REALIZZAZIONE DI UN AMPLIFICATORE HF
1 KW INPUT
A STATO SOLIDO

I0FDH – Riccardo Gionetti

IMPOSTAZIONE DEL PROGETTO

Si vuole realizzare un prototipo di amplificatore a stato solido con potenza di uscita di circa 500 W, pilotabile soltanto con alcuni W per avere la possibilità di amplificare i 5-10 W di un ricetrasmettitore QRP.

VANTAGGI DELLO STATO SOLIDO

Un amplificatore a stato solido rispetto ad un amplificatore a tubi ha dei vantaggi costruttivi che rendono la realizzazione meno complessa dal punto di vista della sicurezza per la mancanza di alte tensioni, ma ciò non significa una riduzione delle accortezze da adottare per la sicurezza dell'operatore.

A parità di potenza sono di dimensioni più contenuti e più leggeri, in quanto l'alimentatore (a bassa tensione 40 - 50 V), può essere di tipo switching. Inoltre l'uso è immediato, non essendoci filamenti da accendere e accordi da effettuare, l'impedenza di uscita è già 50 Ω.

Possono essere installati in posizione remota in quanto sono facilmente telecomandabili.

L' attuale disponibilità di transistor e FET di potenza (> 150 W) consente di realizzare amplificatori RF con potenze comprese tra 500 e 1000 W a costi non particolarmente elevati.

Modello	Equivalente	Tipo	Pout (W)	Pin (W)	Vcc (V)	IMD d_3 (db)	Costo $
MRF421	2SC2290	Trans	100	10	12,5	-32	70
MRF422	BLW97 2SC2510	Trans	150	15	28	-34	72
MRF428	BLX15	Trans	150	7,5	50	-30	65
MRF448	BLW96 2SC2652	Trans	250	15,7	50	-34	105
MRF140	-	Mos	150	4,7	28	-30	65 (*) 145
MRF150	-	Mos	150	2,9	50	-32	50 (*) 125

(*) 2 Matched

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, tra gate e source, di valore non trascurabile. 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.

Nei primi anni del 1980 la Motorola sviluppò una linea di mosfet di potenza per amplificatori RF ed *Helge Granberg*, uno dei loro ingegneri, scrisse una serie di "Application Notes" per l'utilizzo di questi FET di potenza. Nel corso degli anni i suoi progetti sono diventati molto noti ed utilizzati e in qualche misura rappresentano uno standard nel campo degli amplificatori a stato solido.

L' Application Note EB104 è stata presa a riferimento per la realizzazione di questo amplificatore.
L'amplificatore utilizza il mosfet MRF150 che con 50 Volt di alimentazione eroga una potenza di 150 Watt a 30 MHz, guadagno in potenza di 17 dB (tipico), efficienza maggiore del 45%, IMD (d3) (150 W PEP) circa 32 dB, testato per disallineamenti di carico a tutti gli angoli di fase con VSWR 30:1.

Con quattro MRF150 collegati in push pull (coppia di due paralleli) si hanno circa 500 W su tutte le bande HF.

La Communication Concepts (http://www.communication-concepts.com) commercializza numerosi kit di amplificatori di potenza da 20 a 1000 W, tutti di progettazione Motorola di cui fornisce il kit, completo di circuito stampato oppure i singoli componenti.

Per la realizzazione si possono prendere due strade: la meno costosa acquistare il kit dei trasformatori in ferrite ed il circuito stampato, oppure acquistare il kit completo al costo di 321 $, di cui 256 $ è il solo costo dei quattro MRF150. A questa cifra si dovranno aggiungere i costi di spedizione e dogana.

Il kit della CCI fornisce l'elemento fondamentale dell'amplificatore ma non è un amplificatore completo, affinché lo diventi è necessario progettare e costruire i seguenti sottoassiemi:

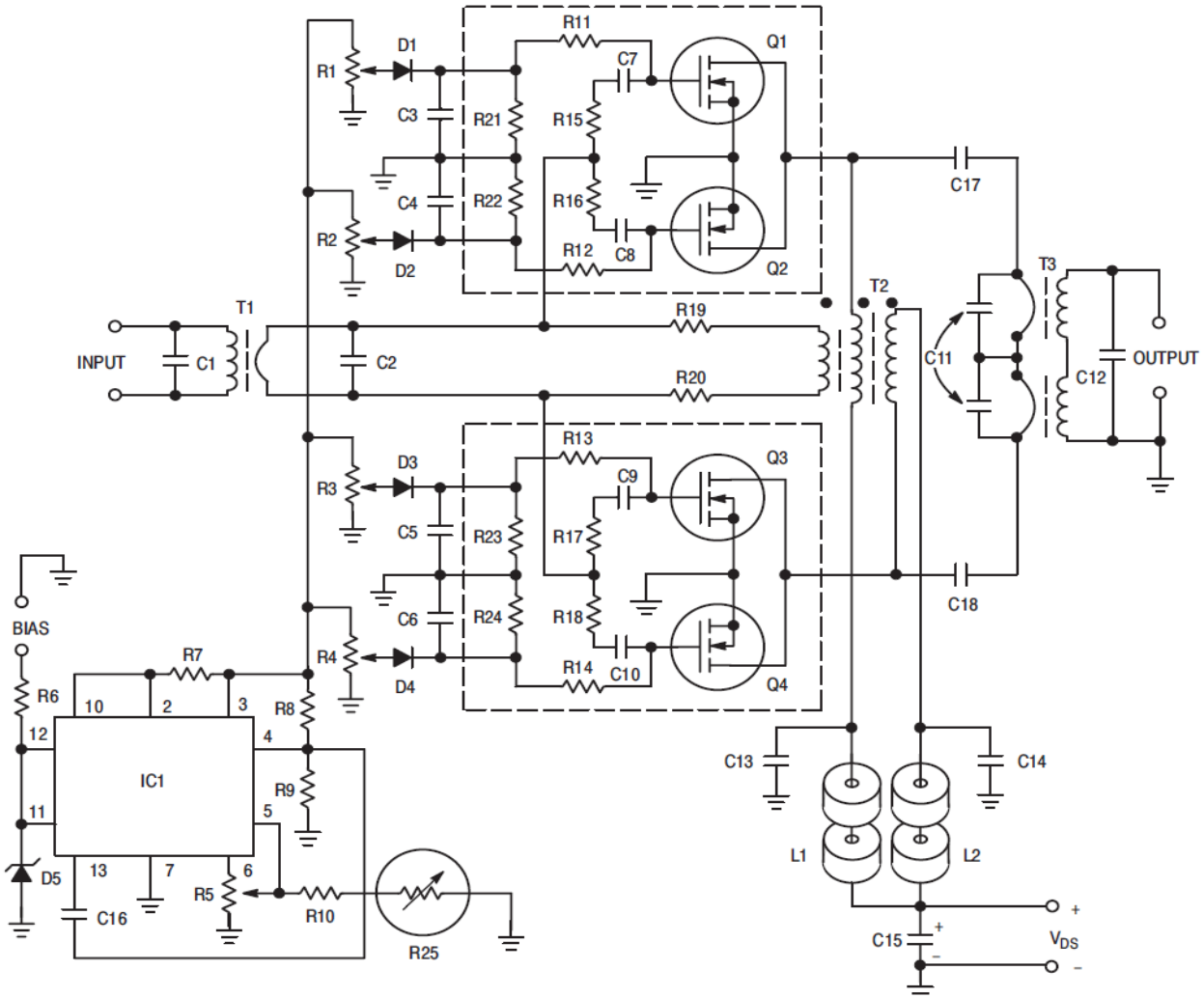
1. Alimentatore;
2. Commutazione Ricezione – Trasmissione;
3. Commutazione di banda;
4. Filtro RF passa basso di uscita;
5. Circuiti di misura e protezione per evitare:
    1. *troppa potenza RF di eccitazione;*
    2. *VSWR, superiore a 3:1;*
    3. *corrente di alimentazione, superiore a 25 A;*
    4. *temperatura del radiatore, superiore a 70°C.*
6. Contenitore metallico e sistema di ventilazione.

