

IL MAD

... ovvero Monotriodo Alla Diego ...

Sugli amplificatore a valvole è stato già detto molto, forse anche troppo, ma alla fine, non si esce mai dalle solite proposte che ricalcano schemi classici, affermati, conosciuti, ma rispetto ai quali si può fare (modestia a parte) molto meglio ...

... senza voler insegnare niente a nessuno, questo circuito è un bell'esempio di come sia possibile, superando i luoghi comuni, realizzare un'amplificazione a tubi di buona potenza e ottima resa musicale, utilizzando soltanto materiali di commercio.

Inizio da qualche dato numerico per dare un'idea dei risultati (¹):

- ✓ Potenza di uscita di 6W
- ✓ Distorsione armonica inferiore allo 0,5% (è un dato ricavato per via teorica, ma non dovrebbe discostarsi molto dalla realtà, ad ogni modo siamo molto lontani dai risultati tradizionali)
- ✓ Fattore di smorzamento superiore a 25 ... non vi dice niente? Giusto, ma pensate che, tradotto, significa un'impedenza di uscita 25 volte inferiore al carico collegato in uscita. E' una delle caratteristiche necessarie per avere una gamma bassa profonda ed articolata, e per un buon realismo dei pienoni orchestrali (che in caso di impedenze di uscita elevate vengono appiattiti e diventa quasi impossibile riconoscere i singoli strumenti)
- ✓ Banda passante a 2W erogati di 35Hz – 23kHz
- ✓ Rumore in uscita con ingresso chiuso in corto: immisurabile (almeno, io con un oscilloscopio con sensibilità massima di 5mV/div, non riesco a tirare fuori un valore utile)
- ✓ Anelli di reazione: NESSUNO

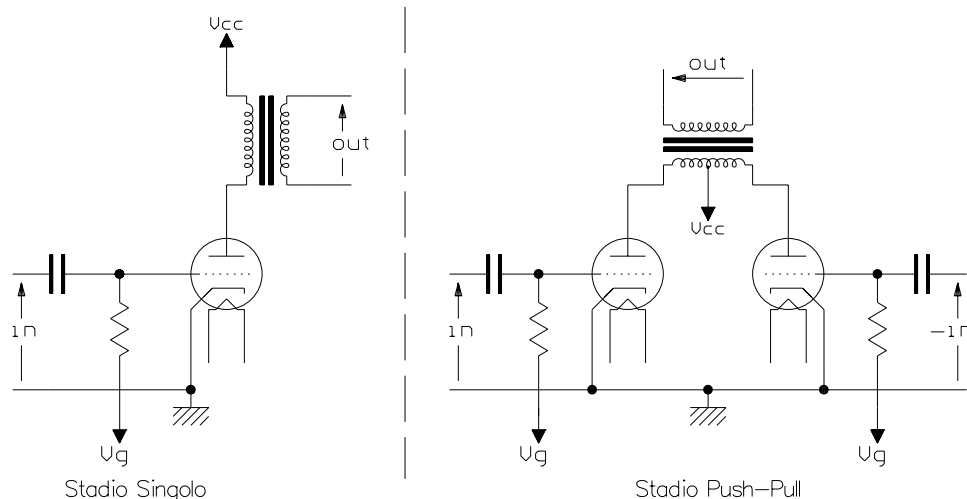
L'idea del progetto

Prima di passare allo schema elettrico, è necessario vedere in cosa consiste l'originalità del circuito. Durante tutta la trattazione mi riferirò alle caratteristiche del triodo 2A3 visto che è poi quello effettivamente impiegato (²).

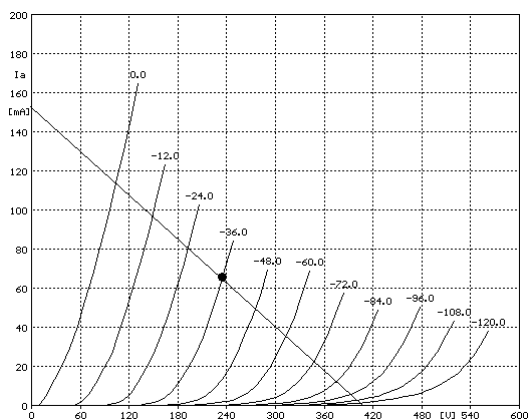
Tradizionalmente le configurazioni impiegate sono le seguenti ...

