



**GLI AMPLIFICATORI RF DI POTENZA  
A TUBI E A STATO SOLIDO**

**IOFDH – Riccardo Gionetti**

**IOZV – Francesco Cherubini**

---

Frequency range	1.8-28 MHz
Modes	SSB, CW
Input Power	3000 watts, maximum
Drive power	60-70 watts
Output power	1600-1800 watts
Efficiency	55-65%
Input/Output impedances	50 Ohm
Plate Voltage	2600 volts
Harmonics	35 dB typical
Front panel status indicators	standby, operate, transmit
Metering	I <sub>g</sub> , I <sub>out</sub>
Primary Power	220/230VAC, 15A
Dimensions	430x190x430 mm
Vacuum ant relay, QSK ...	



## CLASSI DI FUNZIONAMENTO

---

### CLASSE "B" :

Quando sulla griglia si applica una tensione alternata, in sovrapposizione alla tensione fissa continua di interdizione, nelle alternanze positive il tubo conduce, in maniera circa proporzionale al segnale applicato; nelle alternanze negative invece la corrente rimane a zero. L'amplificatore in classe B, quindi, assorbe zero corrente senza segnale, ma la corrente anodica sale rapidamente in presenza di segnale. Il rendimento è molto elevato (teoricamente sino al 78%) ed in pratica si ottiene facilmente il 50-60% di potenza resa rispetto a quella assorbita.

### CLASSE "C" :

Se la tensione negativa applicata alla griglia è più elevata di quella necessaria per portare la  $I_a$  a zero, ci si trova nella classe C. In questo caso la corrente scorre solo in una parte della semionda alternata presente sulla griglia. L'amplificatore quindi non è lineare, cioè l'uscita non è proporzionale all'ingresso; questo fatto non consente l'uso della classe C con segnali variabili (AM, SSB) ma va benissimo per onda continua (CW, RTTY) . Il rendimento è molto alto, in pratica può essere del 60-80%.

### CLASSE "AB" :

Esiste poi una condizione intermedia tra la classe A e la B, chiamata infatti AB, che si verifica quando la  $I_a$  non va a zero in assenza di segnale, ma resta ad un valore abbastanza basso (10-25%) se paragonato alla  $I_a$  massima in presenza di pieno pilotaggio. Questa condizione è spesso preferita alla classe B perché in effetti su segnali di livello basso, la classe B può presentare una notevole distorsione (causa l'incurvamento della curva  $I_a/I_g$ ), mentre con la classe AB si riduce la distorsione.

La classe AB è poi ulteriormente suddivisa in AB1 ed AB2 ; nella classe AB1 non vi è mai corrente di griglia ( $I_g$ ), mentre in AB2 c'è  $I_g$  nei picchi del segnale di pilotaggio.

Nei circuiti più usuali, i tubi sono usati in AB2.

---

## POTENZA DI PICCO E POTENZA MEDIA

In un tubo funzionante in classe B la corrente anodica fluisce soltanto durante mezzo ciclo del segnale sinusoidale d'ingresso, quindi è come se fosse un interruttore che si apre e chiude periodicamente su comando del segnale d'ingresso, ed in questo caso l'eventuale milliamperometro inserito nel circuito anodico non indicherebbe la corrente di picco bensì il suo valore medio che per un segnale sinusoidale è pari ad  $I_m = I_p / 3,14$ . La corrente anodica circolante nel tubo essendo funzione al segnale d'ingresso, avrà un andamento proporzionale alla sovrapposizione del segnale RF con il segnale modulante. Il milliamperometro, con un segnale così complesso, indicherà il valore medio della corrente anodica sovrapposto al valore medio del segnale modulante, in conclusione una media di valori medi.

Il valore di picco della corrente per un segnale modulato viene chiamato PEP (Peak Envelope Peak) e data la complessità della forma d'onda non esiste un rapporto fisso tra quello che indica il milliamperometro ed il valore PEP della corrente anodica



Normal mode



Bird 4314

Peak read mode

I tubi trasmettenti sono classificati in accordo al numero di elettrodi che contengono e cioè in:

### Triodi, Tetrodi e Pentodi

#### SELEZIONE DEL TUBO TRASMITTENTE

La scelta di un triodo, di un tetrodo o pentodo dipenderà dalla potenza di pilotaggio; con basse potenze di ingresso ed alte potenze di uscita la scelta non potrà che essere un pentodo o tetrodo, mentre con potenze di pilotaggio dell'ordine del 10% di quella di uscita la scelta ricadrà sul triodo pilotato di catodo, con il vantaggio di una maggiore semplicità circuitale. Di seguito è riportata una sintesi delle caratteristiche di alcuni triodi e tetrodi che hanno avuto una larga diffusione nel campo professionale ed amatoriale sia per le loro buone caratteristiche elettriche che per il loro costo, dove per costo s'intende non soltanto quello del tubo ma anche del necessario per farlo funzionare.

I dati di potenza di uscita sono riferiti alla classe AB - B.