IL PROGETTO E LA REALIZZAZIONE DI UN AMPLIFICATORI RF DI POTENZA RICHIEDE TEMPO, UN BUDGET, UN LABORATORIO E SOPRATTUTTO MOLTA PAZIENZA

SPECIFICHE TECNICHE

Gamma di frequenza:	**1.8 - 30 MHz**
Modo:	**SSB**
Potenza di uscita:	**500 – 550 watt**
Potenza di pilotaggio:	**5 watt – 25 watt** (con attenuatore)
Impedenza Input/Output :	**50 Ω**
Tensione di alimentazione:	**45 – 50 volt**
Corrente di alimentazione	**20 – 22 A**
Soppressione armoniche:	**≥ 60 dB**
Dimensioni:	**22** x **14** x **25 cm**
Alimentazione esterna	

DESCRIZIONE TECNICA – AMPLIFICATORE EB104



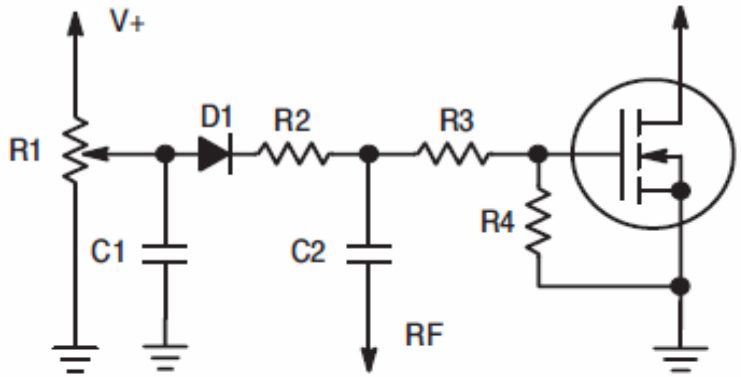
Nello schema originale, il UA723 viene alimentato tramite un diodo Zener (D5) al fine di ridurre la tensione di alimentazione da 50 V, a 28 V.

Dato che all'interno dell'amplificatore è previsto un alimentatore switching che genera una tensione di 15 V a partire dai 50 V, si utilizza questa tensione per alimentare direttamente il UA723, bypassando R6.

Il UA723 fornisce una tensione stabilizzata (pin 3) ai gate dei mosfet con cui si stabilisce la corrente di riposo e quindi anche la classe di funzionamento.
Il circuito di polarizzazione non deve erogare alcuna corrente se non quella che passa nella rete di polarizzazione, ma non per questo è meno semplice in quanto la corrente di riposo del FET è particolarmente sensibile alla tensione di gate che per la classe AB è compresa tra 6 e 8 V con correnti di drain, a riposo, di circa 0,1-0,2 A.

La tensione di soglia del gate che ha un coefficiente di temperatura negativo, influenza la corrente di drain a riposo, soprattutto se il *Gfs (*)* è elevato, quest'ultimo inoltre diminuisce con la temperatura rendendo più complicata la compensazione che comunque può essere realizzata con un termistore (R25) che deve essere in contatto fisico con il radiatore.

Il termistore ha una resistenza di 10 KΩ a 25 C° e 2,5 KΩ a 75 C°.
Nel circuito del bias sono inseriti quattro diodi (D1-D4) che, nel caso uno dei FET si rompa, impedisce che il + 50 V dell'alimentazione vada nella rete di polarizzazione: R1, R2, R3, R4 e distrugga gli altri FET.



(*) ***Transconduttanza, GFS, è la misura della sensibilità della corrente di drain alle variazioni della tensione di polarizzazione gate-source.***

I tre trasformatori RF (T1 : T3), per l'adattamento dell'ingresso e uscita, sono probabilmente i componenti più critici dell'amplificatore in quanto debbono essere a banda larga e nel caso di quello di uscita trasferire una potenza di 500 W. Per il loro dimensionamento è necessaria la conoscenza dell'impedenza d'ingresso e uscita dell' MRF150 nel range 2 – 30 MHz.

Nei data sheet è normalmente riportata la carta di Smith da cui si può dedurre il valore dell'impedenza di ingresso in funzione della frequenza. L'impedenza di un push-pull, in classe AB, è circa il doppio di quella del singolo FET.

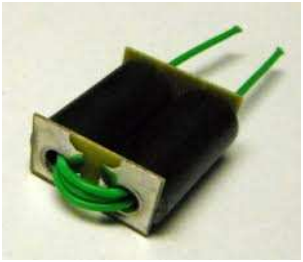
Poiché l'impedenza di ingresso, ed il guadagno, diminuiscono con la frequenza, l'adattamento di impedenza è ottima soltanto su una banda di frequenze ristretta a meno che si adottino alcuni accorgimenti che prevedano un VSWR di ingresso entro 2:1 ed una massima variazione di guadagno di ± 1,5 dB da 2 a 30 MHz.

T1 e T3 hanno un rapporto di impedenza di 9:1, e sono avvolti su ferriti "binoculari".
T1 adatta l'ingresso di 50 ohm con i 5,5 Ω di impedenza d'ingresso dei quattro FET, mentre T3 è l'opposto: adatta i 5,5 Ω di impedenza di uscita dell'amplificatore con i 50 Ω uscita.

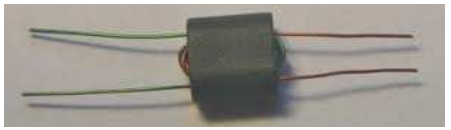
Tramite Il trasformatore T2 gli MRF150 vengono alimentati ed inoltre tramite l'avvolgimento supplementare si realizza un feedback negativo che riporta all'ingresso una piccola percentuale della tensione di uscita al fine di ridurre il guadagno alle frequenze più basse. Questa controreazione riduce la variazione di guadagno a ± 1,5 dB.

Il trasformatore T3 è realizzato con dei cilindri di ferrite che devono essere abbastanza grandi in modo che il materiale non saturi alla max potenza di uscita, al fine di evitare la distorsione del segnale ed il riscaldamento della ferrite stessa.

