

LE VALVOLE CONVERTITRICI DI FREQUENZA UN'INCONSUETA PANORAMICA

Parte Prima: TRIODI-ESODI E TRIODI-EPTODI

Luca Dal Passo
IW2 LJE – Milano
lu.dp@tiscali.it

La necessità di fare chiarezza sul tema delle convertitrici di frequenza, mi è sorta qualche tempo fa quando, dopo l'acquisto di qualche costoso ricambio, mi sono reso conto che tale ricambio non poteva essere utilizzato sull'apparecchio radio in riparazione perché esso non era in realtà un equivalente più o meno moderno del tubo da sostituire, ma apparteneva ad un'altra "famiglia" di valvole. Il suo utilizzo avrebbe cioè richiesto modifiche dello schema originale dell'apparecchio, ma ciò non era per me accettabile: penso infatti che sia più corretto mantenere quanto più possibile l'originalità dell'apparecchio.

Addentrandomi nel problema, ho analizzato la documentazione in mio possesso con lo scopo di raccogliere alcune osservazioni utili per classificare e capire meglio questi particolari tubi con molti elettrodi. Non ho trovato in alcun testo di radiotecnica una classificazione come quella che ho elaborato e che qui propongo.

Nella prima parte di questo articolo prenderemo in considerazione le valvole composte da due unità distinte (un triodo ed un esodo o eptodo). Nella seconda parte analizzeremo invece le valvole che, pur svolgendo la medesima funzione delle precedenti, sono composte da un'unica unità con molte griglie (in particolare le "pentagriglia" e gli ottodi).

Storicamente le valvole pentagriglia (o almeno alcuni tipi) sono precedenti alle valvole composte, ma per chiarezza ho preferito trattarle dopo.



Diciamo subito che parliamo di valvole convertitrici di frequenza, cioè valvole progettate apposta per questo scopo. Non tratteremo invece di particolari soluzioni circuitali che consentono di ottenere la conversione di frequenza con pentodi, triodi o con diodi. Non ci addenteremo nemmeno nella comprensione fisica del fenomeno della conversione di frequenza, fenomeno che può essere facilmente trovato e capito sui testi di radiotecnica.

Ci basti ricordare che per ottenere la conversione di frequenza viene sfruttato il fenomeno "moltiplicativo" tra due segnali applicati a due griglie distinte della valvola.

In pratica, se in una valvola riusciamo a variare l'intensità del flusso elettronico per mezzo di due elettrodi (griglie) applicando ad una il segnale dell'oscillatore locale ed all'altra il segnale da

convertire in frequenza, se l'ampiezza del segnale dell'oscillatore locale è sufficientemente ampia da far lavorare la valvola in modo non lineare, si otterrà una corrente anodica che, tra le altre componenti di frequenza, conterrà anche una componente alla frequenza somma e differenza tra le frequenze dei segnali applicati alle due griglie in argomento.

Il fenomeno dipende proprio dalla non linearità della valvola. Tale non linearità determina una variazione istantanea del guadagno, nei confronti del segnale di ingresso, che è funzione del valore istantaneo del segnale dell'oscillatore locale; ed è da qui che nasce la conversione di frequenza.

La valvola convertitrice ha quindi normalmente due griglie controllo. Tra di esse sono poi interposte altre griglie con la funzione di schermo per evitare effetti di accoppiamento indesiderato tra i due segnali in ingresso (segnale RF e segnale dell'oscillatore locale).

Chi volesse approfondire l'argomento potrà trovare delle chiare spiegazioni sui testi di elettronica e radiotecnica nonché sui numerosi siti internet che trattano di queste cose.

Tra i concetti che sarebbe opportuno avere chiari in mente vi sono: il significato della trasconduttanza di conversione; il fenomeno dell'emissione secondaria; il concetto di "pendenza variabile".



Veniamo quindi al dunque. Ho proceduto a classificare le varie tipologie di valvole convertitrici non già in base alla tensione di filamento o al periodo storico o alla tipologia di zoccolo (tutti dati che possono essere facilmente ricavati dai databook) ma bensì in base alla conformazione fisica dell'insieme degli elettrodi ed in base ai collegamenti che la valvola rende disponibili allo zoccolo. Tali particolarità si traducono in similitudini anche nei circuiti e schemi applicativi in cui esse sono utilizzate.

