



theremino
•the•real•modular•in-out•

Sistema theremino

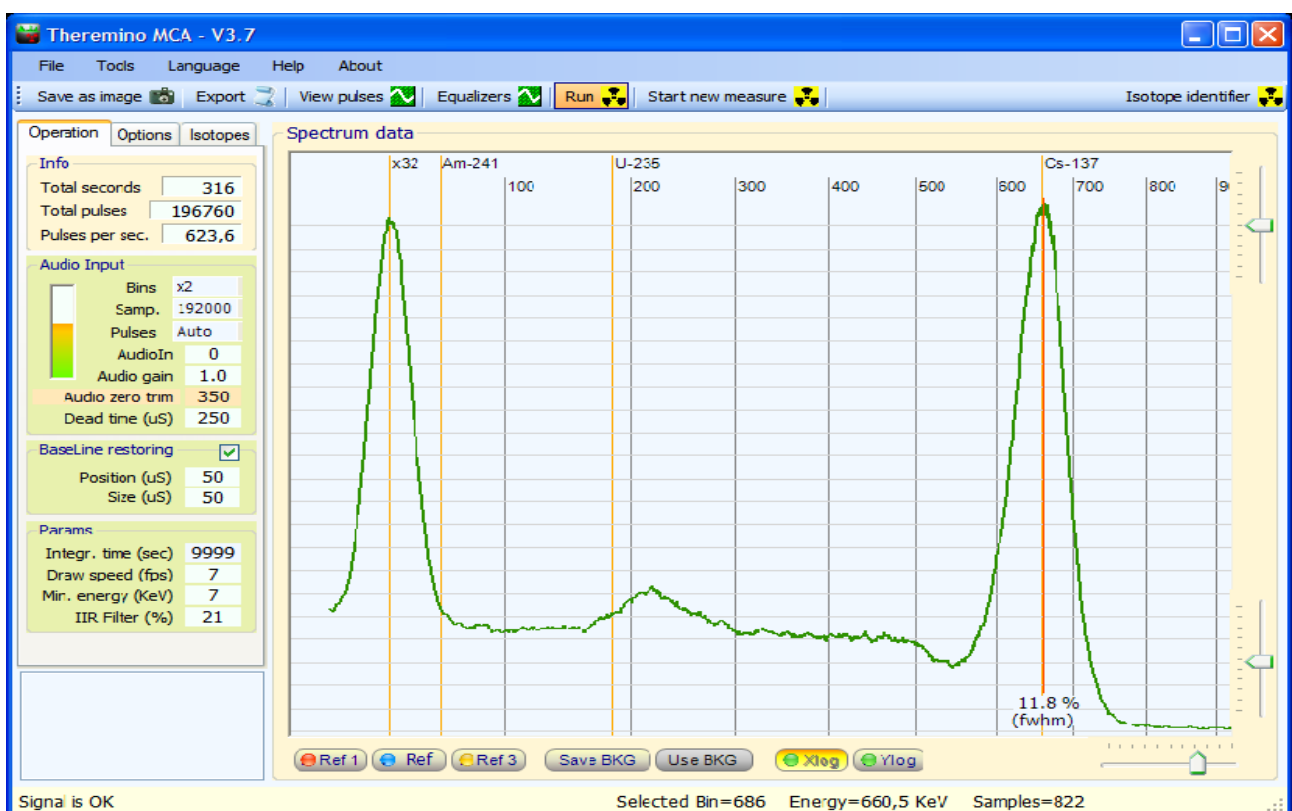
Tecniche di condizionamento del segnale per la Spettrometria Gamma

La Spettrometria Gamma

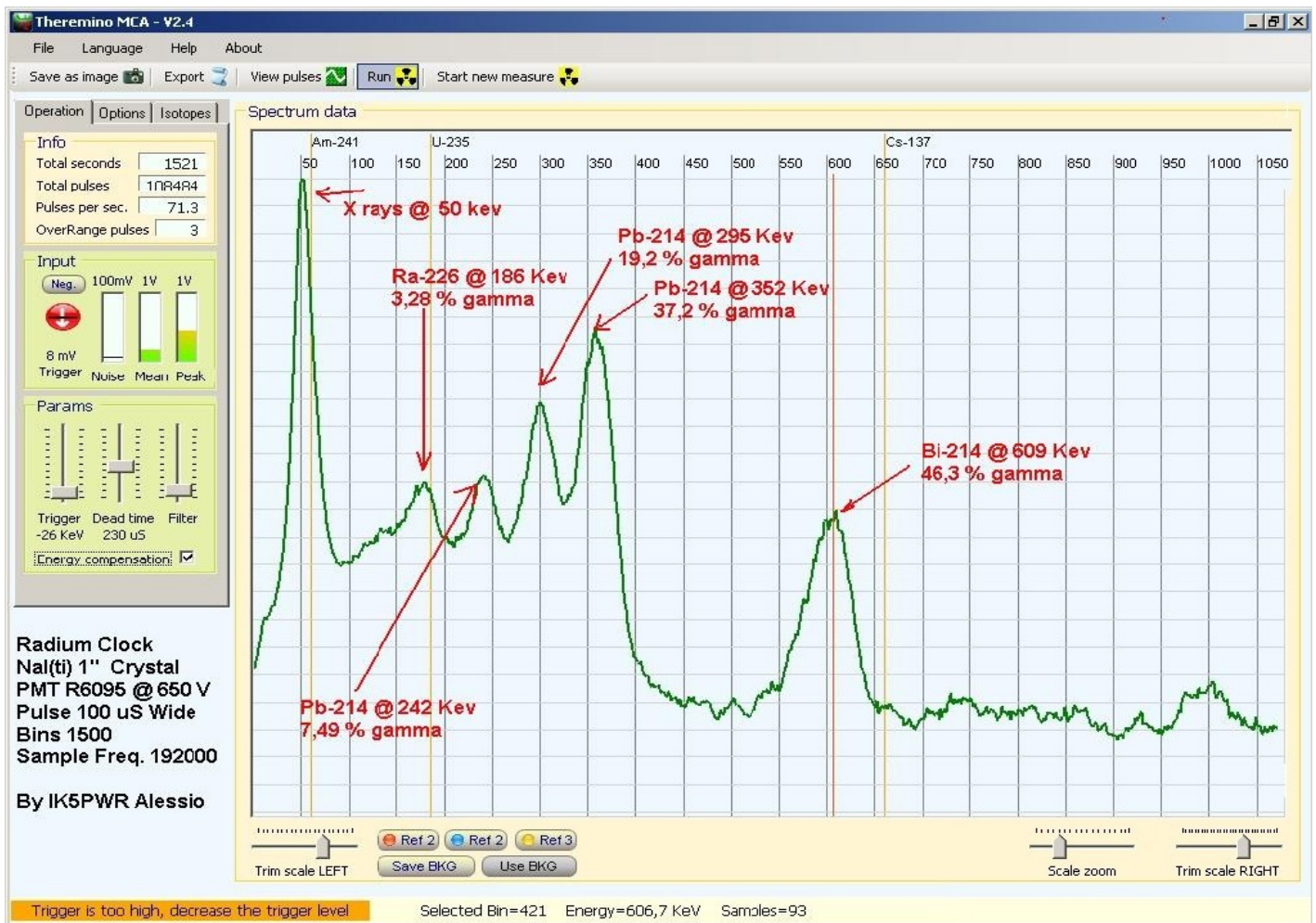
Tramite la misura dello spettro di energie è possibile distinguere gli isotopi radioattivi e apprezzarne la relativa abbondanza. Ogni isotopo produce raggi gamma con energia concentrata su una o più righe. La forma del grafico risultante è una specie di "firma" che permette di riconoscere le sostanze radioattive presenti nel campione sotto misura.

