

UN REFLETTOMETRO SERIO PER LE VHF

Matjaz Vidmar YU3UMV

1. Introduzione

Il riflettometro, chiamato anche ROS-metro (termine quest'ultimo non proprio esatto come vedremo in seguito), è senz'altro uno strumento molto diffuso tra i radioamatori. Purtroppo nella letteratura dedicata ai dilettanti non ho mai visto né una valida spiegazione del principio di funzionamento di un riflettometro né tantomeno una descrizione della verifica del funzionamento corretto sia di uno strumento comprato che autocostruito.

Confesso che il tema sull'adattamento delle impedenze nel campo RF non è di facile comprensione, i fattori che possono falsare completamente le misure sono molti e di conseguenza non è difficile commettere degli errori grossolani. Quello che invece non si può perdonare è l'assoluta non criticità di buona parte degli utilizzatori di ROS-metri e strumenti simili verso i risultati ottenuti. I risultati errati danno poi vita alle teorie più strane in aperto contrasto sia con le leggi della fisica che con le misure pratiche eseguite in modo corretto. E ciò che è ancora peggio, queste strane teorie vengono trattate come scienza pura da molte pubblicazioni dedicate ai dilettanti!

Avete mai provato a misurare il ROS della vostra antenna con due ROS-metri diversi costruiti da ditte diverse? Personalmente ho fatto alcune prove con gli «strumenti» reperibili sul mercato amatoriale ed i risultati sono stati disastrosi. Un tipico riflettometro recante la scritta 3 ÷ 15 MHz sul pannello frontale dava una lettura di SWR da 1:1,5 fino a 1:2 a 144 MHz quando era collegato ad una resistenza campione da 50 Ω costruita apposta per fare delle misure di precisione nel campo delle microonde e verificata in precedenza con degli strumenti professionali. Uno «strumento» simile non è neanche in grado di scoprire un guasto grave (interruzione o corto circuito) in uno spezzone di cavo coassiale piuttosto lungo!

Generalità sui riflettometri, chiamati impropriamente «rosmetri» e sul funzionamento dell'accoppiatore direzionale. Dati costruttivi per la realizzazione di un riflettometro affidabile da 100 MHz a 700 MHz con la tecnica stripline.

I riflettometri sono degli strumenti che misurano l'impedenza di un carico (generalmente un'antenna) rispetto ad un'impedenza standard, generalmente 50 Ω. Il riflettometro non può essere uno strumento ideale, perciò è necessario specificare il campo di frequenze nel quale gli errori sono ancora accettabili. I riflettometri più comuni, o meglio i loro rivelatori, consumano parte della potenza del generatore (trasmettitore) e funzionano nella parte lineare della loro curva caratteristica solo in un campo molto ristretto di potenze RF. Perciò è necessario specificare anche la minima e la massima potenza RF, con la quale un determinato riflettometro può ancora effettuare una misura affidabile.

Un riflettometro serio si può riconoscere anche dal tipo dei connettori RF utilizzati. Le comunissime prese e spine SO239 e PL 259 non sono utilizzabili oltre i 30 MHz negli strumenti di misura. Per frequenze fino a 500 ÷ 1000 MHz si possono impiegare i BNC, mentre per frequenze ancora superiori è necessario impiegare i connettori della serie N o meglio ancora SMA.

2. Il coefficiente di riflessione ed il SWR (o ROS)

I riflettometri sono dei misuratori d'impedenza del carico, generalmente un'antenna. L'impedenza di un carico per una corrente alternata di una determinata frequenza si può descrivere con due variabili, per esempio componente reale e componente immaginaria, oppure ampiezza e fase, oppure ancora in tanti altri modi diversi.

Il cavo coassiale (oppure qualsiasi altro tipo di linea) trasforma l'impedenza del carico in un'altra impedenza. Perciò conviene esprimere l'impedenza di

un carico in un'unità di misura tali da facilitare il più possibile i calcoli e le misure per determinare l'influenza della linea (cavo coassiale).

Quando si connette un carico (un'antenna) a un generatore (trasmettitore) tramite dei cavi e connettori costruiti tutti per la stessa impedenza caratteristica Z_0 (generalmente 50Ω , per un cavo senza perdite questa impedenza è puramente reale), conviene esprimere l'impedenza Z del carico come coefficiente di riflessione r :

$$r = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

Il coefficiente di riflessione r è un numero complesso ed a prima vista la sua introduzione sembra solo un'inutile complicazione del problema. Il coefficiente di riflessione r ha però delle caratteristiche molto interessanti: per esempio, se tra generatore e carico connettiamo una linea senza perdite dalla impedenza caratteristica Z_0 , l'ampiezza del coefficiente di riflessione (il suo valore assoluto) r non varia, varia invece solo la sua fase! Anche calcolare la nuova fase del coefficiente di riflessione è però molto più facile che non fare i conti con le impedenze Z . La fase varia linearmente con la lunghezza del cavo ed esattamente con la doppia velocità di propagazione nella linea.

