

Wattmetro di picco per apparati QRP

Preambolo

Anni addietro sono stati immessi nel mercato surplus le parti a RF del Wattmetro Bird.

Per parti RF s'intende la linea coassiale "rigida" compresa di connettori e rivelatori direzionali sintonizzati, volgarmente chiamati tappi, di varie serie.

Recentemente, nel noto negozio di apparati surplus di Todi, sono ricomparsi questi componenti nella versione doppia; cioè in grado di effettuare contemporaneamente la misura della diretta e della riflessa, con scale diverse, tramite due "tappi" e per i più fortunati con strumento a doppio ago.

Nel primo concorso di autocostruzione delle sezioni, tenutosi ad Orvieto durante l'annuale Simposio, presentai, per la sezione ARI di Orvieto, anche un wattmetro di picco che se realizzato solo nella versione senza accoppiatore direzionale, può completare quanto il mercato surplus ripropone o sostituire quanto il costruttore Bird offre, per la lettura di picco, ad un costo modesto.

Progetto

Il progetto si divide in due parti

- Accoppiatore direzionale, con rivelatori, per la misura della potenza diretta e della potenza riflessa.
- Circuito per il trattamento della tensione, proveniente dal rivelatore della potenza diretta, per effettuare una lettura di picco.

Caratteristiche e dati costruttivi

Accoppiatore direzionale

Presento due metodi di realizzazione e comincio dal più facile ed economico.

Il primo tipo di accoppiatore direzionale che propongo è sviluppato attorno ad una ferrite di tipo binoculare, la gradazione e la grandezza geometrica stabiliscono la banda di frequenza in cui lavora. I vari mercatini e i recuperi dal surplus non aiutano a stabilire dove e come lavorerà l'accoppiatore direzionale, difficilmente sono scritti i codici costruttori.

E' comunque certo che una ferrite binoculare con dimensioni attorno a 6 millimetri permette un'estensione di frequenza di poco inferiore ad 1GHz, con ferriti più piccole (3mm per 2.5mm), la massima frequenza può superare i 2GHz.

La gradazione o meglio il contenuto di ferrite nel materiale stabilisce la frequenza minima di funzionamento con una variabilità che si estende da poco meno di 100Khz a circa 150MHz.

L'accoppiatore che propongo richiede poco tempo per la realizzazione, mettendo insieme un piccolo circuito di prova è possibile caratterizzare il funzionamento anche con un minimo di strumenti: un generatore a RF con ampiezza d'uscita nota e un ricevitore munito di s-meter affidabile.

Schema elettrico

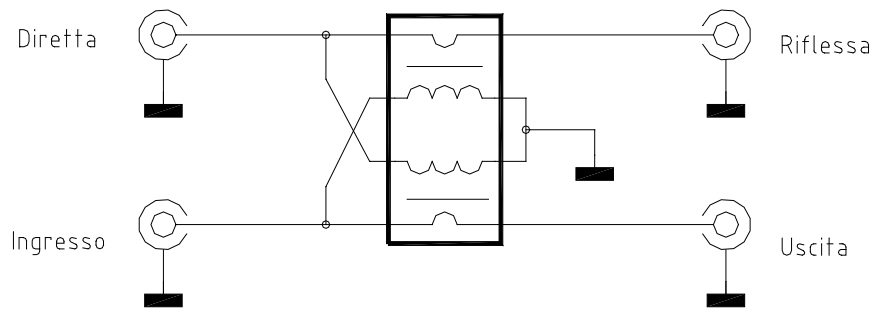


Foto della realizzazione per la banda VHF (144MHz)