I raggi gamma vengono rivelati singolarmente da appositi sensori (cristalli scintillatori, tubi fotomoltiplicatori e foto-diodi) e trasformati in impulsi elettrici di intensità proporzionale alla energia del raggio gamma in KeV (Kilo Elettron Volt)

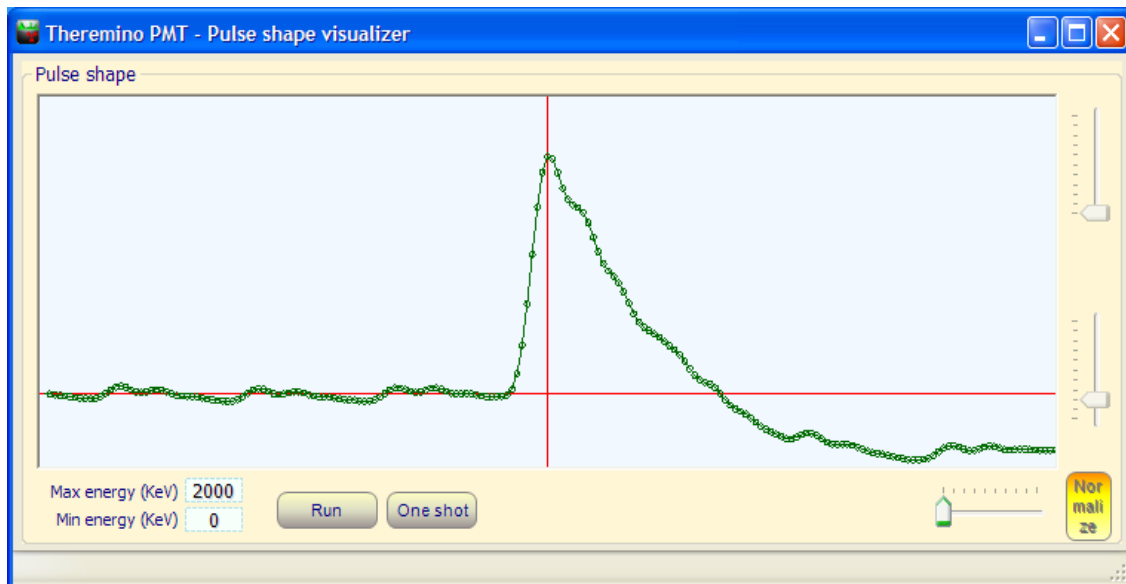
Con appositi software chiamati MCA (Multi Channel Analyzer) si estraggono gli impulsi dal rumore e li si trasformano in grafico tarati in KeV facilmente leggibili da un operatore umano.



Questa è la "firma" del Cesio radioattivo (Cs-137), facilmente riconoscibile e quindi molto usato per la taratura. Altre firme ben conosciute dagli esperti del settore sono quelle dell'Americio (Am-241), del Radio (Ra-226) e del Potassio (K-40)



Questa è la "firma" del Radio (Ra-226), con i suoi quattro picchi caratteristici a 186, 242, 296 e 352 KeV e il picco singolo a 609 KeV



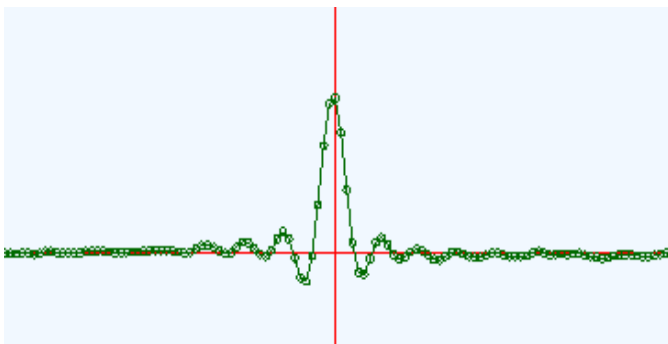
Questo è un impulso proveniente da un cristallo scintillatore accoppiato a un tubo fotomoltiplicatore e amplificato

Riconoscere gli impulsi

Il riconoscimento degli impulsi è un punto cruciale per un analizzatore multicanale, esistono molti metodi per farlo, tutti lavorano bene quando i campioni sparano cannonate, ma pochi riescono a lavorare bene nella zona delle energie molto basse.

Il ben noto software PRA, ad esempio, usa il riconoscimento della forma degli impulsi "Shape recognition" che funziona abbastanza bene ma elimina un gran numero di impulsi e rallenta notevolmente la visualizzazione.

