

## INTRODUZIONE

Nella prima parte dell'articolo sulle amplificazione abbiamo passato in rassegna molti degli aspetti legati alle amplificazione, non solo a stato solido. Si è trattato di una sorta di escursione orizzontale, un volo radente sul molti degli aspetti coinvolti.

In questa seconda fase è mia intenzione entrare più in dettaglio partendo dall'analisi e dal dimensionamento di una circuitazione molto semplice, in modo da avvicinarsi di più all'intima natura dei fenomeni coinvolti.

Nessuno di chi legge, molto probabilmente sarà interessato ad arrivare autonomamente alla progettazione di un amplificatore, e d'altra parte non è questo lo scopo del presente articolo; ritengo tuttavia che un approfondimento in "verticale" possa servire come esempio, come metodo, per arrivare a comprendere come la reale natura degli eventi sia ben più profonda e variegata di quanto la conoscenza superficiale faccia supporre.

Purtroppo viviamo in un contesto ove invece la spinta collettiva è verso la banalizzazione, l'esemplificazione e l'impoverimento: gli spazi di reale approfondimento, là dove si entra veramente nel merito delle cose è lasciato sempre di più alla buona volontà del singolo individuo.

Nel settore della riproduzione sonora hi-fi, la situazione non è per nulla diversa, se non addirittura il contrario. I molti si sentono (anche in assoluta buona fede) competenti su ogni argomento, solo per il fatto di avere letto o intercettato qualche opinione; senza magari avere però mai sperimentato di persona in modo serio le cose di cui parlano. Un mio conoscente medico, forse un poco tenero col prossimo, diceva che le persone che si curano da sole meriterebbero di morire per un errore di stampa, ad esempio per avere assunto 10 kg di aspirina anziché 10 mg. Noi non vogliamo arrivare a tanto, ma un po' di realismo sulla natura della propria conoscenza non può che essere utile anche nel nostre settore.

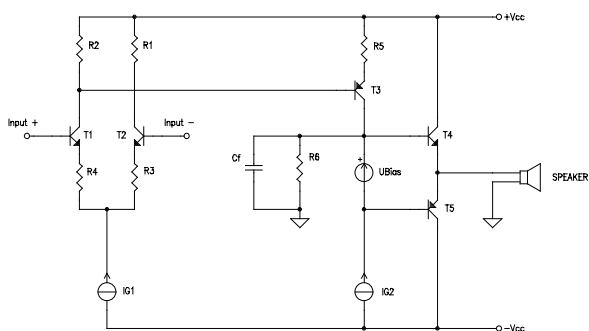


FIG.1

Tornando a noi, in figura 1 è rappresentata la circuitazione che ci farà da cavia e ci accompagnerà in questo esempio. Si tratta di una circuitazione molto semplice, ma realmente molto diffusa e tuttora utilizzata (come schema di principio) in molti amplificatori. In essa, e nelle considerazioni che faremo in seguito, per semplicità sono state poste alcune semplificazioni:

- 1 - Non sono rappresentate le reti di polarizzazione
- 2 - Sia analizza il solo comportamento in AC (corrente alternata, ovvero il segnale utile)
- 3 - Le compensazioni in frequenza per la stabilità sono state omesse
- 4 - Il comportamento dei dispositivi attivi (transistor) viene semplificato come ideale.

Chi ben conosce l'elettronica non si scandalizzi di queste semplificazioni, ma tenga presente allo scopo di questo articolo.

I transistor T1,T2, costituiscono lo stadio di ingresso differenziale. Il segnale da amplificare viene applicato alla base di T1 mentre la base di T2 si può però ora ritenere a massa. Questa circuitazione viene chiamata differenziale in quanto essa amplifica solo la differenza fra le tensioni applicate alla basi dei due transistor T1, T2. Se poniamo la base di T2 a massa, il segnale differenziale sarà costituito da tutto il segnale di ingresso, nella sua componente sia positiva che negativa. Il generatore di corrente costante IG1 alimenta questo stadio con una corrente continua di valore costante, indipendente dal segnale applicato.

La amplificazione del segnale della coppia T1, T2 si traduce in una variazione della corrente che fluisce in ognuno dei due transistor, rispetto al valore di equilibrio (Bias) . Supponiamo che IG1 valga 2 mA, avremo una corrente di 1 mA per ogni ramo del differenziale. Al massimo dall'amplificazione, con un segnale positivo, T1 potrà assorbire 2 mA e T2 0 mA. Viceversa con un segnale di ingresso con polarità negativa.

Il guadagno in tensione di questo stadio è dato dal rapporto fra la tensione utile amplificata prelevata ai capi della resistenza R2 ed il valore del segnale di ingresso. Questo valore di amplificazione si può ritenere in prima prossima approssimazione uguale al rapporto fra le resistenze R2 / R3. Per simmetria è

facile intuire che R1 ed R2 hanno sempre valore fra di loro uguali (così come R3 e R4).