## I TUBI NEGLI AMPLIFICATORI DI POTENZA

Sigla	Tubo Equivalente	Tipo	Filamento Volt -Ampere	Tensione anodica .V	Dissipazione anodica . W	Potenza di uscita. W
811-A	-	Triodo	6,3 - 4	1250	65	165
813	QB2/250	Pentodo	10 - 5	2500	125	325
572B	T 160L	Triodo	6,3 - 4	2500	160	325
4-250A	QB3,5/750	Tetrodo	5 - 14,5	2500 3000	250	335 520
4-400A	QB4/1100	Tetrodo	5 - 14,5	2500 3500	400	425 660
3-500Z	-	Triodo	5 - 14,5	2500 3500	500	600 890
3CX800A7		Triodo	13,5 - 1,5	2200	800	750
4-1000A	8166	Tetrodo	7,5 - 21	3000	1000	1475
3-1000Z	8164	Triodo	7,5 - 21,3	3000	1000	1080
3CX1200A7		Triodo	7,5 - 21	3600	1200	1500
3CX1500A7	8877	Triodo	5 - 10,5	3500	1500	2075
3CX3000A7	8162	Triodo	7,5 - 51,5	4800	4000	7260
4CX5000A	8170	Tetrodo	7,5 - 75	7500	5000	10000

Se il tubo viene fatto lavorare al massimo delle sue prestazioni la vita media è sicuramente superiore a qualche migliaia di ore (nel servizio amatoriale se fatto funzionare per 1 ora al giorno si avrebbe una durata superiore ai 3-4 anni).

In pratica la vita possibile è considerevolmente più elevata e dipende da molti fattori primi fra tutti la dissipazione anodica, di griglia e la tensione di filamento.

Un altro aspetto che molto spesso viene completamente ignorato è quello di non operare mai con l'anodo non caricato in quanto il valore minimo istantaneo della tensione anodica tende al valore di tensione di catodo (come avviene quando si rimuove il carico e permane il pilotaggio).

In queste condizioni si ha il ritorno degli elettroni sul catodo con conseguenze distruttive.

La corretta accensione dei tubi è molto spesso trascurata e gli utilizzatori ignorano i problemi relativi; con il risultato che la vita del tubo si abbrevia.

Altra causa di vita breve del filamento è la sovracorrente di accensione.

Infatti un filamento di tungsteno freddo ha una resistenza ohmica molto bassa che può essere anche 1/10 di quella a caldo.

## IL FILAMENTO E CATODO

---

La tensione di filamento deve essere entro il 5% del suo valore nominale e va misurata con uno strumento di sicura precisione, i normali tester non sono abbastanza precisi a meno che non siano di tipo professionale, vanno bene i tester digitali moderni e non troppo economici. La misura va fatta direttamente sui piedini del tubo, poiché, date le elevate correnti in gioco, anche la resistenza di contatto e dei fili di collegamento potrebbero falsare la misura.

Una tensione di filamento maggiore del 5% può ridurre la vita del tubo del 60%.

La corrente all'accensione va limitata, inserendo nel primario del trasformatore una resistenza da 33 a 100 Ohm (20 -25 W) per alcuni secondi, così si riduce quell'impulso di corrente, di molte volte superiore al valore nominale che determina anche un irregolare riscaldamento iniziale del filamento.

I tubi con catodo necessitano di un periodo di preriscaldamento (30 – 180 sec) prima di applicare la tensione anodica sulla placca.

**Per quanto attiene alle ripetute accensioni e spegnimenti occorre tener presente che se il periodo previsto di non uso è di soli 15-30 minuti è preferibile lasciare accesi i tubi.**



Sul mercato sono comparsi, già da qualche anno, una serie di tubi di fabbricazione sovietica o appartenenti alla ex URSS a costi contenuti.

Sono tubi interessanti con prestazioni sulla carta eccellenti ma se non trattati con le dovute precauzioni possono dar luogo a delusioni.

Infatti richiedono quando sono nuovi un periodo di preparazione per far riassorbire dal catodo gli eventuali gas che si fossero liberati dal catodo durante il periodo di immagazzinamento, spesso durato anni.

L'operazione consiste di accendere il filamento partendo da zero sino al valore nominale secondo i seguenti tempi (suggerimento di UR4LL):

- 25% della tensione nominale per 4 ore;
- 50% della tensione nominale per 4 ore;
- 100% della tensione nominale per 4 ore.

Sulla base delle esperienze sarebbe preferibile aumentare questi tempi sino a raggiungere le 24 ore se non le 48 ore per tubi di potenza superiore ai 2 KW.

Durante questa operazione il tubo deve essere raffreddato.



DISPOSITIVO UTILIZZATO DA IOJX PER PREPARARE I TUBI ALLA VITA OPERATIVA



### TRANSISTOR E FET DI POTENZA

Rispetto agli amplificatori a tubi, quelli a semiconduttori hanno dei vantaggi operativi che li rendono attraenti, più esattamente:

- ü Non necessitano di alcun accordo essendo normalmente a banda larga e con impedenza di uscita di  $50 \Omega$ , tutt'al più richiedono l'ausilio di un accordatore automatico per eliminare gli inevitabili disadattamenti dell'antenna
- ü Possono essere installati in posizione remota in quanto sono facilmente telecomandabili
- ü Il rendimento complessivo è elevato non essendoci filamenti da accendere
- ü L'uso è immediato
- ü A parità di potenza sono più leggeri in quanto l'alimentatore, a bassa tensione, può essere di tipo switching che non necessita più del classico trasformatore a lamierini di ferro nè di condensatori elettrolitici di elevata capacità.

Le classi di funzionamento sono le stesse già descritte per i tubi e poiché saranno esaminati soltanto amplificatori lineari, sarà trattata soltanto la classe AB.

Un' utile precisazione riguarda la classe di funzionamento; infatti per alcuni transistor sono specificati solo i dati caratteristici per la classe C, ciò non esclude la possibilità di utilizzo nella classe AB o A; basta opportunamente dividere la potenza RF per un fattore che tenga conto che il transistor essendo polarizzato dissipa già una certa potenza in assenza di segnale e che il rendimento diminuisce con l'aumento della linearità.