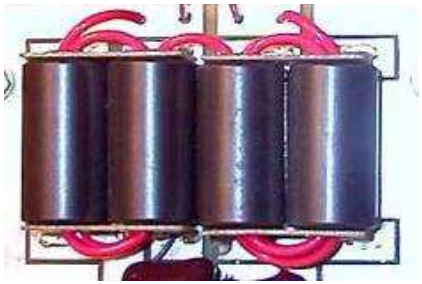
I trasformatori T1 e T3 hanno un avvolgimento costituito da due tubetti in ottone o rame inseriti nella ferrite. I tubetti sono cortocircuitati tra loro ad una estremità e sono il primario o secondario a seconda come sono collegati e rappresentano una singola spira



- T1 è un RF400 con 850 di permeabilità (materiale 43), rapporto 9:1 con 3 spire realizzate con filo da 0,5 mm isolato in teflon;



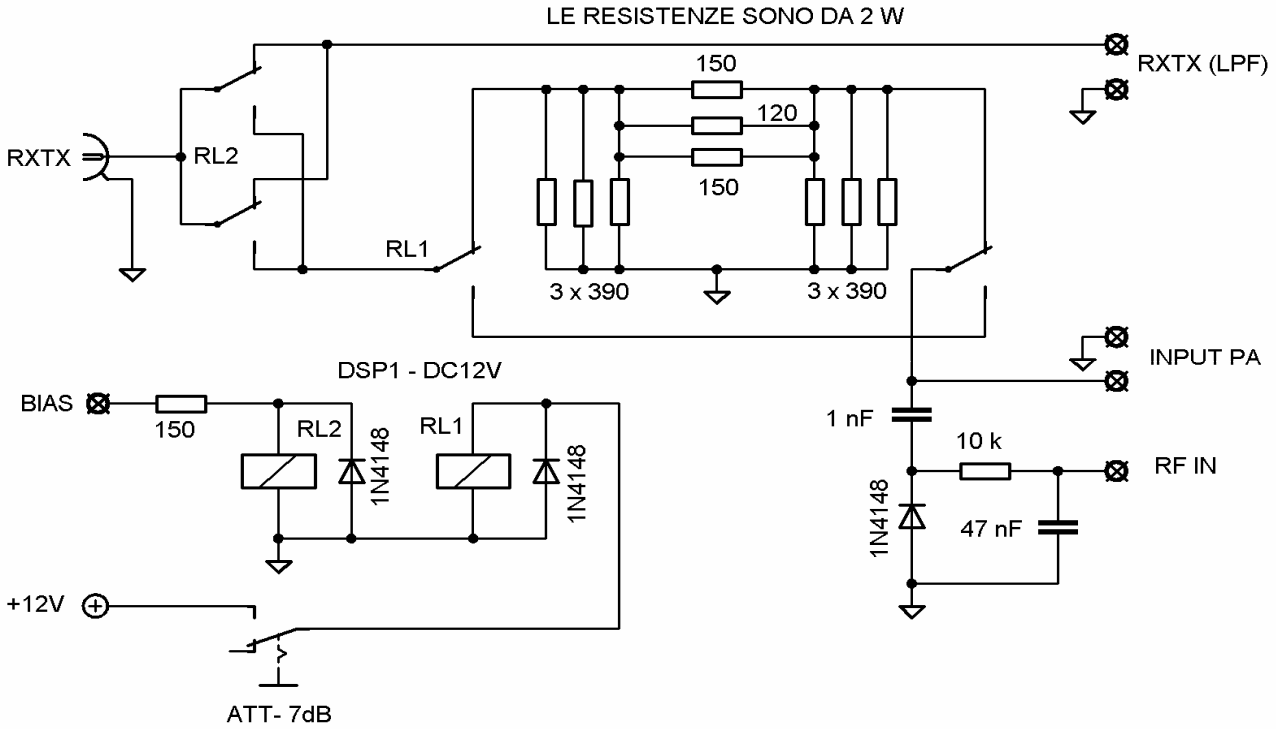
- T2 è un balun binoculare con 3 avvolgimenti, uno con una spira e gli altri 2 con 3 spire. La spira del loop di feedback è avvolta nella parte centrale della ferrite. Il colore dei fili deve essere diverso per evitare errori di connessione che porterebbero alla distruzione dei FET. Pertanto attenzione a come si collegano. Le spire sono realizzate con filo isolato in teflon da 0,6;



- T3 utilizza 2 RF1000. Anche per questo trasformatore si utilizza il materiale 43 ed un rapporto di 9:1. Le spire sono realizzate con filo da 1 mm di diametro con isolamento in Teflon.

Per consentire il pilotaggio dell'amplificatore con un transceiver da 100 W, più comune di un QRP, all' ingresso dell' amplificatore, circuito di commutazione Rx-Tx, è stato inserito un attenuatore.

Con un attenuatore da 7 dB la potenza di pilotaggio sale a 25 W, pertanto basterà ridurre la potenza di uscita del transceiver per avere 500 W in uscita.

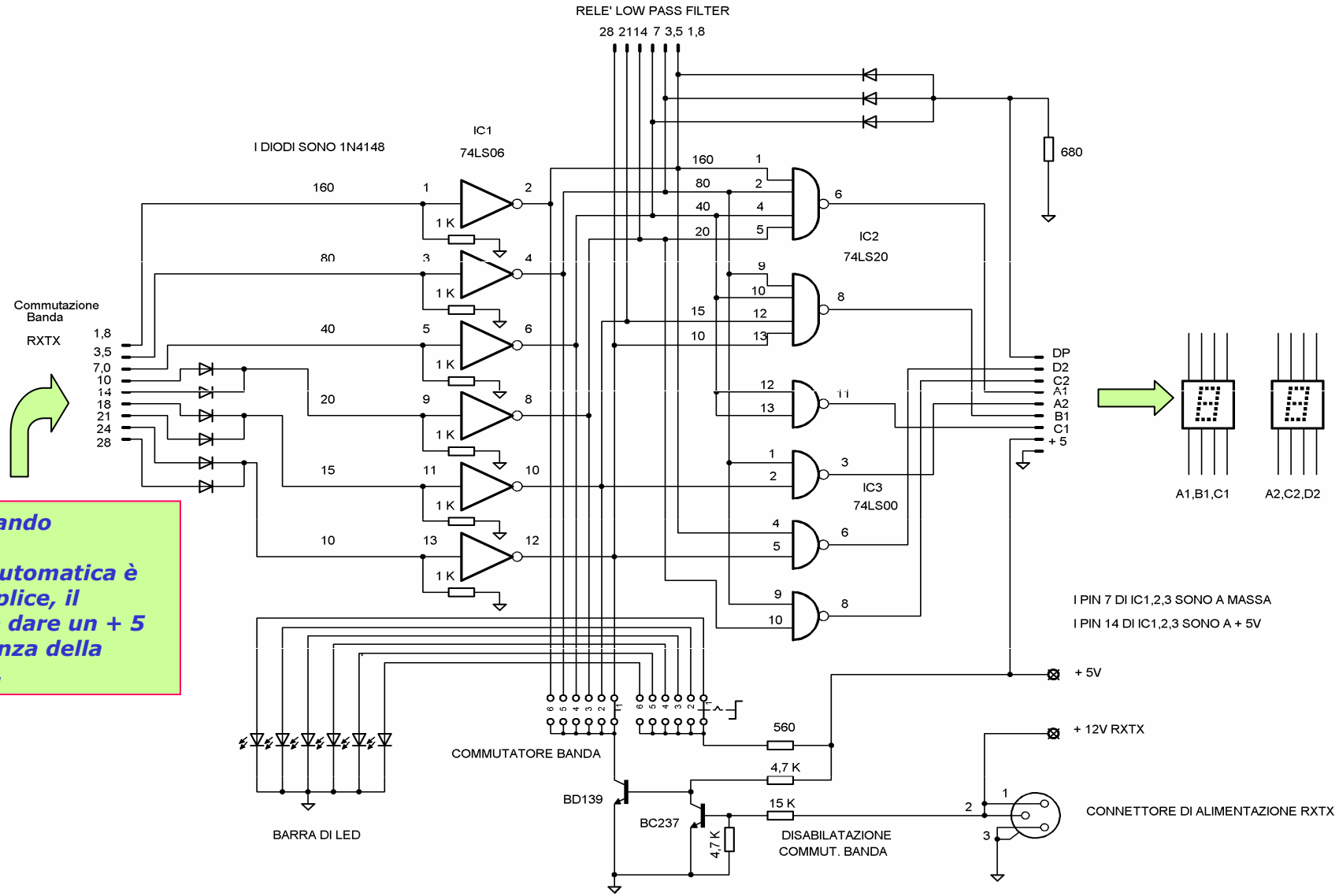


In questo amplificatore è prevista sia la commutazione manuale che quella automatica, su comando del transceiver, in entrambi i casi un display a due cifre indica la banda in MHz, ad esempio la banda dei 40 m è indicata con 7.0, la banda dei 30 m con 14 in quanto il filtro inserito è quello dei 14 MHz.