Siamo giunti al primo nodo da sciogliere, ovvero che guadagno assegnare a questo stadio? Certamente non potrà mai essere molto alto, perché R1, R2 devono avere valori compatibili con il funzionamento del secondo stadio; se diamo a R1, R2 valori elevati per avere alti guadagni (ad esempio 10 Kohm) avremo una polarizzazione in continua di 10V su R1, R2 che inizia essere elevata in quanto riduce le dinamiche in tensione disponibile in uscita. Valori consueti sono dell'ordine di qualche Kohm (1 - 5 Kohm). Anche R3, R4 hanno influenza sul guadagno, valori elevati, ad esempio 1Kohm aumentano la reazione locale e migliorano la linearità, valori bassi aumentano il guadagno tenendo presente però che il transistor T1, T2 già possiedono una resistenza interna intrinseca dell'ordine di 50-100 ohm per cui scendere sotto questo valore è impossibile. Se ne deduce che guadagno di questo stadio può andare da 1 a 100 volte (0 - 40 dB). Un valore tipico reale può essere di 15 - 30 dB.

T3 rappresenta il secondo stadio di guadagno in tensione. La tensione amplificata dal primo stadio, disponibile sulla resistenza R2, viene applicata alla sua base. Il guadagno di questo stadio è anche in questo caso dato dal rapporto fra le resistenze R6 e R5. A causa dei problemi di polarizzazione in corrente continua, ovvero dalla quantità di corrente costante generata dal generatore IG2 (5 - 50 mA) per R5 la scelta dei valori è relativamente limitata, si oscilla fra i 50 -100 ohm minimi intrinseci del transistor se poniamo R5=0, al valore di qualche centinaio di ohm (500 ohm). Per la resistenza R6 invece la situazione è ben diversa e concede ampi margini di manovra, al punto che si può andare dal valore di qualche Kohm (5 - 10 Kohm) fino a valori teoricamente infiniti nel caso che R6 sia omessa. Teoricamente se R6 viene omessa, il guadagno diventa infinito. In pratica anche in assenza di R6 esiste una sorta di R6 parassita chiamata resistenza di uscita del transistor T3. Essa è comunque molta alta, dell'ordine di alcuni Mohm; se ne deduce che il guadagno di questo secondo stadio può andare da 10 a 100.000 volte (20 - 100 dB) coprendo una range veramente molto grande. Vedremo più avanti come amministrare questo range di guadagno.

T4, T5 rappresentano lo stadio di uscita di potenza in configurazione a inseguitori di emettitore. Il guadagno in tensione è unitario (0 dB) servendo "solo" da adattamento di impedenza per fornire al carico la corrente che esso richiede in relazione alla tensione di uscita. Il generatore di tensione Ubias si occupa di polarizzare i transistor di uscita con la quantità di corrente di bias richiesta per il problema legato alla distorsione di incrocio.

Ritornando al guadagno in tensione, abbiamo visto che il primo stadio ci offre un range di 0 - 40 dB mentre il secondo stadio una range potenziale di 20-100 dB. Sommando questi due valori otteniamo un range

ipotetico che oscilla da 20 a 140 dB. Nel caso di un amplificatore di potenza un guadagno operativo (In / Out) di 30 dB si può considerare come una situazione tipica. Eccoci giunti ad uno dei nodi più importanti da sciogliere: ovvero, si vuole ottenere un guadagno complessivo operativo di 30 dB, mentre il guadagno offerto dal circuito ci offre una possibilità di scelta fra 20 e 140 dB. Che fare quindi ora?

Qualcuno forse si stupirà della domanda, dando per scontato il fatto che dato che si vuole ottenere un guadagno finale di 30 dB, allora sarà sufficiente dimensionare per 30 dB il circuito. Al più si tratterà di stabilire come suddividere questo valore fra il primo e secondo stadio.

Ecco quindi inventato l'amplificatore senza contrazione! cioè l'amplificatore dove il guadagno dei vari stadi è solo quello che serve a dare complessivamente il guadagno finale voluto.

Qualcun altro invece potrà trovare strano che anche con un amplificatore da 100 dB si possa ottenere un guadagno operativo di 30 dB.

Questo è reso possibile attraverso la reazione di anello.

Il funzionamento di questo meccanismo è abbastanza semplice, ma veramente geniale. Abbiamo visto come il primo stadio si chiami differenziale perché amplifica le differenze di segnale esistente fra le base dei due transistor di ingresso. Sarà quindi sufficiente anziché applicare ad esse tutta la ampiezza del segnale di ingresso, applicare solo una parte più piccola per ottenere un minore guadagno di amplificazione complessiva. Il vero colpo di genio della controeazione, è che anziché semplicemente applicare al transistor di ingresso T1 una porzione attenuata (ridotta) del segnale da amplificare, ad esso si applica tutta la tensione di ingresso, mentre al suo complementare T2 si applica una porzione attenuata dal segnale di uscita (replica di quello di ingresso, ma più grande per via dell'amplificazione che ha subito). In questo modo lo stadio differenziale di ingresso vede come segnale da amplificare non tutto il segnale di ingresso ma bensì la differenza fra quello di ingresso e quello di uscita (ridotto di ampiezza dalla rete di retroazione).