Nel caso che il generatore (trasmettitore) sia ben adattato all'impedenza caratteristica della linea (cavo) Z_0 , il rendimento del sistema dipende unicamente dall'ampiezza γ del coefficiente di riflessione.

Entro quali limiti può variare γ ? Nel caso di un carico idealmente adattato $\gamma = 0$. Nel caso di un carico completamente disadattato (corto o terminali aperti) $\gamma = 1$. Per tutti i carichi passivi, quali antenne, γ varia tra 0 e 1. Se $\gamma > 1$ abbiamo a che fare con un carico attivo, che riflette più potenza di quanta ne riceve! Un esempio sono i preamplificatori a basso rumore con transistor al GaAs, che non sono assolutamente stabili e richiedono un generatore (antenna) ben adattato per non autooscillare.

Un'unità di misura molto usata in pratica è il SWR (standing wave ratio = rapporto onda stazionaria). Il SWR possiamo calcolarlo dall'ampiezza (valore assoluto) del coefficiente di riflessione γ :

$$SWR = \frac{1 + \gamma}{1 - \gamma}$$

L'unità di misura SWR ha diversi difetti: l'informazione sulla fase del coefficiente di riflessione r viene persa; calcolare i diversi parametri interessanti, quali perdite addizionali nel cavo e nel trasmettitore, è mol-

to più difficile. Inoltre lo SWR non è ben definito per carichi attivi con $\gamma > 1$ — il risultato della formula diventa negativo passando per ∞ ! Lo SWR ha un significato fisico soltanto per linee ideali — cavi senza perdite; per tutti i casi reali, cioè linee (cavi) con perdite, lo SWR diventa puramente un numero e non è più una grandezza fisica osservabile.

Nonostante tutto ciò lo SWR è un'unità di misura ancora molto popolare anche nella tecnica professionale, credo soprattutto per tradizione. Infatti, nell'era pionieristica dei primi esperimenti a microonde non esistevano né riflettometri né tantomeno la teoria su come costruirli e utilizzarli. Lo SWR era invece un fenomeno facilmente osservabile e misurabile nelle guide d'onda e cavi coassiali a microonde con strumenti molto primitivi.

3. Strumenti per la misura del coefficiente di riflessione e SWR

Quasi tutti i riflettometri vengono oggi costruiti con degli accoppiatori direzionali e misurano direttamente il valore assoluto del coefficiente di riflessione γ . La scala dello strumento viene però disegnata anche o addirittura soltanto in unità SWR per non dover fare ogni volta dei conti.

I riflettometri sono generalmente composti da due accoppiatori direzionali, rispettivi rivelatori RF e strumenti per l'indicazione (vedi figura 1).

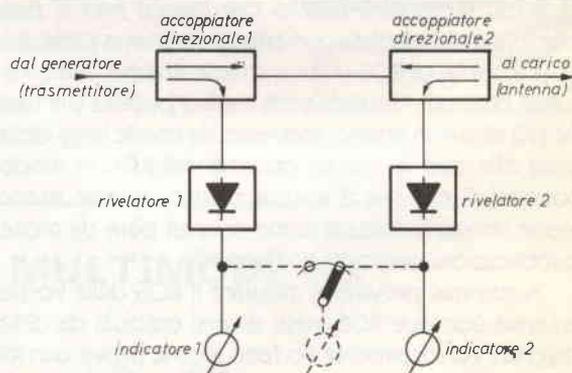


figura 1 - Schema del riflettometro.

I rivelatori generalmente usati possono misurare solo l'ampiezza della tensione RF con livelli di segnale relativamente alti, perciò è necessario un trasmettitore per fornire la potenza RF necessaria per poter effettuare la misura. Un riflettometro così costruito può perciò misurare solo l'ampiezza del coefficiente di riflessione γ .

I riflettometri professionali impiegano dei rivelatori, molto sensibili, addirittura dei ricevitori anche a più conversioni, che possono misurare l'ampiezza e la fase dei segnali anche a livelli molto bassi. Con un riflettometro simile possiamo misurare anche la fase del coefficiente di riflessione r . I bassi livelli dei segnali sono richiesti per le misure su componenti attivi quali amplificatori, convertitori ed altri circuiti. Uno strumento che può misurare il coefficiente di riflessione in un determinato campo di frequenze automaticamente viene generalmente chiamato analizzatore reti (network analyzer).

