



L'obiettivo che ci poniamo con questo articolo è tanto apparentemente semplice quanto sostanzialmente ambizioso: cercheremo infatti di spiegare, a livello estremamente divulgativo, il principio su cui si basa il funzionamento degli amplificatori switching che, per quanto allo stato attuale della tecnica non possono di certo essere assolutamente considerati dei prodotti di livello high end, indiscutibilmente in applicazioni affatto particolari, risultano di impiego vantaggioso; è inoltre indubbio che tale tipo di prodotto si diffonderà ulteriormente, invadendo delle fasce di mercato attualmente ad esso negate.

L'ABC della amplificazione switching

Come anticipato nell'occhiello, illustreremo, ci auguriamo in modo chiaro anche per quanti non abbiano che modeste cognizioni di elettrotecnica ed elettronica (quelle strettamente indispensabili verranno accennate nel corso della trattazione), il principio di funzionamento delle amplificazioni switching, ben consapevoli, grazie alla nostra esperienza didattica, che non è impresa da poco rendere fruibile per tutti un argomento per certi versi ostico: ci avvarremo pertanto di una esemplificazione, cercando di ribadire il concetto in modo chiaro.

Riteniamo importante affrontare in modo sistematico ed esaustivo l'argomento, partendo dai rudimenti, dal momento che, nonostante assai spesso audiofili ed auto costruttori parlino con apparente cognizione di causa di amplificazioni switching, indicate anche, in modo equivalente, come amplificazioni a commutazione (classe D, classe T, classe fredda ed altro ancora), ci siamo resi conto che la stragrande maggioranza di costoro fa confusione in merito a tale tecnologia. Ciò è emerso in modo chiaro effettuando un semplice sondaggio, operato direttamente presso i frequentatori della nostra sala di ascolto e presso coloro che ci contattano per consigli od anche solo per delle chiacchierate sulla comune passione, e vi preghiamo di credere che non si tratta di un campione né troppo limitato numericamente né poco significativo per raffinatezza e competenza tecnica. Con nostra somma sorpresa, alla domanda semplice e diretta in merito alla metodica di funzionamento di un amplificatore switching, non abbiamo ricevuto corretta risposta se non in qualche caso sporadico, numericamente poco o per nulla significativo. La spiegazione di certo più ricorrente è stata la seguente: man mano che un amplificatore di tipo tradizionale lavora in una classe di funzionamento meno nobile della classe A, segnatamente in classe AB o, addirittura, in classe B, la sua prestazione, in merito alla raffinatezza sonora, decresce, ma di converso aumenta il rendimento e con esso si minimizzano ingombri e costi della realizzazione. A giudicare da tale tipo di riscontro, dobbiamo dedurre che sono in molti quelli che ritengono l'amplificatore switching nulla più che un derivato di quello tradizionale del quale siano stati volutamente estremizzati i parametri operativi. Come vedremo a breve, nulla vi è di più inesatto: il principio di funzionamento delle amplificazioni a commutazione è assai diverso e davvero nulla ha a che fare con quello delle analoghe realizzazioni di tipo tradizionale che, con linguaggio corretto, vanno definite di tipo lineare.

Come funziona un amplificatore switching?

A nostro parere, il modo più semplice per spiegare la cosa è quello di effettuare tutta una serie di osservazioni, almeno inizialmente, in un ambito differente da quello sonoro.

Illustriamo le possibili modalità dell'accensione di una lampadina: vedremo poi a breve il perché di tale scelta e quanto i dettami, derivati dalle considerazioni che ad esso seguiranno, possano costituire efficace prodromo alla comprensione del funzionamento in campo sonico delle amplificazioni switching.

Riferiamoci a quanto illustrato in **Fig.1**:

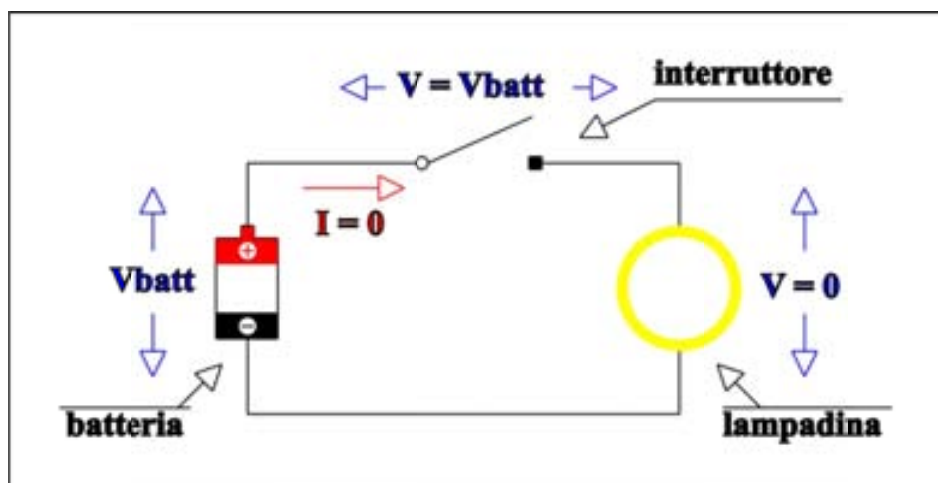


Fig.1: E' qui riportato un semplicissimo circuito: sulla sinistra di esso vi è una batteria che, tramite un interruttore, alimenta la lampadina posta sulla destra. L'interruttore è aperto e pertanto la lampadina risulta spenta: non vi è alcuna circolazione di corrente ($I = 0$) ed ai capi della lampadina la tensione è nulla; tutta la tensione fornita dalla batteria (V_{batt}) cade ai capi dell'interruttore.

abbiamo un semplice circuito, affatto simile a quello cui frequentissimamente ci troviamo di fronte nella nostra esperienza quotidiana e pertanto dovremmo essere ad esso abituati e nulla ci dovrebbe risultare né nuovo, né ostico. L'interruttore posto in serie al circuito che connette la lampadina con la fonte di energia, che nella nostra esemplificazione è una pila, ma che, *mutatis mutandis*, potrebbe tranquillamente essere costituita dalla rete luce, allorchando è aperto, come indicato in figura, non consente il passaggio della corrente elettrica verso la lampadina, la quale pertanto risulterà spenta. Consideriamo ora quello che accade in **Fig.2**:

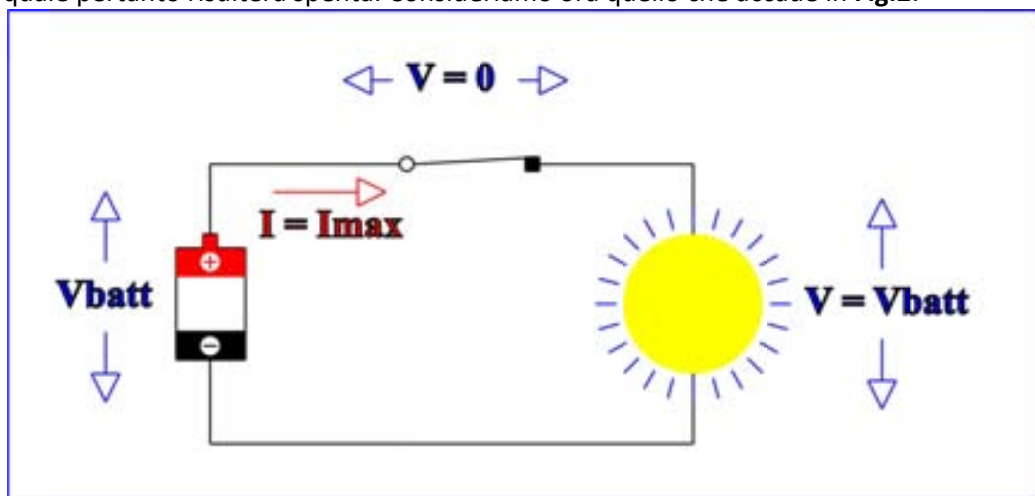


Fig.2: Circuito simile a quello riportato nella precedente immagine, con la sola differenza che l'interruttore è ora chiuso e conseguentemente si verifica il passaggio della corrente verso la lampadina, la quale pertanto si accende: la circolazione di corrente è massima ($I = I_{max}$) ed ai capi della lampadina la tensione è pari a quella della batteria; non c'è alcuna caduta di tensione ai capi dell'interruttore.

il tutto è simile a quanto riportato nella precedente immagine, con la sola differenza che l'interruttore è chiuso e conseguentemente si verifica il passaggio della corrente verso la lampadina, la quale pertanto si accende. Premesse queste semplicissime considerazioni, per la cui banalità ci scusiamo con i più esperti tra voi, supponiamo adesso di voler accendere la lampadina ad un valore di luminosità diverso da quello massimo, giusto per fissare le idee pari alla metà di esso. La **Fig.3**

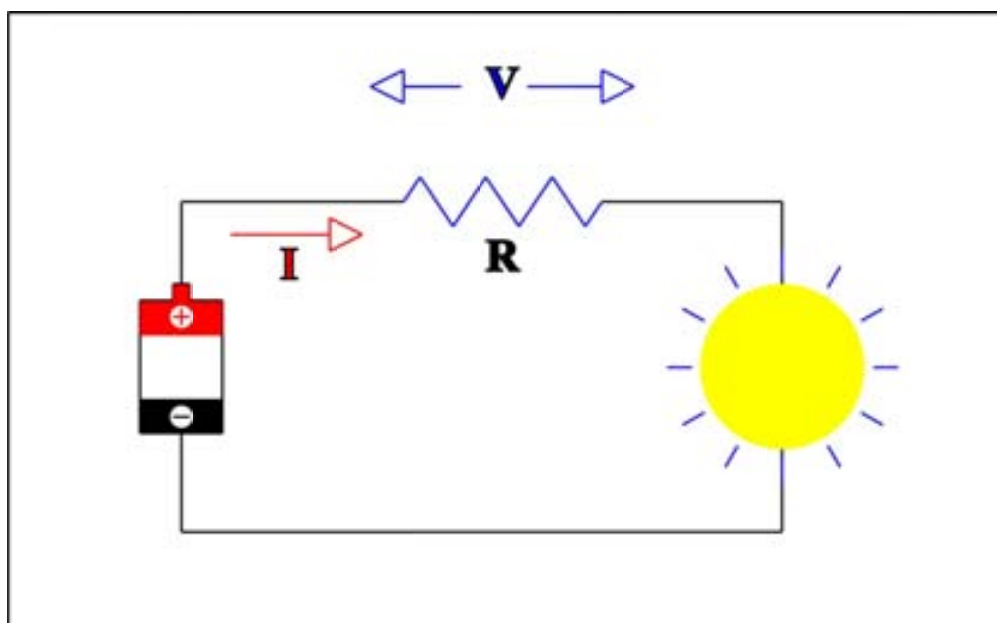


Fig.3: Grazie alla presenza della resistenza (R) che parzializza il passaggio della corrente, si raggiunge lo scopo di accendere la lampadina ad una intensità inferiore a quella massima, ma al costo di uno spreco energetico assai consistente nella resistenza.

ci mostra in qual modo potremmo operare: abbiamo collocato nel circuito, al posto dell'interruttore, un componente elettrico che si chiama resistenza, che, come dice la parola stessa, oppone una certa resistenza al passaggio della corrente, la quale, essendo da essa ridotta, accende la lampadina ad una intensità che è quota parte di quella massima. E' evidente che, calibrando opportunamente la strozzatura al passaggio di corrente operato dalla resistenza, è possibile ottenere il risultato voluto: accendere la lampadina ad una intensità pari alla metà di quella precedentemente ottenuta in **Fig.2**, che ovviamente è da ritenersi la massima, operando con la sorgente di alimentazione a nostra disposizione; infatti, riferendoci sempre a quanto accade in **Fig.2**, l'interruttore, essendo acceso, chiude il circuito e consente un **pieno** passaggio del flusso di corrente dalla sorgente di energia, nella fattispecie la batteria, all'utilizzatore, nella fattispecie la lampadina.