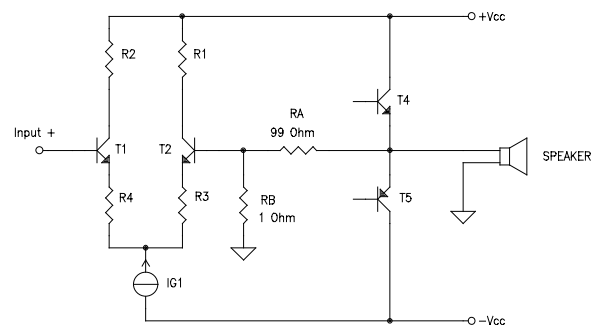


FIG.2

E' interessante osservare come la retroazione possieda la capacità intrinseca di compensare eventuali errori o perturbazioni. Immaginiamo per esempio che a causa dell'elevata corrente assorbita dal diffusore la tensione di uscita dall'amplificatore diminuisca; così facendo però diminuirebbe anche la tensione riportata alla base di T2 e quindi aumenterebbe la tensione differenziale fra le basi di T1 e T2. In conseguenza di questo fatto l'amplificatore quindi amplificherebbe di più esercitando una azione che si oppone alla perturbazione generata dal carico. In qualche modo si auto compenserebbe cercando di tenere fissa la tensione di uscita che invece stava per diminuire a causa dell'assorbimento. Del tutto analogo, seppure di segno opposto sarebbe la reazione che un circuito così strutturato nel caso in cui la tensione di uscita tendesse invece ad aumentare a causa ad esempio di una sovratensione generata dal movimento delle bobine degli altoparlanti. In questo caso la tensione differenziale vista dall'ingresso diminuirebbe, con la conseguenza di tendere a far diminuire la tensione di uscita.

Possiamo sintetizzare dicendo che un sistema dotato di retroazione, reagisce alle perturbazioni e da gli errori di amplificazione esercitando una azione che si oppone alla causa che la ha generata, con l'intento di mantenere costante il valore corretto.

Forse non è immediato comprendere il funzionamento teorico del sistema della retroazione di anello, ma una volta compreso esso è veramente geniale; verrebbe voglia di complimentarsi con chi per primo l'ha intuito.

A questo punto sarebbe interessante fare alcuni esempi numerici che illustrino meglio le proprietà della retroazione, ma i calcoli, seppure non particolarmente complessi, esulano forse dagli scopi del presente articolo, per cui arriviamo direttamente ad alcune considerazioni molto interessanti :

1 - In prima approssimazione la tensione di uscita dall'amplificatore retroazionato diventa indipendente dal guadagno intrinseco (ad anello aperto) e tende ad assumere il valore determinato da quella rete che riporta il di segnale dall'uscita all'ingresso.

Nel caso di fig. 2 questo valore è dato dalla formula  $G = (1 + R_a / R_b) = 1 + 99/1 = 100$  volte (40dB)

Se non ci fosse stato il meccanismo dell'anello di retroazione, il guadagno sarebbe stato invece quello intrinseco dell'amplificatore.

Fra i numerosi vantaggi offerti dalla tecnica di retroazione, ad esempio esiste il fatto che il valore di guadagno impostato dalla retroazione essendo determinato dal rapporto del valore di due resistenze, rimane molto stabile nel tempo e con la temperatura. Diversamente quello di anello aperto sarebbe molto variabile poiché le caratteristiche di guadagno dei semiconduttori variano di molto con la temperatura e (anche se di meno) con l'invecchiamento.

2 - Lo scarto fra il valore effettivo di uscita e quello teorico dato dalla rete di retroazione, tende a diminuire tanto più alto è il guadagno in intrinseco dell'amplificatore. È come se, attraverso il meccanismo della retroazione, il surplus di guadagno che l'amplificatore ha rispetto quanto richiesto effettivamente, servisse a migliorare la precisione con cui viene raggiunta ( e mantenuta in presenza di disturbi) la tensione teorica di uscita determinata dalla rete di retroazione.

Tornando al nostro circuito, il progettista ha quindi la possibilità di scegliere quanta controreazione dare all'amplificatore. Da un lato si potrà andare da una soluzione senza contro reazione, dimensionando esattamente a 30 dB il guadagno che serve (ad esempio 10 dB il primo stadio, 20 dB il secondo stadio). All'estremo opposto si potrà lasciare il massimo del guadagno (140 dB) affidando alla retroazione il compito di riportare a 30 dB il guadagno desiderato ad anello chiuso.

Quale è la soluzione migliore ?

Per la mia esperienza entrambi gli estremi hanno dei seri problemi.

