif.

b. Mesure du bruit en entrée, sur le 5V amont



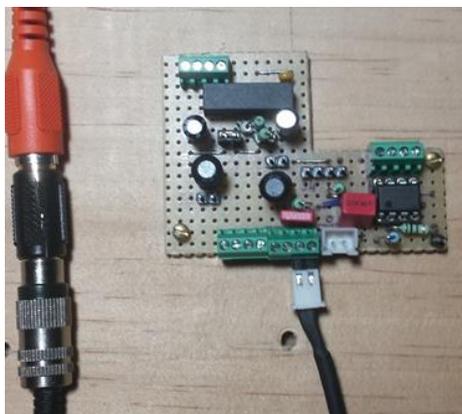
Compte tenu du seuil de bruit plus élevé sur la sonde 2, le filtrage par Li,Ci a là aussi rendu le bruit dû au « rejected current » du convertisseur insignifiant.

On notera que le filtrage en amont Li+Ci n'a aucune influence sur le bruit en sortie. Inversement, Lo+Co n'ont aucune influence sur le bruit en amont.

9. Mesures avec REW et conclusions mesures filtrées

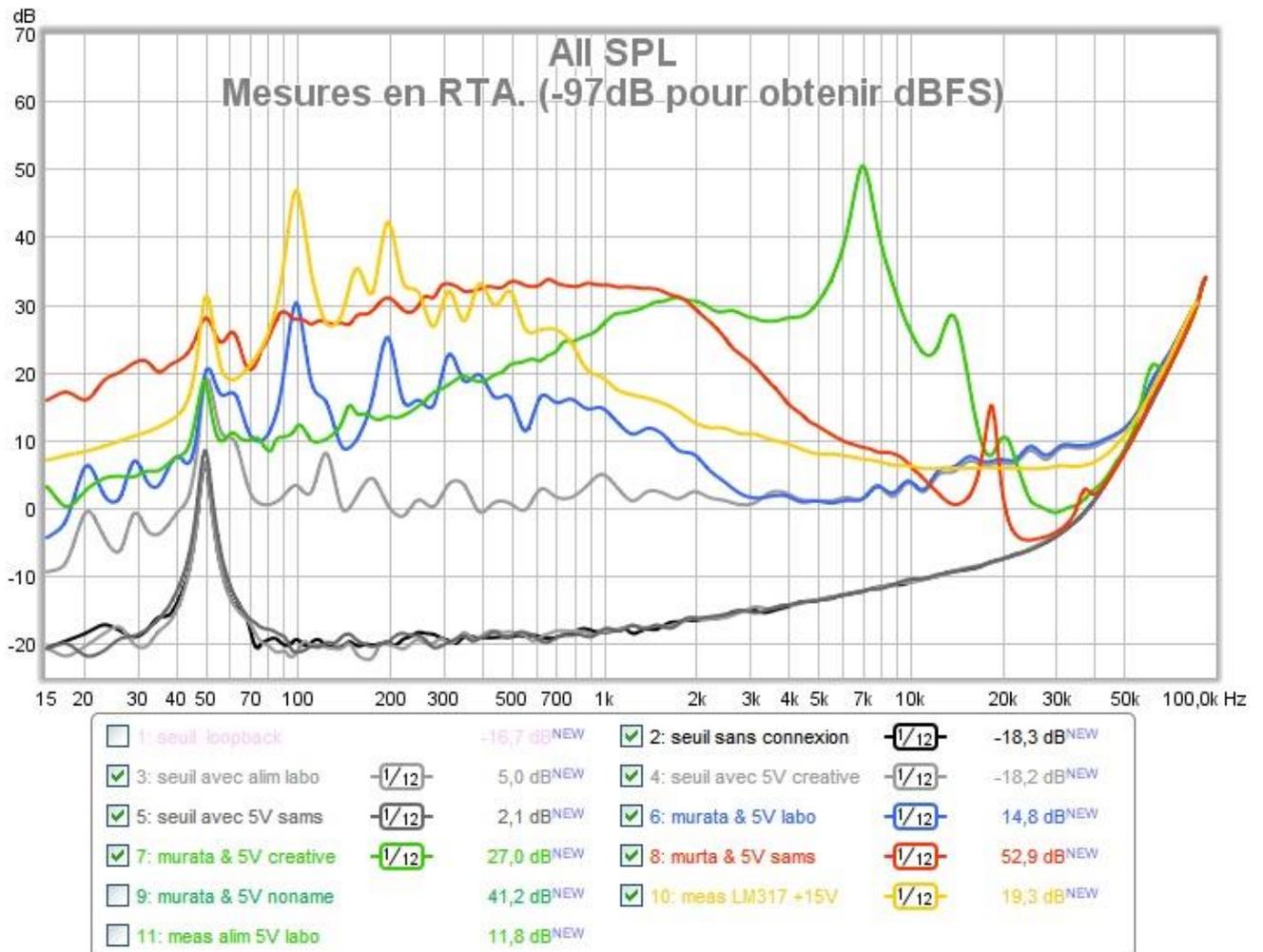
La mesure REW se fait en ASIO à 192kHz. En RTA au 1/12 d'octave moyenné. Câble blindé.