Per raggiungere livelli di potenza superiori alle possibilità di un singolo dispositivo si possono utilizzare più transistor o più mosfet, il circuito più diffuso è quello in push-pull che oltre a consentire il raddoppio della potenza permette la realizzazione di amplificatori funzionanti su più ottave (multibanda). Recentemente sono apparsi in un unico contenitore, denominato gemini, due mosfet capaci di fornire potenze RF di 500-600 W (piuttosto costosi).

Modello	Equivalentente	Tipo	Pout (W)	Pin (W)	Vcc (V)	IMD d <sub>3</sub> (db)
MRF421	2SC2290	Trans	100	10	12,5	-32
MRF422	BLW97 2SC2510	Trans	150	15	28	-34
MRF428	BLX15	Trans	150	7,5	50	-30
MRF448	BLW96 2SC2652	Trans	250	15,7	50	-34
MRF140	-	Mos	150	4,7	28	-30
MRF150	-	Mos	150	2,9	50	-32

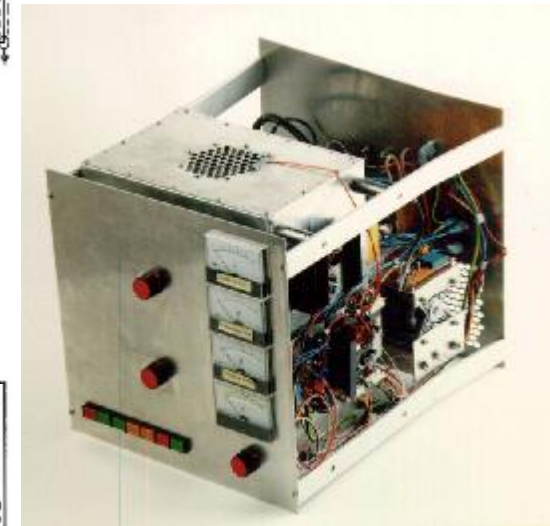
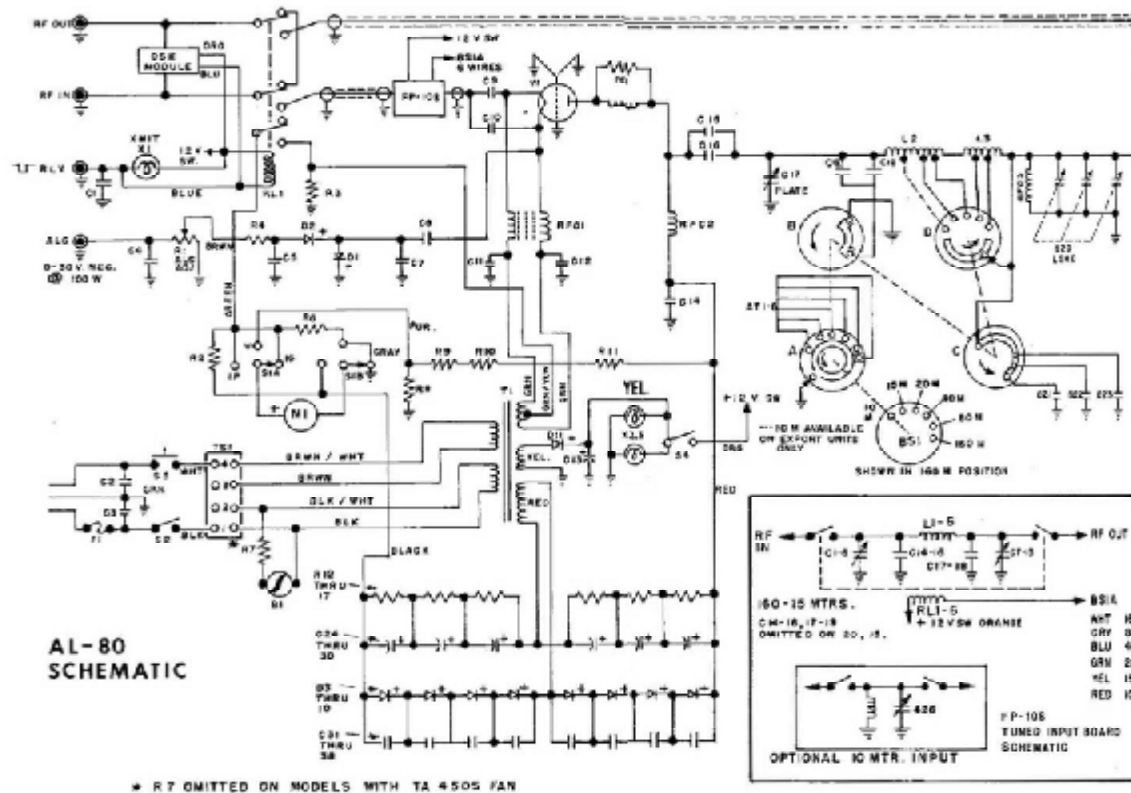
La principale differenza tra transistor e mosfet è nel circuito di ingresso, in continua il transistor presenta una resistenza medio bassa mentre nel mosfet è infinita; con l'aumentare della frequenza questa differenza si fa via via meno accentuata a causa della capacità di ingresso, di valore non trascurabile, tra gate e source. Dal punto di vista della polarizzazione i transistor necessitano di circa 0,6 V per lavorare in classe AB mentre i mosfet richiedono da 4 a 7 V.