La totale assenza di reazione di anello, porta parecchi problemi di stabilità dei punti di lavoro e di controllo della tensione in DC in uscita. Ma soprattutto è la variabilità di assorbimento di corrente da parte del carico che può causare una distorsione in uscita non piccola e facilmente udibile. Al estremo opposto, una elevata reazione può causare problemi di stabilità in frequenza, di saturazione troppo brusca e di fenomeni di intermodulazione all'interno dei vari stadi, se non dotati di sufficiente velocità.

La controreazione è uno strumento molto potente ma che come tutte le cose molto potenti può fare tanto bene quanto tanto male. Dipende dall'uso che se ne fa; come spesso nella vita, più che cosa è importante il come.

A mio avviso, volere realizzare apparecchi senza alcuna contro reazione di anello, diventa alle volte come un puro esercizio di stile, funzionalmente fine se stesso. E come il volersi incaponire a realizzare un orologio meccanico preciso (quasi) come uno al quarzo. Non me ne vogliono i collezionisti di orologi, ma se lo scopo è quello di avere l'ora precisa, ritengo più sensato affidarsi alla precisione di un orologio atomico. Allo stesso modo un apparecchio senza controreazione, che magari presa qualche quintale e scalda come due stufette elettriche, sarà molto affascinante, ma all'ascolto difficilmente potrà essere realmente neutro nel suo funzionamento.

D'altra parte anche l'uso di elevati tassi di contro reazione utilizzati come scorciatoia per mascherare carenze ed economie costruttive, avrà inevitabili ripercussioni all'ascolto.

Ancora una volta, non esistono scorciatoie; come in cucina, tutto è importante, la qualità delle materie prime, le tecniche di preparazione e la sensibilità del cuoco.

Un altro aspetto che vale la pena di trattare è quello della gestione delle correnti di uscita. Come abbiamo accennato nella prima parte di questo articolo, la corrente assorbita dal carico (diffusore) non è a priori prevedibile essendo determinata sia dalla tensione presente ai capi del carico e sia dalle sue caratteristiche di indipendenza (in modulo e in fase). D'altra parte l'amplificatore deve mantenere in uscita una replica fedele della tensione di ingresso, poiché qualunque variazione di essa, si tradurrebbe in una distorsione del segnale e sarebbe quindi avvertibile all'ascolto. È tornando al nostro schema di Fig.1, la corrente di uscita è fornita dai transistor T4, T5. Essi per fare questo hanno necessità di un'adeguata corrente di base che richiamano dallo stadio precedente, T3. Ciò comporta che il secondo stadio di guadagno, quello con il compito più gravoso, vede continuamente variare la sua corrente di polarizzazione a causa degli assorbimenti dei transistor finali T4, T5. La conseguenza è che le caratteristiche di amplificazione non sono più quelle teoriche costanti e stabili, ma estremamente variabili in relazione agli assorbimenti di corrente del diffusore. All'atto pratico può tradursi nei fenomeni che molti hanno sperimentato; in un suono che agli alti livelli diventa "duro", distorto e affaticante. Oppure in una non uniformità di comportamento ai vari livelli.

Come già accennato, si può ovviare questi problemi interponendo degli stadi driver fra il secondo stadio ed i finali. Il rovescio della medaglia è che si è inserito un elemento in più nella catena degli elementi che deve attraversare segnale audio. Purtroppo negli amplificatori con finali transistor bipolari non è praticamente possibile esimersi da questa scelta. È invece possibile nel caso di finali a MOS-FET, dato che il loro assorbimento di corrente è praticamente nullo. Non nulla, ma talvolta anzi molto grande è la capacità di ingresso dei transistor MOS-FET (ma anche i transistor bipolari di hanno queste capacità, pure se di valore diversi). A puro titolo di esemplificazione, possiamo rappresentare queste capacità parassite con una capacità  $C_f$  in parallelo alla resistenza  $R_6$ , ovvero alla resistenza che determina il guadagno del secondo stadio. Ciò causa un aspetto molto interessante; in frequenza il guadagno varia diminuendo all'aumentare della frequenza per effetto del cortocircuito a massa del segnale svolto dalla capacità parassite  $C_f$ .

La frequenza di taglio possiamo ritenere in prima approssimazione essere data dalla formula:

$$F_t = 1/(2\pi C_f R_6)$$

Con  $C_f=1$  nF,  $R_6=100$ Kohm, abbiamo  $F_t=1,6$  kHz

A questo punto qualcuno potrebbe rimanere perplesso, considerando che questa frequenza è ben più bassa di quella che solitamente si conosce come banda passante per gli amplificatori. La risposta sta nel fatto che si sta parlando di banda passante ad anello aperto, ovvero di amplificatore non ancora reazionato. La retroazione, diminuisce sì il guadagno, ma apparentemente aumenta la banda passante.