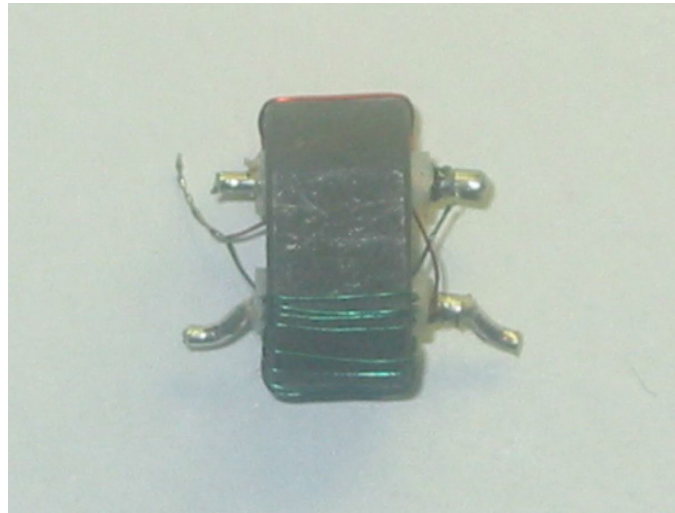
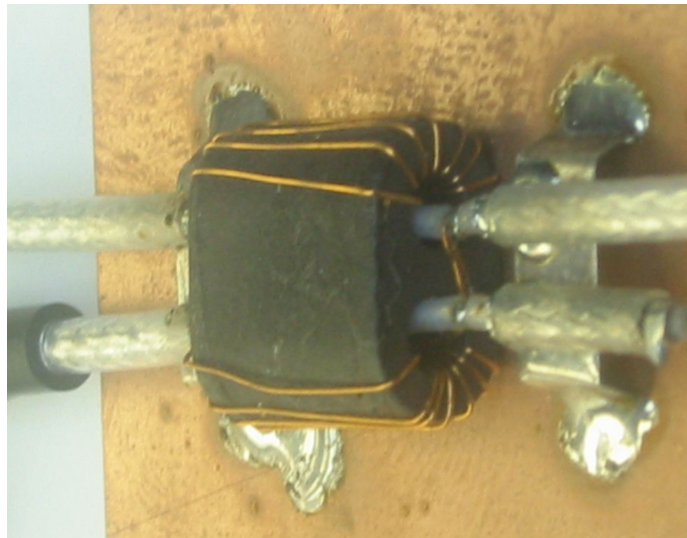


Foto della realizzazione per uso HF



Come effettuare la realizzazione

L'induttanza che nello schema elettrico è indicata con una spira non è altro che un filo passante da una parte all'altra del nucleo binoculare.

Sia nella prima foto sia nella seconda, il filo è il conduttore centrale del cavo coassiale in teflon tipo RG188, UT141 e similari.

Le due induttanze accoppiate a quelle con una sola spira sono identiche e realizzate con filo di rame smaltato, avente diametro di 0.3-0.4 mm (non critico).

Il numero di spire di quest'ultime, definisce l'accoppiamento con il segnale principale:

10 \ 11 spire realizzano un accoppiamento di circa -20dB , un numero di spire inferiore equivale ad un accoppiamento inferiore; con 3 \ 4 spire si ottiene circa -10dB .

La direzionalità, che è il "fattore di merito" per un accoppiatore direzionale, si ottiene avvolgendo i due secondari con ordine (spire accostate) e in maniera che "fisicamente" si vedano il meno possibile (fare riferimento alle foto).

Caratterizzazione

Il metodo di prova è classico, il generatore, collegato al porto d'ingresso, deve erogare la massima potenza disponibile con il proprio circuito di regolazione automatica di livello (ALC) in funzione correttamente.

Questo è importante ai fini che la potenza d'uscita sia stabile e l'indicazione affidabile.

La porta d'uscita dell'accoppiatore viene "chiusa" su un carico avente impedenza di 50 ohm e perdita di ritorno non inferiore a -30dB .

Lo strumento che collegheremo nel ramo accoppiato può essere un analizzatore di spettro, oppure un micro-wattmetro o bolometro dell'ultima generazione, cioè in grado di eseguire misure certe con ampiezze di $-40 \ -50\text{dBm}$ o, per i meno fortunati, un ricevitore con s-meter calibrato.

Un ulteriore carico, con caratteristiche simili al primo, chiude il porto del ramo accoppiato rimasto aperto.

Con lo strumento, con cui misuriamo l'ampiezza del segnale, collegato al porto della diretta verifichiamo quanti decibel di accoppiamento abbiamo realizzato.

Una "massima" recita che "nulla si crea e nulla si distrugge", quindi se abbiamo realizzato un accoppiamento di -10dB , il segnale d'uscita dal nostro accoppiatore direzionale sarà inferiore di un decimo più le perdite.

