

Utilizzo di tubi a vuoto quali elementi di commutazione in circuiti amplificatori audio di potenza in Classe D

Marco Rampin

Studio Ricerche Tecnico Scientifiche Rampin ing. Marco

www.studio-rts-ing-rampin.it

15 gennaio 2015

Mediante un opportuno accorgimento di polarizzazione di griglia e collegamento mediante linee elettriche ad impedenza controllata equalizzate in lunghezza, e' possibile utilizzare i tubi a vuoto quali elementi di commutazione di potenza nei circuiti amplificatori audio di potenza in classe D realizzati secondo la topologia a *ponte intero* o a *mezzo ponte*.

Premessa

Da diversi decenni ormai tutti i data sheet dei tubi a vuoto commerciali illustrano esclusivamente la regione di funzionamento con polarizzazione a griglia negativa (ad es. [1]).

All'inizio della storia dell'elettronica i triodi venivano descritti nei testi (ad es.[2]) considerando anche la regione di funzionamento con polarizzazione a griglia positiva.

Ancora negli anni 60 del 1900 troviamo qualche rara, e presumibilmente ultima, citazione della polarizzazione a griglia positiva [3].

Polarizzazione positiva di griglia

Per quanto riguarda il funzionamento di un triodo, in effetti nulla vieta che la griglia sia polarizzata con una tensione positiva rispetto al catodo, anziche' con una tensione negativa.

Con l'usuale polarizzazione di griglia a tensione negativa, la corrente di griglia e' praticamente nulla ed il triodo si comporta come un transistor FET ad elevato guadagno.

Con la polarizzazione di griglia a tensione positiva, la corrente di griglia invece aumenta sensibilmente all'aumentare della tensione di griglia stessa poiche' la griglia funziona in questo caso come un anodo di un diodo in polarizzazione diretta.

L'azione della griglia rimane pero' tale da regolare comunque la corrente sull'anodo del triodo ed anzi si ottiene una curva caratteristica molto interessante, con correnti anodiche di saturazione elevate pur in presenza di tensioni anodiche modeste, dell'ordine di qualche decina di volt.

In questa situazione il triodo si comporta quasi come un transistor BJT a basso guadagno, con corrente di griglia non nulla e con il circuito anodo-catodo che agisce da generatore equivalente di corrente controllato dalla tensione di griglia (nei BJT e' invece la corrente di base che controlla il

generatore di corrente equivalente tra collettore ed emettitore).
 L'applicazione di una tensione anodica così ridotta comporta poi viceversa che con una relativamente modesta tensione negativa di griglia il triodo venga portato in zona di sicura interdizione, riducendo a zero la corrente anodica (fig.1).

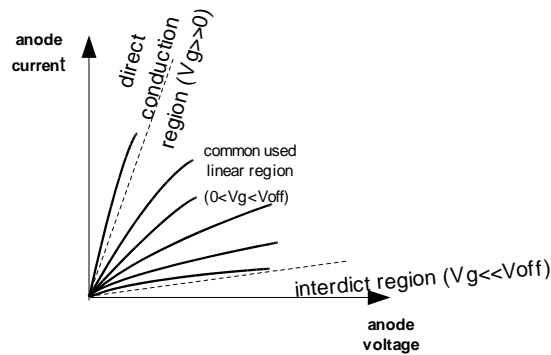


fig.1 – caratteristica anodica estesa ai valori positivi della tensione di griglia

Impiego nei circuiti commutati a ponte

La disponibilita' di un apposito circuito di pilotaggio di polarizzazione della griglia rispetto al catodo, che ad un ingresso binario faccia corrispondere una uscita bipolare (fig.2), consente di utilizzare il triodo come un interruttore (fig.3)