Per fortuna strumenti talmente complessi e costosi non sono strettamente necessari al radioamatore medio ed anche un modesto ma affidabile riflettometro è più che sufficiente.

Il coefficiente di riflessione r è definito come il rapporto tra l'onda diretta e l'onda riflessa, in pratica il rapporto dei segnali forniti dai due accoppiatori direzionali 1 e 2 su figura 1. Poiché i semplici rivelatori impiegati misurano solo le ampiezze delle tensioni RF abbiamo come risultato solo il valore assoluto del coefficiente di riflessione γ .

Per ovviare a scomodi calcoli i riflettometri hanno un potenziometro per regolare la sensibilità (oppure un circuito di controllo automatico). La sensibilità va regolata in modo da ottenere una determinata lettura

4. L'accoppiatore direzionale

L'accoppiatore direzionale è il componente essenziale di un qualsiasi riflettometro. In un riflettometro sono generalmente necessari due accoppiatori direzionali: uno per l'onda diretta e l'altro per l'onda riflessa.

Il principio di funzionamento di un accoppiatore direzionale si basa sulla campionatura della tensione e della corrente sulla linea-cavo coassiale. Per un carico ben adattato (generalmente 50Ω) esiste una precisa relazione tra l'ampiezza e fase della tensione e della corrente. La differenza principale tra l'onda diretta e l'onda riflessa sta nella fase della corrente rispetto alla fase della tensione: per l'onda diretta la tensione e la corrente sono esattamente in fase in ogni punto della linea; per l'onda riflessa la tensione e la corrente sono esattamente in controfase (180° di differenza).

L'accoppiatore per l'onda diretta (riflessa) è costruito in modo da sommare (sottrarre) i campioni di corrente e tensione sulla linea (vedi figura 2). Ovviamente i campioni di corrente e tensione devono essere nel giusto rapporto determinato dall'impedenza caratteristica della linea (generalmente 50Ω).

Lo schema in figura 2 è tecnicamente realizzabile per frequenze fino a circa 30 MHz. Il suo vantaggio principale è di essere almeno in teoria indipendente dalla frequenza di lavoro. In pratica, realizzando il tra-

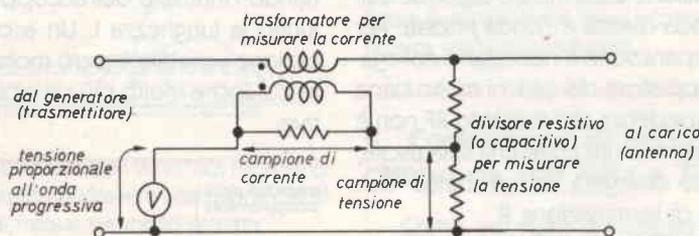


figura 2 - Accoppiatore direzionale per l'onda progressiva. Per l'onda riflessa è necessario cambiare il senso dell'avvolgimento del trasformatore.

sullo strumento per l'onda diretta. Sullo strumento per l'onda riflessa possiamo allora leggere direttamente il valore di γ e/o SWR.

Gli strumenti-riflettometri più semplici hanno un solo strumento indicatore commutabile con l'apposito commutatore sul pannello frontale.

sformatore per misurare la corrente su un nucleo di ferrite toroidale si può ottenere un funzionamento discreto su tutta la gamma delle onde corte ($1,5 \div 30$ MHz).

Per frequenze superiori a 30 MHz le induttività e capacità parassite, soprattutto del trasformatore, so-

no troppo alte e disturbano severamente il funzionamento di un accoppiatore direzionale. Visto che sono difficilmente eliminabili, conviene sfruttare proprio queste induttività e capacità parassite, ovvero gli accoppiamenti capacitivi e induttivi distribuiti lungo due linee accoppiate per costruire un accoppiatore direzionale (vedi figura 3).

Tra due linee accoppiate esiste sempre sia un accoppiamento capacitivo che un accoppiamento induttivo. L'accoppiamento capacitivo fornisce il campione di tensione, mentre l'accoppiamento induttivo fornisce il campione di corrente. Da un solo accoppiamento direzionale si possono ottenere allo stesso tempo entrambe le uscite: per l'onda diretta e per

giunge il massimo quando $l = \lambda/4$ (vedi figura 4). Per una lunghezza $l = \lambda/2$ l'ampiezza dell'accoppiamento va a zero! Essendo tutti i singoli campioni esattamente in controfase essi si sottraggono a vicenda.