Ne nasce un raggruppamento per "famiglie" di tubi. Ho battezzato ciascuna famiglia con la sigla di una valvola che vi appartiene e che ritengo particolarmente rappresentativa della famiglia stessa.

Le famiglie sono le seguenti:

- **famiglia della ECH3;**
- **famiglia della ECH4;**
- **famiglia della 6TE8;**
- **famiglia della 7J7;**
- **famiglia della 6K8;**
- **famiglia della ECH200.**

In realtà l'ultima famiglia non rientra fra le convertitrici per impieghi radio, ma ho voluto comunque inserirla per completezza. Come già detto, nella seconda parte dell'articolo vedremo le famiglie di pentaglie e di ottodi.

FAMIGLIA della ECH3

Appartengono a questa famiglia molti tubi, tra cui: **ECH3, ECH33, ECH35, ECH11, ECH41, ECH42, 6E8G, 6E8MG, 6TE9, WE20, WE22, WE40, WE43**, oltre ad altre versioni con diverse tensioni di accensione (es. ACH1).

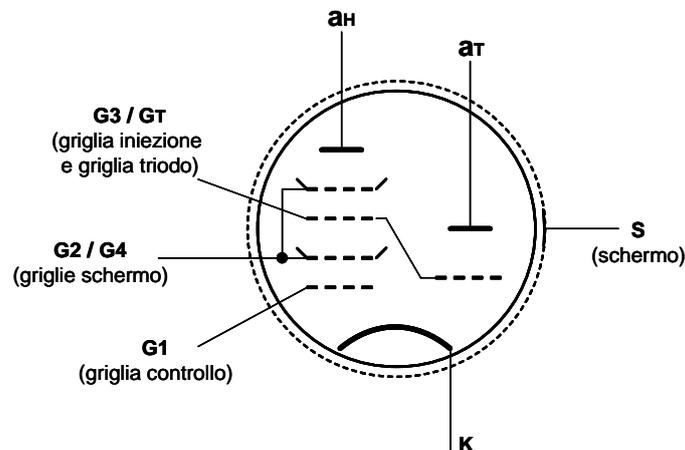
Le valvole indicate si differenziano principalmente per la forma e dimensioni del bulbo e per il tipo di zoccolo. Anche le prestazioni elettriche cambiano e ripercorrono l'evoluzione storica dei modelli. L'elenco non è completo, ma esistono una nutrita serie di equivalenti e similari.



Tutte le valvole di questa famiglia sono composte da un triodo e da un esodo (Hesode) a pendenza variabile.

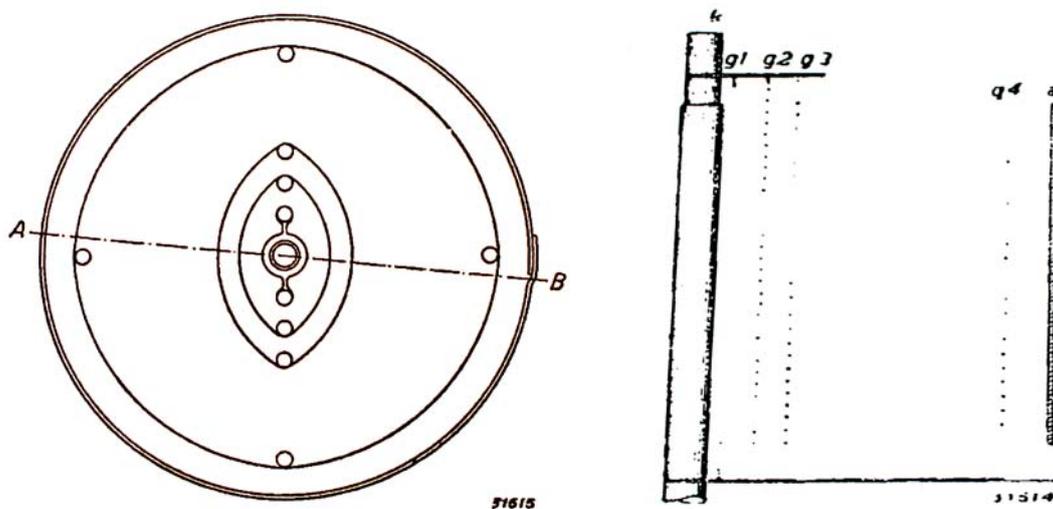
Sono tutte caratterizzate dal fatto che la griglia del triodo oscillatore è connessa, internamente alla valvola, alla griglia di iniezione dell'esodo, cioè la n° 3.