Quali perdite?

Le discontinuità, che il segnale incontra nel passare dalla linea coassiale al circuito dell'accoppiatore e nuovamente alla linea coassiale, possono irradiare una parte del segnale nell'intorno o peggio aumentare le perdite di ritorno del nostro accoppiatore.

Inoltre il metallo dei fili, che compongono l'accoppiatore, ha una sua resistenza che in funzione della frequenza di funzionamento contribuisce a diminuire l'ampiezza d'uscita trasformandola in calore.

Il peso di queste attenuazioni quanto influisce?

La banda di frequenze che vogliamo trattare ha un ruolo fondamentale, influenza la risposta dell'accoppiatore secondo il tipo di realizzazione che intendiamo affrontare.

.....per un neofita tutto questo può somigliare a quanto è proposto in quei programmi televisivi che iniziano un bel giorno e dopo tanti episodi non riusciamo a capire le implicazioni dei primi con quello degli ultimi!

L'accoppiatore direzionale realizzato con una ferrite binoculare offre generalmente una banda di frequenze che si estende per molte ottave, in altre parole è possibile effettuare misure da qualche megahertz ad oltre 500MHz, come dire dagli 80 metri ai 70 centimetri.

I "ponti riflettometrici" utilizzati negli analizzatori di rete scalari (anni 70) sono stati realizzati con tecniche molto simili a quella dell'accoppiatore proposto.

Per quanto ho riportato e per l'esperienza maturata nel campo professionale, suggerisco di ottenere un accoppiamento non inferiore a -20dB .

La perdita sul segnale principale è di un centesimo, in altre parole 10 milliwatt su un segnale in transito di un watt; pochi altri milliwatt di perdita da mettere in conto se la realizzazione è eseguita bene.

Spostando lo strumento che si utilizza per la misura dell'ampiezza, dal porto della potenza diretta, al porto della potenza riflessa e contemporaneamente il carico nel porto della potenza diretta, leggiamo la perdita di ritorno del carico collegato in uscita dall'accoppiatore.

Se il circuito è stato realizzato bene e la gradazione della ferrite è quella necessaria per la banda di frequenze analizzate, l'ampiezza letta deve essere di circa -45dB rispetto l'ampiezza del segnale in transito.

Analizziamo il risultato:

20dB sono per l'accoppiamento; oppure il valore che abbiamo riscontrato nella misura della potenza diretta.

Altri 25dB sono il valore richiesto, per la perdita di ritorno del carico utilizzato come chiusura del porto d'uscita letti con una direzionalità inferiore a 30dB .

Il valore che realmente leggeremo sarà diverso e dipende dalla "direzionalità" che l'accoppiatore costruito dispone.

Senza modificare il numero delle spire dei due avvolgimenti, che realizzano l'accoppiamento, ma soltanto spostandoli nel corpo della ferrite, dobbiamo ottenere il valore più prossimo alla somma dei due valori prima citati ($20\text{dB} + 25\text{dB}$).

Quest'operazione richiede un po' di attenzione, evitare che in corrispondenza degli spigoli lo smalto del filo vada via; l'effetto conseguente oltre alla perdita d'isolamento è la perdita della direzionalità.

Un risultato accettabile per l'uso amatoriale è una lettura prossima a -40dB che equivale ad una direzionalità prossima a 25dB .

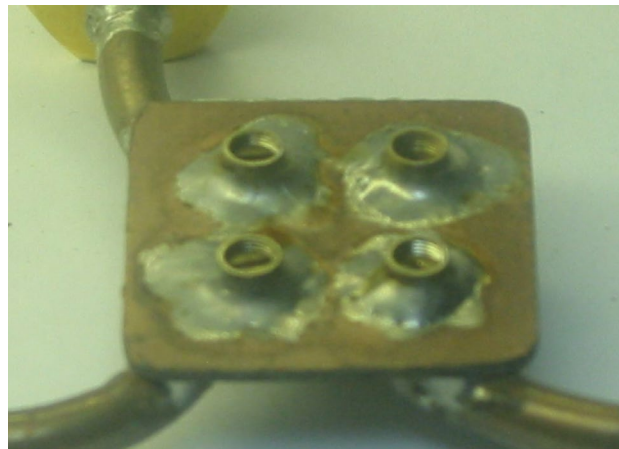
L'uso professionale ricerca valori di direzionalità non inferiore a 30dB .