**PROGETTO E REALIZZAZIONE DI  
AMPLIFICATORI RF DI POTENZA**

## IMPOSTAZIONE DI UN PROGETTO

L'elemento fondamentale di uno stadio RF su cui si costruisce intorno, di fatto, l'amplificatore di potenza è il tubo trasmittente che ne determina le caratteristiche tecniche: potenza di pilotaggio, di uscita, frequenza massima di funzionamento e rendimento.



### AMPLIFICATORE A TRIODO:

- q GENERALMENTE CON GRIGLIA DI CONTROLLO A MASSA
- q NON RICHIEDE LA NEUTRALIZZAZIONE
- q GUADAGNO COMPRESO TRA 10- 12 dB
- q I TRIODI IN GENERALE SONO MOLTO ROBUSTI

### AMPLIFICATORE A TETRODO

- q PUO' RICHIEDERE LA NEUTRALIZZAZIONE
- q GUADAGNO ELEVATO, CIRCA 20 dB
- q I TETRODI POSSONO ESSERE DISTRUTTI DA ECCESSIVA CORRENTE DI GRIGLIA

### AMPLIFICATORE CON TUBI SWEEP (TV)

- q GUADAGNO LIMITATO A CIRCA 6 – 8 dB
- q QUESTI TIPI DI TUBI POSSONO ESSERE FACILMENTE DISTRUTTI CON TRASMISSIONI PROLUNGATE NEL TEMPO (FM, RTTY, PSK31 E CW)



- V** = Tensione anodica,
- I<sub>ao</sub>** = Corrente anodica di riposo
- I<sub>p</sub>** = Corrente anodica RF di picco
- RL** = Resistenza anodica,
- R<sub>i</sub>** = Resistenza di ingresso
- V<sub>go</sub>** = Tensione di polarizzazione  
griglia-catodo
- V<sub>gmax</sub>** = Tensione RF max di griglia
- I<sub>gmax</sub>** = Corrente di griglia controllo  
max,
- V<sub>gs</sub>** = Tensione di polarizzazione  
griglia-schermo
- I<sub>smax</sub>** = Corrente di griglia schermo  
max,,
- P<sub>imax</sub>** = Potenza di ingresso max
- P<sub>out</sub>** = Potenza di uscita

TUBO	V	I <sub>ao</sub> mA	I <sub>p</sub> mA	V <sub>go</sub> V	V <sub>gs</sub> V	I <sub>smax</sub> mA	I <sub>gmax</sub> mA	R <sub>i</sub> W	R <sub>L</sub> W	P <sub>i max</sub> W	P <sub>out</sub> W
811-A	1250	27	175	0	-	-	28	320	3600	12	165
813	2500	30	200	- 5	0	-	50	270	7000	11	325
572	2400	20	250	- 2	-	-	45	215	4500	30	325
4-400A	2500	80	270	0	0	55	100	150	4500	40	435
4-400A	3000	90	280	0	0	55	100	140	5600	40	555
3-500Z	2500	130	400	0	-	-	120	115	3450	30	600
3-500Z	3000	60	400	- 10	-	-	108	115	4200	30	740
3-500Z	3500	55	400	- 15	-	-	108	115	5000	30	890
3CX800	2200	65	500	- 5	-	-	40	49	2950	18	750
4-1000A	3000	100	700	0	0	105	170	105	2450	130	1475
3-1000Z	2500	160	800	0	-	-	260	65	1800	95	1250
3-1000Z	3000	175	670	0	-	-	220	65	2400	65	1300
3-1000Z	3500	200	750	0	-	-	245	65	2600	85	1750
3CX1200	3600	100	700	- 10	-	-	230	85	2900	85	1500
3CX1500	3500	180	1000	- 8	-	-	75	55	2000	65	2075

## CLASSE AB – INGRESSO di CATODO

La corretta accensione dei tubi è molto spesso trascurata e gli utilizzatori ignorano i problemi relativi; con il risultato che la vita del tubo si abbrevia.

Altra causa di vita breve del filamento è la sovracorrente di accensione, Infatti un filamento di tungsteno freddo ha una resistenza ohmica molto bassa che può essere anche 1/10 di quella a caldo.

Di conseguenza, al momento dell'accensione, la corrente iniziale supera di molte volte quella nominale e determina un irregolare riscaldamento iniziale del filamento.

La soluzione migliore per i tubi a filamento di tungsteno toriato è di accenderli, quando sono nuovi, alla tensione nominale per le prime 200 ore di vita, quindi ridurre la tensione del 5-6 %. Allorché il tubo sarà molto invecchiato e mostrerà difficoltà ad erogare le correnti usuali, si potrà tornare alla piena tensione nominale.

Se si avrà in seguito un ulteriore calo di rendimento si potrà incrementare la tensione di filamento di un 5% max.

Questa procedura non è valida per i tubi con catodo

### VALIDO PER TUTTI I TUBI:

- Accensione graduale del filamento

### SOLO PER I TUBI CON CATODO

- Temporizzazione per preriscaldamento del filamento

La parte principale dell'alimentatore è il trasformatore AT che deve essere dimensionato per la potenza media richiesta: se si usano tubi con potenza input di 2 KW, e si desidera trasmettere in modo continuativo, questa è la potenza nominale del trasformatore.

Se la trasmissione è di tipo intermittente, la potenza del trasformatore può essere ridotta sino a 1200 W. Un'ulteriore riduzione non è consigliabile, non solo per motivi di riscaldamento, ma per evitare eccessivi sbalzi nella tensione di uscita.

Il trasformatore AT non può essere collegato alla tensione di rete per prove, se è disconnesso dal circuito, perché le extracorrenti di apertura e chiusura provocano nel secondario tensioni elevatissime che possono danneggiare l'isolamento che deve essere comunque adeguato (almeno 4 KV o più se necessario).

