

Progettazioni DAC Delta-Sigma VS DAC R2R Non-oversampling (NOS)

Una riflessione sui concetti di conversione da digitale ad analogico basata su teoria e pratica

del Dott. Slawa Roschkow di SW1X Design, traduzione ed adattamento di [Gianluca Vignini / Percorsi Stereo](#)

C'è un dibattito senza fine sull'argomento : meglio i progetti DAC **Delta-Sigma** (ESS Sabre, AKM, CS, Wolfson ed altri) o **R2R** (scale di resistenze, Philips TDA, BurrBrown PCM, SW1X, discreti di nuova generazione come [Sonnet](#), Denafrips ed altri)? Anzitutto bisogna dire che non ha un valore assoluto stabilire quale sia migliore perché c'è **un numero infinito di variabili nella progettazione e costruzione di un DAC**. L'analogia sarebbe dimostrare che tutte le mele sono migliori delle pere. Per suffragare qualsiasi affermazione sarebbe necessario confrontare il suono tipico di un progetto DAC Delta-Sigma con quello di un progetto DAC R2R ben realizzato (senza sovracampionamento e senza filtro digitale). Coloro che hanno provato un buon DAC R2R NOS senza filtri come il popolare PHILIPS TDA1543 conoscono bene il suo carattere musicale e naturale. Detto questo non dimentichiamo che non si tratta solo della tipologia di DAC. Ciò che lo circonda è altrettanto importante, se non più importante : pensiamo ad alimentatori, stadio di conversione I/V, ricevitore SPDIF / USB / I2S e lo stadio di uscita. E c'è di più : il design del circuito, la scelta e la combinazione dei componenti attorno al chip DAC e, ultimo ma non meno importante, il trasferimento del segnale digitale che ha un ruolo cruciale. Tutti questi fattori possono avere un impatto enorme tra un qualsiasi DAC ed un altro.

Il progetto di un DAC R2R con particolare enfasi sul non-oversampling (senza filtro di segnale digitale o manipolazione di qualsiasi tipo) suona in modo completamente diverso dallo stesso DAC R2R a cui sia applicato un filtraggio digitale o noise-shaping (modellamento del rumore) attuato da circuiti DSP o FPGA. Nel giusto design, un ottimo DAC R2R in modalità NOS Non-OverSampling presenta la musica in modo più profondo, organico e naturale di qualsiasi DAC Delta-Sigma. Un'affermazione che comprendiamo essere importante, ma procediamo ad analizzare la questione.

L'analogia è simile al confronto di immagini scattate con A) una fotocamera dotata di un obiettivo ottico adeguato che equipariamo ad DAC R2R non-oversampling e B) con una fotocamera dotata di uno zoom digitale e tanta post-elaborazione (DAC Delta-Sigma). Le foto scattate con A hanno profondità, sono più naturali nelle texture ed hanno sfumature più coerenti. Non c'è alcuna post-

elaborazione e tutti i dati originali vengono presentati più o meno come catturati. Le foto scattate con B sono più piatte, le texture sono più sintetiche ed i dettagli sono più taglienti poiché la post-elaborazione è stata applicata per interpolare i dati ed il risultato dipende fortemente dall'algoritmo di post-elaborazione utilizzato. Lo stesso vale per la presentazione sonora. C'è ovviamente molto più da dire sulla differenza tra DAC R2R e Delta-Sigma, ma nel complesso è un'analogia valida fin quando tutte le altre variabili di progetto siano mantenute uguali.