Foto del circuito di prova con accoppiatore

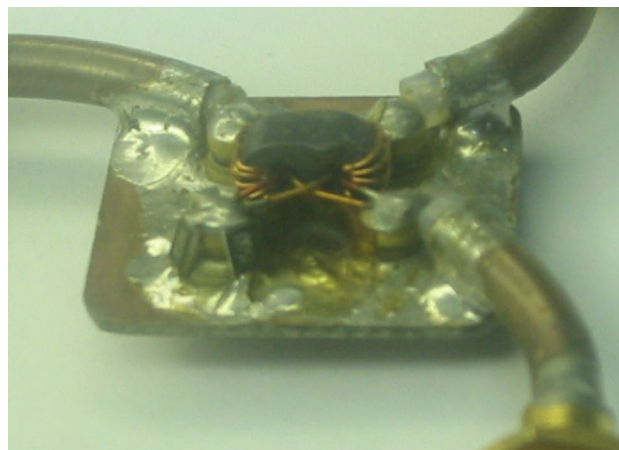


Questo circuito di prova è realizzato con tre porte e un carico; i quattro ancoraggi che permettono la saldatura del cavo (filo interno), dei tre resistori da 150 ohm in parallelo e i fili dell'accoppiatore, sono ricavati da quattro micro-compensatori per microonde.