Volendo variare la tensione di uscita si può prevedere una presa a 260 V che usata al posto della presa a 220 V riduce la tensione sul secondario nel rapporto di 1 a 0,85 (p.e da 3000 a 2550 V).

Se si utilizza questa soluzione, il trasformatore AT non può avere il secondario dei filamenti.

I condensatori di filtro dell'alta tensione, debbono essere del tipo professionale a carta-olio con tensione di lavoro maggiore rispetto a quella di uscita dell'alimentatore a vuoto, oppure condensatori elettrolitici posti in serie e di tensione da 300 a 500 V cadauno .

Per costituire un condensatore da 3000 V non bastano 10 condensatori da 300 V. Infatti mettendo molti condensatori in serie la suddivisione della tensione non è mai perfetta, ed occorre prevedere un margine almeno del 20% .

Ogni condensatore deve essere munito di una resistenza di equalizzazione in parallelo, preferibilmente da 1 W . Il valore può essere tale da assorbire circa 1 mA, cioè 330 K $\Omega$  per tensioni di 300 V, 470 K $\Omega$  per tensioni sino a 420 V e così via.

Diodi per alte tensioni sono abbastanza costosi e non facilmente reperibili. Una soluzione meno elegante, però efficiente, consiste nell'usare numerosi diodi in serie tra loro (1N4007, BY255....).

In questo caso ogni diodo dovrà essere munito di una resistenza in parallelo di valore 560 K $\Omega$  - 0,5 W .

Questa alimentazione è necessaria - ovviamente - solo se si usano tetrodi o pentodi.

Per generare la **VGs** si può ricorrere direttamente all'alta tensione mediante un resistore di caduta e circuito di stabilizzazione (tubo a gas e/o stabilizzatore a stato solido).

Con una AT di 2800 V, una VGs = 300 V ed una corrente max di 25 mA si ha una  $R = (2800-300)/25 = 100 \text{ K}\Omega$  ed una potenza effettiva di  $2500 \times 0,025 = 62 \text{ W}$ .

Questo metodo presenta tre vantaggi:

- Se non è presente l'AT, viene sicuramente a mancare VGs
- Se l'assorbimento di corrente supera il valore prestabilito, si verifica un immediato abbassamento di VGs
- Se la griglia schermo emette corrente, la VGs non può aumentare, dato l'effetto del circuito di stabilizzazione.

Attualmente si preferisce ricorrere ad una alimentazione separata dall'AT mediante un apposito alimentatore stabilizzato.



Dato l'elevato costo dei tubi è opportuno prevedere delle protezioni, qualora uno dei valori di corrente (griglia controllo, schermo e di placca) vengano superati, per sovrapiotaggio, errate manovre, mancanza di polarizzazione, auto oscillazioni ecc....

Un apposito circuito provvede a disinserire la AT e quella di griglia schermo.

Una protezione di facile realizzazione è l'inserimento di una resistenza di  $27 - 56 \Omega / 5 - 10 W$  nella linea AT, nel caso di scarica all'interno del tubo limita il valore di picco della corrente.

Oltre alla resistenza è possibile inserire un fusibile sia sulla linea AT di placca che nella linea di catodo, questo solo negli amplificatori con griglia a massa.

Il fusibile nella linea di placca non può essere uno normale, ma deve essere autocostruito in quanto i cilindretti che sottendono il filo devono essere distanti 4-5 cm per evitare che in caso di bruciatura del filo s'innesci un arco.

Mediante un circuito L-C è possibile effettuare l'adattamento dell'impedenza di uscita del tubo ( $Z$  alta) con l'impedenza dell'antenna ( $Z = 50 \text{ Ohm}$ ), soltanto con queste condizioni si ha il massimo trasferimento di potenza verso l'antenna, condizione ideale si ha quando  $R_L = R_c$ .

I possibili circuiti di adattamento sono:

- q *Circuito risonante parallelo LC.*
- q *Circuito ad L .*
- q *Circuito a p-greco (p )*
- q *Circuito a p - L .*

La banda passante dei circuiti sopracitati deve essere adeguata, ovvero pari almeno all'1% della frequenza di lavoro

Il circuito a p - L presenta indubbi vantaggi rispetto gli altri:

- Ø *Maggiore rapporto di trasformazione di impedenza.*
- Ø *Incremento dell'attenuazione di 10-15 dB su tutte le armoniche.*
- Ø *Riduzione della capacità di uscita, quindi un condensatore variabile più piccolo.*

Anche per l'ingresso dell'amplificatore è necessario avere 50 Ohm di impedenza, la procedura è analoga a quella vista per l'uscita, soltanto che la criticità di costruzione del p è abbastanza ridotta dovendo trasferire potenze di circa 50-150 Wmax

Presso questo sito si può scaricare un programma che permette il calcolo del p e p - L

<http://www.tonnesoftware.com/piel.html>



Di solito i condensatori variabili sono due, quello di accordo di anodo e quello di uscita. Le correnti che circolano sono rilevanti (8-10 A per 2 KW input) quindi i contatti a molla verso il rotore devono essere alquanto robusti. L'isolamento dello statore è di solito ottenuto con parti ceramiche.

La spaziatura deve essere quella giusta; se è inferiore si avranno scariche, se è superiore le dimensioni e la capacità minima saranno eccessive. Per tensioni anodiche di 3 KV la spaziatura adatta è 2,5 mm, e molti condensatori surplus hanno questa spaziatura. Verso i 4 KV è bene arrivare a 3 mm. Per potenze input di 3 KW o superiori è opportuno orientarsi verso i variabili sotto vuoto con isolamento a 7 kV di lavoro.