Apparentemente, perché in realtà la regolarizza; al aumentare della frequenza, oltre la frequenza di taglio  $F_t$  sopra citata, si avrà un progressivo ridursi del margine di contro reazione, fino alla frequenza in cui, diventando il guadagno di anello aperto paragonabile a quello di anello chiuso impostato dalla rete di reazione, la contro reazione non potrà più fare nulla, ed il guadagno è inesorabilmente inizierà a diminuire. La riduzione del tasso di contro reazione con all'aumentare della frequenza, riduce anche gli effetti "positivi" della contro reazione. Si assiste ad esempio al aumentare della distorsione di uscita e dalla diminuzione del fattore di smorzamento (capacità e di controllare il carico). È interessante osservare i poiché il guadagno del secondo stadio diminuisce con il diminuire del valore di  $R_6$ , mentre al contrario la banda passante aumenta (sempre al diminuire di  $R_6$ ) il loro prodotto resta costante. Ovvero il prodotto guadagno per banda passante, resta in prima approssimazione costante al variare del valore di  $R_6$ . Se si pensa all'enorme influenza che  $R_6$  ha sul valore di guadagno ad anello aperto ( 20 – 100 dB nel nostro esempio), questo fatto ha dell'incredibile.

Ed in effetti una volta chiusa l'anello di contro reazione, la reale banda passante non verrà più di tanto modificata dal variare di  $R_6$ . Al più si estende l'intervallo di frequenza entro cui resta costante il tasso di contro reazione, ma ciò si paga con una sua diminuzione come entità assoluta.

Ancora una volta verifichiamo che non esistono scorciatoie, trattandosi della classica coperta troppo corta. Se si coprono i piedi si scoprono le spalle, e viceversa. Un altro effetto della presenza della capacità parassite  $C_f$ , è quello di limitare lo slew-rate dell'amplificatore. Nel caso infatti di un segnale ad elevata velocità di salita o decisa (ad esempio onda quadra) la massima corrente disponibile per caricare la capacità  $C_f$ , è in prima approssimazione data da quella fornita dal generatore IG2. Ad esempio con una corrente di 10 mA e con  $C_f=1$ nF, abbiamo uno slew-rate di 10 V/ $\mu$ s. Valore non certo esorbitante. Ed in effetti, amplificatori finali con molti transistor di potenza presentano inevitabilmente elevate capacità parassite, e possono essere facilmente affetti da problemi di velocità e di banda passante. D'altro canto la presenza di molti dispositivi di potenza comporta un lay-out fisico per forza di cose non compatto, fatto questo che può portare a pericolose instabilità e tendenza all'oscillazione, se non si limita (talvolta in modo drastico) la banda passante. E l'amplificatore, che con le migliori intenzioni avevamo dotato di decine di

coppie di transistor finali, si trasforma così in un diesel aspirato, quanto a velocità di erogazione di potenza.

A questo punto lo spazio comincia a scarseggiare ma vale la pena di spendere due parole su un argomento molto importante, che è quello del rumore.

Il segnale audio nel suo attraversare un amplificatore, incontra sulla sua strada molti dispositivi fra attivi e passivi, tutti affetti dal problema di generare al loro interno del rumore. I dispositivi passivi (resistenze) generano rumore per effetto della agitazione termica; la quantità generata è teoricamente determinata da una formula ben precisa che dipende dalla temperatura e dalla valore di resistenza. A parte il caso di preamplificatori phono oppure microfonic, ordinariamente il contributo di rumore dei resistori non è particolarmente grave, e a parte progettazioni palesemente errate, può essere tenuto sotto controllo. Diverso è invece il rumore prodotto dai dispositivi attivi. Esso è molto variabile con la frequenza, e col tipo e natura di dispositivo utilizzato, così come pure è variabile in relazione alla correnti di bias con cui è fatto lavorare dispositivo. Alla fine questo comporta che all'uscita, sovrapposto al segnale audio esiste una componente più o meno grande di rumore (soffio). Fra i tanti effetti della controeazione esiste anche quello di poter ridurre il rumore di uscita (almeno nella banda passante ove essa ha effetto), però non può fare miracoli. Accade quindi che il segnale audio all'interno dell'amplificatore incontra delle sorgenti di rumore, ed in questo rumore alla volte si "perdono" anche porzioni di piccola entità del segnale stesso. Di piccola entità ma non di piccola importanza; ad esempio le informazioni di ambienta, la micro dinamica, le micro modulazioni in bassa frequenza, ecc. ecc. Ciò si avverte meglio negli ascolti a basso livello, dove talvolta il segnale di uscita sembra povero, privo di espressività, e per riguadagnare la situazione si è portati ad alzare il volume di ascolto. Anche ciò che viene comunemente chiamato "il silenzio fra le note", specie durante i transienti molto veloci, è legato alla problematica del rumore.

## Conclusioni

Più che concludere, interrompiamo; le cose da dire potrebbero essere ancora molte. Gli argomenti trattati, se pure importanti sono solo una parte di ciò che attiene al mondo delle amplificazione. Si tratta di argomenti tecnici molto specifici che non è possibile semplificare oltre un certo limite, pena la perdita di efficace di comunicazione. Al di là di ciò che ognuno può avere compreso nello specifico mi auguro che sia stato recepita una cosa ben più importante, ovvero una questione di metodo, di approccio.