¹ Premetto che il tubo finale, in circuiti tradizionali (monotubo in classe A) eroga 3,5W con distorsioni armoniche del 10%

² Ci sarebbero altre possibilità almeno sulla carta altrettanto valide: la 300B (che consentirebbe una potenza almeno doppia, è stata scartata sia per l'elevato costo, sia per la scarsa affidabilità degli esemplari più "economici"), KT66 a pseudotriodo e via dicendo. Non c'è una regola precisa per scegliere un tubo piuttosto che un altro, il mio circuito si presta a essere provato con un'infinità di triodi (ricordate, triodi o tetrodi e pentodi solo se collegati a triodo).



Si nota che il tubo lavora direttamente sul carico offerto dal trasformatore di uscita ⁽³⁾. Visto che le difficoltà di realizzazione di un buon trasformatore (tenuto conto che il primario è sottoposto alla corrente continua di polarizzazione del tubo) crescono esponenzialmente con il rapporto di trasformazione, si cerca di ottenere il miglior risultato possibile compatibilmente con un'impedenza primaria più bassa possibile. Per questo solitamente una 2A3 è impiegata con un carico dinamico di 2500 - 3000Ω. Vediamo come si comporta il tubo, utilizziamo le caratteristiche anodiche su cui ho tracciato la retta di carico per 2500Ω (con il punto di riposo consigliato dalla FIVRE ⁽⁴⁾ in un data sheet d'epoca)

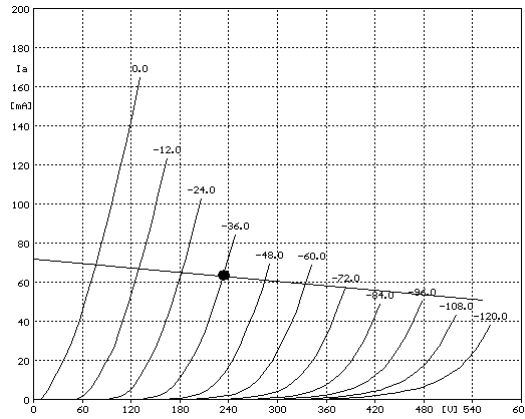


Si vede che se è vero che il punto di riposo si trova in una regione molto lineare (perché le curve sono tutte piuttosto rettilinee e equispaziate), dinamicamente si va ad interessare la regione ad alta tensione e bassa corrente. E' qui che si hanno i maggiori problemi, infatti le curve non sono più equispaziate, per cui (è un discorso molto qualitativo, ma consente di farsi una buona idea della situazione con risultati abbastanza vicini alla realtà) lo stadio perde la sua linearità e viene introdotta una distorsione piuttosto alta. Infatti, la massima tensione erogabile è di 130Vpicco (equivalenti a 3.5W su 2500Ω) con una distorsione che (calcolata per via grafica) supera il 10%.

Proviamo a vedere cosa succede usando un carico molto più elevato. Tracciando la retta di carico per 25kΩ, con lo stesso punto di riposo di prima, si ha ...

³ Ricordo che l'impedenza traslata a primario vale $R_p = n^2 R_l$ dove n è il rapporto di trasformazione, R_l è l'impedenza collegata al secondario.