Le but est de voir le spectre après filtrage.



Les seuils de bruit de mesure sont déterminés respectivement sans aucune connexion du 5V en entrée (courbe noire 2), entrée reliée à l'alim de labo éteinte (gris clair 3) ou entrée reliée à un bloc secteur isolé éteint (gris foncé 4).

Les seuils sont très voisins, sauf pour [3] lorsque le circuit est connecté à l'alimentation de labo qui bruite 20dB de plus.



La courbe orange [10] est la mesure du bruit de l'alimentation linéaire +15V à base de LM317 lorsqu'elle débite environ 50mA. C'est ma référence en terme de bruit.

Le meilleur résultat, courbe bleue [6] est obtenu par le convertisseur avec un 5V linéaire issu de l'alim de labo. Moins de bruit en sortie que l'alim de référence !

La courbe rouge [8] obtenue avec le chargeur mobile Samsung 5V 2A est tout à fait acceptable. La verte [7] avec l'alim 5V Creative a une grosse pointe autour de 7K. Etonnant et inexplicable.

Pour obtenir la valeur absolue en dBFS, il faut retirer 97dB à ces courbes.

La courbe rouge culmine à -62dBFS. Sachant que la PSRR des DRV134 varie de 70 à 100dB dans cette plage de fréquence, le bruit en sortie de DRV134 dû au bruit de son alimentation devrait être en théorie inférieur à -130dB, cad largement plus faible que le bruit du DSPi.

Bon pour le service 😊

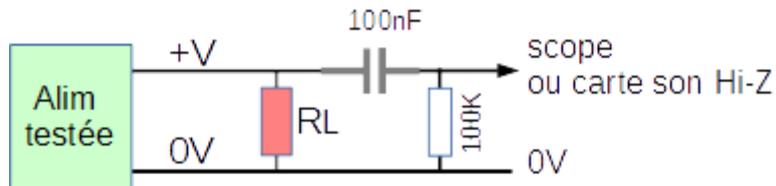
Il n'y a que la courbe verte avec sa pointe à 7k qui présente un léger risque. Il faudra choisir un bloc secteur par trop mauvais.

La prochaine étape est de vérifier cette conclusion sur un circuit réel. A suivre.

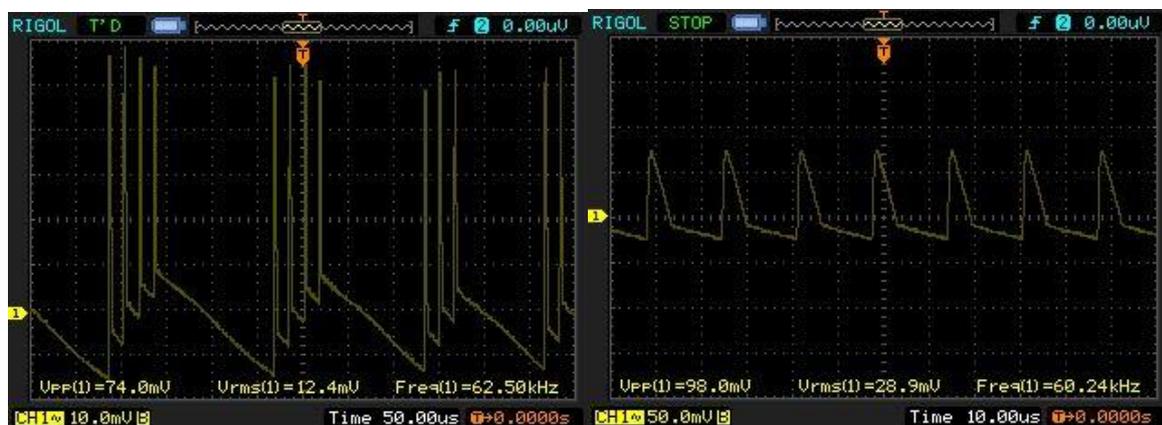
Annexe 1 : Mesures d'autres alimentations, pour référence

Mesures sur charge résistive sans aucun filtrage.

Attention, les échelles sur les captures d'écran de l'oscilloscope ne sont pas toujours identiques.