È vero, le specifiche dei chip Delta-Sigma sulla carta potrebbero essere superiori. In pratica, tuttavia, non sono paragonabili ad un R2R in quanto i numeri di precisione dichiarati per i DAC Delta-Sigma sono **post-modulazione** (dopo che è stato applicato il filtraggio digitale) e non sono sempre realmente ottenibili per vari motivi (come la qualità degli alimentatori e le imperfezioni di componenti e dei materiali) anche se la registrazione arriva al DAC in PCM HD o in DSD. Bisogna ammettere che il sovracampionamento, la demodulazione e il noise-shaping sono concetti intelligenti per manipolare il segnale digitale che trasporta le informazioni musicali. Eppure a conti fatti non sono indolore : *tutta la manipolazione del segnale digitale ha un costo che si paga in termini di musicalità*. Poiché parte del processo di conversione Delta-Sigma (simile agli alimentatori switching) è un rumore rosa ad alta frequenza, esso richiede molto filtraggio digitale o sovracampionamento e modellamento del rumore. In sostanza, il campionamento è un processo correttivo, che deve ordinare i dati digitali nel segnale e ottenere bit che non fanno parte del flusso dati originale. Questi bit sono un'informazione che non abbiamo (che non fa parte della registrazione) quindi devono essere inventati con un processo chiamato *interpolazione* e poi filtrati in base alla forma del rumore. Il processo di modellamento rumore e sovracampionamento consiste nell'aggiunta di informazioni artificiali non presenti nei campioni originali. Tutto il rumore (ecco da dove deriva il nome “*noise-shaping*”) composto da artefatti di campioni aggiuntivi *viene filtrato con un demodulatore* che si basa sui dati originali ridotti per mezzo di un **loop di feedback negativo**. La risoluzione dichiarata di un DAC Delta-Sigma è del suo demodulatore dopo tutto il filtraggio digitale e non del flusso di dati stesso (che non è altro che rumore). In poche parole, tutti i DAC Delta-Sigma producono rumore filtrato che richiede demodulazione e che percepiamo come un suono dopo l'applicazione di un filtraggio digitale correttivo (in sovracampionamento). Ora, quel suono potrebbe essere percepito dal nostro cervello come chiaro e dettagliato, tuttavia allo stesso tempo la musica tende a suonare sintetica e piatta, senza coerenza e precisione qualunque algoritmo di interpolazione sia usato. La musica infatti è più di una semplice raccolta di suoni ricostruiti dal rumore.

Il concetto di feedback negativo e il suo effetto devastante sulla musica possono essere trovati a [questo link](#) che porta ad un articolo (al momento in inglese) di Peter Qvortrup.

La musica è definita da una stretta relazione tra segnale e tempo. Se il segnale musicale viene alterato rispetto al suo dominio del tempo a malapena si può chiamare il suono risultante "musica". Qualsiasi spostamento nella relazione tra il segnale e il suo dominio temporale è chiamato “distorsione di fase (tempo) / ampiezza del segnale” (o **Jitter** nel dominio digitale). La causa principale della distorsione di fase è l'uso deliberato del filtraggio, di filtri di ordine superiore e del circuito di feedback negativo al fine di ottenere una migliore linearità. In termini di distorsione i progetti DAC Delta-Sigma distorcono le informazioni musicali in ogni momento a differenza di un DAC R2R NOS. L'effetto della distorsione di fase ed ampiezza è evidente se si confronta

l'amplificazione di Classe A *con* Feedback Negativo (NFB) e *senza*. Il suono è più lineare con l'applicazione del Feedback Negativo e suona in modo piacevole, ma anche sempre allo stesso modo, con mancanza di coerenza, di armoniche e di vera dinamica e quindi non riesce a coinvolgerci emotivamente. E questa è l'area in cui i progetti DAC Delta-Sigma falliscono.

Tutti i convertitori Digitali>Analogici (indipendentemente dal tipo) sono tutt'altro che perfetti. In teoria e in pratica, la conversione digitale può solo approssimare le onde sinusoidali analogiche con precisioni teoriche dichiarate. Tuttavia ciò non significa che dobbiamo rinunciare al concetto di digitale. In pratica entrambi i progetti R2R e Delta-Sigma hanno errori di quantizzazione effettivi maggiori di quelli indicati nelle loro schede tecniche. Teoricamente gli errori del convertitore R2R sono in media maggiori a causa dell'apparente limitazione della profondità di bit. In pratica però i DAC Delta-Sigma hanno un rumore di quantizzazione più elevato e quindi è perfettamente possibile che un chip R2R correttamente implementato possa essere meno errato di un chip Delta-Sigma (argomento per ingegneri elettronici). Tuttavia non confondiamoci adesso con diversi argomenti. ***Uno dei fattori chiave per un suono naturale è la mancanza di qualsiasi manipolazione nel dominio digitale, ovvero l'assenza di filtraggio digitale e quindi di un design non-sovracampionato. Questo è un buon punto di partenza.*** Può esserci una piccola differenza circuitale tra un R2R sovracampionato (esistono!) ed i progetti R2R NOS senza sovracampionamento e senza filtro digitale, ***tuttavia c'è un'enorme differenza tra questi progetti in termini di come suona la musica.*** Si può avere un design R2R con sovracampionamento e non sarà molto migliore di un DAC Delta-Sigma a causa del filtraggio digitale coinvolto. In effetti, la maggior parte dei lettori CD basati sul DAC R2R PHILIPS TDA1541, 1543, 1545, etc.. erano dotati di sovracampionamento, di solito con un chip PHILIPS SAA7322 ed è questo forse il motivo per cui la maggior parte delle persone pensa che quei vecchi R2R “non siano nulla di speciale”.