Ritorniamo ora ad esaminare con attenzione quanto accade in **Fig.3**: grazie alla introduzione della resistenza, abbiamo raggiunto lo scopo di accendere la lampadina ad una intensità inferiore a quella massima, ma a quale costo? Una parte della tensione fornita dalla batteria cade ai capi della resistenza e contemporaneamente in essa scorre la corrente che alimenta la lampadina: il prodotto di questa caduta di tensione moltiplicato per la intensità della corrente che circola determina la potenza dissipata nella resistenza. Questa semplice nozione di elettrotecnica è indispensabile per una piena fruizione dei concetti che stiamo esponendo: allorquando, in un componente elettrico, **contemporaneamente** circola una corrente ed ai suoi capi si determina conseguentemente una caduta di tensione, il prodotto di **I (la corrente)** per **V (la tensione)** determina una dissipazione energetica, in altre parole il componente si riscalda. Eseguiamo inoltre quello che in gergo viene, con ovvio significato del termine, indicato come bilancio energetico; riferendoci sempre alla **Fig.3**, la batteria non solo dà l'energia deputata alla accensione della lampadina, ma anche quella dissipata nella resistenza: in altre parole una parte della potenza erogata dalla batteria viene dissipata, o verosimilmente perduta, nella resistenza ed il rendimento del sistema, considerato come rapporto tra energia fornita dalla batteria e quella utilizzata dalla lampadina, che è quella che realmente ci interessa (quella dissipata nella resistenza è purtroppo solo potenza sprecata) non è certamente pari alla unità, ovvero riportata in altra scala, pari al 100%.

Qualora volessimo, ma esula certamente da finalità e limiti della presente trattazione, potremmo ricavare il rendimento del sistema: scopriremmo che esso è davvero assai basso, con potenze dissipate nella resistenza che potrebbero in alcuni casi risultare anche difficilmente gestibili; ci ricollegheremo a questa osservazione allorquando, a breve, trasferiremo il discorso alle amplificazioni audio.

Per evitare dunque quello che non esiteremmo a definire un vero e proprio spreco energetico, cerchiamo una valida alternativa alla tecnica di riduzione della luminosità precedentemente adottata. Riferiamoci per chiarezza a quanto rappresentato in **Fig.4**:

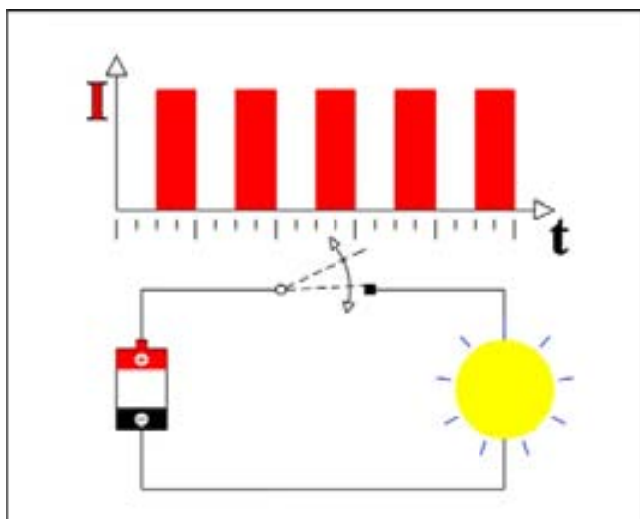


Fig.4: Per evitare spreco energetico, accendiamo e spegniamo la lampadina ad intervalli regolari, un po' come avviene per le frecce di direzione di una automobile. Nel caso in esame il tempo durante il quale la lampadina è spenta è assolutamente uguale a quello durante il quale essa è accesa (vedi il diagramma temporale della corrente riportato nella parte alta della figura), pertanto il valore medio della luminosità è pari alla metà di quello ottenuto accendendo costantemente la lampadina; inoltre, a patto che la frequenza con la quale avvengono le ripetute alternanze sia sufficientemente rapida, ai nostri occhi, grazie al ben noto fenomeno della persistenza dell'immagine sulla retina, la lampadina non apparirà accendersi e spegnersi, ma piuttosto sembrerà brillare con costanza.

supponiamo, grazie ad una opportuna cadenza di chiusura e apertura dell'interruttore inserito nel circuito, di accendere e spegnere la lampadina ad intervalli regolari, un po' come avviene per le frecce di direzione di una automobile. Nella nostra esemplificazione, il tempo durante il quale la lampadina è spenta è assolutamente uguale a quello durante il quale essa è accesa: che cosa accade? Il valore medio della luminosità è ovviamente pari alla metà di quello ottenuto accendendo costantemente la lampadina; inoltre, a patto ovviamente che la frequenza con la quale avvengono le ripetute alternanze sia sufficientemente rapida, ai nostri occhi, grazie al ben noto fenomeno della persistenza dell'immagine sulla retina, la lampadina non apparirà accendersi e spegnersi, ma piuttosto sembrerà brillare ad una intensità pari alla metà di quella massima che essa esibisce nel caso della **Fig.2**.

Supponiamo ora di voler accendere la lampadina con una intensità differente, ad esempio pari ad un quarto di quella massima; seguendo sempre il medesimo procedimento, ipotizziamo di dividere l'unità di tempo in quattro parti e tenere accesa la lampadina solo nel primo quarto, così come per chiarezza riportato in **Fig.5**:

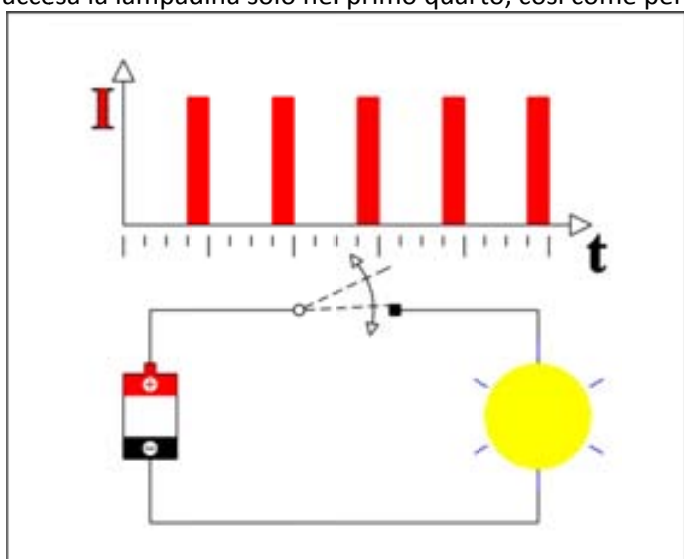


Fig.5: Caso analogo a quello di Fig.4, ma grazie ad una differente alternanza temporale delle accensioni e degli spegnimenti, ora la lampadina brilla con una intensità pari ad un quarto di quella massima.

in questo caso il valor medio della intensità luminosa sarà pari al quarto di quella massima, così come ricercato. Anche in tale situazione, ovviamente a patto di tenere sufficientemente alta la velocità con la quale si alternano i periodi di accensione e spegnimento della lampadina, la luminosità di quest'ultima apparirà ai nostri occhi costante e precisamente pari ad un quarto di quella di Fig.2.