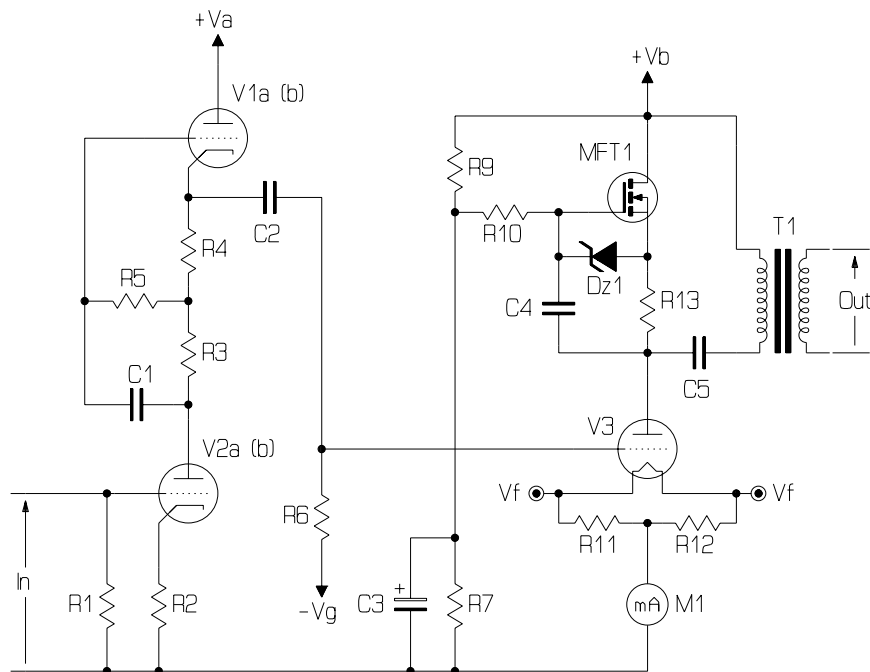
⁴ Ovvero Fabbrica Italiana Valvole Radio Elettriche: ha prodotto innumerevoli 2A3 per il mercato italiano, quindi la considero una fonte molto attendibile per applicazioni tradizionali.



Si vede immediatamente che il punto di lavoro ora si muove nella regione di massima linearità. Infatti il tubo ora eroga 150Vpicco (che su 2500Ω corrispondono a 4.6W) con una distorsione che per via grafica non è apprezzabile: morale si sta sfruttando al meglio la grande linearità di cui un triodo è capace (e che ne giustifica l'impiego). Notare che è possibile spingersi in griglia positiva in modo da aumentare ulteriormente la potenza erogata: è quello che viene fatto nel MAD. Il problema ora si è spostato: abbiamo visto come si può sfruttare al meglio un tubo, però non è possibile costruire un trasformatore di uscita con un'impedenza primaria così elevata. Allora che cosa si può fare oggi? Semplice, pensiamo che oggi la tecnologia ci mette a disposizione anche i dispositivi a semiconduttore ... occorre solo liberarsi dai pregiudizi e dai luoghi comuni e pensare un attimo ai risultati che l'idea dell'inseguitore ci ha fornito su HybridOne. In questo modo si può pensare di costruire uno stadio adattatore di impedenza a stato solido, in modo da usare il tubo solo come amplificatore di tensione (cosa che riesce a fare egregiamente).

Schema elettrico: l'amplificatore

Per non ricadere in HybridOne, volevo che il tubo fosse in serie alla maglia di uscita, per questo ho disegnato il seguente schema elettrico.



<i>Ref</i>	<i>Descrizione</i>
<i>R1</i>	<i>Resistenza 100kΩ 1/4W</i>
<i>R2</i>	<i>Resistenza 680Ω 1W</i>
<i>R3</i>	<i>Resistenza 4700Ω 1W</i>
<i>R4</i>	<i>Resistenza 680Ω 1W</i>
<i>R5</i>	<i>Resistenza 100kΩ 1/4W</i>
<i>R6</i>	<i>Resistenza 47kΩ 1W</i>
<i>R7</i>	<i>Resistenza 47kΩ 2W</i>
<i>R9</i>	<i>Resistenza 47kΩ 2W</i>
<i>R10</i>	<i>Resistenza 220kΩ 1/4W</i>
<i>R11</i>	<i>Resistenza 47Ω 2W</i>
<i>R12</i>	<i>Resistenza 47Ω 2W</i>
<i>R13</i>	<i>Resistenza 10Ω 2W</i>
<i>C1</i>	<i>Condensatore poliestere 1μF</i>
<i>C2</i>	<i>Condensatore poliestere 2μF 400V</i>
<i>C3</i>	<i>Condensatore elettrolitico 10μF 350V</i>
<i>C4</i>	<i>Condensatore poliestere 1μF</i>
<i>C5</i>	<i>Condensatore polipropilene 10μF 400V</i>
<i>DZ1</i>	<i>Zener 15V 1W</i>
<i>V1</i>	<i>6SN7 (vedi testo)</i>
<i>V2</i>	<i>6SN7 (vedi testo)</i>
<i>V3</i>	<i>2A3</i>
<i>MFT1</i>	<i>IRF820 (vedi testo)</i>
<i>T1</i>	<i>Trasformatore di uscita (vedi testo) Pri: 2500Ω; Sec: 4/8Ω</i>
<i>M1</i>	<i>Strumentino 100mA</i>