In questo settore (ma la considerazione può essere estesa a molti altri ambiti della vita) le problematiche coinvolte sono molte, profonde e spesso interdipendenti. Per arrivare a conoscerle, comprenderle i saperle usare è necessario tempo, impegno ed apertura mentale. Certo, un appassionato di alta fedeltà non può diventare esperto in tutte le tematiche tecniche coinvolte, ma della ignoranza, della

passione e della buona fede possono approfittare in molti. Quindi leggete e informatevi, cercate di espandere la vostra conoscenza. Non lasciate che gli altri pensino e decidano per voi, ma siate nel contempo anche ben consapevoli dei limiti che possono avere le vostre idee, raramente basate sull'esperienza e sulla conoscenza diretta. Abbiate quindi il coraggio di cambiarle quando è il caso.

# LA CONTROREAZIONE

Della controreazione in questi ultimi anni si è parlato molto, quasi sempre in termini negativi, come se fossero ad essa imputabili tutti i guai dell'audiofilo. In realtà nella maggior parte dei casi si è perpetuato una serie di luoghi comuni e di preconcetti, senza però entrare più di tanto nel merito della questione; vediamo, se possibile, di mettere un po' di ordine.

Innanzitutto cosa si intende per controreazione ?

Al livello di principio, si può sintetizzare come un meccanismo attraverso cui, osservando gli effetti finali di una catena di eventi si agisce su uno (o più) fattori di influenza, al fine di produrre un ben preciso risultato. Facciamo un esempio, apparentemente stravagante.

Supponiamo infatti che una persona desideri mantenere costante il suo peso corporeo.

- Il peso è l'entità in oggetto.
- La sua costanza il risultato che si vuole ottenere.
- L'ago della bilancia è lo strumento attraverso cui osserviamo e misuriamo l'esito finale.
- La quantità di cibo, la sua qualità, il potere calorico, il metabolismo, l'attività fisica, il dispendio energetico ecc. ecc. sono gli elementi della catena di eventi che producono come risultato finale il peso corporeo.

In questo esempio, il punto più immediato a cui "applicare" la controreazione è sulla quantità di cibo ingerito, ma si possono immaginare anche eventuali azioni sugli altri elementi di influenza ( ad esempio sulla attività fisica e/o sul metabolismo ). Questo fatto ci consente di osservare come il meccanismo della controreazione possa essere multi dimensionale, ovvero possono esistere più punti sui quali agire per ottenere un dato risultato finale. Si tratta solo di sofisticare più o meno il sistema.

Un altro esempio che vorrei portare è quello di rimanere semplicemente eretti in posizione verticale. Da adulti ci sembra banale, ma basta osservare gli sforzi che un bambino deve compiere per capire che non è poi così banale. Cosa ci consente di rimanere eretti ? E' il sistema di controreazione che la nostra intelligenza fisica e muscolare possiede. è un sistema così evoluto che ci consente l'equilibrio anche nei movimenti più complessi.

Ho volutamente preso questi due esempi, fra gli innumerevoli possibili, per mostrare come il meccanismo della controreazione non sia affatto una prerogativa degli amplificatori audio, ma al contrario esso si collega ad un principio assai più vasto, che permea la nostra vita. Proprio a livello di principio si può vedere la controreazione come la risposta di una forma di intelligenza, conscia o inconscia, più o meglio evoluta, alla assoluta imprevedibilità dei fenomeni che

possono accadere, sia come qualità che come entità. Qualunque persona intelligente ed apertura di mente, si sarà resa conto della impossibilità di provvedere tutto e sempre; solo nel capacità di rispondere correttamente agli imprevisti, alle perturbazioni, si può trovare un equilibrio. Equilibrio che per forza di cose non può che essere un equilibrio dinamico.

Questa considerazione né implica una altra, assai importante. Esisterà sempre un errore, cioè una differenza fra ciò che il sistema produce come risultato finale, somma delle cause interne e delle perturbazioni esterne, e ciò che si sarebbe voluto come risultato finale teorico. Questa differenza, questo errore, si può ridurre come quantità e migliorare come qualità, sofisticando sempre di più il sistema di controreazione, ma non è eliminabile. Nessuna persona riuscirà a mantenere un peso assolutamente stabile in ogni istante della sua vita, così come nessuna persona riuscirà a rimanere perfettamente verticale ed immobile; anche impercettibile, ma un movimento ci sarà sempre.

Nella vita, tutto ciò produce il colore e la varietà degli accadimenti; nella nostra elettronica audio, questo "errore" è ciò che fa sì che gli apparecchi suonino "in quel modo", ognuno diverso dall'altro.