L'accoppiatore direzionale a linee accoppiate viene generalmente usato nel campo di frequenze fino al massimo accoppiamento circa. Nella vicinanza dello zero attorno a $l = \lambda/2$, l'ampiezza dell'accoppiamento varia velocemente con la frequenza ed anche con le tolleranze costruttive, perciò l'accoppiatore direzionale non è più utilizzabile in questo campo di frequenze.

Il funzionamento di un accoppiatore direzionale in un ampio campo di frequenze si può migliorare va-

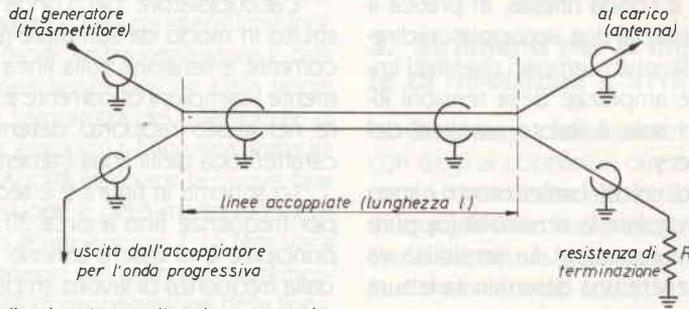


figura 3 - Accoppiatore direzionale per l'onda progressiva costruito con delle linee accoppiate.

l'onda riflessa. La precisione della misura dipende dalla separazione tra l'onda diretta e l'onda riflessa. Per ottenere una buona separazione è necessario collegare alle uscite dell'accoppiatore dei carichi molto bene adattati. Visto che l'impedenza dei rivelatori RF non è ben definita si può in pratica utilizzare una sola uscita, l'altra uscita va invece collegata ad un carico ben adattato: la resistenza di terminazione R.

L'ampiezza dell'accoppiamento tra le linee dipende molto dalla frequenza di lavoro. Per frequenze molto basse, quando la lunghezza delle linee accoppiate l è piccola rispetto alla lunghezza d'onda λ , aumentano sia l'accoppiamento induttivo che capacitivo linearmente con la frequenza. Quando la lunghezza l diventa una parte significativa di λ si fanno notare le differenze nella fase dei vari campioni presi lungo le due linee accoppiate. A causa delle differenze di fase la somma dei campioni e di conseguenza l'accoppiamento, diminuiscono oltre una certa frequenza. Se la sezione delle due linee accoppiate è uniforme lungo tutta la lunghezza l (se cioè non varia la distanza tra le due linee), allora l'accoppiamento rag-

riando l'intensità dell'accoppiamento tra le due linee lungo la lunghezza l . Un accoppiatore direzionale a sezione variabile è però molto più difficile da calcolare ed anche molto più sensibile alle tolleranze costruttive.

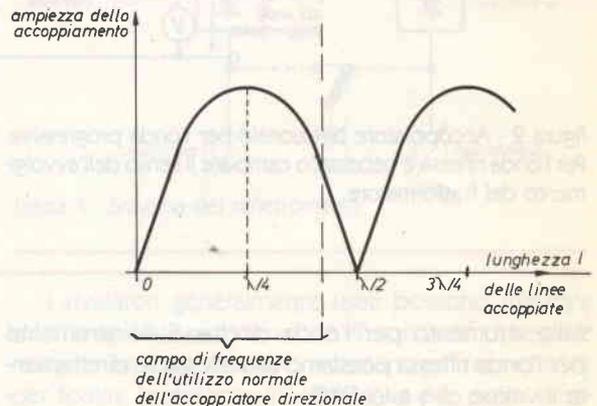


figura 4 - Ampiezza dell'accoppiamento in relazione alla lunghezza l delle linee accoppiate.

La capacità di un accoppiatore direzionale di separare l'onda diretta dall'onda riflessa viene chiamata anche direttività. Per ottenere una buona direttività è necessario che l'accoppiamento capacitivo ed induttivo siano nel giusto rapporto e fase, il che si può ottenere con una corretta geometria delle linee accoppiate.

La costruzione è molto semplice se le linee sono costruite con un solo tipo di dielettrico, per esempio l'aria. La legge fisica della dualità tra il campo elettrico ed il campo magnetico implica che gli accoppiamenti capacitivi ed induttivi sono sempre nel rapporto giusto ed in fase.