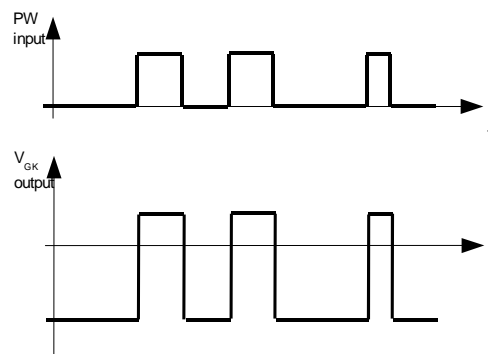


fig.2 – pilotaggio mediante impulsi bipolari della griglia

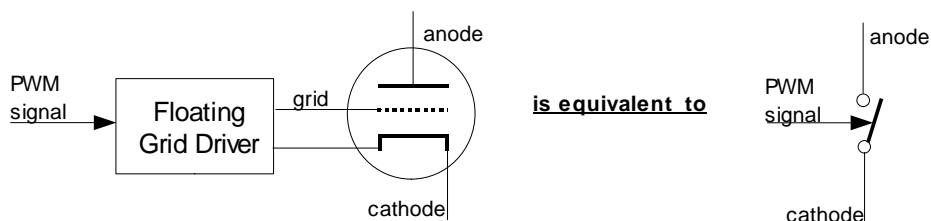
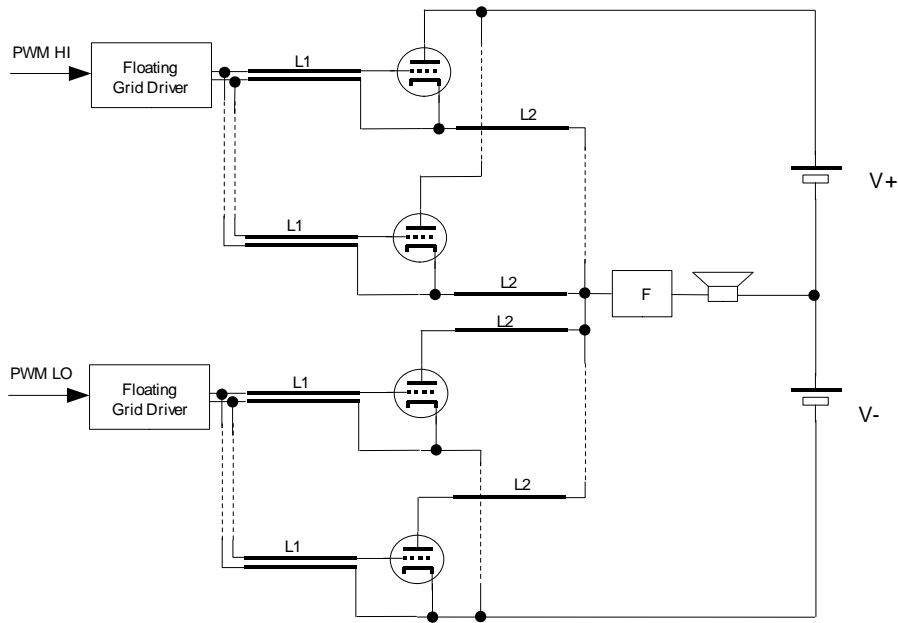
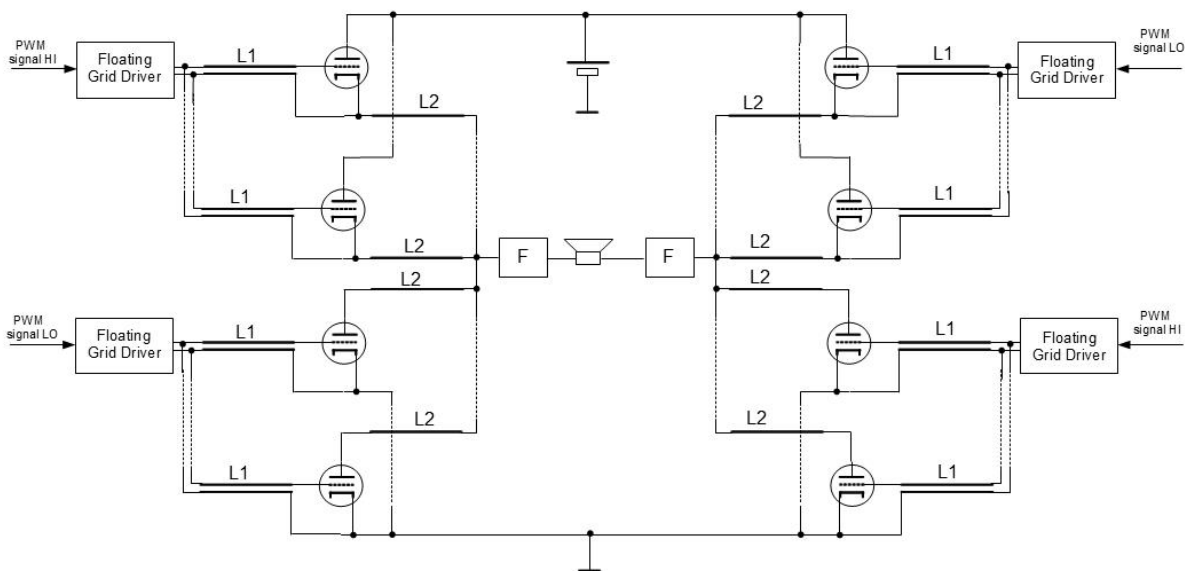


fig.3 – circuito equivalente funzionale del triodo comandato dal circuito di polarizzazione bipolare isolato