Volere realizzare una elettronica senza controreazione è come pretende di mantenere fisso il peso di una persona misurando le calorie di ciò che ingerisce, calcolando a priori il suo dispendio energetico ecc. ecc. ma senza volere mai verificare con una bilancia il valore reale del peso.

E se capita un qualunque imprevisto ?

E se ad esempio, il nostro soggetto deve rincorrere l'autobus ?

Se si rompe il frigorifero?

O se gli viene una influenza?

Come si rimedierà a queste perturbazioni senza un meccanismo di controreazione ? Semplicemente non è possibile, e quindi si originerà un errore ancora maggiore.

Prima di chiudere questa divagazione filosofica e prima di tornare alle nostre elettroniche, un ultimo esempio che ci tornerà utile in seguito

... *Presto, segua quella macchina....*

Non è un film di azione, ma il segnale ai capi del nostro diffusore che esorta l'amplificatore a seguire fedelmente il segnale di uscita dal Compact Disc.

Finché la strada è diritta e sgombra, nessun problema apparente, ma ha un certo punto il passaggio a livello si chiude e ci obbliga a fermarsi (un transistor finale è uscito dalla classe A e si è spento, bisogna aspettare

che riparta). Appena possibile ripartiamo alla massima velocità per raggiungere il nostro obiettivo, ma arrivati troppo vicini ecco necessaria una brusca frenata per non tamponare (cattiva risposta temporale).

Ad un certo punto ecco il nostro obiettivo che accelera a fondo con grande progressione mentre della nostra automobile dispone di un modesto motore diesel aspirato. In accelerazione essa “ va’ via” e l’errore aumenta (mancanza di velocità dei circuiti). Schiacciamo a fondo il nostro povero acceleratore otteniamo solo vibrazioni e battito in testa (sorgente di distorsione, grana e rumore), pazienza, lo raggiungeremo alla prossima (sua) frenata. E via dicendo.

Cercate ora di immaginare la grande differenza di percezione che si sarebbe avuto stando comodamente seduti nella prima auto (quella a sua insaputa seguita), e in quella che con sforzo e fatica ha cercato invece di stargli dietro alla bell’e meglio. Certamente una grandissima differenza!

Ma questa differenza non è dovuta alla controreazione in sé, quanto al fatto che è essa è stata utilizzata come strumento per ottenere l’effetto desiderato (seguire il più possibile da vicino il segnale) ma in presenza di un mezzo decisamente non adeguato.

Ad un certo punto chiederemmo certamente di terminare la corsa e di scendere. Ovvero di spegnere l’impianto a causa della fatica di ascolto.

Questo è alla fine il vero motivo per cui la controreazione ha iniziato ad avere una fama tanto negativo, perché è stata in passato utilizzata come mezzo strumentale per mascherare delle profonde inadeguatezze strutturali. Se invece innanzitutto miglioriamo il mezzo, ovvero lo rendiamo intrinsecamente più lineare, con minore rumore, più veloce e scattante, allora la situazione potrà essere ben diversa e la controreazione diventerà un utile strumento per inseguire il segnale voluto con minore errore, e maggiore comfort (suono migliore).

Da quanto abbiamo illustrato, ne ricaviamo alcuni punti importanti.

- La controreazione non è l’invenzione di un tecnico sadico, ma al contrario un principio assai diffuso nei più svariati fenomeni, anche naturali.

- Gli effetti negativi che può produrre sono frutto di un uso errato di essa.

- Potenzialmente può essere molto utile per ridurre l’influenza delle perturbazioni, sempre presenti e non eliminabili.

In un’elettronica audio, un amplificatore per esempio, le perturbazioni possibili rispetto al comportamento ideale, sono numerosi, ad esempio:

- Non linearità dei componenti attivi. Ad esempio il guadagno di un transistor, non è costante, ma varia con la grandezza del segnale stesso.

- Stabilità termica dei dispositivi e stabilità a lungo termine, specie dei dispositivi attivi.

- Effetto di grana e di rumore introdotto dai componenti attivi che si sommano al segnale e tendono a mascherarne la qualità.

- Isteresi, saturazione e fenomeni di ON/OFF, specie nei transistor di potenza finali.

- Variazione della corrente assorbita dal carico in relazione al carico stesso, ed alla variabilità del messaggio sonoro.

Molto è possibile fare con una accurata progettazione per ridurre la influenza di questi fattori, ma non è possibile eliminare del tutto il loro effetto sul risultato finale. Una corretta controreazione può essere utile a quel punto per migliorare ulteriormente la situazione.

A patto che si rispetti il buon senso e la controreazione sia integrata in modo armonico con le caratteristiche del circuito di partenza.

Ad esempio:

- Quantità della controreazione

Per quantità della controreazione si può intendere una sorta di riserva di capacità di compiere una azione, solitamente tenuta inespresa ma conservata come potenzialità nel caso in cui una perturbazione giunga a modificare il risultato voluto, e si debba agire mediante quella riserva. Nell’esempio di prima, se stiamo inseguendo con una automobile che ha 60 CV, ma già se ne utilizzano 50, ne rimangono solo 10 di riserva per fronteggiare dei rallentamenti. Se si disponesse di 200 CV, 150 rimarrebbero di margine.