Supponiamo infine di voler accendere la lampadina ad una intensità pari ai tre quarti di quella massima; riteniamo inutile soffermarci in ulteriori spiegazioni, ma ci limitiamo a riportare nella Fig.6 quanto deve opportunamente avvenire.

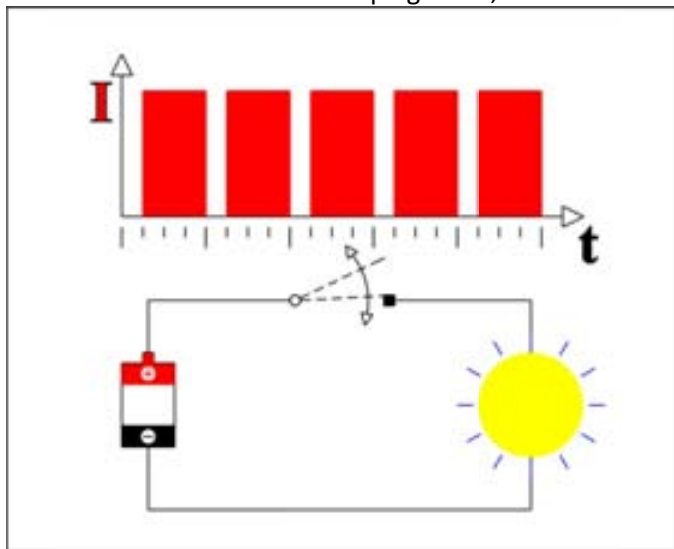


Fig.6: Caso analogo a quello di Fig.4, ma grazie ad una differente alternanza temporale delle accensioni e degli spegnimenti, ora la lampadina brilla con una intensità pari a tre quarti di quella massima.

Questo è il risultato che volevamo ottenere ed in merito al quale conduciamo ora una importante serie di osservazioni. Innanzi tutto riteniamo di aver dimostrato che è possibile ottenere con semplicità, esclusivamente variando, nell'ambito della unità di tempo, la percentuale di accensione della lampadina e quella di spegnimento, una qualsivoglia luminosità intermedia della stessa. Ciò è di grande importanza se si tiene conto del fatto che, al contrario di quanto accadeva utilizzando la resistenza di attenuazione della intensità della corrente, in questo caso non vi è alcun dispendio energetico: la variazione della intensità è dovuta solo all'alternanza, opportunamente dimensionata nel tempo, di due fasi, in ciascuna delle quali non vi è alcuna dissipazione di potenza. Infatti, in un caso, la lampadina è completamente accesa e ciò corrisponde ad interruttore chiuso e nell'altro la stessa è totalmente spenta e corrisponde ad interruttore aperto: nella prima evenienza non vi è caduta di tensione ai capi dell'interruttore, mentre la circolazione di corrente è massima, nella seconda non vi è passaggio in esso di alcuna corrente, mentre la caduta di potenziale ai suoi capi è massima, in quanto pari a quella della batteria; poiché, come avevamo affermato sopra vi è dissipazione energetica solo se contemporaneamente caduta di tensione e corrente sono diverse da zero, nell'interruttore, per la stessa sua costituzione, non vi è mai dissipazione di potenza.

E' evidente che nella pratica, perché il tutto possa funzionare correttamente, non vi è di certo un interruttore meccanico freneticamente attivato, quanto piuttosto un componente elettronico adatto alla bisogna che, pilotato da un opportuno circuito, si comporti alla stregua dell'interruttore meccanico: esiste più di un componente elettronico a stato solido che, nell'ambito di frequenze di commutazioni non elevatissime, è in grado di approssimare assai bene il funzionamento di un interruttore praticamente perfetto.

In secondo luogo, partendo dalla summa delle considerazioni sin qui fatte, abbiamo certamente un ulteriore elemento di grandissima importanza sul quale porre la nostra attenzione: abbiamo affermato che è possibile per l'occhio vedere la lampadina non accendersi a singhiozzo, bensì in modo continuo ad una intensità pari al valor medio della energia ad essa somministrata nel tempo, grazie alla capacità dell'occhio di integrare le informazioni succedutesi nel tempo, operando nella specialità del nostro caso, per esse una media; in altre parole, l'occhio si comporta come un filtro che elimina le variazioni più rapide della intensità luminosa. Perché l'azione filtrante risulti efficace, il fenomeno deve però svolgersi con opportuna velocità; nel caso quest'ultima fosse insufficiente, potremmo, come precedentemente detto, percepire distintamente il succedersi delle accensioni e degli spegnimenti, per poi, al crescere della frequenza con la



quale si alternano, evidenziare uno sfarfallio che risulta assai stancante alla nostra visione e solo per un succedersi sufficientemente rapido dei fenomeni, vedere finalmente la luce come fissa.

Trasferiamo tutto nel campo dell'audio

Forti di quanto precedentemente sperimentato, cerchiamo di trasferire il tutto al campo audio.