Se il circuito di pilotaggio di polarizzazione della griglia e' realizzato in modo da essere galvanicamente isolato, con alimentazione indipendente ed ingresso isolato ad es. mediante trasformatore ad impulsi, fotoaccoppiatore, condensatori o link a fibra ottica, allora si possono collegare i triodi in un circuito a "mezzo ponte" (fig.4) o a "ponte intero" (fig.5).



*fig.4 – amplificatore di potenza in classe D con topologia a “mezzo ponte”
impiegante tubi a vuoto quali elementi di commutazione
(F filtro di uscita, L1, L2 linee di trasmissione
equalizzate ad impedenza controllata)*



*fig.5 – amplificatore di potenza in classe D con topologia a “ponte intero”
impiegante tubi a vuoto quali elementi di commutazione*

Come indicato nelle figure, per aumentare la corrente in uscita da questi ponti, e' possibile utilizzare per ogni ramo del ponte piu' triodi collegati tra loro in parallelo, purché i rispettivi circuiti di pilotaggio delle polarizzazioni di griglia siano dimensionati per erogare la necessaria corrente di griglia positiva risultante in ogni ramo di triodi in parallelo.

Utilizzando piu' triodi in parallelo si ottiene inoltre la riduzione della impedenza di uscita del ponte consentendo, senza trasformatori di uscita, anche in virtu' della ridotta tensione anodica necessaria, l'accoppiamento diretto ai carichi a bassa impedenza tipici dei diffusori acustici .

In regime di saturazione, con griglia positiva, i triodi funzionano da generatori di corrente e la corrente anodica diventa indipendente dall'impedenza del carico; si ottiene così un interessante effetto per cui la potenza sul carico aumenta all'aumentare della sua impedenza.

Ad esempio, utilizzando come carico di uscita tre diffusori acustici identici in serie si ottiene una potenza di uscita tripla rispetto a quella fornita ad un unico diffusore.

I circuiti descritti sono realizzabili anche con tubi a vuoto a piu' elettrodi di controllo (multigriglia) collegando le griglie di controllo aggiuntive in modo che il tubo funzioni come un triodo equivalente con un unico elettrodo di controllo (ad es. pentodo in configurazione triodo).

Considerazioni riguardo la velocita' di commutazione

Le capacita' tra gli elettrodi dei tubi a vuoto costituiscono degli elementi parassiti che riducono la larghezza di banda ottenibile nei circuiti amplificatori lineari, in particolar modo alle alte frequenze. Ad esempio, tubi a vuoto con capacita' interelettrodiche dell'ordine dei pF sono ritenuti utilizzabili solo per impiego audio, perché pur essendo queste capacita' così piccole, non permettono l'utilizzo efficace di questi tubi a vuoto nei circuiti a radiofrequenza.

Pilotando i triodi in regime di commutazione, l'effetto di queste capacita' si traduce invece nella riduzione della massima pendenza ottenibile sui fronti di commutazione dei segnali.

Con le capacita' parassite tipiche dei triodi cosiddetti per applicazioni audio, si possono comunque ottenere fronti di commutazione dell'ordine di decine di nanosecondi, consentendo un funzionamento alle usuali frequenze di commutazioni degli amplificatori in classe D, che sono dell'ordine di varie centinaia di KHz, del circuito a ponte impiegante triodi quali elementi di commutazione.

Questi risultati si ottengono se i triodi sono collegati ai circuiti di polarizzazione ed al carico mediante linee elettriche di trasmissione ad impedenza controllata, che consentono di controllare le distorsioni sui fronti di commutazione dei segnali riducendo l'effetto delle riflessioni dovute ai disadattamenti di impedenza.

Le stesse linee devono inoltre essere equalizzate in lunghezza, in modo che i tempi di propagazione dei fronti di commutazione dei segnali siano tutti uguali per mantenere ripido il fronte di commutazione stesso.

Riferimenti

[1] Philips, (1970), *ECC83 data sheet*

[2] Ulivo, A. (1926), *Radiotelegrafia*, G. Lavagnolo ed., Torino, 89.

[3] Malatesta, S. (1967), *Elettronica e Radiotecnica vol. I*, Colombo Cursi ed., Pisa, 154.