Messa in questi termini, sembrerebbe che tanto maggiore è questa riserva tanto meglio è. Teoricamente questo può essere in parte vero, in pratica bisogna vedere come viene erogata questa riserva in caso di necessità, cioè la velocità e la modulazione con cui essa viene resa disponibile.

- Velocità della controreazione

Se si dispone di una grande riserva di controreazione, ma la velocità con la quale essa agisce sull’effetto voluto è troppo lenta, il risultato finale può essere peggiorativo della situazione. Ad esempio nel caso dell’inseguimento, è come se ad un aumento della distanza si reagisca premendo l’acceleratore, ma la potenza arrivi con ritardo; magari essa arriva proprio quando sarebbe stato invece necessario rallentare perché quella distanza sia era nel frattempo ridotta a causa di altre circostanze.

- Modulazione della erogazione

L’erogazione del potenziale della controreazione deve avvenire in modo proporzionale all’errore che si è creato e che si cerca di correggere. Nel caso dell’inseguimento dovrò modulare l’acceleratore per tenere la corretta distanza. Diversamente se schiaccio troppo a fondo o freno di colpo, sarà un continuo oscillare fra essere troppo distanti e troppo vicini.

Quantità della controreazione, velocità, erogazione,

sono una terna di parametri che se ben utilizzati possono risultare estremamente efficaci.

Un altro esempio può essere quello della regolazione della temperatura in una stanza. Se si dispone di un termostato accurato, posizionato in una parte corretta della stanza, una caldaia ben modulabile e radiatori con bassa inerzia ed elevata potenza, attraverso un sistema sofisticato di controreazione, si può tenere la temperatura pressoché stabile, con variazioni di qualche decimo di grado.

Al contrario con un sistema rudimentale, ad esempio con un termostato bimetallico, la temperatura continuerà ad oscillare intorno ad un valore medio con errore di qualche grado. Se ne deduce che il comfort e la qualità percepita sarebbero certamente ben diversi.

Lascio alla vostra fantasia immaginare cosa accadrebbe utilizzando un sistema di riscaldamento senza alcuna controreazione.

Nella quasi totalità degli amplificatori esiste un solo anello di controreazione, cioè il confronto avviene riportando all'ingresso negativo del differenziale una parte del segnale di uscita e confrontandolo con quello di ingresso, che deve essere amplificato. L'errore, la differenza, agirà come una sorta di incremento (o decremento) di amplificazione in modo da cercare di mantenere la tensione di uscita una replica fedele di quella in ingresso.

In una elettronica audio, i valori reali per il guadagno in tensione ad anello aperto sono molto variabili da apparecchiatura ad apparecchiatura, e possono andare da 100 volte (40 dB) a 100.000 – 1.000.000 (100 dB - 120 dB). Considerando che i guadagni ad anello chiuso (stadio Phono a parte) sono generalmente compresi fra 20 dB e 40 dB, abbiamo margine di controreazione da 0 dB (zero controreazione) fino al valore di 80 dB - 100 dB.

Uno dei maggiori pericoli insiti nell'avere tassi di controreazione molto alti, considerazioni sonora a parte, è rappresentato dal pericolo di instabilità e tendenza alla auto oscillazione o a cattive prestazioni dinamiche. Si può ritenere che in media, tassi di controreazione di 20 dB, 40 dB, siano comunemente utilizzati.

All'interno della circuitazione di un finale, uno dei punti dove si origina il maggiore errore di amplificazione è meglio stadi finali, dove la grande variabilità di assorbimento dei corrente da parte del carico porta a dover spostare continuamente la polarizzazione dei finali per fare sì che possano erogare la corrente richiesta. Ed in effetti in alcuni apparecchi, esistono delle reazioni locali negli stadi di uscita, proprio dedicate al compito di ridurre queste distorsioni. Detto per inciso, la forma più semplice, ma anche più diffusa di controreazione locale, è quella del transistor utilizzato come Emitter Follower. In questa applicazione il potenziale guadagno in tensione è sacrificato al valore unitario, per offrire il vantaggio di ridurre il più possibile la distorsione della forma d'onda

sul carico.

Un altro esempio di controreazione multiplo spesso utilizzato, e quello denominato Servo Bias DC, il quale ha lo scopo di mantenere la tensione di offset DC in uscita la più bassa possibile, senza utilizzare condensatori sul percorso del segnale.

Concludiamo sperando di avere reso un po' di chiarezza al tema della controreazione, argomento sul quale tanto si è parlato ma spesso senza in modo quanto meno lacunoso. Ad iniziare dal fatto che in termini assoluti non esiste un solo apparecchio che non abbia al suo interno nessun tipo di controreazione. Semmai potrà mancare quella complessiva dei anello, sostituita da quella locale, distribuita nei vari stadi.