A differenza di tutti i design filtrati digitalmente (indipendentemente dal fatto che siano basati su DAC Delta-Sigma o R2R) i DAC NOS (senza filtro digitale) R2R hanno un approccio completamente diverso : suonano molto più naturali e musicalmente più vivi di qualsiasi DAC Delta-Sigma (ESS, AK, CS, Wolfson per fare alcuni nomi) con filtri digitali ed un loop di feedback correttivo ereditato dal suo stesso design.

Tuttavia bisogna ammettere che non esiste un design DAC senza punti deboli ed anche i progetti NOS R2R hanno i loro punti deboli. Uno di questi è la percepita mancanza di risoluzione. Questa debolezza può essere effettivamente trasformata in forza con condensatori audio accuratamente selezionati, a bassa distorsione, schede PCB ottimizzate e conversione I/V adeguatamente progettata. E' fondamentale utilizzare solo i migliori condensatori e resistenze attorno ai chip DAC R2R NOS in modo da esaltarne al massimo la reale risoluzione. In questo modo il NOS R2R non è in alcun modo inferiore al Delta-Sigma in termini di dettaglio sonoro e si potrebbe dire perfino il contrario. Potremmo anche dire che alcuni progetti NOS R2R potrebbero facilmente superare qualsiasi moderno Delta-Sigma, anche con quelli con risoluzione dichiarata di 32bit (attenzione, è la risoluzione *del demodulatore, del modellamento del rumore e dell'interpolazione!*). Inoltre (e questo vale per tutti i tipi di DAC) una regolazione di tensione di alta qualità, la rettificazione a basso rumore e un'attenta messa a punto del circuito integrato del ricevitore SPDIF portano ad un suono più trasparente e differenziato. Infine molto importanti sono l'energia e la dinamica percepite : la scelta dei materiali e dei componenti, la tecnica di conversione I/V e la scelta dello

stadio di uscita sono coinvolti in queste caratteristiche sonore e bisogna porre molta attenzione e bravura nella progettazione.

La parte successiva è un approfondimento sulla mancata *corrispondenza di impedenza* che può affliggere un DAC in due punti cruciali del circuito.

Il problema della *mancata corrispondenza di impedenza è fondamentale in due punti del progetto di un DAC* : **A)** tra la corrente in uscita dal chip DAC e la conversione da corrente a tensione (I/V o I/U) **B)** tra lo stadio di uscita del DAC e l'ingresso del preamplificatore o amplificatore integrato/di potenza.

L'approccio più comune per gestire l'uscita dal chip DAC consiste nell'utilizzare una resistenza in parallelo passiva come convertitore I/V (ciò è possibile con i DAC R2R ed impossibile con i Delta-Sigma). Questo approccio funziona bene, ma presenta degli inconvenienti : la resistenza in parallelo peggiora ulteriormente la corrispondenza di impedenza e sottrae energia, quindi parte della dinamica viene persa irreversibilmente e tutte le fasi successive mancano di "drive", energia. **La soluzione c'è** : affrontiamo il **punto A)** utilizzando un singolo transistor che fa il lavoro di conversione I/V, abbassa l'impedenza di uscita dopo lo stadio I/V (il chip DAC vede solo un'impedenza di ingresso di 10 Ohm) e conserva la dinamica. Inoltre, questo approccio ci consente di utilizzare uno stadio di uscita valvolare a zero feedback in Classe A semplice ed elegante con bassa impedenza di uscita risolvendo anche il problema del disadattamento di impedenza nel **punto B)**. Inoltre il circuito rimane raffinato e lineare e rende la musica viva con una dinamica incredibile e un'estrema fluidità analogica.

Quindi la domanda è : qual'è veramente il migliore? Un DAC NOS R2R caratterizzato da grande energia, conversione in "real time" basata su un network di resistenze che lavora alla risoluzione nativa del file musicale con tutte le imperfezioni dei dati originali oppure un DAC Delta-Sigma che produce rumore rosa filtrato di 1 bit (o più bit) manipolato da un algoritmo intelligente con tutti gli artefatti corrispondenti e la distorsione di fase/ampiezza del segnale? La risposta alla domanda potrebbe giungere dopo un'approfondita valutazione critica basata su sedute di ascolto. Ma lasciateci esprimere la nostra opinione : dipende anche dal fatto che si voglia ascoltare *musica* o *suoni*. Secondo noi, **la musica è un continuum temporale dall'inizio alla fine** che una volta interrotto è irreparabilmente danneggiato senza che alcuna manipolazione digitale possa ripristinarlo.