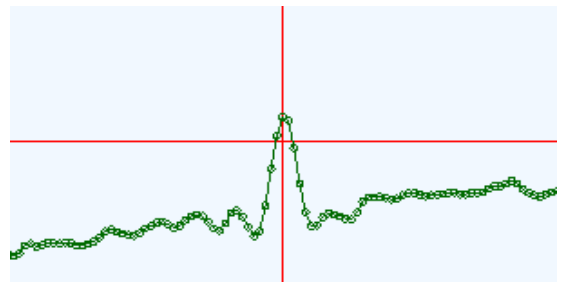
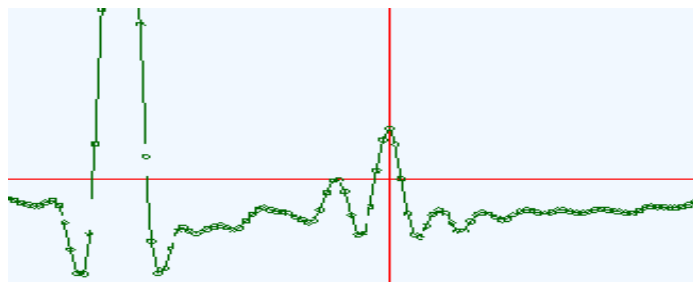
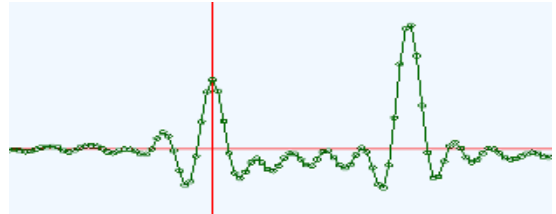
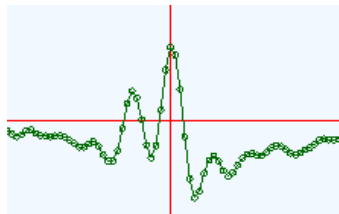
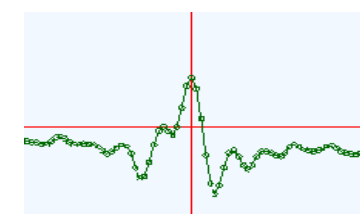
Intuitivamente si pensa che riconoscere gli impulsi dalla forma sia il metodo ideale. Questo è vero quando gli impulsi sono alti ma quando sono piccoli, deformati dal rumore e dai "ringing" questo metodo può fare solo una cosa, eliminarli.



Facciamo conto di avere nella "Shape" da riconoscere l'impulso delle immagine qui a sinistra. In genere gli impulsi di alta energia saranno più o meno tutti simili e la "Shape Recognition" li riconoscerà facilmente.

Ma come sono fatti gli impulsi molto bassi, con energie sotto ai 100 KeV ?

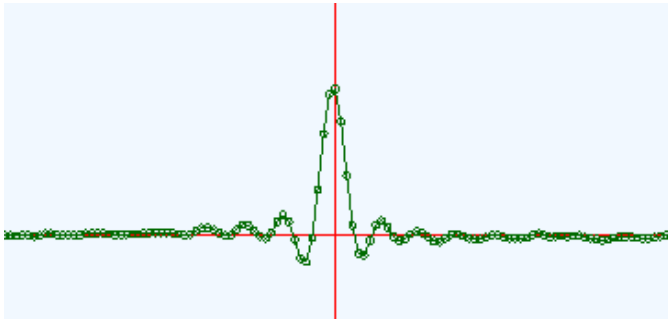
Eccone un po' - attenzione che la scala di tutte le prossime immagini e' stata amplificata molto in verticale, in realtà gli impulsi sono da 10 a 100 volte più bassi del precedente.



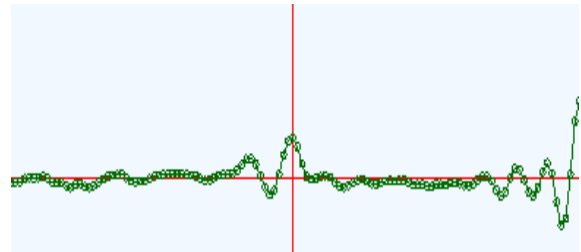
Sono tutti completamente deformati dal rumore, non se ne trova uno che assomigli minimamente a quelli di alta energia. In questa situazione la "Shape recognition" può fare solo due cose o li elimina tutti, oppure si accontenta di una lontana somiglianza e prende per buoni tutti i "ringing" e tutte le piccole gobbe di rumore che assomigliano a un impulso producendo una montagna di rumore nella parte sinistra del grafico che copre, sposta e confonde le righe di nostro interesse.

Come Theremino MCA riconosce gli impulsi

Come visto nella pagina precedente la "Shape recognition" è terribilmente lenta e produce molto rumore ma esiste un metodo migliore?



Impulso di alta energia (660 KeV)



Impulso di energia molto bassa (32 KeV)

Un umano, guardando queste due immagini riconosce immediatamente che anche quello a destra è un impulso valido, anche se di forma completamente diversa.

Anche Theremino MCA ci riesce, infatti la riga rossa indica che lo ha preso perfettamente in centro, se il segnale è esente da rumore e disturbi il Theremino MCA ne sbaglia pochissimi, come è facile verificare con il suo "Pulse shape visualizer"

Per arrivare a questo risultato il Theremino MCA usa un insieme di tecniche di tipo comportamentale "Behavioural", cioè si basa non sulla forma, che può variare, ma su come un impulso si comporta diversamente dal rumore.

Prima di tutto è necessario prevedere il futuro... cioè avere a disposizione anche i campioni che non sono ancora arrivati, per fare questo si passa tutto l'impulso in una linea di ritardo (un buffer circolare) e quindi si leggono gli impulsi non quando avvengono ma un certo tempo dopo. In questo modo si possono avere a disposizione anche le caratteristiche della zona che segue l'impulso.

Poi si controllano le caratteristiche principali: Quale è il campione più alto di questo impulso? Ci sono campioni più alti nelle vicinanze? Ci sono altri impulsi sovrapposti? La linea di zero è a posto oppure si trova più in basso o in alto? Quello che sembra un impulso sarà forse solo rumore?

Poi si cerca di correggere tutto il possibile, cancellare gli effetti del "ringing" e del rumore e raddrizzare la linea di zero. (il Theremino_MCA non fa ancora il "Baseline Restoring" ma è previsto per le future versioni)

Infine, se tutto va bene, si memorizza l'impulso altrimenti lo si elimina.

Il tasso di eliminazione di ThereminoMCA è minimo, praticamente "non perde un colpo" e questo si vede dalla velocità di creazione dei suoi grafici.

Segnale audio, campionamento e "ringing"

Il ringing (che in inglese non significa "ringhio" ma "scampanellio", "vibrazione" o "risonanza") viene creato dal filtro anti-aliasing della scheda audio.

Molti pensano che il ringing dipenda dai cavi di collegamento, o dall'amplificatore del segnale e cercano di agire su questi componenti per eliminarlo, senza riuscirci.

Per eliminare il ringing si devono ammorbidire gli impulsi con un adeguato filtro passa basso che allunghi i pochi micro secondi prodotti dal tubo foto-moltiplicatore ad almeno 50 o 100 μs

Allungando gli impulsi se ne perde qualcuno ma durante le normali misure da laboratorio non se ne perde che una piccola percentuale (l'uno per cento o meno) e questa perdita viene compensata dall'avere impulsi più precisi e leggibili tanto che la velocità non solo non diminuisce ma aumenta di molto.