Riportiamo in **Fig.7**

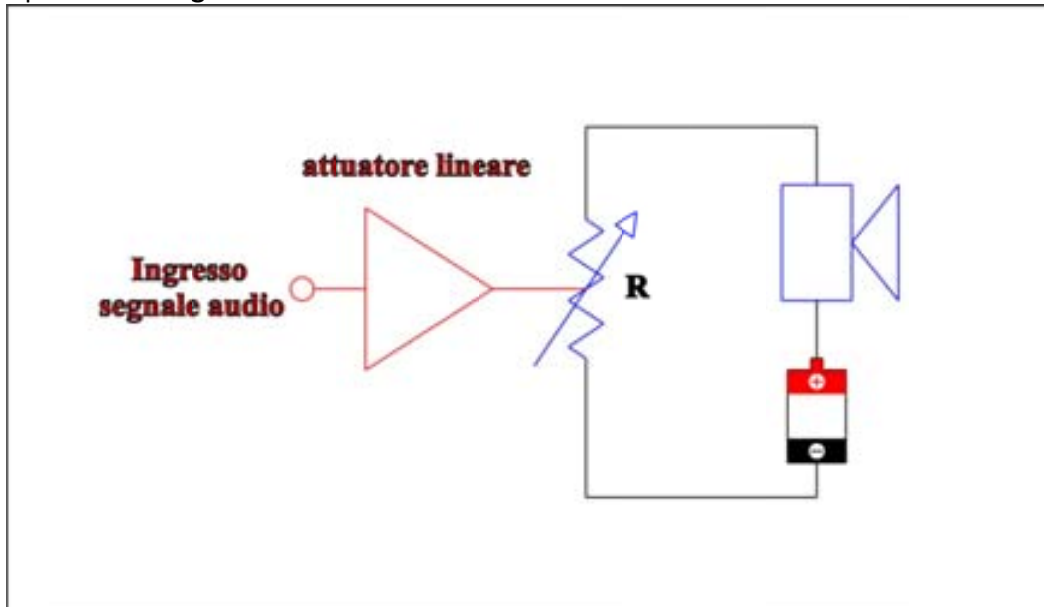


Fig.7: Schema funzionale di un amplificatore lineare per audio frequenza: come è possibile constatare immediatamente esso può essere visto come la catena formata da un attore che, ricevendo in ingresso il segnale da amplificare, con la sua uscita comanda una resistenza variabile grazie alla quale circola, istante per istante, una corrente nell'altoparlante tale che il cono di quest'ultimo possa muoversi secondo una opportuna sequenza, ovviamente correlata al segnale in ingresso all'amplificatore.

lo schema funzionale di un amplificatore per audio frequenza: come è possibile constatare immediatamente esso può essere visto come la catena formata da un attore che, ricevendo in ingresso il segnale da amplificare, con la sua uscita comanda una resistenza variabile grazie alla quale circola, istante per istante, una corrente nell'altoparlante tale che il cono di quest'ultimo possa muoversi secondo una opportuna sequenza, ovviamente correlata al segnale in ingresso all'amplificatore. Certamente nella realtà della realizzazione pratica non vi sono resistori variabili, ma i transistor o le valvole di potenza altro non sono funzionalmente che delle resistenze che variano il proprio valore in ragione di un opportuno segnale di controllo. E' immediato osservare che quanto illustrato nella parte destra di **Fig.7** non è concettualmente dissimile da ciò che abbiamo riportato in **Fig.3**, allorché ci siamo posti il problema di accendere la lampadina, con luminosità variabile a nostro piacimento: in entrambi i casi la presenza della resistenza che parzializza l'intensità della corrente da trasferire all'utilizzatore, in un caso la lampadina, nell'altro l'altoparlante, causa una notevole perdita di efficienza per i motivi che abbiamo precedentemente evidenziato. Supponiamo dunque di attuare anche nel caso dell'amplificatore di audio frequenza un processo simile a quello seguito per l'accensione della lampadina senza perdite energetiche: il circuito di **Fig.7** si trasforma pertanto in quello di **Fig.8**,

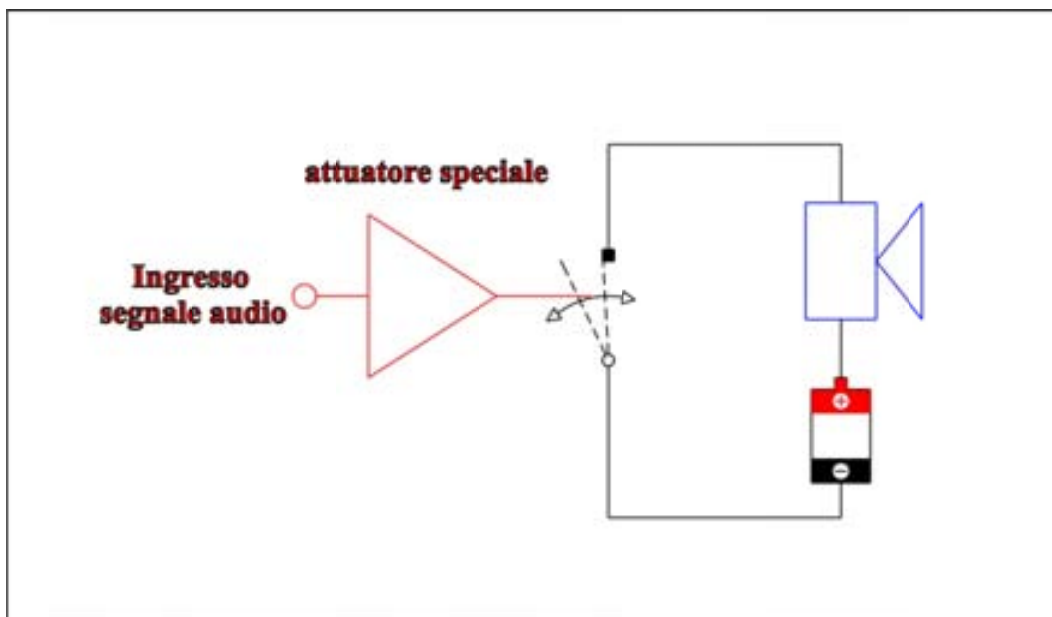


Fig.8: Schema funzionale semplificato di un amplificatore switching: un attuatore, questa volta di tipo affatto speciale, con opportuna cadenza, accende e spegne l'interruttore posto in serie all'altoparlante, di modo che a quest'ultimo giunga un segnale il cui valor medio risulti correlato, istante per istante, a quello che è posto all'ingresso del sistema di amplificazione.