Leggermente più difficile è costruire un accoppiatore direzionale con una tecnica che impiega due o più diversi tipi di dielettrico, per esempio in tecnologia microstrip (vedi figura 5A). Il dielettrico modifica la forma del campo elettrico ma lascia inalterata la forma del campo magnetico, perciò la legge della dualità non può essere applicata. Un accoppiatore così costruito può avere una buona direttività solo in un campo di frequenze molto ristretto (per esempio la gamma CB). Nonostante ciò, buona parte dei «ROS-metri» reperibili sul mercato e/o pubblicati sulle varie riviste sono costruiti proprio così! Non è difficile provare matematicamente ed anche dimostrare praticamente che uno «strumento» così costruito è pressoché inutilizzabile in un campo di frequenze leggermente più ampio!

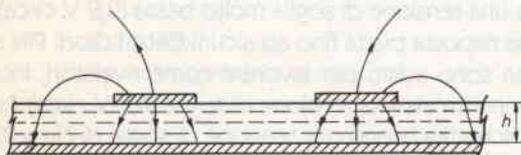


figura 5A - Accoppiatore costruito con la tecnica microstrip. Un accoppiatore così costruito può avere una buona direttività solo in una gamma di frequenze molto ristretta.

I circuiti nella tecnica microstrip sono facili da realizzare su circuito stampato e sarebbe un vero peccato non poter realizzare un riflettometro in questa tecnica tanto pratica. Ovviamente esistono dei rimedi, uno dei più semplici è mostrato in figura 5B. Modificando la forma del campo elettrico e magnetico con un addizionale piano di massa alla giusta distanza dal circuito è possibile ottenere una eccezionale direttività entro un vasto campo di frequenze!

Il metodo più sicuro per costruire un accoppiatore direzionale è senz'altro la tecnica stripline detta anche «sandwich». A differenza della tecnica microstrip

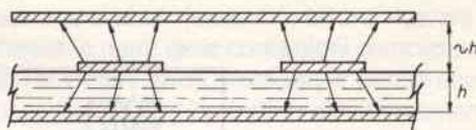


figura 5B - Accoppiatore direzionale costruito con la tecnica microstrip e modificato in modo da poter operare in una larga banda di frequenze.

nella tecnica stripline sono necessari due circuiti stampati per ogni circuito. La piastrina superiore (vedi figura 6) è a singola faccia. Il rame non viene inciso poiché funge da piano di massa superiore. La piastrina inferiore è a doppia faccia. Sulla sua faccia superiore viene inciso il circuito, mentre la faccia inferiore rimane intatta e funge da piano di massa inferiore. Nella fase di costruzione le due piastrine vengono strette assieme con delle viti o dei rivetti o addirittura incollate assieme con della resina per ottenere un dielettrico il più possibile omogeneo e di conseguenza una buona direttività dell'accoppiatore.

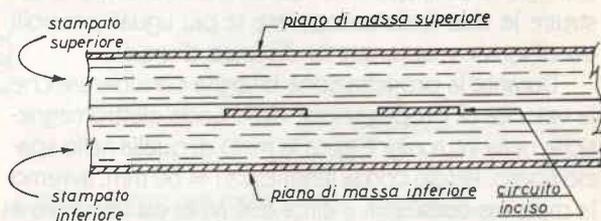


figura 6 - Costruzione di un accoppiatore direzionale con la tecnica stripline (sandwich).

5. Costruzione di un riflettometro per il campo da 100 MHz a 700 MHz circa

Come esempio d'impiego della tecnica stripline ho praticamente sperimentato un riflettometro per il campo di frequenze da 100 a 700 MHz. Come materiale per i circuiti stampati ho utilizzato della comunissima vetronite da 1,6 mm. di spessore. Per ottenere un'impedenza caratteristica delle linee di 50 Ω circa è necessaria una larghezza delle linee w di 1,5 mm. (vedi figura 7). Dalla distanza d tra la linea principale e le linee accoppiate dipende la sensibilità del riflettometro. Con $d = 1,5$ mm e $l = 60$ mm sono necessari circa 20W di potenza del trasmettitore sui 144 MHz e 5W sui 432 MHz come minimo per una misura corretta. Diminuendo la distanza d tra le linee aumenta velocemente la sensibilità, però per d piccole è necessario anche correggere la larghezza w nel tratto l .