Lato regolazione dei compensatori

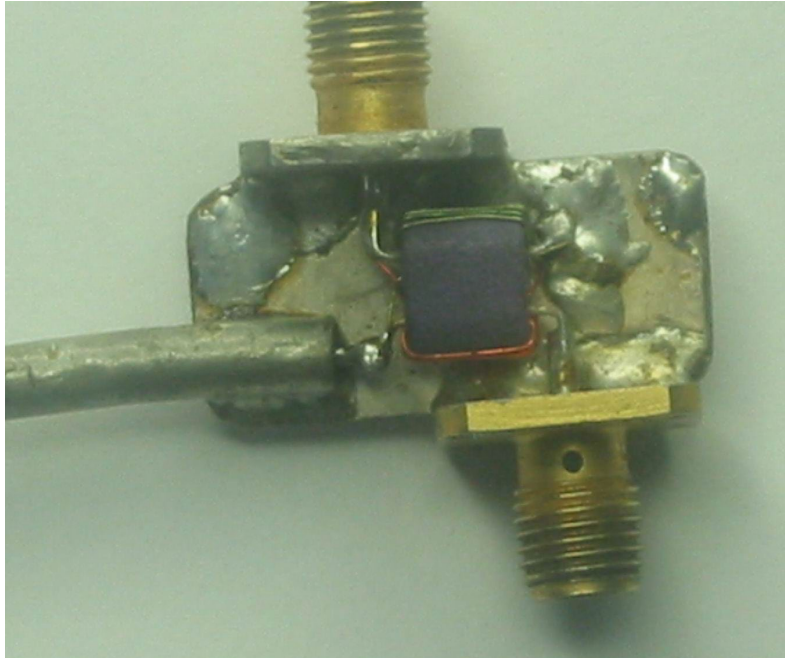


Vista con il carico realizzato con tre resistori da 150 ohm



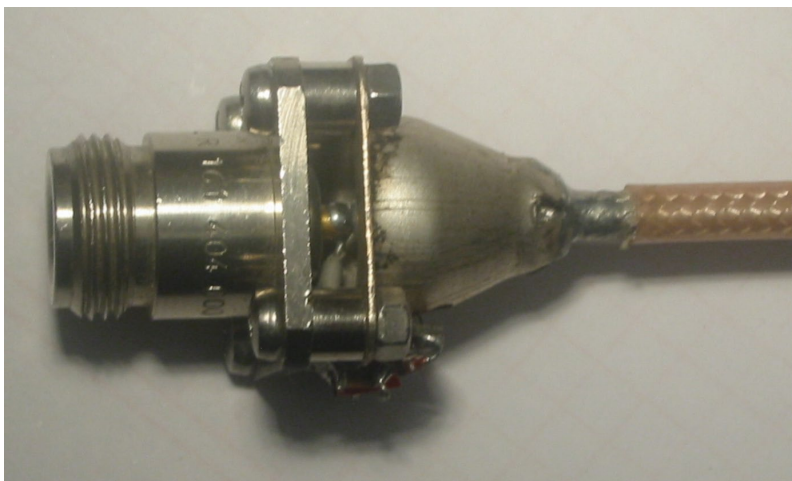
L'esempio riportato in queste foto è un accoppiatore di misura realizzato per una banda di frequenze che si estende da poco meno di 100MHz ad oltre 1GHz; i compensatori servono ad eliminare la parte induttiva dell'accoppiatore e a sorreggere le saldature.

La foto che segue è una realizzazione per misure amatoriali con nucleo binoculare Siemens (6 per 6 mm) "viola"; la banda di frequenza si estende da 10MHz ad oltre 500MHz.



Il secondo metodo che presento è un accoppiatore che è stato realizzato all'interno di una coppetta copriconnettore (con piccole modifiche meccaniche).

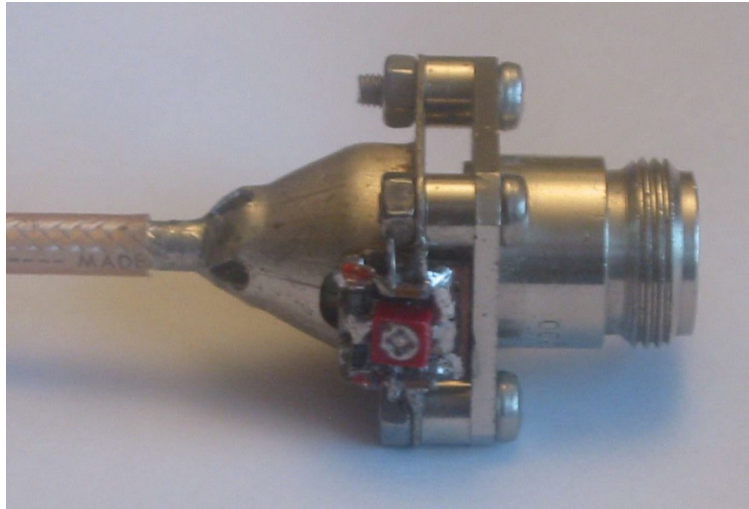
L'ultimo accoppiatore che ho realizzato con questo metodo è attualmente in uso da Carlo, I4CVC.



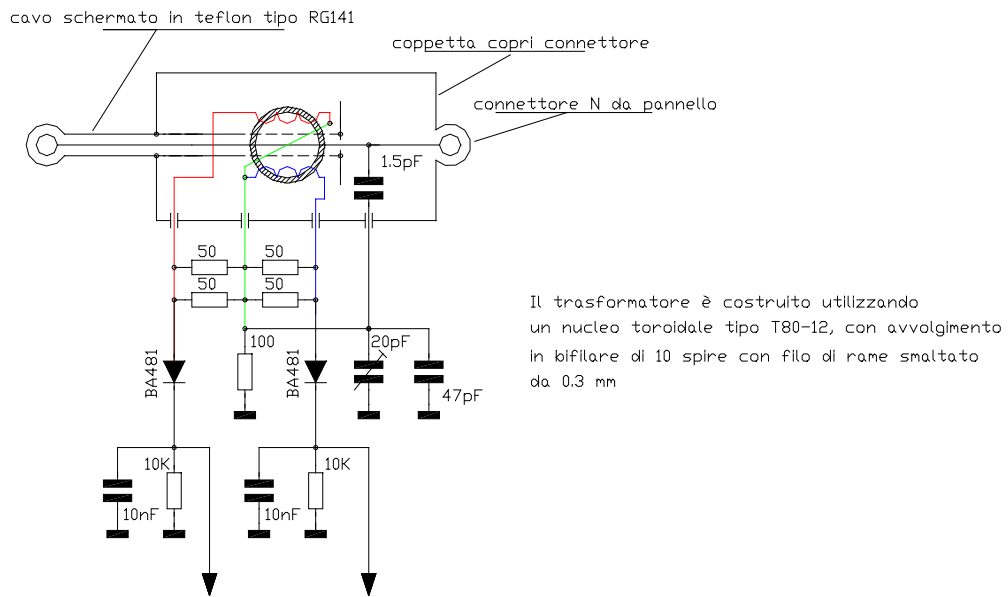
Il principio di funzionamento è realizzato con accoppiamento induttivo simile ad un semplice trasformatore con secondario con presa centrale.