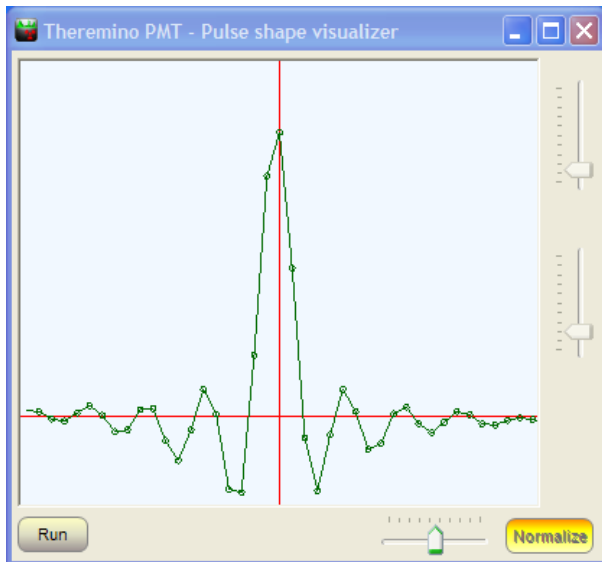


Immagine 1 - Impulso da 10 μs

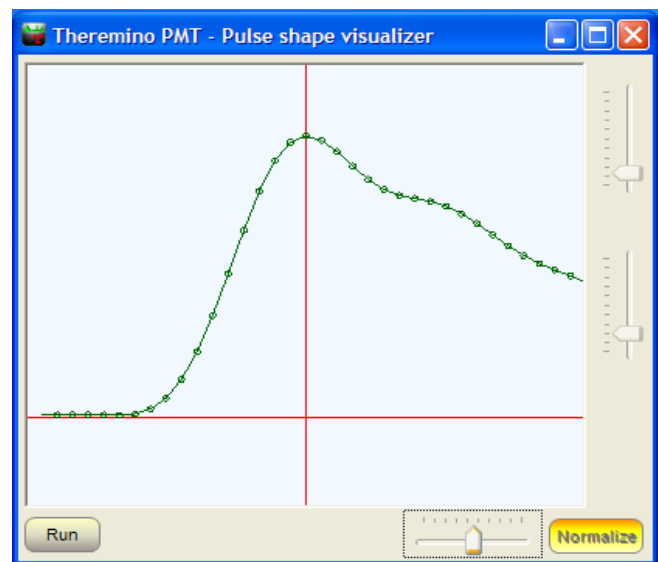


Immagine 2 - Impulso da 100 μs

Nella immagine "1" si vede un impulso molto stretto (10 μs) che produce un forte "ringing" mentre nella "2" si vede un impulso da 100 μs che non produce "ringing"

Si noti anche che nella prima immagine il punto di massimo viene campionato male, con troppo pochi punti, producendo misure imprecise che allargano notevolmente le righe come visibile nella prossima pagina.

Allargamento delle righe

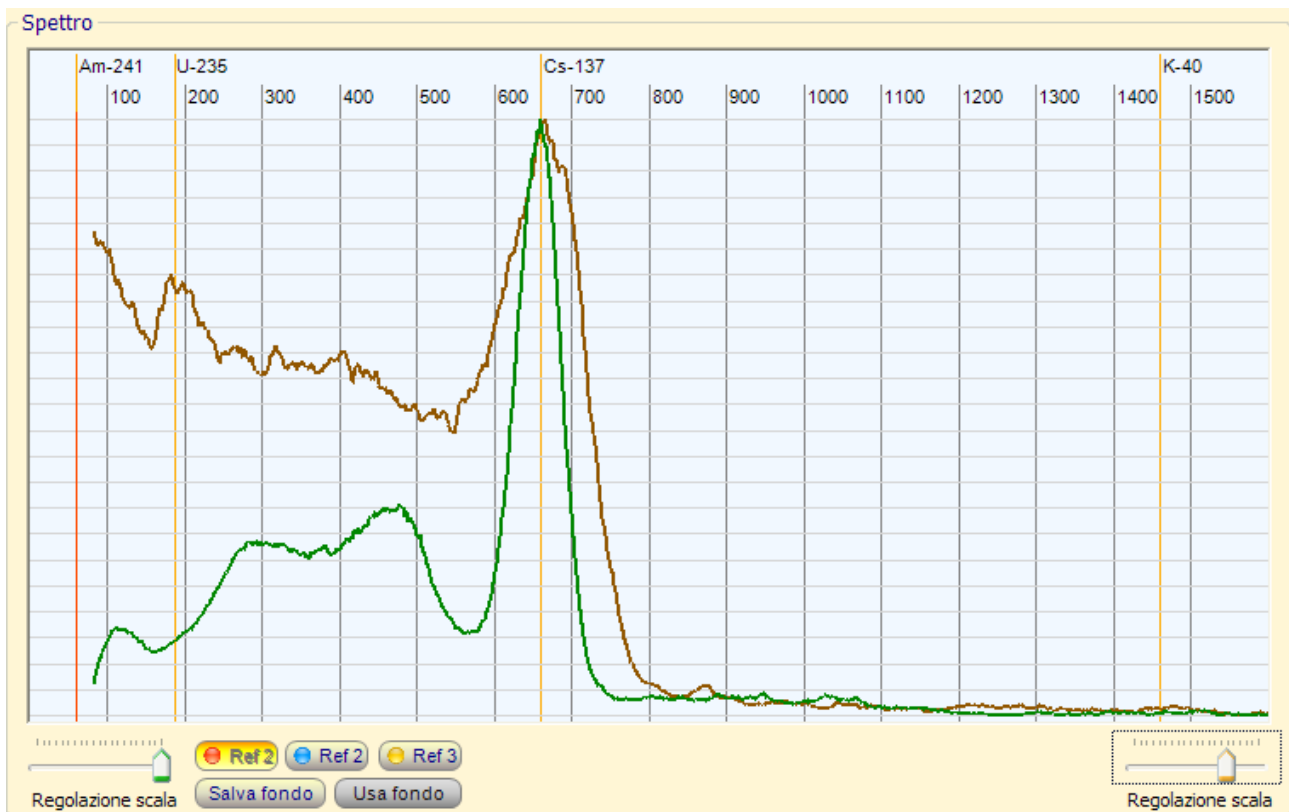


Immagine 3 - La riga del cesio - In rosso con impulsi da 10 uS, in verde con impulsi da 100 uS

In questa immagine si vede un segnale non filtrato (in rosso) che produce un notevole allargamento della riga del cesio e un aumento del tappeto di rumore che si alza fino a far sparire le due gobbe caratteristiche a circa 300 e 450 KeV

Allungare gli impulsi rende più precisi i valori campionati, stringe le righe degli isotopi, diminuisce il rumore e fa spuntare anche i segnali più deboli.