Qui vediamo lo schema della valvola (non si tratta della zoccolatura, che ovviamente varia da tipo a tipo e che può essere facilmente rintracciata sui databook, ma della struttura e dei contatti disponibili allo zoccolo).



La sezione triodo e la sezione esodo sono poste una sopra l'altra lungo l'asse del catodo, il quale è quindi elettricamente in comune alle due sezioni.

La geometria interna degli elettrodi dell'esodo è vista in sezione nella seguente figura tratta da databook Philips e riferentesi alla ECH11.



La griglia controllo (ove viene applicato il segnale proveniente dall'antenna) è la n° 1, cioè la più vicina al catodo. Essa è caratterizzata da un avvolgimento delle spire a passo non regolare al fine di ottenere la caratteristica a pendenza variabile (ovvero la possibilità di diminuire il guadagno della valvola applicando una maggiore tensione negativa di polarizzazione della griglia stessa).

La griglia di iniezione è la terza, e a questa griglia viene applicato il segnale dell'oscillatore locale (triodo) che deve avere un'ampiezza piuttosto elevata (8 volt).

Tra la griglia controllo e la griglia di iniezione è interposta una griglia schermo (la n° 2) ed un'altra griglia schermo è posta tra la griglia di iniezione e l'anodo.

L'effetto delle griglie schermo (internamente collegate tra loro) è quello di dare all'esodo un funzionamento simile ad un pentodo (alta resistenza interna a vantaggio del Q del circuito oscillante posto sull'anodo e costituito dal primario del primo trasformatore di IF), ma anche quello di ridurre al minimo la capacità reciproca tra griglia controllo e griglia di iniezione, e ciò riduce l'effetto di spostamento della frequenza dell'oscillatore locale in presenza di segnali molto forti (trascinamento).

Notiamo però che non è presente una griglia di soppressione (il tipico soppressore dei pentodi).

Questo significa che la valvola non è protetta contro gli effetti nocivi dell'emissione secondaria di elettroni da parte della placca.

Ricordo brevemente che se l'emissione secondaria diventa significativa, una parte degli elettroni secondari emessi dalla placca vengono attirati dalla griglia schermo (in questo caso la G4) col risultato che (per fenomeni un tantino complessi) la resistenza interna della valvola diminuisce sensibilmente ed aumenta la distorsione. Questo produce una netta diminuzione del Q del circuito risonante in anodo (con conseguente allargamento indesiderato della larghezza della banda passante) ed una maggiore distorsione di intermodulazione.

Le circostanze più critiche si hanno quando è applicata una forte tensione negativa alla griglia controllo, cioè quando è intensa l'azione dell'AGC. In queste condizioni infatti la corrente anodica e di griglia schermo diminuisce sensibilmente, col risultato che se la griglia schermo è alimentata da una semplice resistenza connessa alla tensione anodica, la tensione della griglia schermo stessa aumenta drasticamente attirando verso di sé gli elettroni secondari emessi dall'anodo.

Questo è il motivo per cui in questa famiglia di valvole, la tensione di griglia schermo dovrebbe essere ottenuta da un partitore resistivo anziché da una semplice resistenza di caduta. Il partitore

pone infatti un limite alla tensione di schermo nel momento in cui cala la relativa corrente e quindi riduce le conseguenze dell'emissione secondaria sopra citate.

Questo si ottiene al prezzo di un maggiore consumo di corrente complessiva e di una resistenza in più. Da notare che negli apparecchi più economici, la seconda resistenza veniva comunque omessa, tollerando il fenomeno anche perché la tensione di AGC non era elevatissima.

La valvola è stata molto utilizzata nelle sue varie versioni soprattutto a cavallo tra gli anni 30 e gli anni 40. La serie rossa è stata originariamente prodotta dalla Philips. Vi sono tipi con zoccolo a piedini laterali (ECH3) e tipi con zoccolo Octal (ECH33 e ECH35) Altri tipi come la serie WE erano prodotte dalla Telefunken. Altri produttori si sono poi allineati. Interessante la versione Loctal (ECH11). Nella foto vediamo anche due versioni rimlock (ECH41 ed ECH42) degli anni 50. Nei modelli verniciati (es. serie rossa, oro, o serie Telefunken) la vernice era conduttiva ed agisce da schermo. Nelle versioni successive (es. ECH11, ECH42) lo schermo è stato inserito direttamente nel bulbo.