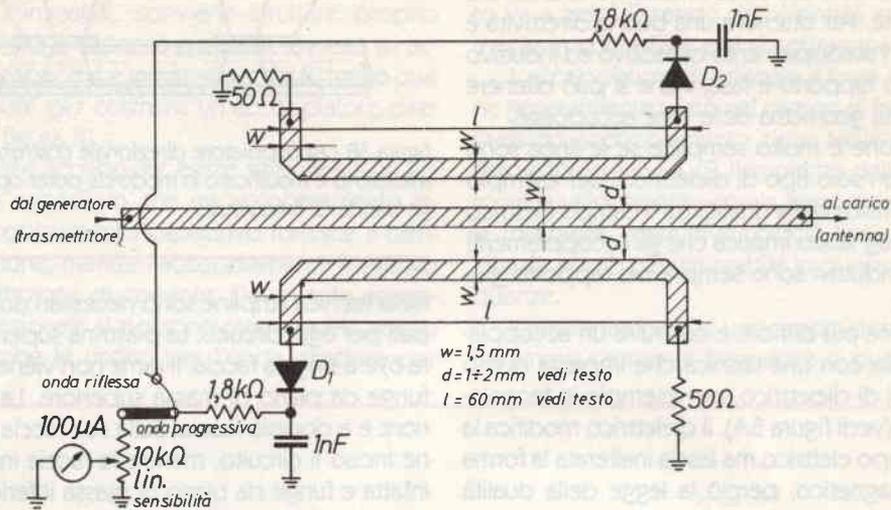


figura 7 - Schema del riflettometro da 100 a 700 MHz.

Durante la costruzione si deve fare attenzione a costruire le due linee accoppiate le più uguali possibili tra di loro e mantenere le distanze d uguali.

Durante la progettazione bisogna considerare che la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nella vetronite è circa la metà di quella nello spazio libero. Perciò con la lunghezza $l = 60$ mm. avremo la massima sensibilità a circa 650 MHz ed uno zero a 1300 MHz. Il riflettometro perciò non è più utilizzabile sui 1296 MHz.

La precisione del riflettometro, ovvero la sua direzionalità, dipende molto dalla precisione delle resistenze di terminazione da 50Ω . Stranamente le resistenze ad impasto, che in pratica non hanno alcuna induttività residua, non vanno molto bene per frequenze sopra i 100 MHz. La colpa è senz'altro nell'effetto pelle del corpo della resistenza, che apparentemente aumenta il valore resistivo alle alte frequenze. Risultati molto buoni si possono invece ottenere con le resistenze a strato (carbone o metallo), nonostante queste abbiano incisa una spirale nello strato resistivo. Una resistenza da 100Ω $1/8$ W ha tipicamente incisa una spirale di due spire. La reattanza induttiva di questa spirale è di appena pochi Ω a 1GHz, in pratica trascurabile per gli impieghi amatoriali.

Le caratteristiche RF di una resistenza dipendono però anche dal valore resistivo e dal montaggio della resistenza, 50Ω non è il valore ottimale ed è molto meglio ottenere questo valore con due resistenze da 100Ω in parallelo.

La sensibilità del riflettometro dipende anche dal tipo di diodi impiegati nei rivelatori. Ovviamente è necessario usare diodi adatti alla frequenza in gioco. I migliori si sono rivelati i diodi al germanio ed in particolare i diodi costruiti per i rivelatori video nei televisori di qualche anno fa quali OA 70 e OA 90 e tanti altri simili. I vantaggi principali dei diodi al germanio sono una tensione di soglia molto bassa ($0,2$ V circa) ed una risposta piatta fino ad alcuni GHz! I diodi PIN al Si non sono adatti per lavorare come rivelatori, inoltre hanno un'elevata tensione di soglia ($0,7$ V circa). I diodi schottky hanno una tensione di soglia di circa $0,3$ V e sono senz'altro i più adatti per rettificare le frequenze molto alte. Nel riflettometro ho sperimentato gli HP 5082 - 2811, che però hanno la massima tensione inversa ammessa di soli 15 V ed è necessario fare attenzione a non bruciarli! Esistono però anche degli speciali diodi schottky (BAT 16) costruiti apposta per fare da rivelatori: la tensione di soglia è di pochi mV! Purtroppo una coppia di BAT 16 costa quanto un riflettometro completo.

Nel prototipo ho impiegato uno strumento indicatore con la scala da 0 a 1. Aggiustando la sensibilità con il potenziometro da $10k\Omega$ lin per avere esattamente il fondo scala per l'onda diretta, nella posizione onda riflessa la scala dello strumento è già tarata e possiamo leggere direttamente γ dalla scala originale da 0 a 1. Per la conversione in SWR sarà necessario disegnare un'altra scala oppure fare qualche semplice conto.