dove vi è sempre un attuatore, ma ben diverso da quello precedentemente impiegato. Esso deve ora, con opportuna cadenza, accendere e spegnere l'interruttore posto in serie all'altoparlante, di modo che a quest'ultimo giunga un segnale il cui valor medio risulti correlato, istante per istante, a quello che è posto all'ingresso del sistema di amplificazione. Anche in questo caso dunque, analogamente a come abbiamo fatto nel caso della lampadina, attuamo una modulazione del segnale non operando direttamente sulla intensità della corrente, bensì sull'alternanza dei tempi di circolazione di quest'ultima: la intensità della corrente è sempre quella massima, ma è il tempo durante il quale essa circola a venire controllato, come abbiamo visto in precedenza, secondo una opportuna logica di temporizzazione. Tutte le osservazioni circa il rendimento unitario del sistema, che abbiamo effettuato allorquando abbiamo esposto le modalità operative della lampadina, valgono anche in questo caso e pertanto il circuito di **Fig.8** può essere a tutti gli effetti, a meno di un particolare invero per nulla trascurabile che evidenzieremo a breve, quello di un amplificatore switching, caratterizzato, così come suggerisce il nome, dalla presenza di un interruttore sull'uscita, deputato al comando dell'altoparlante. Nell'interruttore non vi è dissipazione energetica e pertanto il rendimento, almeno in teoria, di tali tipi di sistemi è pari alla unità: per ottenere ad esempio 100W in uscita sono necessari 100W prelevati dalla sorgente, sia essa una batteria o piuttosto la rete luce, opportunamente manipolata; nulla viene dissipato, l'amplificatore non scalda e può essere estremamente compatto grazie all'assenza di dissipatori di calore. Abbiamo accennato al fatto che nel circuito di **Fig.8** manca ancora un tassello, assai importante: nel paragrafo precedente, abbiamo evidenziato la essenziale funzione integratrice svolta dall'occhio, il quale funge da filtro nei confronti delle rapide variazioni di intensità, consentendoci di vedere la lampadina come accesa con costanza e non a singhiozzo. Analogamente, per evitare dunque che l'altoparlante proceda a balzelloni, guidato dagli impulsi e non dal loro valor medio, che, ricordiamolo, è il solo realmente correlato al segnale di ingresso all'amplificatore, è indispensabile aggiungere alla schema di **Fig.8** un opportuno stadio di filtro; si giunge così alla circuitazione a blocchi riportata in **Fig.9**

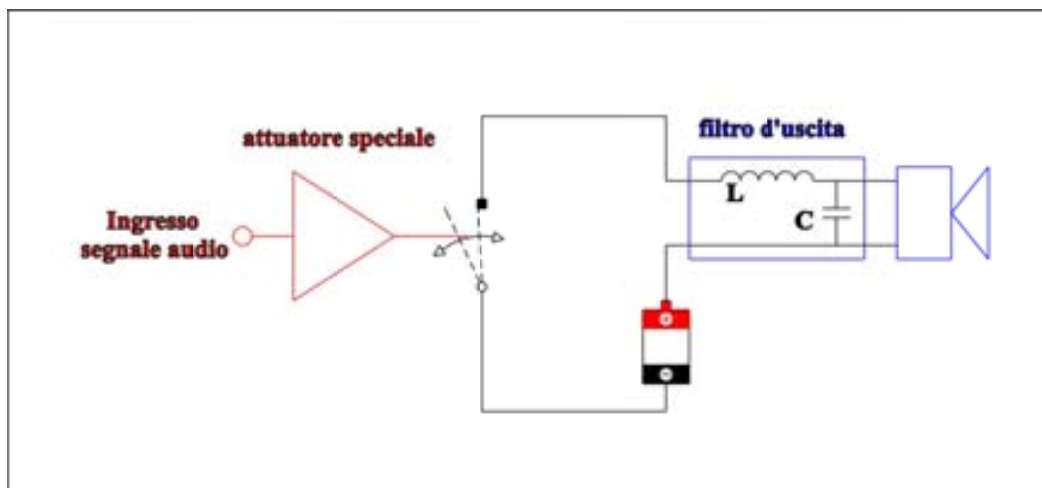


Fig.9: Schema funzionalmente completo di un amplificatore switching; rispetto a quello riportato in Fig.8, qui è stato aggiunto uno stadio di filtro (generalmente a 12dB/oct di tipo LC), indispensabile per evitare che l'altoparlante proceda a balzelloni, guidato dagli impulsi e non dal loro valor medio, il solo realmente correlato al segnale di ingresso all'amplificatore.

che può essere considerata, a tutti gli effetti, quella definitiva e funzionalmente completa di un amplificatore a commutazione. Poiché lo stadio di filtro che abbiamo aggiunto è sostanzialmente il punto debole delle amplificazioni switching, dedichiamo ad esso il prossimo paragrafo.

Il filtro di uscita

La difficoltà realizzativa di questo filtro risulterà subito evidente allorché evidenzieremo le due principali caratteristiche che esso deve possedere:

- 1) **deve svolgere efficace azione integratrice nei confronti del segnale che proviene dall'interruttore:** esso deve infatti restituire all'altoparlante solo il valor medio del segnale impulsivo proveniente dall'interruttore;
- 2) **non deve svolgere alcuna azione integratrice nei confronti del segnale audio:** qualora ciò avvenisse, verrebbero perse le più rapide variazioni temporali di quest'ultimo.

Compito arduo dunque quello del filtro: il suo intervento deve risultare estremamente efficace nei confronti di certe variazioni di segnale nocive ad un buon ascolto, ed invece inefficace, o meglio ancora potremmo dire trasparente, nei confronti di certe altre.