La valvola era prevista per funzionare con polarizzazione automatica di catodo, la trasconduttanza di conversione variava da tipo a tipo, ma nelle migliori condizioni era di circa $0,5 - 0,6 \text{ mA/V}$ con una resistenza interna di $1 - 1,5 \text{ Mohm}$.

La configurazione tipica dell'oscillatore era costituita da un circuito risonante LC posto sull'anodo del triodo ed avvolgimento di reazione sulla griglia (configurazione che dava la maggior stabilità di frequenza).

FAMIGLIA della ECH4

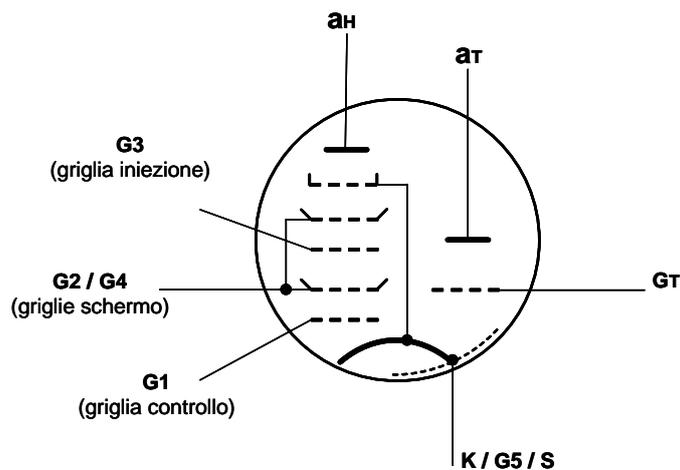
Appartengono a questa famiglia molti tubi, tra cui: **ECH4, ECH4A, ECH34, ECH21, ECH81-6AJ8**, oltre ad altre versioni con diverse tensioni di accensione ed altre equivalenti e similari. Consideriamo anche le valvole **ECH83** ed **ECH 84** di cui darò qualche breve cenno. Come per la famiglia precedente, le valvole indicate si differenziano principalmente per la forma e dimensioni del bulbo e dello zoccolo.



Le valvole di questa famiglia comprendono tutte un triodo ed un eptodo (Heptode) a pendenza variabile.

In questa valvola il triodo oscillatore e l'eptodo non hanno elettrodi in comune a parte il catodo che è unico.

Qui vediamo lo schema della valvola.



Nell'eptodo, la griglia controllo è anche qui la n° 1, cioè la più vicina al catodo. Essa è caratterizzata da un avvolgimento delle spire a passo non regolare al fine di ottenere la caratteristica a pendenza variabile. La griglia di iniezione è la terza.

Tra la griglia controllo e la griglia di iniezione è interposta una griglia schermo (la n° 2) ed un'altra griglia schermo è posta tra la griglia di iniezione e l'anodo.
L'effetto delle griglie schermo è esattamente uguale a quanto già detto per la famiglia della ECH3.

La differenza sostanziale è che qui vi è un'ulteriore griglia, posta vicino all'anodo, che agisce da soppressore al fine di eliminare gli effetti nocivi dell'emissione secondaria, esattamente come avviene nei pentodi.

Questa valvola è quindi una versione più evoluta, dove la presenza del soppressore consente di alimentare le griglie schermo con una semplice resistenza di caduta anziché con un partitore.

Altra caratteristica che rende la valvola più flessibile nelle sue applicazioni è l'assenza del collegamento interno tra la griglia del triodo e la griglia 3 dell'eptodo. Ciò consente di utilizzare separatamente ed indipendentemente le due unità col risultato che è possibile ad esempio utilizzare il triodo come amplificatore BF e l'eptodo come amplificatore IF.

Era anche proposta come amplificatore / invertitore di fase in campo audio.

Viceversa, nel normale utilizzo come convertitrice, il collegamento tra la griglia del triodo e la terza griglia dell'eptodo deve essere realizzato allo zoccolo.

Occhio quindi all'affermazione che la ECH4 si può sostituire con la ECH3. Questo non è sempre vero. Non lo è laddove le due sezioni della valvola sono utilizzate separatamente, e lo è solo con alcune cautele nel caso di convertitrice (vedi problema dell'emissione secondaria).