Partiamo dallo stadio di uscita. E' composto da V3 e dal mos MFT1, collegati a SRPP⁽⁵⁾.

Il mosfet funziona come adattatore di impedenza, non solo nei confronti del tubo, ma anche verso il trasformatore di uscita che infatti viene pilotato con una resistenza equivalente di circa 70 Ω . Questo porta i seguenti vantaggi:

- ✓ Il fattore di smorzamento dell'amplificatore viene ad essere molto elevato (superiore a 25).
- ✓ Il trasformatore di uscita non è percorso dalla corrente continua, quindi è possibile usare anche nuclei toroidali.

Infine, la polarizzazione: generalmente si ricava la tensione negativa di griglia per mezzo di una resistenza sul catodo, però è necessario un aumento della tensione anodica. Questo crea dei problemi se si vogliono usare condensatori facilmente reperibili in commercio, allora ho scelto la polarizzazione di tipo fisso: si tratta di fornire la tensione di griglia per mezzo di un opportuno alimentatore e di controllare (con lo strumentino M1) che la corrente a riposo stia in un intorno di 70mA. Notare che il mos dissipa circa 14W (come il tubo finale), quindi dissipatelo convenientemente (sempre senza esagerare). Un'ultima considerazione ... ho consigliato il IRF820

⁵ Il SRPP è un circuito che utilizza due dispositivi elettronici, di cui quello "basso" (facendo riferimento all'ubicazione sullo schema elettrico) è il vero e proprio amplificatore di tensione, mentre quello "alto" realizza un adattamento di impedenza. Il risultato è che il dispositivo basso lavora con un carico dinamico molto elevato che garantisce una bassa distorsione, mentre l'uscita è a bassa impedenza. Il nome significa Series Regulated Push Pull ... sinceramente non lo ritengo molto adeguato, perché non si tratta di un push pull nel senso classico (cioè con i dispositivi pilotati in controfase), ed il circuito originale risale almeno agli anni '50.

($I_{dmax}=2A$), se possibile non sostituitelo con il IRF840 ($I_{dmax}=10A$): infatti stiamo lavorando con 70mA, e il IRF820 garantisce una transconduttanza un po' più alta.