Un induttore avvolto in bifilare su un nucleo toroidale funge da secondario; mentre il circuito primario è realizzato con il filo interno del cavo coassiale che attraversa il "toro".

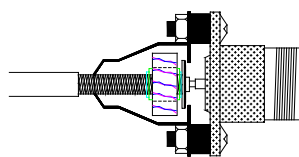
Per ottenere un funzionamento anche a frequenze elevate, lo schermo del cavo coassiale, aperto per realizzare il primario del trasformatore, si richiude dall'esterno tramite la coppetta nel connettore d'uscita.



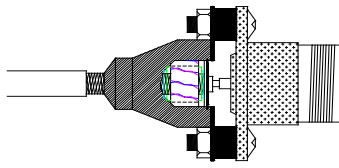
Schema elettrico



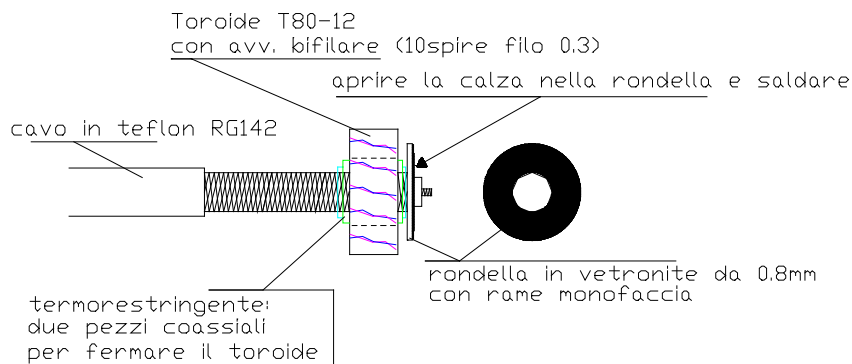
Disegni utili alla realizzazione



La coppetta è in sezione in modo da far vedere l'interno



La coppetta è stata modificata con l'asola visibile nel disegno sopra. I quattro punti di fissaggio con il connettore sono realizzati tramite un distanziere ricavato da dati in ottone.



Il cavo utilizzato è del tipo RG142 che ha un diametro similare al tipo RG58. Alcuni centimetri vengono scoperti, l'induttore toroidale viene fermato tramite alcuni strati di tubo termorestringente e la rondella in vetronite da 0.8 ricavata da un ritaglio di circuito stampato in cui saldiamo lo schermo del cavo coassiale.

Il filo centrale del cavo deve essere saldato, oltre al connettore, anche al reforo del condensatore ceramico come indicato nello schema elettrico.

Dall'asola praticata nella coppetta fuoriescono quattro reofori.

Tre sono dell'induttore, il rimanente è il secondo reoforo del condensatore da 15pF.

Un piccolo circuito stampato, realizzato anche con una piastrina mille fori (metallizzati), supporta il resto del circuito come indicato nello schema elettrico.

La direzionalità è affidata al partitore capacitivo che funge da riferimento alla presa centrale.

L'induttanza avvolta in bifilare è una garanzia di bilanciamento tra i due secondari, quindi bisogna dedicare attenzione nella realizzazione dell'avvolgimento.

E' necessario avvolgere i due fili di rame smaltato tra loro, con almeno venti giri, prima di iniziare l'avvolgimento nel nucleo.