L'ECH4 è stata molto utilizzata soprattutto a metà degli anni 40.

La possibilità di utilizzare separatamente il triodo ha dato luogo a svariate versioni di ricevitori radio con 4 anziché 5 valvole. La tipica configurazione con ECH4 convertitrice, ECH4 come amplificatrice IF e preamplificatrice audio, EBL1 come rivelatrice e finale audio, oltre alla raddrizzatrice, è nota a tutti.

Interessante la versione loctal (ECH21) poco o niente utilizzata nel mercato italiano, ma molto in altri paesi tra cui la Cecoslovacchia.

Notiamo che la ECH81, rimasta in uso per molti anni (50' e 60') ha caratteristiche elettriche molto simili alla Rossa ECH4.

Ho inserito anche la ECH83, che è simile ma è prevista per tensioni anodiche bassissime (qui, la griglia schermo è alimentata direttamente senza resistori di caduta dalla tensione anodica) e la ECH84, la quale però pur avendo la struttura elettrodica uguale alla ECH81, non è prevista per funzionare come convertitrice in quanto la griglia 1 non ha la caratteristica a pendenza variabile e la griglia 3 ha la stessa sensibilità della griglia 1. Si tratta quindi di un tubo a doppio controllo utilizzabile sì come mixer, ma non nel caso di radioricezione ove i segnali in ingresso hanno valori che cambiano di diversi ordini di grandezza, dai microvolt alle decine di millivolt.

Essa è infatti prevista per applicazioni tv (separatore di sincronismi ed oscillatore).

Anche in questa famiglia nei modelli verniciati la vernice era conduttiva ed agisce da schermo. Nelle versioni loctal e miniatura noval (ECH21, ECH81) lo schermo è stato inserito direttamente nel bulbo.

Le prestazioni sono in genere un po' migliorate rispetto alla famiglia della ECH3. Anche queste valvole erano previste per funzionare con polarizzazione automatica di catodo e la trasconduttanza di conversione raggiungeva i 0,75mA/V.

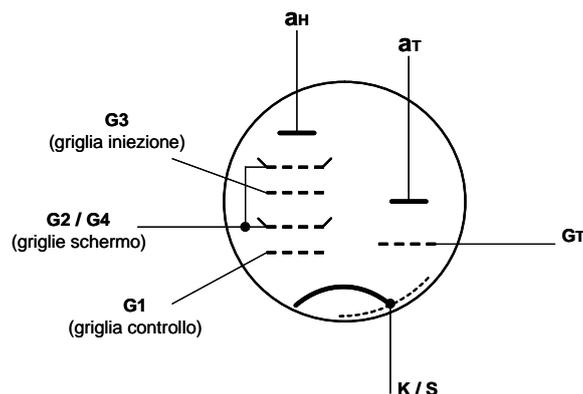
Anche qui la configurazione tipica dell'oscillatore era costituita da un circuito risonante LC posto sull'anodo del triodo ed avvolgimento di reazione sulla griglia.

FAMIGLIA della 6TE8

Appartengono a questa famiglia valvole tipo: **6TE8**, **E1R**, **ECH4G**, oltre ad altre versioni con diverse tensioni di accensione.



La valvola comprende un triodo ed un esodo (Hesode) a pendenza variabile. Qui vediamo lo schema della valvola.



Come si può notare, la valvola è un incrocio tra le due famiglie precedentemente descritte (ECH3 ed ECH4). Si tratta infatti sostanzialmente di una ECH3 (senza griglia soppressore) ma senza il collegamento interno tra la griglia dell'oscillatore e l'esodo (unità separate come la ECH4).

Ha quindi la flessibilità di impiego della ECH4, ma ha il problema dell'emissione secondaria tipico della ECH3.

E' quindi elettricamente facile sostituire una ECH3 con una 6TE8.

In alcuni casi si può anche sostituire una ECH4 con una 6TE8, ma solo se l'emissione secondaria non costituisce un problema serio.

Non mi dilungo in altre considerazioni perché ripercorrono quanto detto nelle precedenti famiglie.