Usare impulsi larghi ha solo vantaggi e non provoca effetti collaterali. Nelle normali misure si misurano frequenze intorno ai 100 Cps quindi la distanza media tra due impulsi si aggira sui 10 milli Secondi. Dieci milli secondi sono 100 volte maggiori di 100 uS per cui si perdono pochissimi impulsi a causa dell'ammucchiamento (Pile up in inglese)

Anche con impulsi molto larghi (fino a 500 uS) non si verificano errori di misura causati dai "Pile up" perché in questi casi il software elimina il secondo impulso. (se si usa un software con questo tipo di PileUp rejection, ad esempio il Theremino_MCA)

Spesso qualcuno obietta che a volte si misurano campioni molto radioattivi e che in questi casi gli impulsi sono più frequenti, anche 10000 per secondo portando a perderne moltissimi. Il ragionamento non è sbagliato, in questi casi si perdono anche il 50% degli impulsi. Ma non importa perché si hanno lo stesso impulsi così frequenti da creare una curva perfetta in pochi secondi.

Gli impulsi sovrapposti (PileUP)

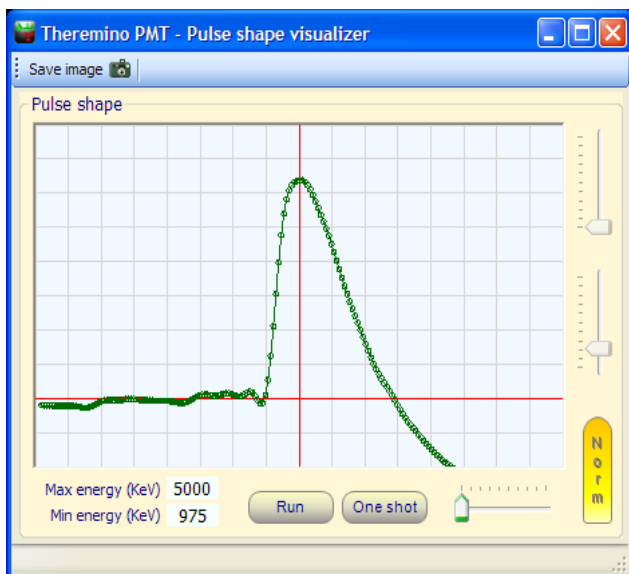


Immagine 1 - Impulso senza "PileUp"

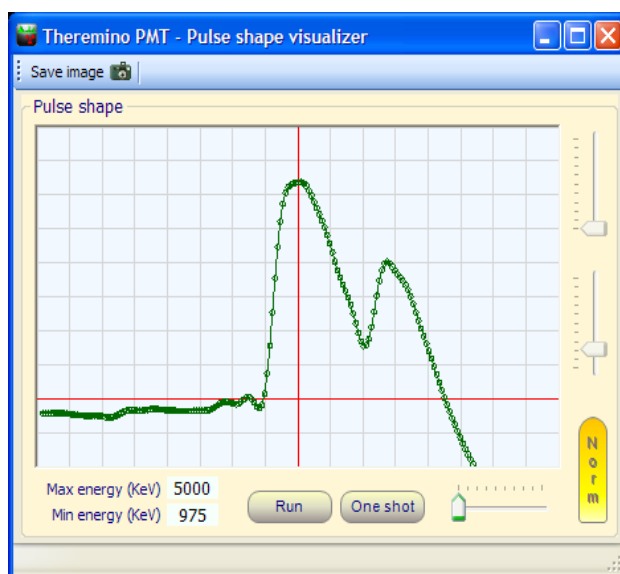


Immagine 2 - Impulsi con "PileUp"

Ecco un bell'esempio di "PileUP" il secondo impulso arriva quando il primo non è ancora finito.

Il secondo impulso si appoggia sul primo, risulta più alto di quanto dovrebbe, e finisce in un bin sbagliato.

Dato che la posizione relativa dei due impulsi è casuale anche il bin di destinazione lo è, con il risultato di alzare il tappeto di rumore in modo uniforme. Se i PileUp sono molto frequenti il rumore si alza al punto da mascherare le righe utili.

Sia il metodo del riconoscimento della forma degli impulsi "Shape Recognition" (usato dal PRA), sia il metodo "comportamentale" (usato da ThereminoMCA) riescono a eliminare i difetti causati dal PileUp però come già visto nelle pagine precedenti, anche in questo caso, il metodo comportamentale è migliore, ecco il comportamento dei due metodi:

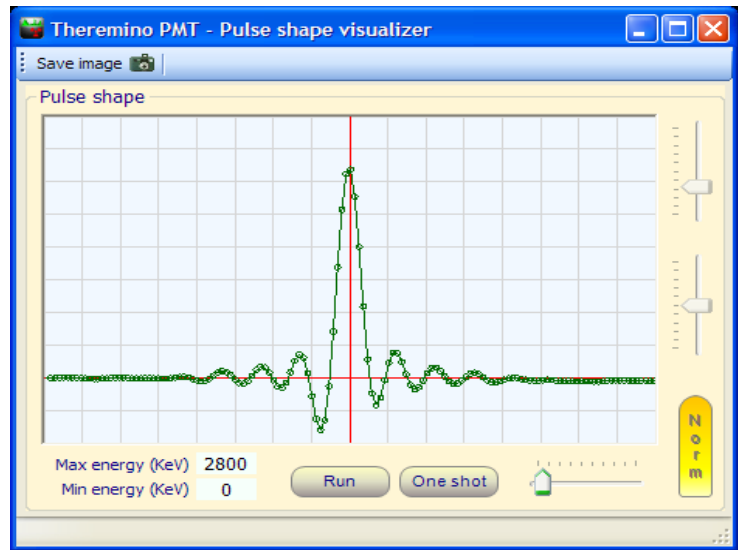
- La "Shape Recognition" riconosce che la forma è sbagliata e scarta ambedue gli impulsi.
- Il ThereminoMCA tratta correttamente il primo impulso e scarta solo il secondo.

Per ottenere un buon funzionamento della reiezione dei PileUp del ThereminoMCA si deve regolare il parametro "Dead time" con un valore in μs pari alla lunghezza degli impulsi, misurata dal centro dell'impulso verso destra, fino a che la tensione ritorna al livello di base. Nel dubbio è sempre bene usare un valore di DeadTime più alto, impostarlo sempre almeno a 250 μs o anche a 500 μs migliora lo spettro e non provoca che un rallentamento trascurabile.