In Fig.10

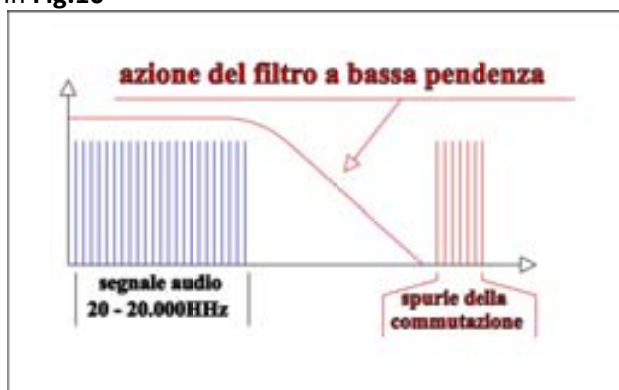


Fig.10: E' qui rappresentata la funzione del filtro di uscita: tutti i segnali con frequenza almeno pari a 20.000Hz devono passare inalterati nelle sue maglie, mentre in queste ultime devono essere completamente intrappolati quelli relativi alla frequenza (od alle frequenze, dal momento che non sempre, soprattutto nelle realizzazioni più raffinate, essa è fissa) di commutazione dell'interruttore.

abbiamo evidenziato quanto ci aspettiamo dal filtro: tutti i segnali con frequenza almeno pari a 20.000Hz devono passare inalterati nelle sue maglie, mentre in queste ultime devono essere completamente intrappolati quelli relativi alla frequenza (od alle frequenze, dal momento che non sempre, soprattutto nelle realizzazioni più raffinate, essa è fissa) di commutazione dell'interruttore. Perché le cose si possano svolgere in maniera ottimale evidentemente due sono le strade percorribili: o la frequenza di commutazione viene innalzata tanto da essere di molto superiore ai 20.000Hz, diciamo almeno di qualche ordine di grandezza, oppure la pendenza del filtro deve risultare assai elevata, allo scopo di discriminare efficacemente i segnali desiderati rispetto a quelli indesiderati.

Le Fig. 10 e 11



Fig.11: Rispetto alla figura precedente è qui rappresentato il caso di una frequenza di commutazione piuttosto limitata e per evitare i disturbi sull'uscita la pendenza del filtro è stata volutamente accresciuta: questa soluzione tecnica è assai poco adottata in quanto comporta non trascurabili limitazioni alla qualità sonora del sistema.

riportano per chiarezza rispettivamente queste due possibilità. Diciamo subito che la seconda, quella attuata con un filtro caratterizzato da grande rapidità di attenuazione, è assai poco praticabile; infatti, dal momento che l'unità di filtro è direttamente interfacciata con il carico costituito dall'altoparlante, una sua realizzazione troppo complessa, indispensabile per il raggiungimento di una elevata pendenza, penalizzerebbe la qualità sonora per motivi che ci riserviamo di esaminare in ulteriori approfondimenti sull'argomento. Ci limitiamo qui a segnalare che ciò dipende dal fatto che il sistema di altoparlanti è caratterizzato da una impedenza non solo assai variabile con la frequenza, ma anche non nota a priori; peraltro sarebbe assai limitativo della versatilità dell'amplificatore volutamente circoscriverne il corretto funzionamento a ben determinati range di valori del carico.

Non resta dunque che aumentare il più possibile la frequenza di commutazione, la qualcosa, allo stato attuale della tecnica, è ancora poco percorribile, almeno volendo mantenere contenuti i costi: ciò indubbiamente limita le pratiche realizzabilità di amplificazioni switching di elevate prestazioni a basso prezzo. Assai diversamente avviene allorquando il costruttore non si pone limitazioni in tal senso: in questo caso, la frequenza di commutazione può essere scelta anche più elevata di oltre dieci volte quella massima del segnale da amplificare. Il campionamento a 200KHz, ed anche molto oltre, è lo stato attuale della tecnica nelle realizzazioni più impegnative e ciò, congiuntamente ad alcuni artifici progettuali, quali ad esempio un virtuale raddoppio della frequenza grazie a topologie a ponte o una modulazione della frequenza stessa in dipendenza dalle caratteristiche del segnale, consente il raggiungimento di prestazioni prossime, ma assolutamente non uguali, a quelle delle amplificazioni convenzionali, con i vantaggi di compattezza e ridottissimo riscaldamento di quelle switching.

Le tecniche su accennate, seppure potrebbero essere di implementazione non eccessivamente onerosa a livello di componentistica e difficoltà realizzativa, sono in genere proprietarie e presenti solo su schede disponibili sul mercato già totalmente assemblate, caratterizzate da costi necessariamente impegnativi rispetto alla reale consistenza dell'oggetto, dal momento che, giustamente, il produttore deve rifarsi sull'acquirente o delle ingenti spese sostenute per la ricerca o di quelle che ha affrontato per utilizzare un progetto coperto da brevetto non ideato in casa, ma da un centro esterno.

L'uso della controreazione nelle amplificazioni switching

E' ben noto che la controrazione consente di ridurre le non linearità di un amplificatore. Il modo nel quale opera la controreazione dovrebbe essere chiara ai nostri affezionati lettori, tante sono state le trattazioni comparse sulle varie Testate del settore, inclusa la nostra; in questa sede però, a costo di essere prolissi, nulla vogliamo dare per scontato e conseguentemente accenniamo assai brevemente al suo principio di funzionamento. Riferiamoci allo scopo a quanto riportato in Fig.12:



Fig.12: Schematizzazione di un amplificatore caratterizzato da un fattore di amplificazione pari a "G": sono evidenziati il segnale in ingresso, quello in uscita e la loro relazione matematica.

il segnale in uscita all'amplificatore dovrebbe essere uguale a quello di ingresso a meno di un fattore di moltiplicazione pari al guadagno dell'amplificatore stesso. In altre parole istante per istante l'uscita dovrebbe valere G volte l'ingresso, laddove con G abbiamo per l'appunto indicato il guadagno, definito anche fattore di amplificazione, come illustrato nella seguente formula:

$$\mathbf{Vout = G \times Vin}$$

laddove, con ovvio significato della simbologia adottata, Vout e Vin sono rispettivamente la tensione del segnale in uscita e quella del segnale in ingresso, mentre con G abbiamo indicato il fattore di amplificazione del blocco "A". Purtroppo, a causa delle inevitabili non linearità, indicate nel settore audio con il termine generico di distorsioni, imperfetta è l'uguaglianza tra il primo ed il secondo membro della formula precedente: per ovviare a ciò, la controreazione si incarica di confrontare l'uscita effettiva (certamente distorta) con quella teorica (idealmente priva di distorsione) e, partendo dall'analisi delle differenze tra le due, cerca di correggere in tempo reale il segnale di uscita, allo scopo di renderlo il più possibile simile a quello desiderato.