Oltre al display si accende un Led, di una barra di 6, indicando la posizione del commutatore che ovviamente in automatico è disabilitato.
Per quanto riguarda il comando dei due display è stata realizzata una interfaccia di decodifica mediante dei NAND gate. I display sono degli HP 5082-7300 che sono direttamente comandabili tramite una logica BCD.
Al loro posto si possono utilizzare dei comuni display con la loro rispettiva decodifica BCD-7 segmenti.

L'inclusione della commutazione automatica avviene inserendo il connettore del cavo di alimentazione del transceiver esterno nella presa a 3 poli sul pannello posteriore, infatti un + 12 V è riportato, tramite connettore stesso, sulla base di T1 che disabilita il commutatore. Qualora non si preveda di alimentare il transceiver esterno con l'alimentatore dell'amplificatore e si voglia utilizzare lo stesso la commutazione automatica, basterà inserire il solo connettore i cui pin 1 e 2 sono collegati insieme.

DESCRIZIONE TECNICA – COMMUTAZIONE DI BANDA



La logica di comando utilizzata per la commutazione automatica è abbastanza semplice, il transceiver deve dare un + 5 V in corrispondenza della banda operativa.

Il segnale di uscita dall'amplificatore RF non ha una elevata purezza spettrale e quindi contiene numerose armoniche, un amplificatore di tipo push-pull, sopprime la seconda armonica di circa 40-50 dB, mentre la terza armonica è soppressa soltanto di 10-15 dB.

La situazione peggiore si ha sulle frequenze basse, in quanto numerose armoniche cadono entro i 30 MHz. Per esempio la terza armonica di 7.05 MHz cade nella banda dei 21 MHz e rispetto alla fondamentale ha un'attenuazione soltanto di una decina di dB.

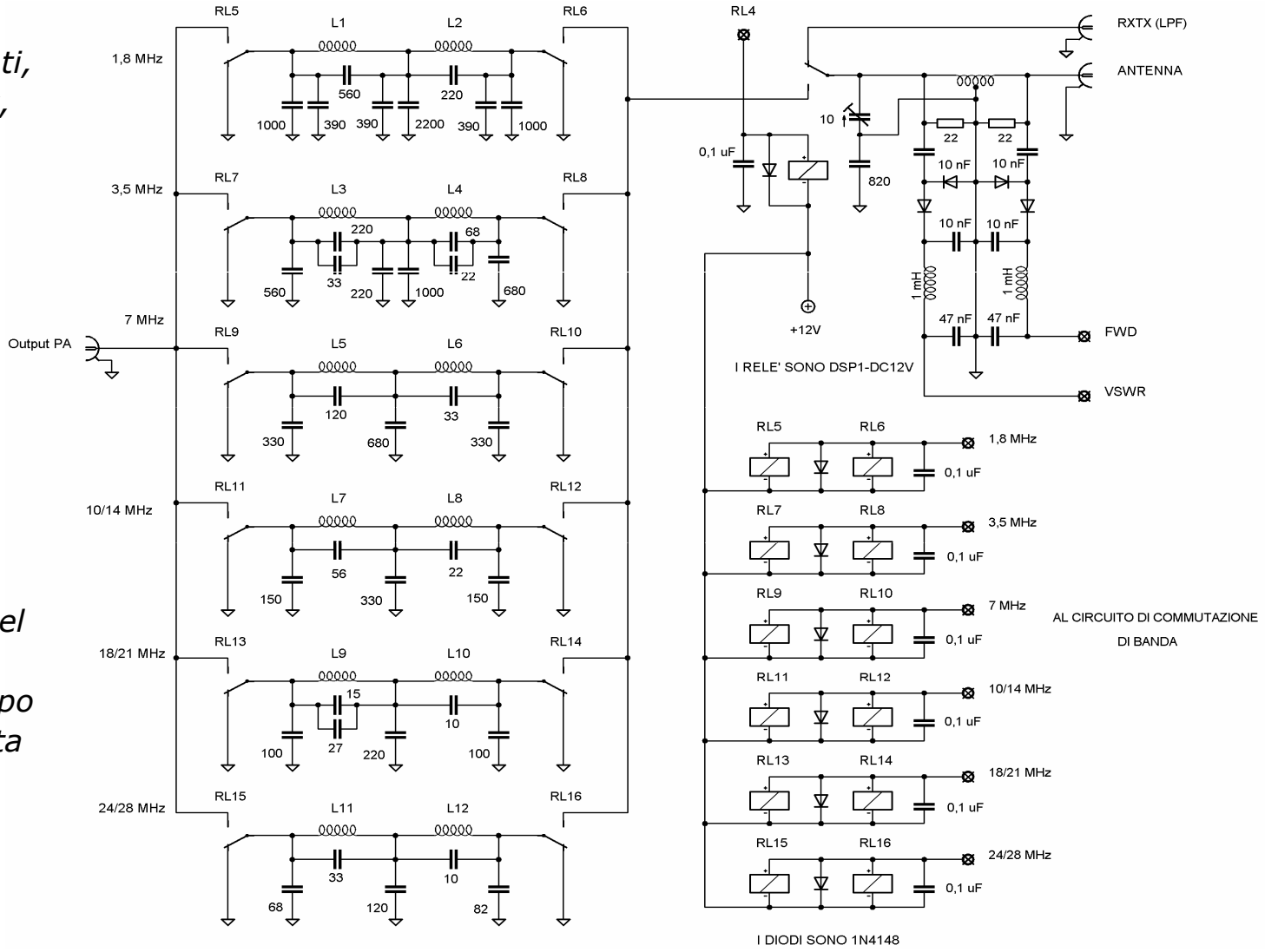
Quindi occorre un filtro passa basso con frequenza di taglio leggermente al di sopra del valore superiore della banda utilizzata, considerando che le bande operative sono 9, sono sufficienti sei filtri, accorpando le bande 10-14, 18-21 e 24-28 MHz.

I filtri utilizzabili per questa applicazione sono sostanzialmente di due tipi: Butterworth e Chebyshev da cui sono state derivate diverse varianti che hanno vantaggi e svantaggi, il tutto in funzione dell' applicazione finale.