La linea di base (Baseline Restoring)

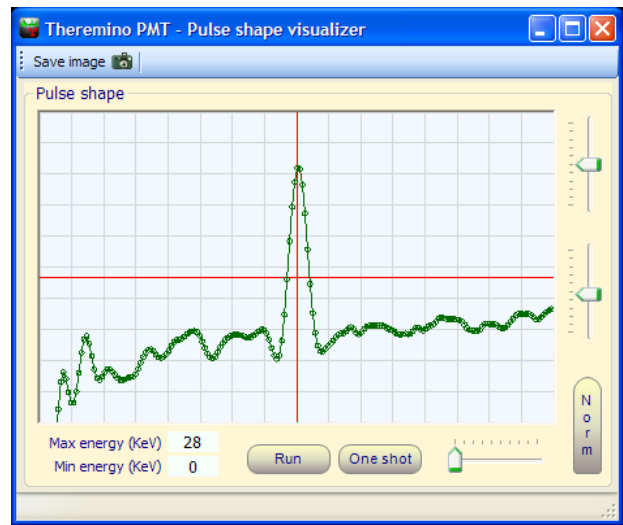
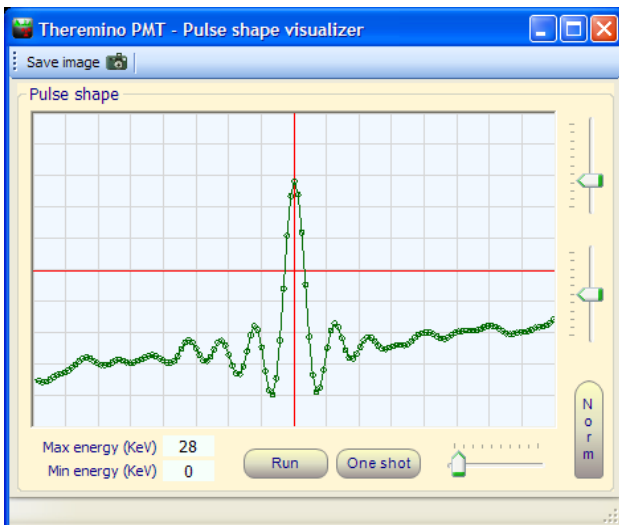
Farebbe piacere avere sempre impulsi ben allineati sulla linea di zero, come in questa immagine, ma pochi hardware riescono a tenere tutti gli impulsi al loro posto.

Per avere la linea di base sempre ferma tutta la catena del segnale dovrebbe lavorare completamente in continua, senza nessun condensatore di disaccoppiamento. Non si tratta solo della scheda audio ma anche dei condensatore di disaccoppiamento dell'alta tensione.



D'altra parte un accoppiamento totalmente in continua provocherebbe molti problemi, tra cui lo spostamento della linea di base dallo zero al variare della temperatura.

Pertanto dovremo convivere con una linea di base instabile come nelle prossime due immagini.



La "BaseLine" tende ad abbassarsi quando ci sono molti impulsi e ad alzarsi nelle pause tra gli impulsi.

Come risultato gli impulsi vengono misurati con energia più bassa del reale (solo la parte che spunta sopra alla riga rossa) e questo provoca un allargamento delle righe verso sinistra e un innalzamento del tappeto di rumore sulla parte sinistra delle righe.

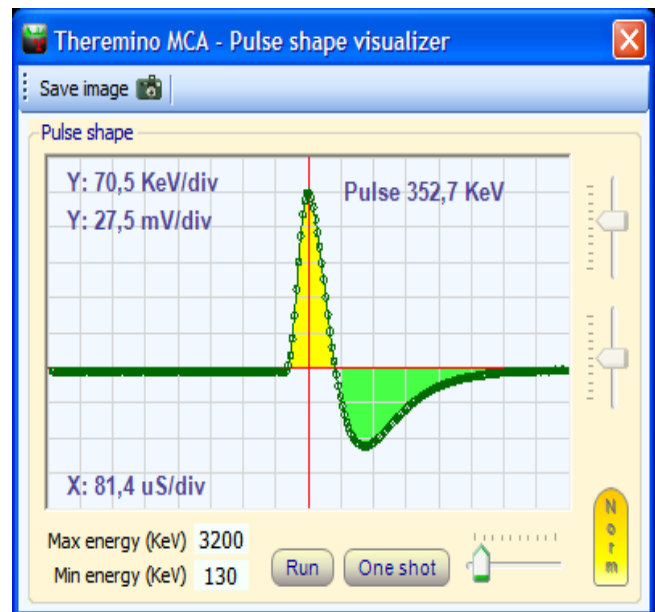
Gli impulsi bipolari

Per minimizzare gli spostamenti della linea di base anche con circuiti di ingresso accoppiati in alternata è bene usare "Impulsi bipolari"

Gli impulsi "bipolari" sono caratterizzati da una zona di segnale negativo che segue l'impulso principale positivo.

La prima parte (positiva) e la seconda parte (negativa) **devono avere la stessa area**.

Questo tipo di segnale si ottiene partendo da un segnale positivo "senza undershoot" e aggiungendo un filtro passa alto a 6dB per ottava con frequenza di taglio di circa 5 KHz.



Solo partendo da un segnale "senza undershoot" le aree positive e negative risultano uguali tra loro e si eliminano gli sbandamenti della linea di base.

Il filtro passa alto ha anche il benefico effetto di eliminare il rumore nella parte bassa dello spettro.

Un metodo di Baseline Restoring

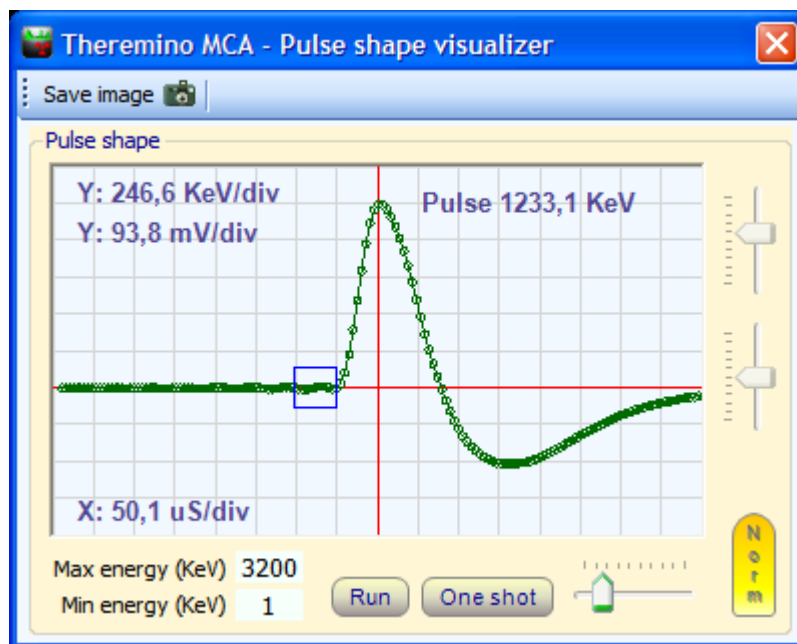
Dato che correggere la "linea di base" in hardware è difficile e molto costoso e si vorrebbero far funzionare bene anche gli hardware preesistenti, è bene che il software possa effettuare questa correzione.