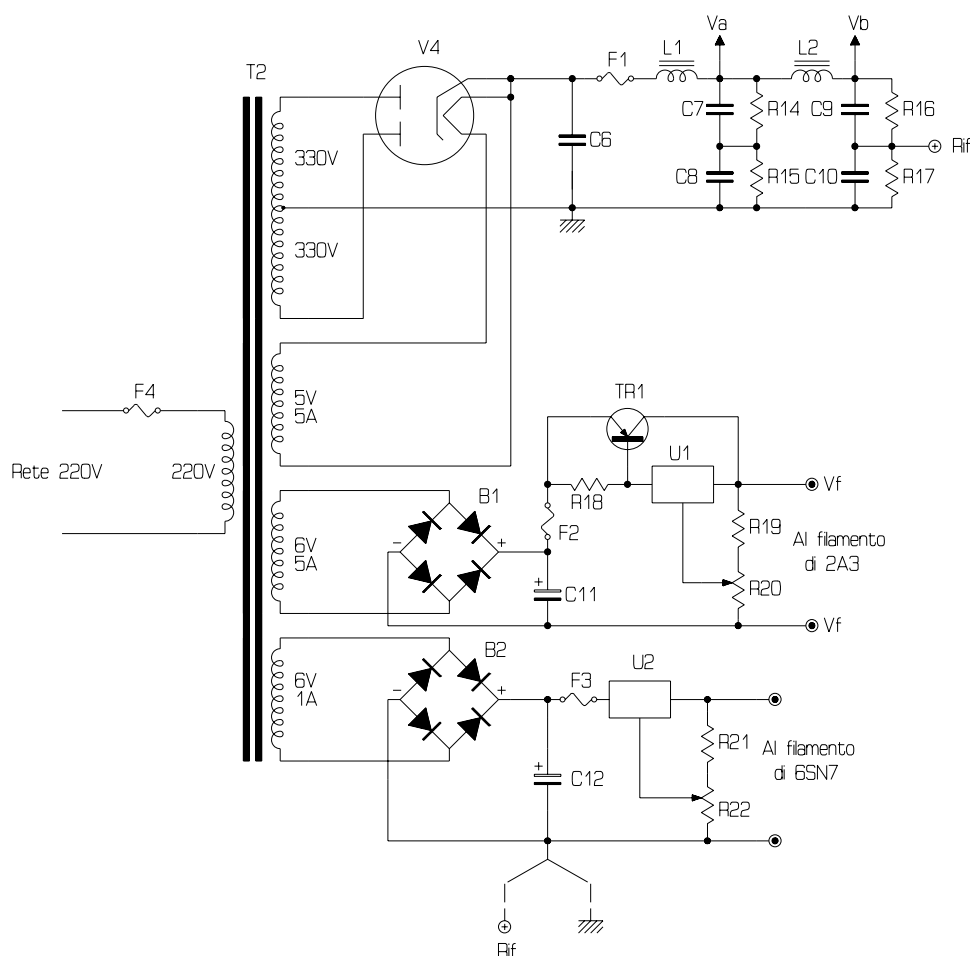
Questo stadio riesce ad erogare 6W, però si deve spingere la griglia di V3 a tensioni positive. Il problema è che, quando la griglia di un tubo diventa positiva rispetto al catodo, inizia ad assorbire corrente, quindi rappresenta, per il circuito a monte, un carico fortemente variabile. Per questo è necessario un pilota con impedenza di uscita molto bassa. Allora è quasi forzato ricorrere ad un altro SRPP. E' realizzato con le sezioni di due 6SN7 ⁽⁶⁾; il punto di riposo è piuttosto spinto, ma pur sempre entro i limiti massimi. Notare che in questo caso il SRPP deve essere costruito con le sezioni di due tubi diversi. Nel senso che si devono prendere due 6SN7 ed usarne una esclusivamente per i triodi "alti" del SRPP, mentre l'altra per i triodi "bassi": non dobbiamo dimenticare che il filamento è sì isolato dal catodo, ma l'isolamento è garantito fino ad una tensione massima che non è ovviamente superabile. Allora è necessario che il filamento dei triodi "alti" venga riferito ad un potenziale all'incirca pari alla metà della tensione anodica, e questo è possibile solamente usando due tubi diversi.

Il risultato è una sensibilità di 2Vrms per 6Wrms di uscita.

Per finire un consiglio: il C5 ha una grande influenza sul risultato finale. Io ho usato dei condensatori in polipropilene di qualità molto elevata, ma è possibile usare anche elettrolitici veloci (usati in alimentatori switching), magari di capacità un po' più alta (diciamo sui 47µF). Sconsiglio vivamente soluzioni più semplici come i rifasatori per motori: in questa posizione danno un suono piuttosto moscio e spento.

L'alimentatore di alta tensione e dei filamenti

Infine vediamo l'alimentatore. Lo schema è disegnato per un solo canale



⁶ E' un doppio triodo nato espressamente per l'uso audio e, ovviamente, ancor oggi prodotto.