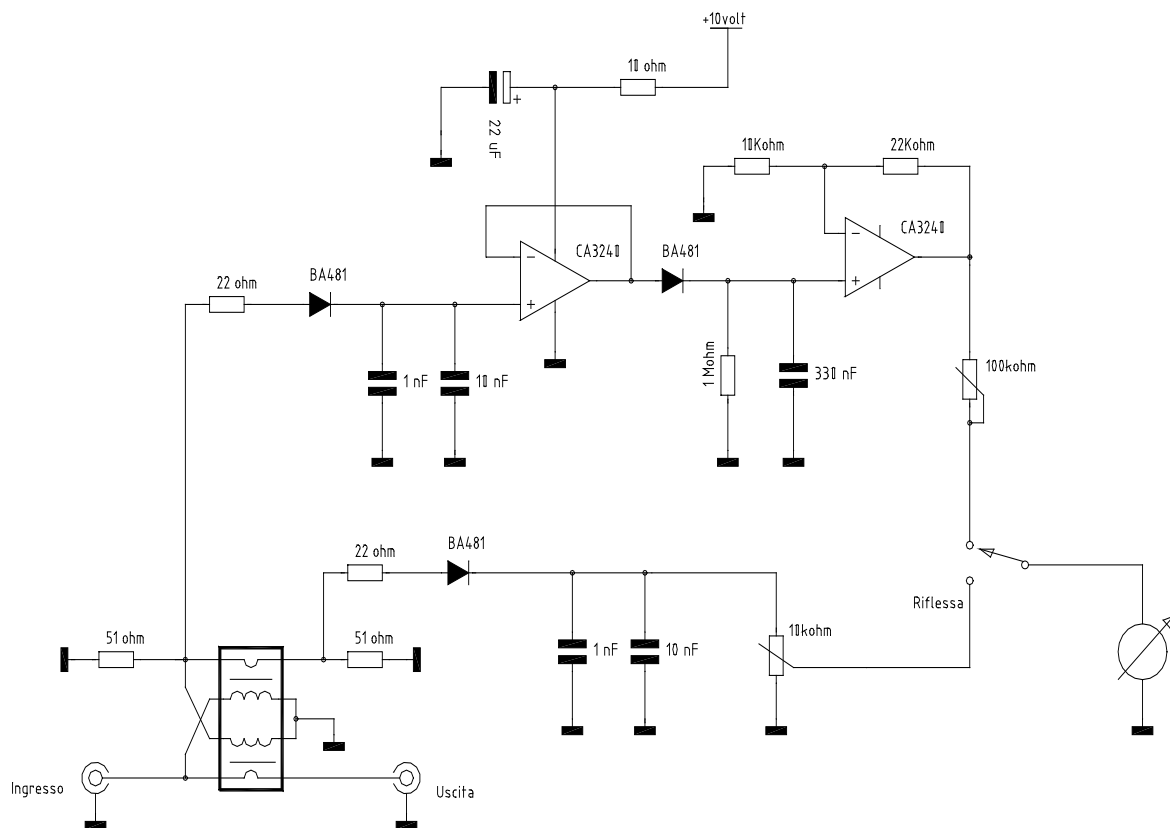
Ho impiegato quest'accoppiatore per leggere la potenza d'uscita di un amplificatore a stato solido per i 144MHz da 600W, il rivelatore per la potenza riflessa, oltre l'uso canonico, attiva un circuito di protezione in caso che.....si vada in trasmissione senza antenna.

Misuratore della potenza di picco

“Un diodo utilizzato come rivelatore, funziona correttamente se l’ingresso è caricato con una bassa impedenza mentre l’uscita è chiusa ad alta impedenza”.

In maniera diretta, quanto scritto sopra è il risultato di chi vuole calcolarsi un rivelatore efficiente.

Schema elettrico



I due diodi rivelatori (BA481) lavorano con l’ingresso a bassa impedenza, inoltre il resistore da 22 ohm in serie consente di operare con tensioni superiori rispetto quella dichiarata dal costruttore (potenza d’uscita del nostro TX incontrollata).

L’ingresso non invertente del CA3240 è ad alta impedenza realizzando la più alta efficienza del rivelatore.

Il diodo posto in uscita dal primo operazionale, carica il condensatore da 0.33uF ed evita che la scarica avvenga tramite la bassa impedenza d’uscita dell’operazionale.

Il condensatore può scaricarsi solo attraverso il resistore da 1Mohm e in piccolissima parte anche nell’ingresso non invertente del secondo operazionale.