Inoltre, anche i migliori filtri di segnale non producono una linea di base assolutamente stabile e una "correzione fine" è sempre utile.

Il punto migliore per misurare la tensione di zero della linea di base è la zona immediatamente prima dell'impulso.

ThereminoMCA fa la media di tutti i campioni per un certo numero di uS (definito da "Size"), che precede il centro dell'impulso di un certo numero di uS (definito da "Position")

La media di questi valori viene usata come "miglior stima" del livello di zero.



In questa immagine il rettangolo blu indica la zona dove viene effettuato il campionamento.

Tenendo conto che ogni quadretto vale circa 50uS si vede che il campionamento è stato impostato per un larghezza di 50uS e una distanza dal centro dell'impulso anch'essa di 50uS

Carenze del Baseline Restoring

Il metodo di integrare l'area immediatamente precedente all'impulso fornisce buoni risultati ma ha piccoli difetti, che potrebbero essere migliorati, con un guadagno probabile di un ulteriore punto percentuale di FWHM

Per migliorare la precisione del riconoscimento della tensione di "Baseline" si dovrebbe aumentare la dimensione dell'area di campionamento così da fare una buona media dei disturbi e dei "ringing" ma, purtroppo, allargando l'area il suo centro si allontana dall'impulso e questo causa imprecisioni quando la linea di base non è orizzontale.

Alcune soluzioni sono possibili per migliorare questo comportamento:

- 1) Dividere l'area di campionamento in due aree, misurare due medie separate e usarle per calcolare la pendenza della linea di base con cui correggere la posizione dell'impulso anche in presenza di forti pendenze della linea di base.
- 2) Trovare un algoritmo di confronto tra due serie numeriche che minimizzi gli scarti quadratici tra l'impulso in esame e un impulso di altezza fissa e che produca un singolo valore numerico che rappresenta il rapporto di altezza tra i due impulsi. Possibilmente questo algoritmo dovrebbe essere ottimizzato per la velocità.

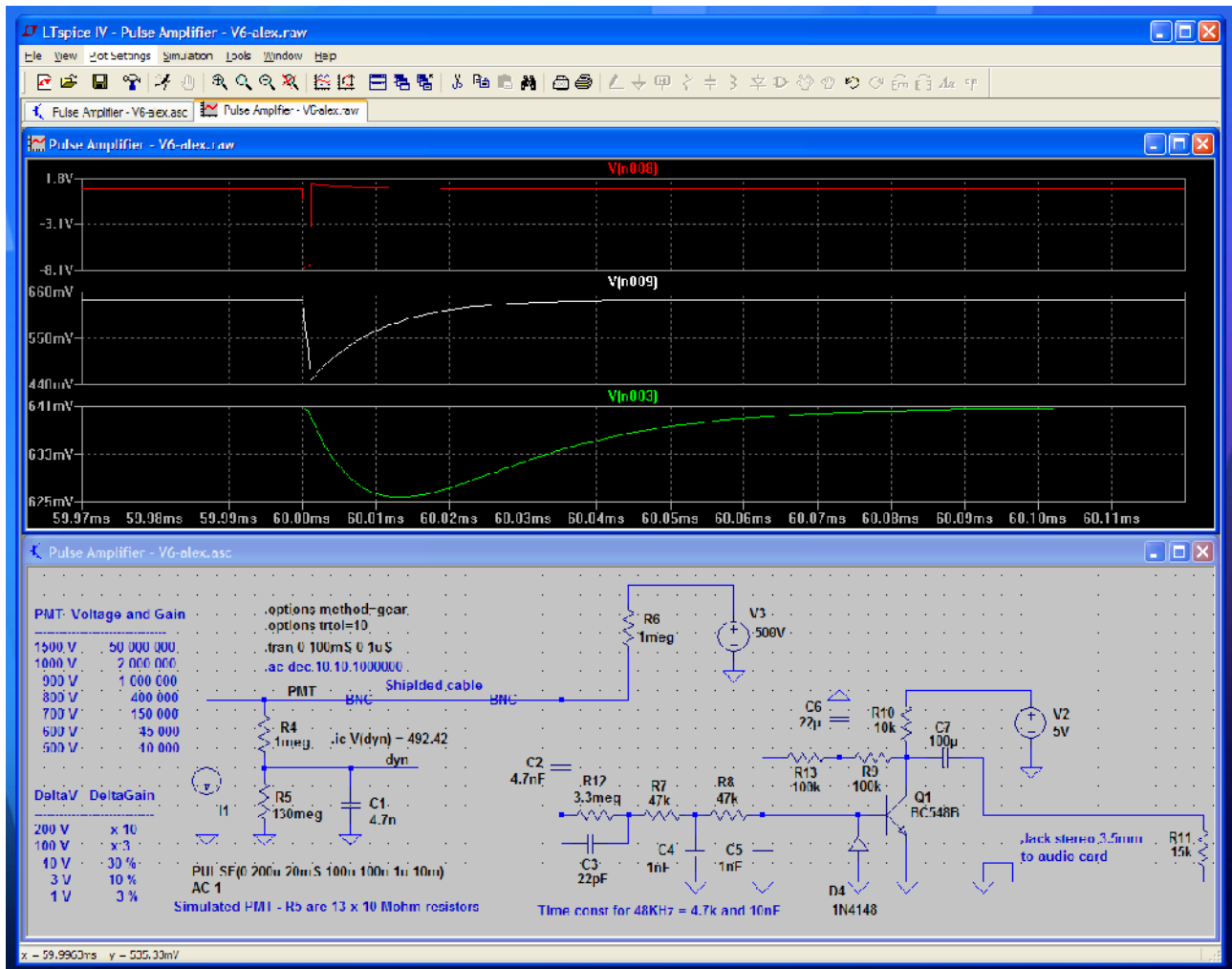
La larghezza degli impulsi

Gli impulsi in origine sono rettangolari e molto stretti (meno di un μs) ma basta un minimo di capacità (ad esempio 50 centimetri di cavo schermato) per allungarli a circa 10 μs .

Se inviamo questi impulsi alla scheda audio i loro fronti di salita ripidissimi ...