Il variabile di uscita ha di solito una capacità tra 1000 e 2000 pF e la spaziatura può essere relativamente bassa : tra 0,7 e 1 mm.



- § Tra i molti condensatori fissi previsti in un amplificatore di potenza, alcuni sono attraversati da forti correnti o sottoposti a tensioni elevate.
- § Il condensatore di accoppiamento tra anodo e circuito di uscita è il più sollecitato.
- § Sono consigliabili i condensatori ceramici Centralab, eventualmente usandone diversi in parallelo se la potenza è elevata, orientativamente uno può bastare per ogni KW input.



- § Quando si montano in parallelo, occorre collegarli usando lamelle o piastrine di rame dello spessore di 0,5 mm.
- § Per i condensatori di by pass sulla griglia schermo si ricorre a condensatori ceramici di alta capacità e tensioni di lavoro elevate almeno il doppio della VGs.



Le così dette " Choke" sono delle induttanze di valore relativamente elevato, il cui compito è di impedire il passaggio della RF. Pertanto di solito la RF che le percorre è modesta, però vi può essere corrente continua (RFC di anodo) o alternata ( RFC di filamento).

La **RFC di anodo**, essendo percorsa da una corrente, di solito tra 0,5 A ed oltre 1 A, dovrà essere avvolta con filo di rame del  $\varnothing$  tra 0,3 e 0,5 mm. Una forma usata con successo consiste in un avvolgimento ad uno strato su un cilindro in ceramica, plexiglass o teflon di  $\varnothing$  tra 15 e 25 mm, e di lunghezza appropriata.

Però con induttanze di circa 200  $\mu$ H il numero delle spire è tale che si possono creare risonanze spurie con gravi inconvenienti per il funzionamento dell'amplificatore alle frequenze più alte. Pertanto vanno adottati degli accorgimenti per far sì che le risonanze spurie siano al di fuori delle bande di funzionamento

In alcuni amplificatori per avere una elevata induttanza adatta fino ai 160, viene aggiunto un avvolgimento supplementare, inseribile in serie all'avvolgimento principale mediante un rele'.

La **RFC di filamento** è di solito avvolta in bifilare, con filo smaltato a spire serrate.

Può essere conveniente usare un tubo di PVC, nel cui interno si può inserire un cilindro di ferrite (del tipo usato per le antenne dei ricevitori per onde medie  $\varnothing$  1 cm) per aumentarne l'induttanza effettiva che dovrebbe essere pari ad:

$$L \text{ (mh)} = (0,8 \times Z_i) / F$$

$Z_i$  = Resistenza d'ingresso del tubo con griglia a massa ( $\Omega$ )

F = Frequenza di ingresso più bassa ( MHz).

Per la realizzazione del circuito  $\pi$  e  $\pi - L$ , le bobine dei circuiti di ingresso possono essere avvolte su normali supporti del  $\varnothing$  6 - 10 mm e rese regolabili mediante nuclei ferromagnetici a vite: tuttavia l'uso dei nuclei a vite va fatto con circospezione perché potrebbero saturarsi se il livello di pilotaggio è eccessivo.

Le bobine del circuito  $\pi$  di uscita, per potenze di uscita sino a 1 -1,5 KW, possono essere avvolte come segue:

Per 28 MHz : nastro di rame 10 x 1 mm o tubo  $\varnothing$  esterno 6 mm

Per 21 MHz : tubetto di rame  $\varnothing$  esterno 4 - 6 mm

Per 14 MHz : tubetto di rame  $\varnothing$  esterno 3 - 4 mm

Per 7 MHz: filo di rame  $\varnothing$  2 - 2,5 mm

Per 3,5 MHz: filo di rame  $\varnothing$  1,5 - 2 mm

L'argentatura del filo, tubetto e nastro di rame è d'obbligo.



Poiché l'amplificatore deve funzionare su frequenze diverse, è necessario variare l'induttanza del circuito  $\pi$  di uscita.

Se si usa una bobina variabile, il commutatore non serve e si può accordare liberamente su ogni frequenza, anche nelle bande WARC, senza difficoltà.

Questa scelta ha l'inconveniente che occorrono molti giri di manopola se si passa da un estremo all'altro della banda HF, ciò spiega perché nella maggioranza dei casi si usa un commutatore.

Tale commutatore deve essere fornito di contatti robusti in grado di sopportare le tensioni e le correnti RF circolanti, inoltre deve provvedere a cortocircuitare la parte di induttanza non utilizzata.

Per potenze di 1-2 KW la corrente RF circolante è compresa tra 5 e 10 A, pertanto i contatti dovranno essere adeguati. Circa l'isolamento, se nel variabile di anodo la spaziatura è di 3 mm, nel commutatore tale valore sarà il minimo accettabile.



**SCelta DEI COMPONENTI - RELE'**

Il relè che disconnette l'uscita RF dall'antenna deve essere adatto a correnti rilevanti, mentre l'isolamento può essere di soli 500/1000 V (ciò vale solo per uscite a bassa impedenza 50 o 75 Ω).

In genere non occorre un relè nel vuoto per potenze inferiori al KW ma un buon relè ceramico con contatti in lega di argento. Il relè di ingresso può essere quasi di qualsiasi tipo, escludendo i sub miniatura.