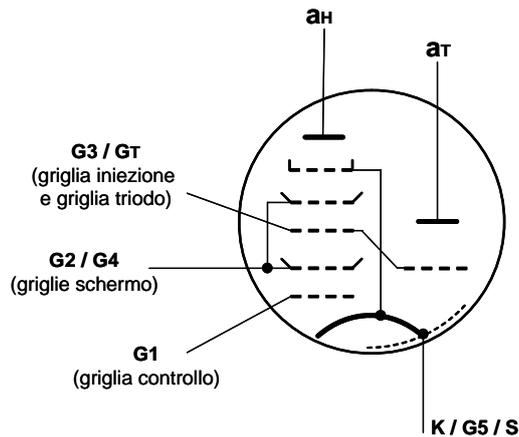
La E1R sembrerebbe essere stata inventata (peraltro per impieghi militari) proprio per sfruttare la flessibilità di impiego dovuta al fatto che le unità interne sono separate. Però i progettisti decisero di mantenere le caratteristiche elettriche della nota e collaudata ECH33.

La 6TE8 è un prodotto esclusivo della FIVRE, la quale in Italia ha prodotto per molti anni valvole uguali alle americane di pari sigla. Questa valvola però non esiste nella produzione americana. Evidentemente la Fivres voleva avere in catalogo una concorrente della ECH4 con la medesima flessibilità di impiego, ma rinunciando alla complicazione che sarebbe derivata dalla presenza della griglia di soppressione.

FAMIGLIA della 7J7

Appartengono a questa famiglia valvole tipo: **7J7**, **7S7**, **6J8**, oltre ad altre versioni con diverse tensioni di accensione.

La valvola comprende un triodo ed un eptodo (Heptode) a pendenza variabile.
Qui vediamo lo schema della valvola.



Come si può notare, la valvola è simile alla ECH3 come collegamenti esterni, ma dispone della griglia di soppressione analogamente alla ECH4.

Non risente quindi di problemi di emissione secondaria, ma la sua flessibilità di impiego è ridotta dal fatto di avere il collegamento interno tra griglia oscillatore e griglia di iniezione.

Le versioni “7” sono le tipiche versioni americane Loctal.

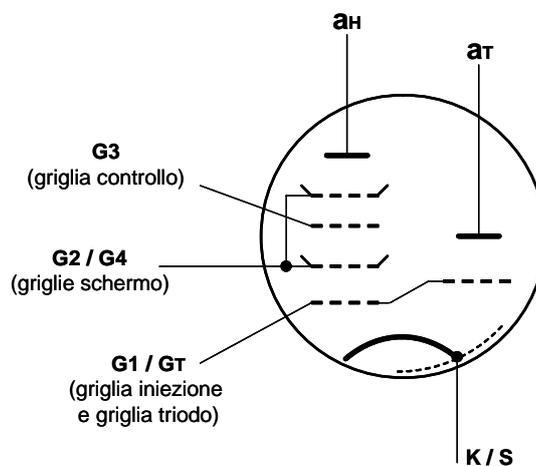
Le prestazioni di queste valvole non sono particolarmente brillanti e la trasconduttanza di conversione è più bassa rispetto alle altre famiglie già analizzate.
Hanno avuto scarsa diffusione tranne che nel mercato americano.

FAMIGLIA della 6K8

Appartengono a questa famiglia le varie versioni della stessa 6K8 (metallica, con bulbo a duomo, con bulbo cilindrico).



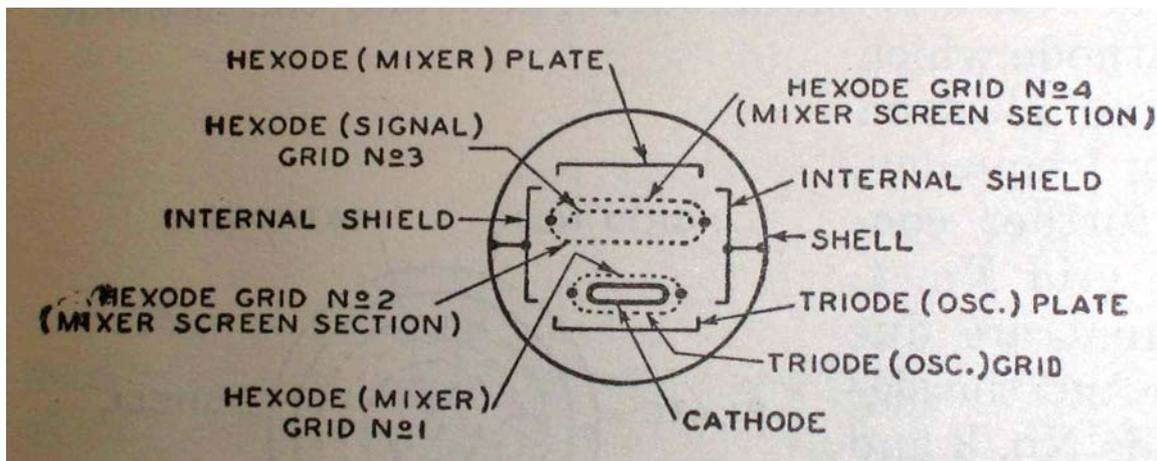
La valvola comprende un triodo ed un esodo (Hesode) a pendenza variabile. Qui vediamo lo schema della valvola.