<i>Ref</i>	<i>Descrizione</i>
<i>R14</i>	<i>Resistenza 47kΩ 2W</i>
<i>R15</i>	<i>Resistenza 47kΩ 2W</i>
<i>R16</i>	<i>Resistenza 47kΩ 2W</i>
<i>R17</i>	<i>Resistenza 47kΩ 2W</i>
<i>R18</i>	<i>Resistenza 2.7Ω 1W</i>
<i>R19</i>	<i>Resistenza 1kΩ 1/4W</i>
<i>R20</i>	<i>Trimmer 1kΩ</i>
<i>R21</i>	<i>Resistenza 1kΩ 1/4W</i>
<i>R22</i>	<i>Trimmer 1kΩ</i>
<i>C6</i>	<i>Condensatore 16μF 600V (vedi testo)</i>
<i>C7</i>	<i>Condensatore elettrolitico 470μF 350V</i>
<i>C8</i>	<i>Condensatore elettrolitico 470μF 350V</i>
<i>C9</i>	<i>Condensatore elettrolitico 470μF 350V</i>
<i>C10</i>	<i>Condensatore elettrolitico 470μF 350V</i>
<i>C11</i>	<i>Condensatore elettrolitico 4700μF 25V</i>
<i>C12</i>	<i>Condensatore elettrolitico 1000μF 25V</i>
<i>B1</i>	<i>Ponte raddrizzatore 5A</i>
<i>B2</i>	<i>Ponte raddrizzatore 1A</i>
<i>TR1</i>	<i>TIP34</i>
<i>U1</i>	<i>LM317</i>
<i>U2</i>	<i>7806</i>
<i>V4</i>	<i>GZ34</i>
<i>F1</i>	<i>Fusibile rapido 100mA</i>
<i>F2</i>	<i>Fusibile ritardato 4A</i>
<i>F3</i>	<i>Fusibile ritardato 1A</i>
<i>F4</i>	<i>Fusibile ritardato 2A</i>
<i>L1</i>	<i>Induttore 10H 200mA</i>
<i>L2</i>	<i>Induttore 10H 100mA</i>

Notare che l'alta tensione è ricavata mediante dei raddrizzatori a vuoto. Perché questo? Semplice, i diodi a vuoto hanno una resistenza equivalente più alta dei normali diodi allo stato solido, quindi il passaggio dall'interdizione alla conduzione è molto più "dolce", i rumori di commutazione sono minori e in molti sostengono che questo collabori ad una maggiore "pulizia" del suono.

Usando diodi a vuoto, però, è necessario che i primi condensatori di filtro siano abbastanza piccoli (per i GZ34 viene stabilito un valore massimo di 60 μ F) per evitare che le correnti di picco raggiungano valori tali da uccidere il tubo in breve tempo. Per questo io ho usato dei condensatori in polipropilene da 16 μ F 630V, usati per rifasare i motori da lavatrice: hanno il vantaggio di costare veramente un'inezia e di essere molto affidabili, oltretutto in questo punto non incidono assolutamente sul risultato sonoro.