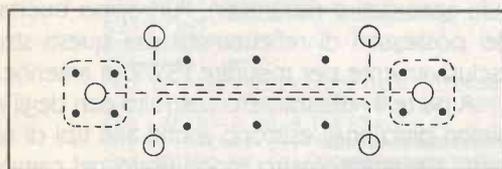
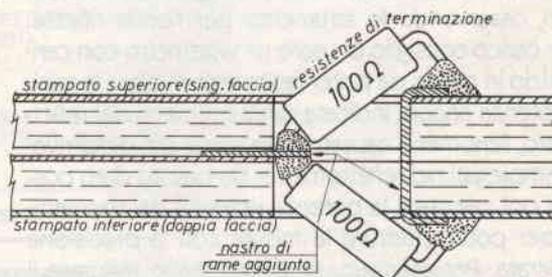
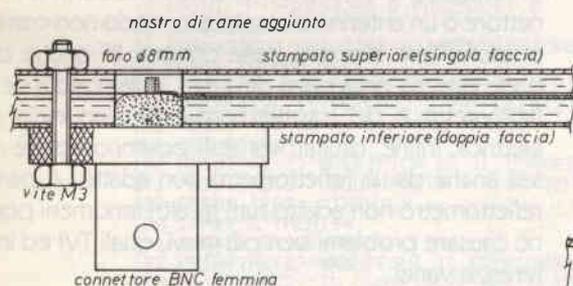
I circuiti stripline hanno due piani di massa. In teoria le distribuzioni dei campi e delle correnti sono perfettamente simmetriche e perciò non sono necessarie alcune connessioni tra i due piani di massa. In pratica si hanno però delle tolleranze costruttive, inoltre non tutte le connessioni al circuito sono simmetriche. Perciò è necessario collegare i due piani di massa assieme in più posti. La soluzione più semplice è di utilizzare le stesse viti o rivetti utilizzati per il montaggio meccanico.

Le viti o i rivetti non devono essere né troppo vicini alle linee incise, per non disturbare il funzionamento del circuito, né troppo lontani, per evitare le risonanze parassite. Considerando lo spessore della vetronite ($2 \times 1,6$ mm.) conviene distanziare le viti (MA 3) a circa 1 cm dalla linea più vicina.

Per le connessioni RF ho impiegato dei connettori BNC femmina da pannello e più precisamente il tipo a flangia adatto per il montaggio con 4 viti MA 3 o simili. I particolari del montaggio sono comunque visibili in figura 8.

Conseguenze ben più gravi può però avere il fatto di non accorgersi di un guasto e/o errore, ricavare risultati sbagliati e trarre delle conclusioni completamente errate! Per evitare errori grossolani è perciò necessario conoscere almeno il principio di funzionamento di un certo strumento, il procedimento della misura e la verifica dello strumento stesso prima, durante e/o dopo aver eseguito la misura.

Per eseguire delle misure con un riflettometro è necessario disporre di un generatore (trasmettitore) in grado di fornire la potenza richiesta nel campo di frequenze desiderato. I comuni riflettometri sono però molto sensibili alle armoniche e spurie generate dal trasmettitore ed anche alla loro fase rispetto al segnale principale. Per ottenere dei risultati affidabili è necessario che le armoniche e spurie siano attenuate di almeno $40 \div 50$ dB rispetto alla fondamentale all'uscita del trasmettitore, altrimenti i risultati ottenuti non hanno senso alcuno neanche con il migliore dei riflettometri.



disposizione dei fori sui circuiti stampati

figura 8 - Particolari della costruzione del riflettometro.

6. Verifica e taratura del riflettometro

Il risultato di una misura ha un valore pratico soltanto quando si è sicuri al 100% della efficienza di tutti gli strumenti utilizzati e nella correttezza del procedimento della misura stessa. Anche il migliore strumento può guastarsi, non sempre per colpa nostra.

Il riflettometro va per prima cosa provato su un carico completamente disadattato, per esempio circuito aperto, corto circuito e corti spezzoni di lunghezze diverse di cavo coassiale non terminati. In tutti questi casi di carico completamente reattivo il riflettometro deve dare come risultato esattamente 1 oppure $SWR = \infty$. Se l'indicazione varia significa che gli

accoppiatori direzionali non sono adatti alla frequenza in gioco. Ovviamente bisogna aggiustare ogni volta la sensibilità del refllettometro poiché la potenza di uscita del trasmettitore può anche variare. Attenzione a non bruciare il trasmettitore durante questa prova, visto che non è stato progettato per lavorare in queste condizioni!