Per chiarire al massimo il concetto di controreazione, riportiamo, in un apposito incorniciato, un esempio, mutuato da tutt'altro settore: invitiamo i meno esperti alla sua lettura, propedeutica alla comprensione del seguito.

Sappiamo bene che, laddove l'uso della controreazione è di sconosciuta entità, non si ottiene affatto un miglioramento delle prestazioni soniche dell'amplificatore, anzi tutt'altro, tant'è che spesso la migliore soluzione è quella di rinunciare completamente alla controreazione; ma allorquando, come nel caso delle amplificazioni switching, il sistema, almeno allo stato attuale della tecnica, non può considerarsi soddisfacentemente lineare, un impiego quantitativamente avveduto della controreazione è assai auspicabile, se non addirittura indispensabile. Per agire correttamente, la controreazione deve correggere il segnale di uscita distorto, necessariamente in tempo reale: ciò è abbastanza facilmente conseguibile nelle amplificazioni tradizionali, ma non in quelle switching, nelle quali le varie manipolazioni del segnale, di indispensabile attuazione in tali realizzazioni, inevitabilmente comportano un certo ritardo tra causa ed effetto. Alcune particolari ed ingegnose tecniche hanno recentemente consentito di superare questa limitazione: ciò ha reso possibile l'uso della controreazione che se, e ribadiamolo, solo se, è sapientemente dosata, consente reali



miglioramenti delle prestazioni, non solo quelle esibite alle misure, ma anche e soprattutto quelle relative al comportamento in sala d'ascolto.

Nelle ultimissime realizzazioni l'anello di controreazione ingloba non soltanto la sezione amplificatrice vera e propria, ma anche il filtro di uscita: ciò, se scientemente attuato, consente di superare in buona parte anche la limitazione d'uso delle amplificazioni switching derivante dalla necessità di filtrare la loro uscita.

Come abbiamo avuto modo di evidenziare nel paragrafo ad esso dedicato, la filtratura del segnale nei sistemi qui considerati è sempre assai critica e comporta inevitabilmente un andamento della risposta in frequenza fortemente dipendente, soprattutto alle frequenze più alte della gamma audio, dall'argomento e dalla fase dell'impedenza di carico offerta dal diffusore; riuscire ad inglobare nell'anello della controreazione anche il filtro d'uscita e correggere pertanto le inevitabili non linearità ad esso riconducibili, consente di contenere fortemente la dipendenza prima esaminata; anche in questo caso, tali risultati sono soprattutto appannaggio delle realizzazioni migliori e più attentamente progettate. A tal proposito sottolineiamo che, anche se due apparati utilizzano schede di amplificazioni di tipo analogo, provenienti ad esempio da un terzo costruttore di parti sciolte, non necessariamente le prestazioni globali sono sovrapponibili: spesso conta quasi più il contesto nel quale la scheda viene adoperata che non la scheda stessa. Un eclatante esempio di ciò si ha negli amplificatori di punta di alcuni importanti costruttori: ad esempio apparecchi che fanno uso della alimentazione stabilizzata a più stadi in cascata, raggiungono performance sconosciute a prodotti solo in apparenza equivalenti. Per convincersi di quanto la circuitazione periferica ad un componente faccia la differenza, basta riflettere sul fatto che, ad esempio nel caso dei lettori digitali, l'adozione del medesimo integrato preposto alla conversione non autorizza affatto a ritenere sovrapponibili le prestazioni che offrono le varie macchine che esso equipaggia.

Le amplificazioni switching: ieri, oggi e domani

Dall'esame del passato e dal suo confronto con il presente, possiamo asserire che l'amplificazione switching ha trovato ed intrapreso la strada giusta per guadagnarsi un posto di tutto rispetto nell'alta fedeltà e chissà, in un futuro che però allo stato attuale sembra piuttosto remoto, addirittura finanche in quello dell'high end. I miglioramenti fondamentali rispetto alle prime timide realizzazioni sono eminentemente in due direzioni: un innalzamento della frequenza di commutazione ed un ampliamento dell'impiego della controreazione. Invitiamo a tal proposito a consultare, quale quadro sinottico riassuntivo, la **Fig.13** insieme alla relativa didascalia.

	frequenza di lavoro	contro reazione
ieri	poco oltre la banda audio	impiego modesto il filtro e' escluso
oggi	molto oltre i 100KHz	impiego esteso include il filtro
domani	molto oltre 1MHz ?	linearita' intrinseca tanto elevata da evitare la controreazione ?

S.I. Audio

S.I. srl - via Ugo Niutta 36, 80128 NAPOLI - Tel. (+39) 081 5580270-fax (+39) 081 5580272

Web: www.siaudio.it e-mail: tecnica@siaudio.it



Fig.13: Nel tempo si sta assistendo ad una graduale crescita della frequenza di lavoro dell'amplificazione switching e ad un uso sempre più esteso della controreazione, almeno sui progetti più raffinati. Precisiamo che uso esteso della controreazione non significa coefficiente della stessa più alto, quanto piuttosto un affinamento nell'impiego che può spesso includere anche il filtro di uscita, con non pochi benefici per il suono.

Per il futuro è prevedibile un ulteriore innalzamento della frequenza di lavoro, tanto elevata rispetto alla banda passante audio da garantire ottima linearità e consistente invarianza delle prestazioni rispetto alla impedenza del carico. Tutto ciò potrebbe comportare addirittura l'eliminazione dell'anello di controreazione? Staremo e vedere.

Ovviamente restiamo alla finestra, pronti a riprendere la trattazione dell'argomento allorquando scorgeremo all'orizzonte delle significative novità di cui veramente valesse la pena parlare.

Fulvio Chiappetta

S.I. Audio

S.I. srl - via Ugo Niutta 36, 80128 NAPOLI - Tel. (+39) 081 5580270-fax (+39) 081 5580272

Web: www.siaudio.it e-mail: tecnica@siaudio.it