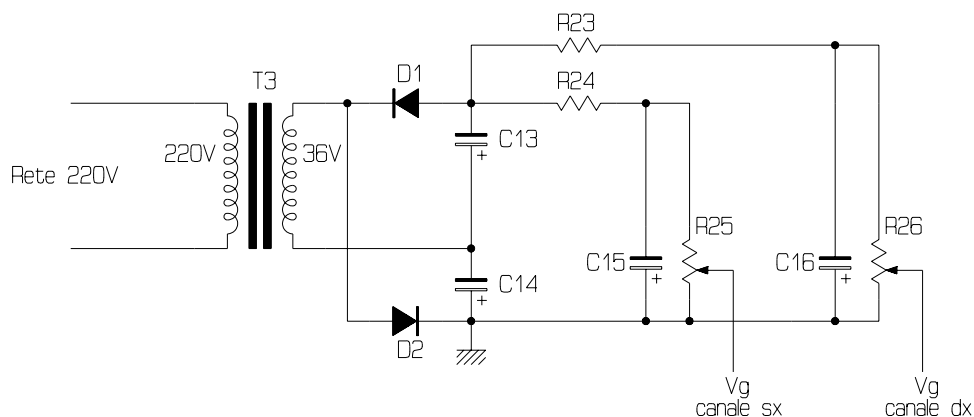
Sulle capacità a valle degli induttori c'è molta più libertà. Io ho usato valori per complessivi 220 μ F, sicuramente aumentandoli un po' si può ottenere un maggior impatto in gamma bassa, però non conviene esagerare (tenete presente che i 220 μ F caricati a 400V immagazzinano un'energia di quasi 18J, pari a quella assorbita da un comune led tenuto acceso per 10 minuti). Sono stati usati elettrolitici in serie perché componenti con tensione di lavoro superiore ai 400V sono di difficile reperibilità. Le R14, R15 e R16, R17 servono per distribuire equamente la tensione sui condensatori e per scaricarli velocemente.

I filamenti ... sono tutti alimentati in continua. La scelta è quasi obbligata per i 2A3, essendo triodi a riscaldamento diretto, checchè ne dicano in molti, il rumore indotto dall'alimentazione in alternata è udibile (e noioso). Per i 6SN7, invece, non sarebbe proprio necessario, però, già che ci siamo, non è poi così difficile fare un alimentatorino ad hoc. In entrambi i casi è comodo poter regolare finemente la tensione ⁽⁷⁾ per eliminare le cadute dei collegamenti, soprattutto considerando che la 2A3 assorbe la bellezza di 2,5A. Attenzione: l'alimentazione di filamento della 2A3 NON deve essere riferita a massa, infatti il filamento funziona anche da catodo (prelevato dal punto comune di R11 e R12).

Come già detto il SRPP di ingresso deve essere realizzato usando un 6SN7 esclusivamente come tubo "alto" ed un altro 6SN7 esclusivamente come tubo "basso", per poter meglio distribuire le tensioni catodo – filamento. Per il tubo "alto" l'alimentazione di filamento deve essere riferita a metà anodica (vedi il punto "Rif" ricavato con un partitore), mentre per il tubo "basso" deve essere riferita a massa.

L'alimentatore delle griglie

Infine, il negativo di griglia è ricavato con un semplice raddrizzatore (moltiplicatore per usare un trasformatore di commercio) ed un filtro piuttosto energico, seguiti da un potenziometro ⁽⁸⁾.



<i>Ref</i>	<i>Descrizione</i>
<i>R23</i>	<i>Resistenza 1kΩ 2W</i>
<i>R24</i>	<i>Resistenza 1kΩ 2W</i>
<i>R25</i>	<i>Potenzometro 22kΩ 2W</i>
<i>R26</i>	<i>Potenzometro 22kΩ 2W</i>
<i>C13</i>	<i>Condensatore elettrolitico 100µF 100V</i>
<i>C14</i>	<i>Condensatore elettrolitico 100µF 100V</i>
<i>C15</i>	<i>Condensatore elettrolitico 220µF 200V</i>
<i>C16</i>	<i>Condensatore elettrolitico 220µF 200V</i>
<i>D1</i>	<i>1N4007</i>
<i>D2</i>	<i>1N4007</i>
<i>T3</i>	<i>Trasformatore 6VA Pri: 220V; Sec: 36V</i>

⁷ E' un'operazione da fare una sola volta nella vita, non disturbatevi a mettere un voltmetro e un potenziometro a 350 giri.

⁸ Qui eccedete pure con la qualità. Comprate un buon potenziometro sigillato, perché tutto lo sporco che si potrebbe accumulare renderebbe molto "ballerina" la corrente di riposo. Inoltre è necessaria una capacità di dissipazione di almeno 2W. Io ho usato dei componenti professionali dal solito catalogo RS.