La direttività del refllettometro va verificata collegando lo strumento ad un carico perfettamente adattato, cioè una resistenza campione da 50 Ω. Purtroppo buona parte dei radioamatori non dispone di una resistenza campione per microonde. Come carico ben adattato possiamo utilizzare un attenuatore dal valore sufficientemente alto (oltre i 20 dB). Un attenuatore a portata di mano è senz'altro un lungo spezzone di cavo coassiale con perdite alte, per esempio 30 ÷ 40 m di RG 58 a 432 MHz! Un buon refllettometro dovrebbe indicare γ vicino a 0 o SWR prossimo a 1, l'indicazione dello strumento permette una valutazione diretta della direttività degli accoppiatori direzionali e di conseguenza la precisione del refllettometro. Ovviamente per verificare l'accoppiatore per l'onda diretta è necessario scambiare le connessioni del generatore e del carico e ripetere la misura.

La sensibilità del refllettometro va verificata diminuendo la potenza del trasmettitore ed osservando lo strumento per l'onda diretta. La stessa prova va ripetuta scambiando le connessioni del generatore e del carico, osservando lo strumento per l'onda riflessa. Come carico consiglio di usare un wattmetro con carico fittizio in modo da poter facilmente rivelare la minima potenza ancora indicata dagli strumenti del refllettometro, fenomeno causato dalla soglia dei diodi rivelatori impiegati nel refllettometro. Da questo dato possiamo poi calcolare la potenza richiesta dal trasmettitore per poter effettuare le misure con la precisione desiderata. Per esempio, se è necessario misurare il coefficiente di riflessione γ fino a 0,05 (il che corrisponde ad un SWR di 1,1 circa), la potenza del trasmettitore deve essere almeno 400 volte (26 dB) superiore alla minima potenza ancora rivelata dal refllettometro.

$$P_{TX_{min}} = \frac{P_{min}}{(\gamma_{min})^2}$$

Se avete l'intenzione di lasciare il refllettometro permanentemente inserito nella linea di trasmissione, è senz'altro importante sapere quante perdite introduce l'inserimento dello strumento e per gli «strumenti» poco seri anche il disadattamento (r o SWR) causato dallo «strumento» stesso!

7. Conclusioni

Nell'articolo ho voluto descrivere i principi di funzionamento di un refllettometro dando anche informazioni dettagliate sulla costruzione di un semplice strumento di prestazioni moderate (25 ÷ 30 dB di direttività) e sulla verifica del suo corretto funzionamento.

Purtroppo anche disponendo di uno strumento perfetto si possono commettere degli errori anche grossolani. Uno dei metodi più semplici per scoprire che qualcosa non funziona a dovere nel nostro sistema di misura è di variare la lunghezza del cavo in piccoli incrementi, meno di $\lambda/4$. Se tutto va bene, il coefficiente di riflessione γ e/o l'SWR **non devono variare** poiché queste unità di misura sono state inventate apposta per eliminare l'influenza della linea di trasmissione (cavo) sul risultato. Una variazione del risultato può essere causata proprio da tutti i componenti del sistema ed indica inequivocabilmente che il risultato è errato!

Per definizione un trasmettitore non può influenzare il coefficiente di riflessione o SWR; un trasmettitore che irradia molte armoniche e spurie può però benissimo falsare la misura. Un cattivo contatto in un connettore o un'antenna alimentata in modo non corretto possono fare scorrere delle correnti RF anche dalla parte esterna della calza del cavo, sulla scatola del refllettometro e del trasmettitore e persino nella rete elettrica. Infine, risultati variabili possono essere causati anche da un refllettometro non adatto. A parte il refllettometro non adatto tutti gli altri fenomeni possono causare problemi ben più gravi, quali TVI ed interferenze varie!

Buona parte dei radioamatori, quando si arriva a discutere l'autocostruzione, si lamenta di non possedere gli strumenti necessari. Con il refllettometro si può fare un'infinità di misure: perdite nei cavi, taratura dei filtri, ricerche delle frequenze di risonanza di circuiti accordati e risuonatori. Purtroppo buona parte dei possessori di refllettometri usa questi strumenti esclusivamente per misurare l'SWR di antenne.

A parte il refllettometro costruito con degli accoppiatori direzionali esistono anche altri tipi di refllettometri. Un refllettometro molto usato nel campo professionale, ma pressoché sconosciuto tra i radioamatori è il refllettometro a ponte, nonostante sia facile da autocostruire e da tarare ed è anche molto più sensibile e preciso del refllettometro ad accoppiatori direzionali. Sperando che l'argomento sia interessante, ho intenzione di descrivere una mia realizzazione in un prossimo articolo.