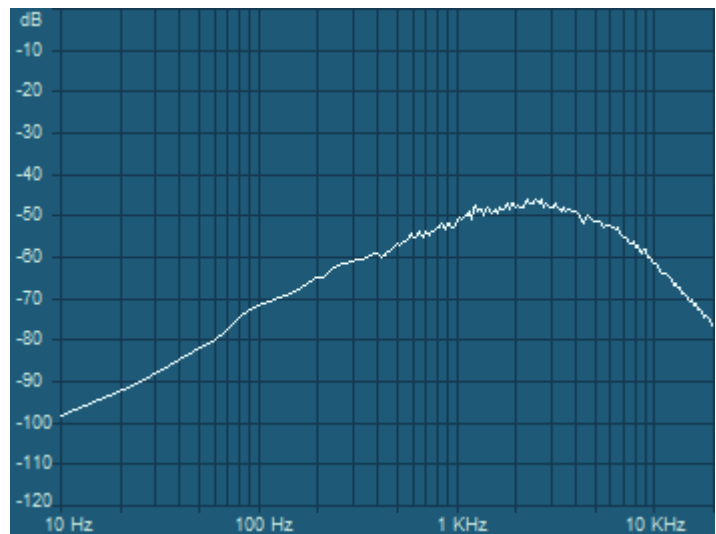
I filtri hardware di condizionamento del segnale



La banda passante

Visto in termini di banda passante il risultato di tutti i filtri e' il seguente:

- Massimo guadagno intorno ai 3 KHz
- Attenuazione di 18 dB/ottava oltre i 6 KHz in modo che elimina i disturbi ad alta frequenza, rallenta il fronte di salita e quindi riduce al minimo il "ringing" generato dalla scheda audio.
- Attenuazione di 6dB per ottava sotto i 3 KHz che elimina i disturbi a bassa frequenza e abbatte (di ben 35 dB !) l'eventuale ronzio a frequenza di rete.



Questa immagine rappresenta l'energia degli impulsi alle varie frequenze ed è stata prodotta con un campione di cesio per avere impulsi al secondo (oltre 600) e con il DAA impostato per integrare nel tempo il grafico di risposta in frequenza (parametro "speed" quasi al minimo)

Il rumore causato dall'alimentatore

Il tubo foto-moltiplicatore ha un consumo molto basso e costante, alimentatelo attraverso due o tre celle da 1 MegaOhm + condensatore da 47 nF e tutto il rumore dell'alimentatore sparirà.

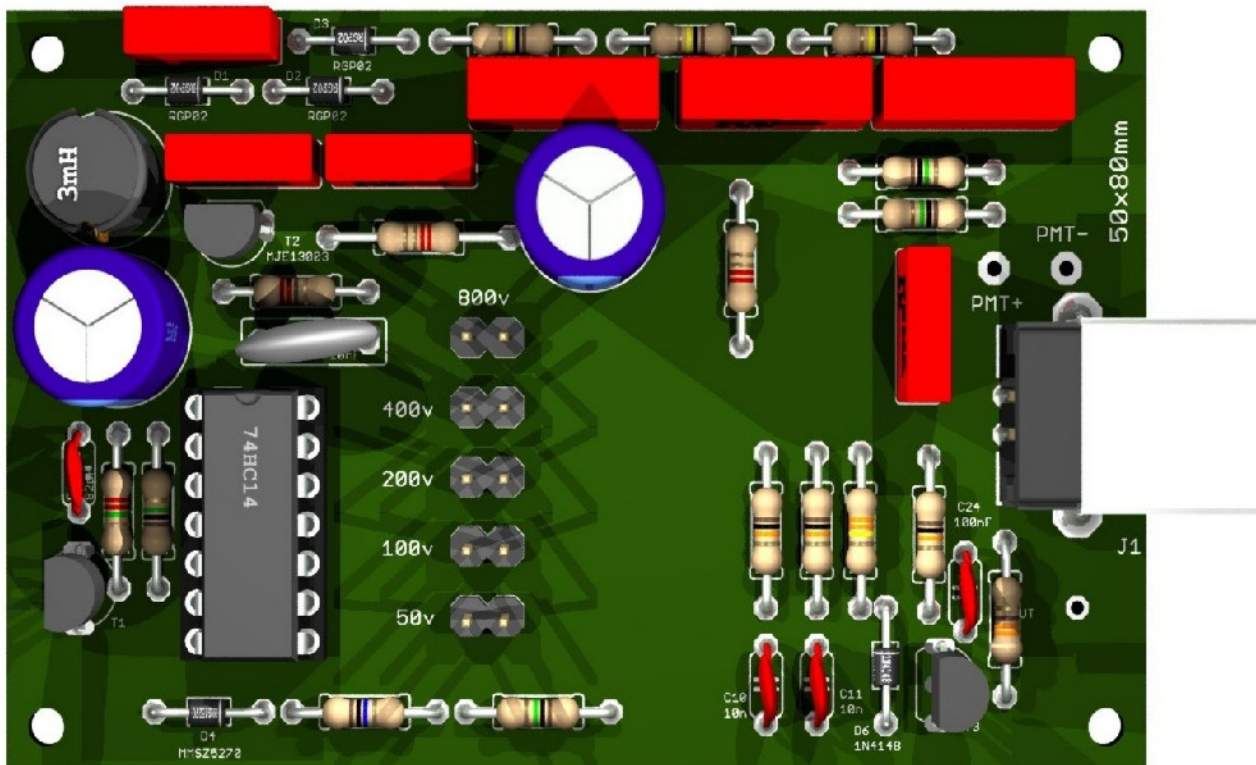
Se non sparisce allora passa attraverso l'aria per la piccola capacità che c'è tra i componenti dell'alimentatore e quelli del circuito del segnale audio, in questo caso si devono separare le due parti con schermi metallici in alluminio o rame.

Se ancora il rumore dell'alimentatore non va via può essere dovuto a un "loop di massa" cioè troppe masse e disposte male. In questi casi può anche aiutare molto aggiungere un grosso elettrolitico (1000 uF o più) sui due fili di alimentazione dell'alimentatore.



II Theremino_PmtAdapter

... in costruzione ...



Stiamo preparando questo alimentatore e condizionatore del segnale che risolve tutti i problemi delle pagine precedenti, non ha ringing e produce un segnale con un rumore bassissimo.

A differenza di molti alimentatori commerciali, non stabilizzati, che richiedono dieci minuti di preriscaldamento, il Theremino_PmtAdapter contiene un circuito di retroazione in grado di mantenere la tensione stabile anche in presenza di forti variazioni della temperatura. In questo modo la taratura rimane precisa nel tempo e le righe degli isotopi non si spostano e non si allargano.