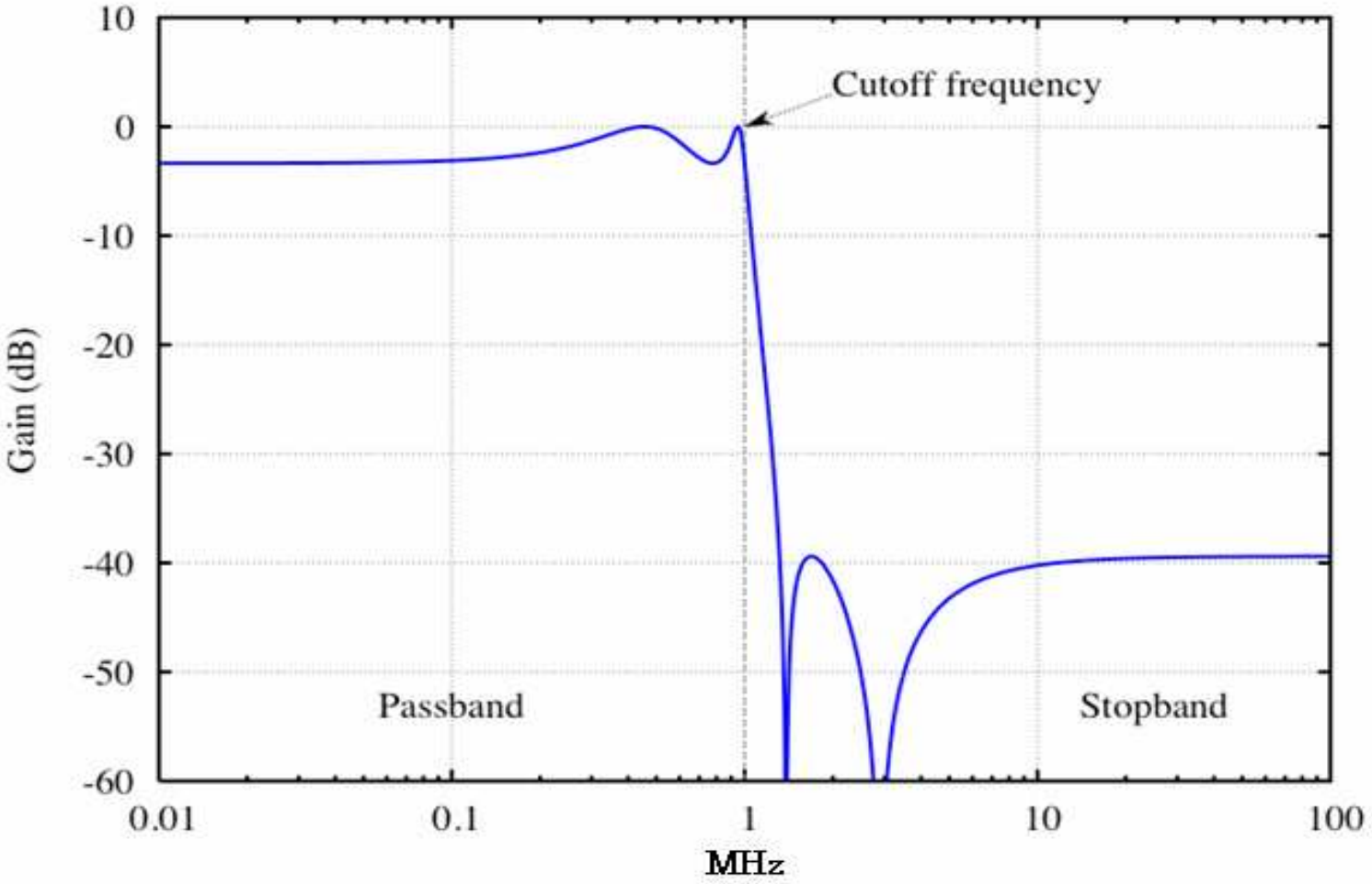
DESCRIZIONE TECNICA – FILTRO RF DI USCITA

I filtri sono ellittici a 5 elementi, una derivazione di Chebyshev, offrono basse perdite di inserzione, basso VSWR, e picchi di attenuazione (notch) che si possono far coincidere con la seconda e terza armonica.
L'attenuazione in corrispondenza dei notch può arrivare a 60 dB.

Le induttanze sono avvolte su toroidi Amidon T106 rossi e gialli ed i condensatori sono del tipo a mica argentata da 500 VDC, mentre i relè sono del tipo a basso profilo della Matsushita DSP1 DC12V.



DESCRIZIONE TECNICA –RISPOSTA FILTRO RF



LA PROGETTAZIONE DEI FILTRI E' STATA EFFETTUATA UTILIZZANDO IL PROGRAMMA "ELSIE".

Per salvaguardare l'integrità dell'amplificatore nel caso di uso improprio o guasti interni, sono previste le seguenti protezioni che ne interdicono il funzionamento:

- *potenza di eccitazione superiore a 7 W o 25 W con attenuatore inserito;*
- *VSWR maggiore di 3:1;*
- *corrente assorbita superiore a 25 A;*
- *temperatura del radiatore superiore ai 70°C.*

Un circuito di protezione capace di intervenire rapidamente, su comando di una o più tensioni provenienti da sensori di controllo, può essere realizzato con un certo numero di amplificatori operazionali, uno per ogni sensore.

Quando la tensione di un sensore supera una soglia prestabilita, l'amplificatore fornisce una tensione. Se le uscite degli amplificatori operazionali sono collegate insieme si realizza un circuito AND ad n ingressi ed un'uscita.

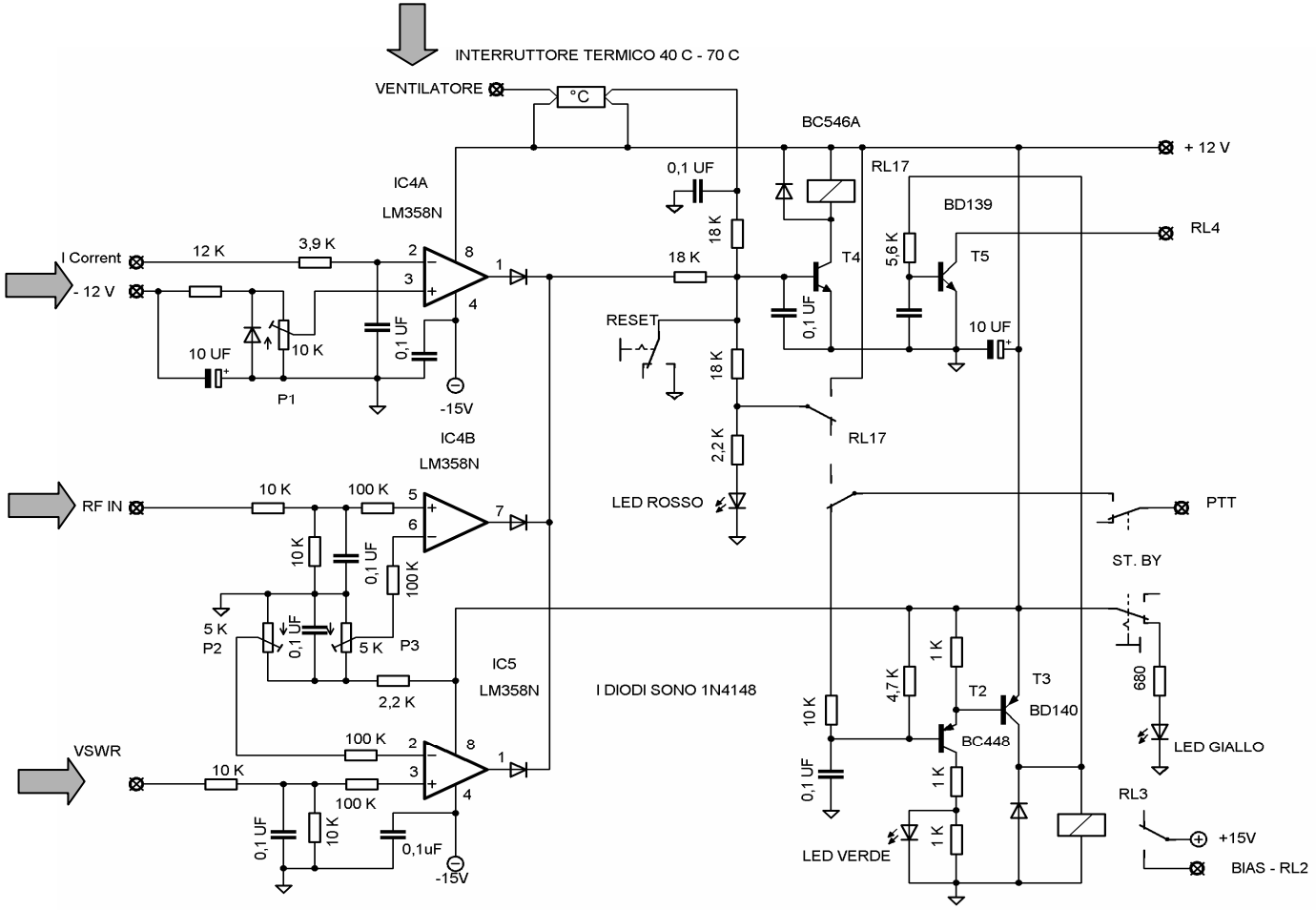
DESCRIZIONE TECNICA – CIRCUITI DI PROTEZIONE