Contact & Relay Ratings	Units	GH1 HAM
<b>Voltage, Operating Max., Contacts &amp; to Base (15 µA Leakage Max.)</b>		
dc or 60 Hz	kV Peak	N/A
2.5 MHz	kV Peak	1.9
16 MHz	kV Peak	1.5
32 MHz	kV Peak	1.1
<b>Current, Continuous Carry Max</b>		
dc or 60 Hz	Amps	N/A
2.5 MHz	Amps	11
16 MHz	Amps	7
32 MHz	Amps	5
<b>Coil Hi-Pot (V RMS, 60 Hz)</b>	V	500
<b>Capacitance</b>		
Across Open Contacts	pF	2
Contacts to Ground	pF	2.5

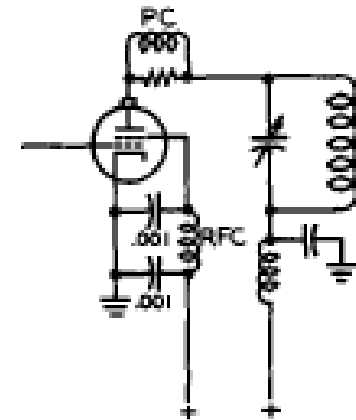


Un primo tipo di oscillazione può avvenire all'incirca alla stessa frequenza di lavoro dell'amplificatore. Ciò è dovuto per due possibili motivi:

- q Esistenza di un accoppiamento capacitivo, interno al tubo, per cui l'amplificatore si comporta come un oscillatore accordato tra griglia ed anodo. Con la neutralizzazione si può eliminare questo inconveniente.
- q Esistenza di accoppiamento capacitivo od induttivo, esterno al tubo, tra il circuito di ingresso e quello di uscita. Con una buona separazione elettrica e magnetica ed un buon filtraggio dell'alimentazione è possibile l'eliminazione dell'autooscillazione.

Collegamenti a massa troppo lunghi, fili lunghi nei circuiti di griglia e di anodo possono comportare oscillazioni in VHF.

Un terzo tipo di oscillazione può manifestarsi su frequenze più basse di quella di lavoro a causa delle capacità distribuite del choke di anodo e di griglia



La potenza di uscita RF di un amplificatore è uno dei principali indicatori del grado della sua efficienza.

Un altro parametro di particolare interesse è il suo “rendimento” cioè il rapporto tra la potenza di uscita e quella di ingresso dalla rete.

La potenza assorbita dalla rete può essere ottenuta misurando la tensione e la corrente con un amperometro in alternata.

Questa misura è solo orientativa in quanto non si ha conoscenza dello sfasamento tra la tensione e la corrente, quindi la potenza che si ottiene è un valore in eccesso dal momento che la potenza reale (quella assorbita) può essere minore o tutt'al più uguale a quella misurata a cui si dà il nome di **potenza apparente (VA VoltAmpere)**.

In SSB non essendoci portante la potenza viene definita in termini di PEP (Peak Envelope Power). Questa è la potenza RF di picco che si ha sotto modulazione.

Se il segnale modulante è un tono singolo continuo, ad esempio 1000Hz, la potenza PEP è uguale alla potenza media.

Il metodo raccomandato è quello del segnale modulante a 2 toni, applicati nello stesso tempo, con il quale è possibile sia la misura della potenza che la verifica della linearità dell'amplificatore.



Rispetto agli amplificatori a tubi quelli a semiconduttori hanno dei vantaggi operativi che li rendono attraenti, più esattamente:

- § Non necessitano di alcun accordo essendo normalmente a banda larga e con impedenza di uscita di  $50 \Omega$ , tutt'al più richiedono l'ausilio di un accordatore automatico per eliminare gli inevitabili disadattamenti dell'antenna.
- § Possono essere installati in posizione remota in quanto sono facilmente telecomandabili.
- § Il rendimento complessivo è più elevato non essendoci filamenti da accendere.
- § L'uso è immediato, non c'è bisogno di preriscaldamento.
- § A parità di potenza sono più leggeri in quanto l'alimentatore, a bassa tensione, può essere di tipo switching che non necessita più del classico trasformatore a lamierini di ferro nè di condensatori elettrolitici di elevata capacità.
- § Sono più sicuri da un punto di vista shock elettrico in quanto lavorano in bassa tensione (12 – 80 VDC)

A questi vantaggi tuttavia si associano alcuni svantaggi:

- § La potenza disponibile, a costi relativamente contenuti, non supera attualmente i 1000 W
- § La distorsione (prodotti IMD) è superiore agli equivalenti amplificatori a tubi.
- § Hanno una minore resistenza al sovraccarico, al surriscaldamento ed alle sovratensioni prodotte da disadattamenti o da eventi elettrostatici di origine meteorologica.



L'adattamento dell'impedenza di ingresso e di uscita a  $50 \Omega$ , in un amplificatore del tipo push pull, è realizzata con trasformatori in ferrite a larga banda, il cui rapporto spire è normalmente 4:1, 9:1 per il circuito d'ingresso, mentre per il trasformatore di uscita è necessario conoscere il valore del carico ottimo per i due collettori,  $R_{cc}$ , che può essere calcolato con la seguente :

$$R_{cc} = 2 \times (V_{cc} - V_{sat})^2 / P_{out}$$

ove:

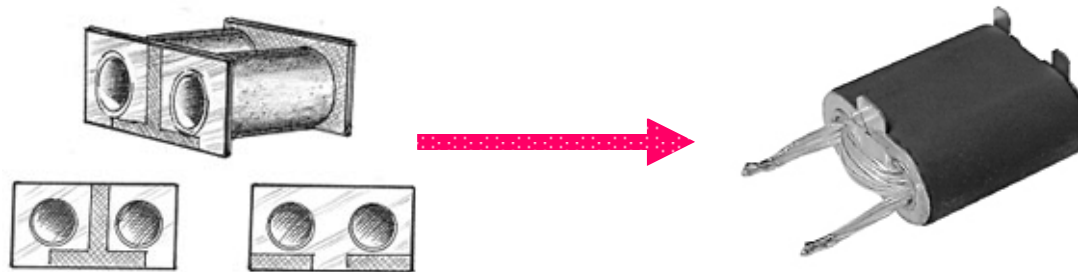
$R_{cc}$  = Resistenza di carico collettore-collettore