- Bloc secteur 5V 2A Creative provenant d'un lecteur mp3 années 2000



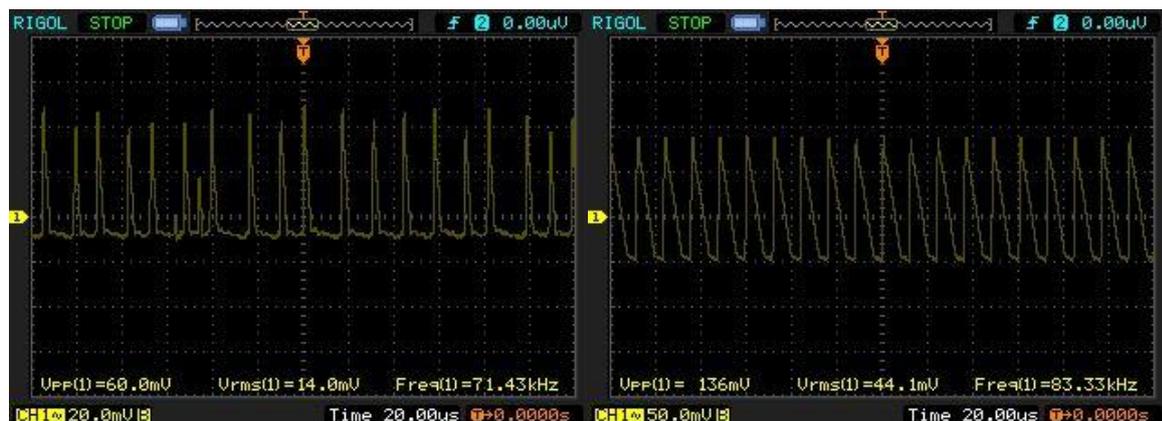
Charge 62mA, tension = 5.11V

bruit : 74mVpp – 12.4mVrms @62kHz

Charge 510mA, tension = 5.01V

bruit : 98mVpp – 29mVrms @ 60kHz

- Bloc secteur noname 5.5V 1A USB provenant d'un chargeur de téléphone mobile



Charge 62mA, tension = 5.21V

bruit : 60mVpp – 14mVrms @ 71kHz

Charge 510mA, tension = 5.02V

bruit : 136mVpp – 44mVrms @ 83kHz

- Bloc secteur Samsung 5V 2A USB chargeur de téléphone mobile 2014



Charge 62mA, tension = 5.00V

bruit : 33mVpp – 4.1mVrms @ 6.5kHz

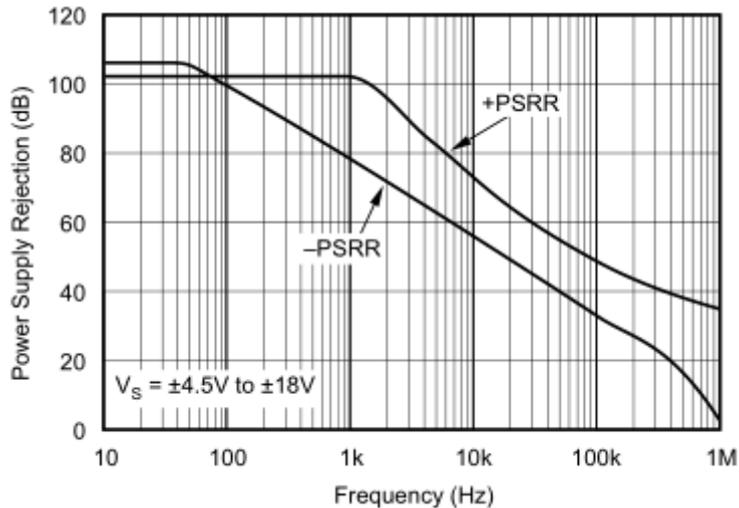
Charge 510mA, tension = 4.99V

bruit : 58mVpp – 9.7mVrms @ 22.5kHz

Cette alimentation moderne adapte la fréquence de switching selon la charge, pour atteindre un meilleur rendement. Bruit non filtré plutôt raisonnable.

Annexe2 : Ressources

PSRR du DRV134



Liens :

Appnote ADI sur la mesure de bruit d'une alimentation :

http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1144.pdf

Pour filtre d'entrée de convertisseurs DC – DC :

<http://www.powerguru.org/negative-input-resistance-and-rms-input-currents/>

App Note pour les convertisseurs Recom, détaille filtre entrée et sortie

<http://www.recom-international.com/pdf/Application-Notes-2006-2nd-edition.pdf>

Crane Aerospace : Measurement and Filtering of Output Noise of DC/DC Converters

http://www.interpoint.com/product_documents/DC_DC_Converters_Output_Noise.pdf

Les autres convertisseurs DC-DC de la gamme Murata

Nom	P	V	Reg	Ripple + Noise (mVpp)
MEJ2	2W	12V	6,5/7%	20 à 35
MEJ1	1W	12V	4/5%	13 à 35
NMK05112SC	2W	12V	3.7/4.8%	14 à 20
MEA1D0512SC	1W	12V	4/5%	6 à 20