sul radiatore sono stati installati due interruttori termici con differenti temperature di chiusura, il primo chiude a 40° C attivando il ventilatore, in aspirazione, il secondo chiude a 70° C mandando in conduzione T4, l'amplificatore si interdice mentre la ventilazione continua a funzionare.

Se la corrente assorbita supera i 25 A, la tensione ai capi dell'amperometro supera la tensione di riferimento regolata con P1, l'uscita di IC4A diventa positiva, T4 conduce ed eccita RL17 che chiudendosi manda un positivo sulla base di T4 stesso per avere l'autotenuta e l'apertura della linea del PTT. Tale condizione è indicata con un Led rosso.
Per riattivare il PA pigiare il tasto reset.

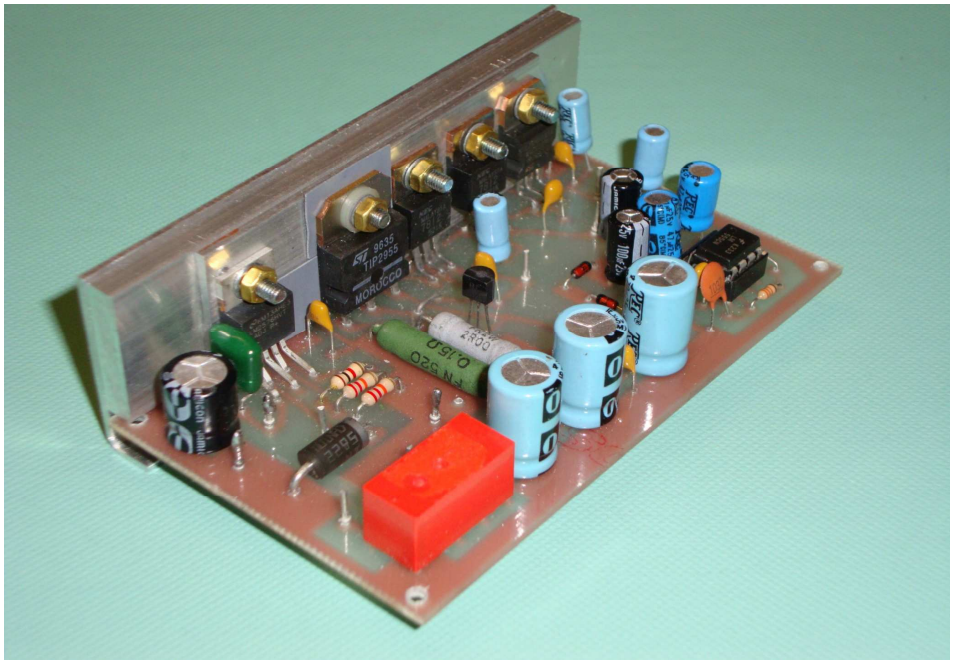
Se la tensione rettificata dal rivelatore a diodo connesso all'ingresso di IC4 supera la tensione di riferimento stabilita da P3 si ha un positivo che manda in conduzione T4, a questo punto si ripete il ciclo sopra descritto

Se la tensione dell' VSWR proveniente dal wattmetro supera il valore di riferimento regolato con P2, IC5 da un positivo che eccita T4, a questo punto si ripete il ciclo sopra descritto.



L'alimentatore è costituito da due parti distinte, il primo a 45 – 50 V, 25 A è quello principale che essendo pesante e voluminoso è in un contenitore a parte. Qualora si avesse a disposizione un alimentatore switching potrebbe essere inserito nell'amplificatore.

Il secondo alimentatore è all'interno dell'amplificatore e fornisce tutte le tensioni necessarie al funzionamento dei vari circuiti. La tensione a 50 V viene ridotta a 15 V tramite un step down switching regulator (LM2576HV) con il quale si alimentano 3 stabilizzatori lineari per avere + 5 V, + 12 V e + 12 V (2,5 A max) per alimentare l'eventuale transceiver che si utilizza come driver.



In quest'ultimo regolatore è prevista la limitazione di corrente per evitare danni all'alimentatore nel caso di corto circuiti o sovrassorbimenti esterni.
Poiché è richiesto anche un – 15 V con pochi mA, un LM555 è utilizzato come DC converter.