L'unico trasformatore che è necessario fare avvolgere è quello dell'alta tensione (a meno di non riuscire a trovare qualcosa di surplus o per applicazioni industriali).

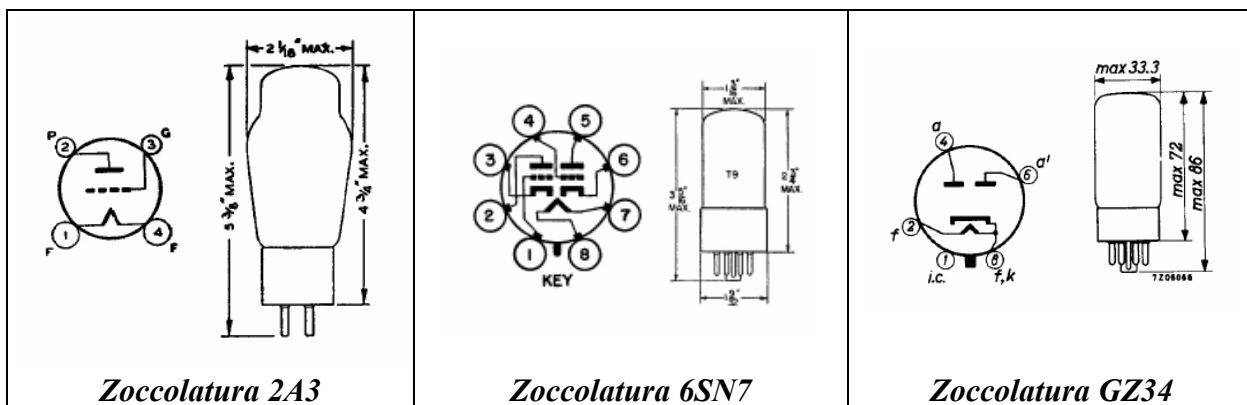
Mi raccomando, non togliete assolutamente i (numerosi) fusibili. Non dimenticate che lavoriamo con tensioni molto alte, quindi la sicurezza non è mai troppa. Il fusibile non è presente sull'alimentatore delle griglie: se infatti viene a mancare la tensione di griglia è molto probabile che si distruggano i tubi finali. Allora conviene, piuttosto, montare un fusibile in serie alla rete 220V (a monte quindi di T3 e T2) e usare per F1 dei componenti rapidi.

Il trasformatore di uscita

Qui c'è una grande libertà di scelta. Tenete presente che è il componente più importante (o quasi) perché condiziona fortemente i risultati. Potete usare sia i numerosi trasformatori che si trovano presso i negozi specializzati di audio, oppure potete fare da soli. Dato per scontato che i trasformatori di qualità veramente alta costano una fortuna e appurato (esperienza personale) che quelli economici fanno pena, ho provato altre strade ... in preda a follia mi sono avvolto personalmente una coppia di trasformatori che mi hanno dato buoni risultati (le misure si riferiscono proprio al prototipo equipaggiato di questi trasformatori), a chi ne fosse interessato posso fornire tutti i piani di costruzione. Però la vera sorpresa è un'altra: con non poco scetticismo iniziale ho provato i trasformatori toroidali di alimentazione con primario a 220V, secondario a 9V o 12V (rispettivamente per diffusori da 4Ω o 8Ω) e potenza attorno ai 100VA. Hanno una banda passante sufficientemente estesa (15Hz - 25kHz a -3dB e 4W erogati) ed un dettaglio veramente eccezionale. Mi fermo con in commenti, perché so che è difficile crederci, però vi esorto a provarli, visto anche il loro costo ridicolo.

Le connessioni dei tubi

Un'ultima nota: negli schemi, per comodità, non sono riportati i numeri dei piedini dei tubi, riporto quindi di seguito la zoccolatura di tutti i tubi (ricordate che sono tutti visti da sotto).



Non ha senso che mi dilunghi ulteriormente sulla costruzione, molto dipende dal telaio che scegliete. Per qualsiasi problema, come sempre, scrivetemi a diego.barone@tin.it.