La valvola è simile alla ECH3 come collegamenti esterni, ma possiamo subito notare che qui la griglia controllo e la griglia di iniezione dell'esodo sono rispettivamente la n°3 e la n°1: sono cioè invertite rispetto alla ECH3.

I progettisti della valvola hanno cioè posto la griglia più sensibile (griglia controllo) più lontana dal catodo, e questo introduce qualche complicazione.

Ma perché lo hanno fatto? Il motivo lo si intuisce se si guarda la particolarissima conformazione degli elettrodi che costituiscono la valvola (l'immagine è tratta da documentazione RCA)



Come si può notare, la 6K8, a differenza delle altre valvole finora viste, non ha il triodo e l'esodo ben separati tra loro e posti uno sopra l'altro l'ungo il catodo, bensì il triodo occupa una metà laterale del tubo, mentre l'esodo l'altra metà.

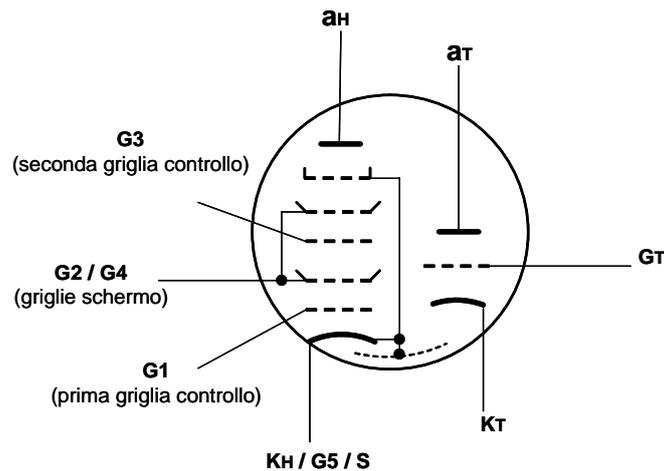
Quindi, per mantenere un'unica griglia controllo intorno al catodo (e quindi facente parte sia del triodo che dell'esodo) e considerando che questa griglia deve fungere sia da griglia del triodo oscillatore che da griglia di iniezione dell'esodo, ecco che la soluzione di porre la griglia di iniezione vicina al catodo diviene naturale. Essendo poi praticamente la stessa griglia, è logico che la griglia oscillatrice e la griglia di iniezione sono in contatto elettrico tra loro.

Penso che tale soluzione fosse stata originata dal tentativo di ottenere una valvola con minori costi di produzione. Altra soluzione originale è la tecnica con cui sono ottenute le due griglie schermo (griglia 2 e griglia 4) sostanzialmente con un'unica griglia (vedi figura).

FAMIGLIA della ECH200

Cito questa famiglia solo per la parentela a livello di costituzione elettrodica con le convertitrici, ma le valvole di questa famiglia sono state progettate per altri impieghi, in particolare per separatrici di sincronismo e simili nei circuiti dei televisori.

E' interessante vedere la disponibilità dei collegamenti allo zoccolo.



La valvola comprende un triodo ed un eptodo schermati tra loro ed i cui elettrodi sono completamente separati, compresi i catodi dei due elementi.

L'eptodo non è del tipo a pendenza variabile e le due griglie di controllo (G1 e G3) sono caratterizzate da analoga sensibilità (tubo a doppio controllo).

A parte la separazione dei catodi, la valvola è simile alla ECH84 che ho già citato nella famiglia della ECH4.