Alcuni considerano il classico DAC Philips TDA1543 o il TDA1541 e molti altri DAC basati su reti di resistenze R2R come obsoleti. Ciò può essere giustificato data l'età, tuttavia il DAC R2R è tutt'altro che obsoleto. I DAC R2R a zero sovracampionamento non potranno mai essere obsoleti *se suonano alla grande*. Sarebbe un errore cancellare il DAC R2R solo perché "non è la tecnologia più moderna". Il DAC senza sovracampionamento è di sua natura molto musicale e dal suono analogico (caratteristiche che spiccano confrontandolo con tutti i moderni tipi di DAC Delta-Sigma) anche con una scelta non ottimale dei componenti e del design circuitale. Tuttavia, il DAC stesso è solo un punto di partenza poiché il resto del circuito può "portarlo alle stelle o farlo precipitare". L'implementazione del circuito è ancora più critica del DAC stesso. Il motivo principale del pregiudizio è che molte persone non hanno sentito l'implementazione non sovracampionata (zero filtro digitale) al suo top. È interessante vedere come una tecnologia iper consolidata come la conversione DAC R2R basata su tecniche "classiche" si paragoni favorevolmente con le tecnologie

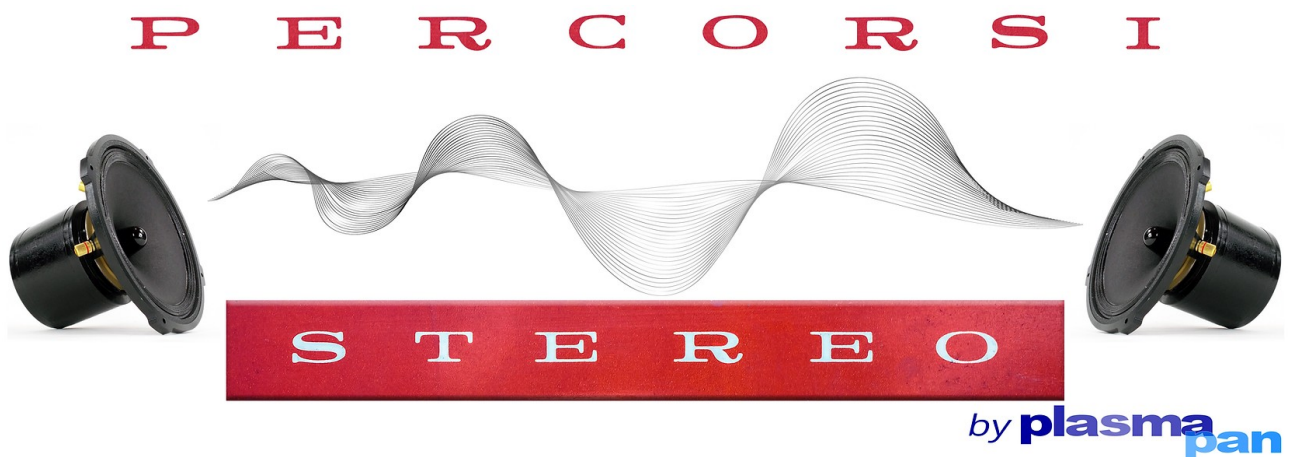
più moderne e convenienti di tipo *bitstream*, cioè la Delta-Sigma (nonché DSD) che si basano su filtri digitali che tolgono *l'anima alla musica*. C'è una grande differenza nel modo in cui entrambe le tecnologie presentano le informazioni spaziali, dinamiche e armoniche. Il timbro è molto più naturale e preciso su progetti non sovracampionati mentre tutto suona troppo piatto ed omogeneo con i DAC sovracampionati. Questo è uno dei motivi per cui la tecnologia Delta-Sigma non è nei nostri piani.

Dott. Slawa Roschkow, Londra

Titolare SW1X Design

Una lista di DAC R2R (la maggior parte Non-OverSampling) :

percorsistereo.com/percorsi-stereo-lista-dac-hifi-r2r-scala-resistenze



www.percorsistereo.com

P E R C O R S I



www.percorsistereo.com

Tel. 071895301 / 3351448229

Demoroom Ancona

HiFi ed Home Cinema