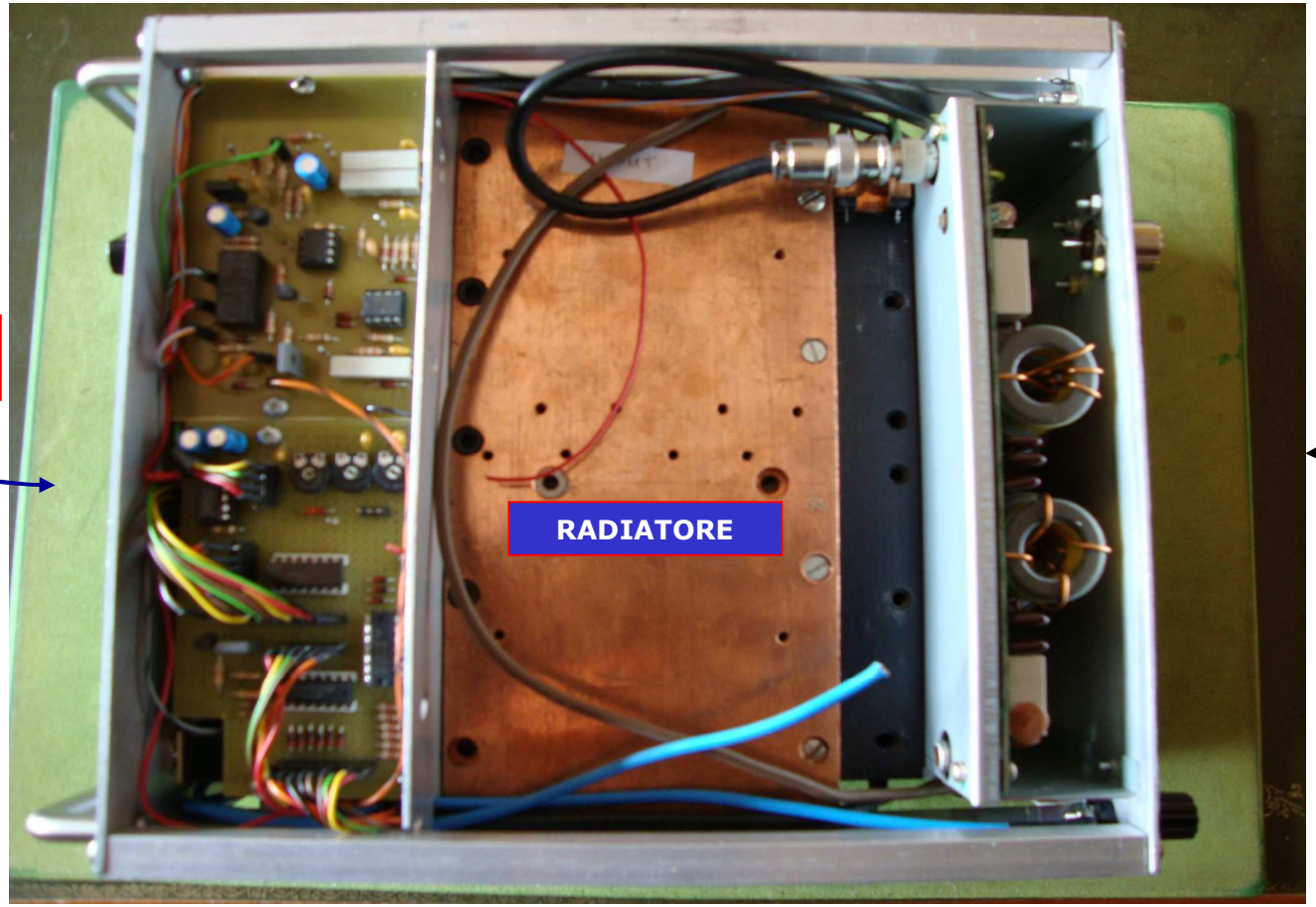
Un problema che deve essere immediatamente risolto è come dissipare i circa 500 watt dovuto agli MRF150 al massimo della potenza RF di uscita.

Poiché i FET sono montati l'uno accanto all'altro, un dissipatore di alluminio non consente il rapido smaltimento del calore in uno spazio così ridotto, pertanto si è dovuti ricorrere ad una piastra di rame 10 x 20 cm con spessore di 10 mm a sua volta imbullonata su di un radiatore di alluminio alettato dalle seguenti dimensioni 16 x 20 x 4,8 (alette di altezza 3,8 cm).

La piastra di rame deve essere strettamente imbullonata, pertanto prevedere diverse viti lungo il perimetro ed anche verso l'interno, consiglio delle viti da 4-5 mm a testa conica in quanto sulla piastra di rame dopo la foratura va effettuata una svasatura al fine di avere la testa della vite a filo sulla piastra. Quando si imbullona la piastra di rame su quella di alluminio mettere del grasso al silicone tra le due superfici a contatto. E' chiaro che le due superfici devono essere perfettamente piane per non avere dei punti di non contatto dovuti ad asperità od altro.

Dall'altro lato del radiatore è stato installato un ventilatore piatto che interviene quando la temperatura raggiunge 40° C.

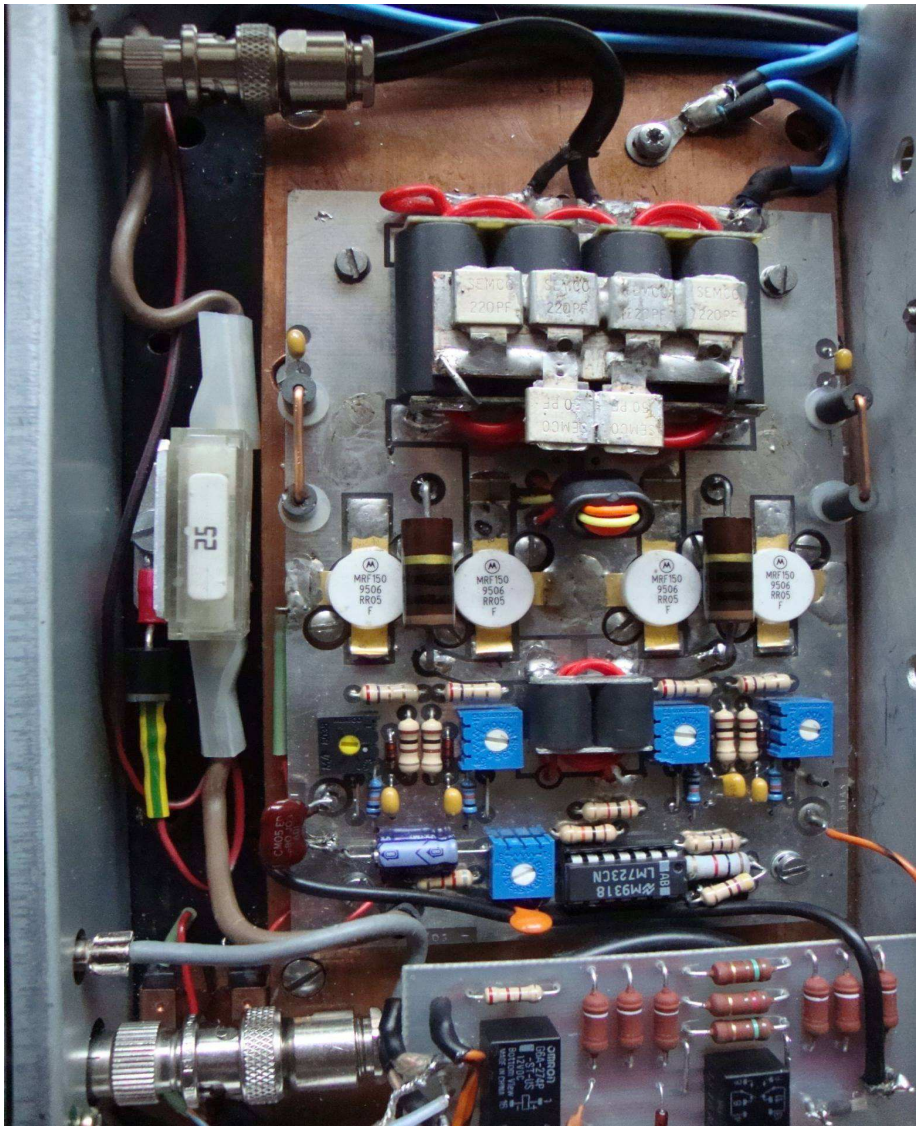
REALIZZAZIONE – RADIATORE



REALIZZAZIONE – MONTAGGIO MOSFET DI POTENZA

Il montaggio dei FET richiede qualche accortezza:

1. *Avvitare gli MRF150 sul radiatore senza fissarli strettamente, dopo aver messo del grasso al silicone tra FET e radiatore;*
2. *Posizionare il circuito stampato, già assemblato con tutti i componenti, sui FET dopo avere alzato leggermente verso l'alto le bandelle di rame dei terminali, affinché il circuito stampato possa passare al di sotto di esse, quindi fissare il circuito stampato sul radiatore;*
3. *Prima di saldare i terminali degli MRF150 verificare che non ci siano punti di contatto tra il circuito stampato ed il radiatore in quanto la distanza non supera i 5 mm. Per sicurezza si potrebbe inserire un sottile foglietto di teflon;*
4. *Se tutto è OK si possono saldare i FET sul circuito stampato.*