Il primo operazionale è in configurazione di separatore e trasformatore d’impedenza senza perdite, il secondo operazionale amplifica il segnale secondo il rapporto tra i due resistori posti tra massa, ingresso invertente ed uscita.

Il condensatore da 22uF posto all’ingresso dell’alimentazione del CA3240 funge da riserva istantanea di energia quando richiesta.

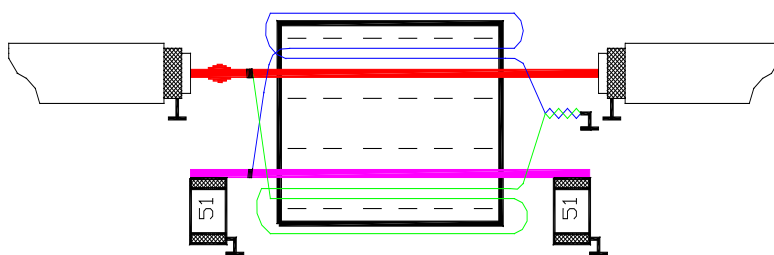
Questo avviene per vincere l'inerzia del milliamperometro che utilizzeremo come strumento indicatore della potenza diretta e riflessa.

Se dobbiamo acquistare il milliamperometro è opportuno richiedere l'impedenza propria dello strumento la più alta possibile, cioè ricercare uno strumento che necessita una bassa corrente per deflettere l'ago a fondo scala.

Indicativamente una corrente di 100uA è una buona sensibilità (lo strumento del wattmetro Bird necessita di una corrente di circa 30uA).

L'uscita del secondo operazionale può pilotare anche strumenti con corrente di qualche milliamperere, il problema si riscontra soltanto quando passiamo a leggere la potenza riflessa (che non è di picco ma vicina ad una misura RMS) per la perdita di efficienza del rivelatore.

Layout dell'accoppiatore realizzato con nucleo binoculare



Come tarare la scala del nostro wattmetro

Lo strumento indicatore legge una tensione, sulla scala scriveremo Watt o meglio dB relativi ad una misura certa, effettuata per la taratura.

Collegiamo in uscita dell'accoppiatore direzionale un carico di potenza adeguata e con una perdita di ritorno non inferiore a -30dB o comunque non peggio di -27dB .

Con il trasmettitore collegato alla porta d'ingresso eroghiamo ad esempio 10W (questa potenza deve essere certa e quindi verificata con il solito strumento prestato da un altro OM).

Nella posizione misura della potenza diretta, regoleremo il resistore variabile posto in uscita del secondo operazionale fino a portare l'ago dello strumento a fine scala.

Riducendo a 2.5W l'uscita del nostro TX, l'ago dello strumento si porterà a circa mezza scala cioè abbiamo trovato il punto a -6dB .

Riducendo la potenza a 0.5W, l'ago dello strumento si porterà a poco meno di $\frac{1}{4}$ di scala e cioè a -13dB .

Una riduzione di 6dB equivale ad una riduzione di tensione di $\frac{1}{2}$.

Per la potenza riflessa la taratura si effettua scambiando la porta d'ingresso con quella d'uscita; facciamo erogare al TX una potenza di 0.5W e tariamo il secondo resistore variabile affinché lo strumento indichi fine scala (ricordarsi di girare anche il commutatore presente nello schema).

Lo strumento in posizione potenza riflessa ha il fine scala tarato a -13dB rispetto ad una potenza diretta di 10W.

Se nelle condizioni normali di funzionamento su un'antenna, il nostro strumento nella posizione riflessa, indica $\frac{1}{2}$ scala o poco meno, la perdita di ritorno indicata è di circa $-19 \text{ } -20\text{dB}$ ($13+6$), cioè un rapporto d'onda stazionaria di circa 1.2.

Per gli approfondimenti teorici dell'accoppiatore è interessante rintracciare e leggere quanto scritto da Mark McWhorter (Lorch Electronics) su RF design luglio 1991

Per i nuclei in ferrite suggerisco la lettura dell'articolo di Jim Cox (Micrometals) sempre su RF design febbraio 1987.

Buon lavoro, Pippo IOFTG
ftg.gristina@tin.it