$V_{cc}$  = Tensione di alimentazione

$V_{sat}$  = Tensione di saturazione

$P_{out}$  = Potenza di uscita

Considerando una resistenza  $R_{cc}=15 \Omega$  e una  $R_{carico}$  di  $50 \Omega$  il rapporto spire del trasformatore sarà  $(N_s/N_p)^2 = R_{carico}/R_{cc} = 3,3$ , se  $N_p=1$  spira si ha  $N_s^2=3,3$   
 $N_s \sim 2$  spire



Il segnale di uscita dall'amplificatore RF non ha una elevata purezza spettrale e quindi contiene numerose armoniche per cui si rende necessaria un'azione di filtraggio.

Gli amplificatori a banda larga, del tipo push-pull, sopprimono la seconda armonica di circa 40-50 dB, mentre la terza armonica è soppressa soltanto di 10-11 dB.

La situazione peggiore si ha sulle frequenze basse, in quanto numerose armoniche cadono entro i 30 MHz.

Quindi il filtraggio del segnale deve essere effettuato per ogni banda assegnata al traffico amatoriale, in pratica occorre un filtro passa basso per ogni segmento di banda.

L'inserimento o disinserimento dei filtri può essere realizzato manualmente, mediante un commutatore ceramico con contatti sufficienti alla potenza in gioco, oppure più convenientemente mediante relè.

## RAFFREDDAMENTO

Quando si parla di potenza di uscita, si deve associare un'altrettanta potenza che viene dissipata nei tubi o transistor. Quando si hanno potenze superiori ai 100 W è necessario prevedere lo smaltimento del calore prodotto.

Per migliorare il trasferimento di calore si può ricorrere alla ventilazione forzata di aria che in linea di principio può essere prevista a partire da 100 W in su per evitare l'uso di radiatori troppo ingombranti nel caso di amplificatori a stato solido.

Lo spazio occupato da un radiatore, a parità di potenza smaltita, occupa 2-3 volte lo spazio di un radiatore combinato con un ventilatore, infatti con quest'ultimo è possibile smaltire una potenza 2-3 volte maggiore.

L'uso della ventilazione forzata ha due inconvenienti: richiede energia e produce rumore acustico che spesso può risultare fastidioso, inoltre determina trasporto di polvere che tende a depositarsi all'interno.

L'appropriato dimensionamento della ventilazione forzata richiede una serie di considerazioni sul:

1. Calcolo del flusso di aria,
2. Valore della pressione statica,
3. Tipo di ventilatore.



## RAFFREDDAMENTO

---

I tubi debbono operare entro una gamma di temperature abbastanza precise affinché la vita media non si accorci sensibilmente, la temperatura esterna di un tubo in vetro non deve superare i 220°C, mentre in un tubo ceramico deve rimanere entro i 200°C nella parte ceramica, l'anodo può raggiungere i 250°C. La maggior parte dei costruttori indica il volume d'aria e la relativa pressione statica necessari al raffreddamento del tubo.

Questi valori non sono facilmente verificabili se non si possiede l'opportuna strumentazione, pertanto si compensa con l'esperienza.

Nei transistor la max temperatura che può raggiungere la giunzione base-collettore è circa 200 C°, questo valore limite non deve essere superato e si deve evitare di far lavorare il transistor appena al disotto di questa temperatura per evitarne la rottura prematura.

Per conoscere la temperatura di giunzione è necessario conoscere la resistenza termica del complesso radiatore/transistor, una  $R_{th}$  di 2,5 °C/W indica che per ogni Watt di potenza dissipata la temperatura del transistor aumenta di 2,5 °C rispetto alla temperatura ambiente.

## REALIZZAZIONE

---

La costruzione di un amplificatore può iniziare solo dopo che si sia in possesso di principali componenti chiave, e cioè, i tubi, i condensatori variabili (di solito due), il commutatore di banda, il trasformatore di alta tensione e dei filamenti, il ventilatore e gli strumenti.

Parallelamente alla scelta del tubo (o tubi) una importante decisione riguarda il tipo di costruzione: se monopezzo, cioè con alimentatore incorporato, oppure se con alimentatore separato, oppure ancora con costruzione in moduli "Rack".

La costruzione monopezzo, in inglese chiamata "desktop", impone alcune limitazioni, in particolare nell'ingombro totale e nel peso complessivo, ma anche una strumentazione minima. Negli apparati prodotti commercialmente la soluzione desktop comporta una notevole economia e quindi è preferita.

Se non vi sono inderogabili problemi di spazio, la costruzione di un alimentatore separato offre parecchi vantaggi, tra cui non ultima quella di poter usare l'alimentatore anche per altri eventuali amplificatori.

La costruzione in moduli tipo rack, è poco diffusa perché più ingombrante e costosa è però certamente molto più tecnica ed affidabile.

## ESEMPI DI AMPLIFICATORI AUTOCOSTRUITI





## BIBLIOGRAFIA



### MANUALE DEGLI AMPLIFICATORI DI POTENZA

F. Cherubini IOZV

R. Gionetti IOFDH

EDIZIONI CD