L'accensione dovrà essere graduale, tenendo presente che l'alimentazione dell' amplificatore RF deve avvenire per ultimo dopo aver controllato il corretto funzionamento dei seguenti circuiti:

1. **Alimentatore interno:** *deve fornire le seguenti tensioni: + 15 V, + 12 V, + 12 V, + 5 V e – 15 V;*

2. **Circuito di commutazione RX-TX:** *collegando a massa l'ingresso del PTT, il lineare deve andare in trasmissione con accensione del Led verde, la trasmissione viene disabilitata agendo sul deviatore "Stand-By" con accensione del Led giallo*;

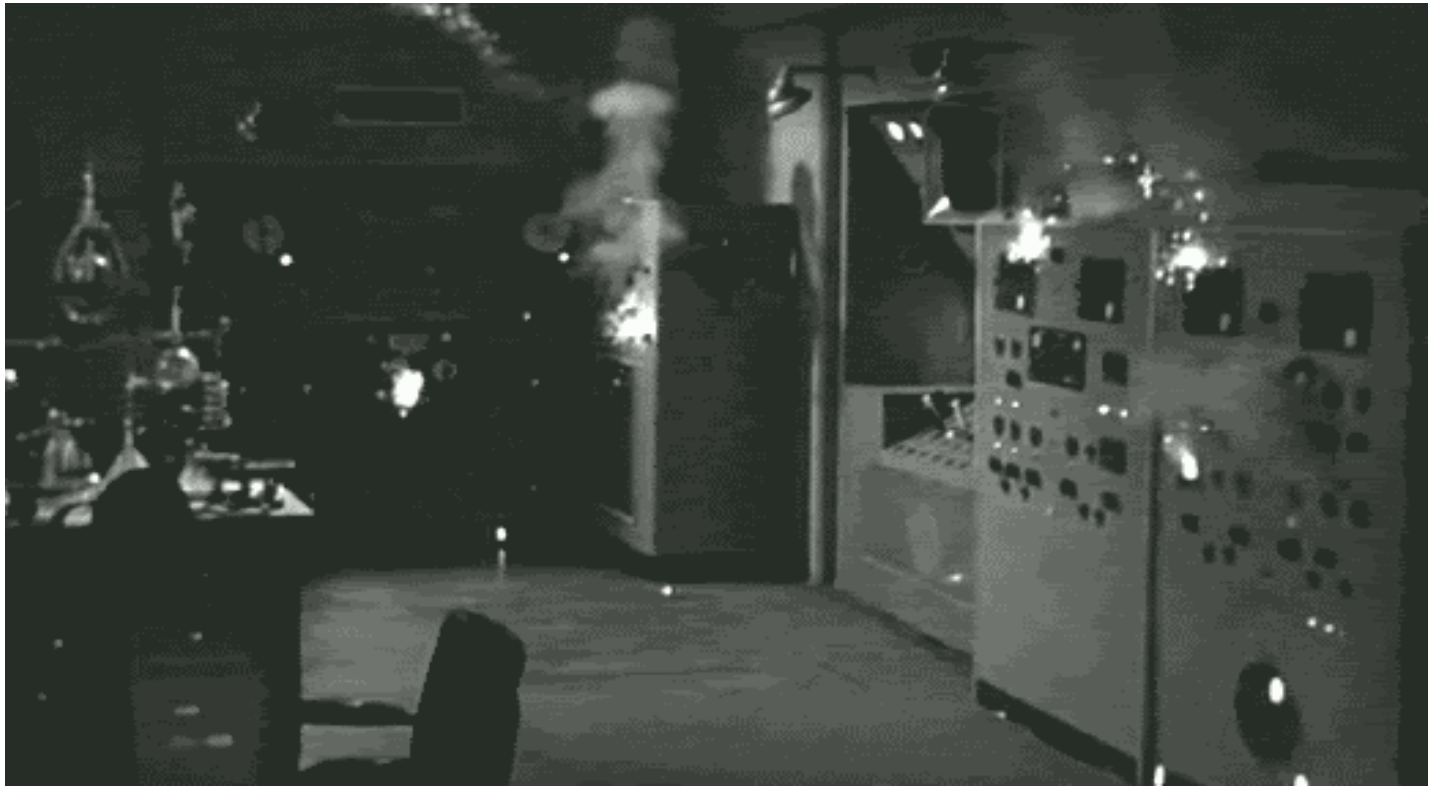
3. **Commutazione di banda:**
   - funzionamento in manuale: *agendo sul commutatore di banda il display deve indicare la banda prescelta con l'inserimento corretto di ogni filtro di banda tramite l'attivazione dei rispettivi relè (RL5 –RL16) d'ingresso e di uscita.*
   - funzionamento in automatico: *inserire il connettore a 3 pin, nella presa di alimentazione del transceiver esterno, dopo averne ponticellato i pin 1 e 2, il display deve indicare 00. Quindi collegare + 5 V su ciascun pin del connettore CB, sul pannello posteriore, per verificare che ogni filtro di banda sia inserito correttamente e che il display indichi la banda in uso.*

4. **Protezione termica**: *riscaldare con la punta del saldatore sia il sensore termico a 40° che quello a 70°. Nel primo caso c'è l'avvio del ventilatore, nel secondo caso il blocco dell'amplificatore con accensione del Led rosso;*

5. **Amplificatore RF di potenza**:
   - *inizialmente i potenziometri del circuito di polarizzazione dei gate dei FET devono essere regolati per avere 0 V sui gate, questo assicurerà che quando il + 15 V viene applicato al UA723 gli MRF150 sono interdetti;*
   - *inserire un amperometro 1-2 A fs in serie alla linea dei 50 V;*
   - *accensione dell'alimentatore 50 V;*
   - *andare in trasmissione (non ci deve essere nessun assorbimento di corrente), regolare R5 per avere una tensione tra 7 e 8 V sul pin 3 del UA723;*
   - *Regolare in sequenza i trimmer R1 – R4 affinché la corrente di riposo di ciascun FET sia uguale a 150 mA;*
   - *Variazioni rispetto allo schema originale:*
     - ✓ *è stato inserito C1, non previsto nel kit, con valore di 68 pF in quanto diminuisce l' VSWR di ingresso;*
     - ✓ *i due condensatori da 1100 pF (C11) sono stati ridotti a 300 pF,in quanto la potenza di uscita si riduceva drasticamente a 30 MHz.*
   - *con solo 1 W si debbono avere circa 100 W.*

6. **Protezione contro il sovra pilotaggio e sovracorrente:**
   - Andare in trasmissione con 500 W di uscita, agire sul trimmer P3 (posizionato a 0) sino a che intervenga la protezione.
   - Resettare l'amplificatore e ripetere la prova.
   - Sempre con 500 W di uscita agire su P1 (posizionato a 0) sino a che intervenga la protezione, bloccare P1 leggermente sopra la posizione di intervento. Resettare l'amplificatore e ripetere la prova e verificare che con 500 W non intervenga la protezione per sovracorrente;

7. **Protezione contro VSWR:**
   - collegare un carico che dia un SWR di 3 (16,7 o 150 Ohm), quindi agire su P2 per far intervenire la protezione. Oppure più semplicemente inviare al circuito di protezione non l'uscita VSWR del wattmetro bensì il FWD, a questo punto con un wattmetro esterno misurare 125 W sul carico che rappresenterebbe un VSWR di 3, quindi tarare P2 e P6 per la corretta indicazione del VSWR sul milliamperometro.



73 and GOOD DX