

Domenico Marini • I8CVS

E-mail: domenico.i8cvs@tin.it

Un preamplificatore "low noise" in cavità per 70 cm EME e satelliti

QUESTO preamplificatore a basso rumore in cavità fu progettato da DL9KR e in origine venne pubblicato con pochi dettagli sulla 432 MHz Newsletter, edita da K2UYH.

Successivamente, fu duplicato da Piero Moroni I5TDJ, che vinse il primo premio al Symposium di Orvieto con una cifra di rumore $NF = 0.5$ dB e un guadagno $G = 20$ dB.

Personalmente, ho realizzato due prototipi, uno per 432 MHz EME e l'altro per traffico via satellite, ottenendo risultati simili aggiunti ad alta selettività fra i due punti a -3 dB, alto punto di compressione a 1 dB ed elevata IP3.

Descrizione del circuito

Il preamplificatore originale mostrato nello schema elettrico **Figura 3** e **Foto 1** impiega un GaAsFet 2SK571 della NEC oppure la sua versione professionale NE 72089A ma si è misurato che i risultati migliori si ottengono usando i 2SK406 oppure NE 71083.

Tuttavia, i più comuni GaAsFet

MGF-1302 oppure MGF-1402 o MGF-1502, vanno ugualmente bene con solo un lieve peggioramento di cifra di rumore NF e di guadagno G .

E' stato provato con ottimi risultati, anche il più moderno ATF-1036 polarizzando il gate dello schema elettrico **Figura 3**, mediante una resistenza chip da 47 ohm, collegata fra source e massa, usando come by-pass due condensatori ceramici a disco ad alto Q da 470 pF e alimentando il drain con 3.9 volt.

In ogni caso, con qualunque tipo di Ga-

sFet, fino ai modelli più moderni attualmente disponibili tutti i condensatori da 470 pF di source e di uscita, devono essere categoricamente del tipo ATC in porcellana ad alto Q di forma quadrangolare, con lati di 50 oppure 100 mils (millesimi di pollice).

Come si vede nello schema elettrico **Figura 3**, il circuito di ingresso con $C1$ e $C2$ più la linea $L1$, rappresentano il cuore di questo preamplificatore, perché formano una cavità risonante accordabile da 430 a 436 MHz.

$C1$ e $C2$, sono compensatori variabili tubolari in aria ad alto Q , costruiti in misure standard da varie ditte come MURATA o AIRTRONIC o JOHANSON oppure MICROELECTRONICS tutti reperibili, GaAsFet compresi, presso il riferimento in Bibliografia (12).

Per $C1$, ho usato il modello MAV01A03 della MICROELECTRONICS con capacità variabile da 0.4 a 3.5 pF e $Q > 10.000$ a 100 MHz, completo di dado cilindrico, mentre per $C2$, ho usato il modello MAV03A10 con capacità regolabile da 0.8 a 10 pF e $Q > 5000$ a 100 MHz, completo di dado esagonale e coperchio avvitabile.

$C1$ e $C2$ con la linea $L1$ in cavità di **Figura 3**, sono collegati al gate del GaAsFet, mentre il drain è alimentato attraverso il trasformatore bifilare TR che ha 2 spire sul primario e 5 spire sul secondario, entrambe avvolte in bifilare su un nucleo binoculare di ferrite con due fori affiancati.

Siccome TR è avvolto in bifilare



Foto 1 - Preamplificatore assemblato

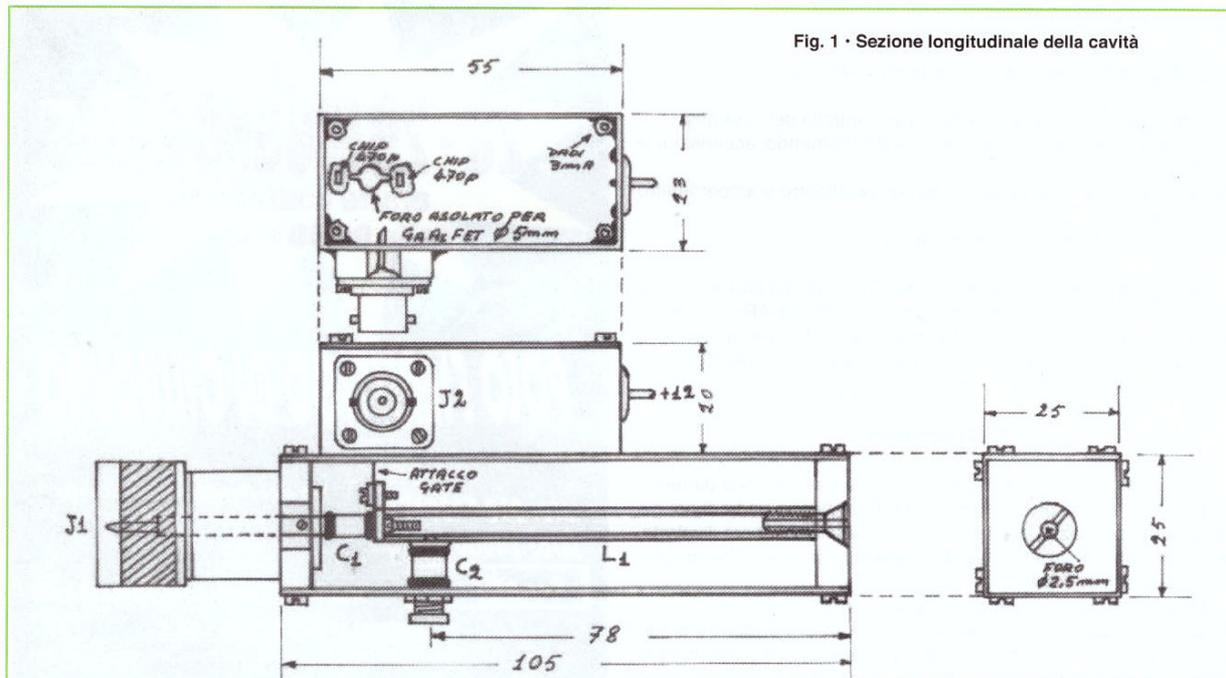
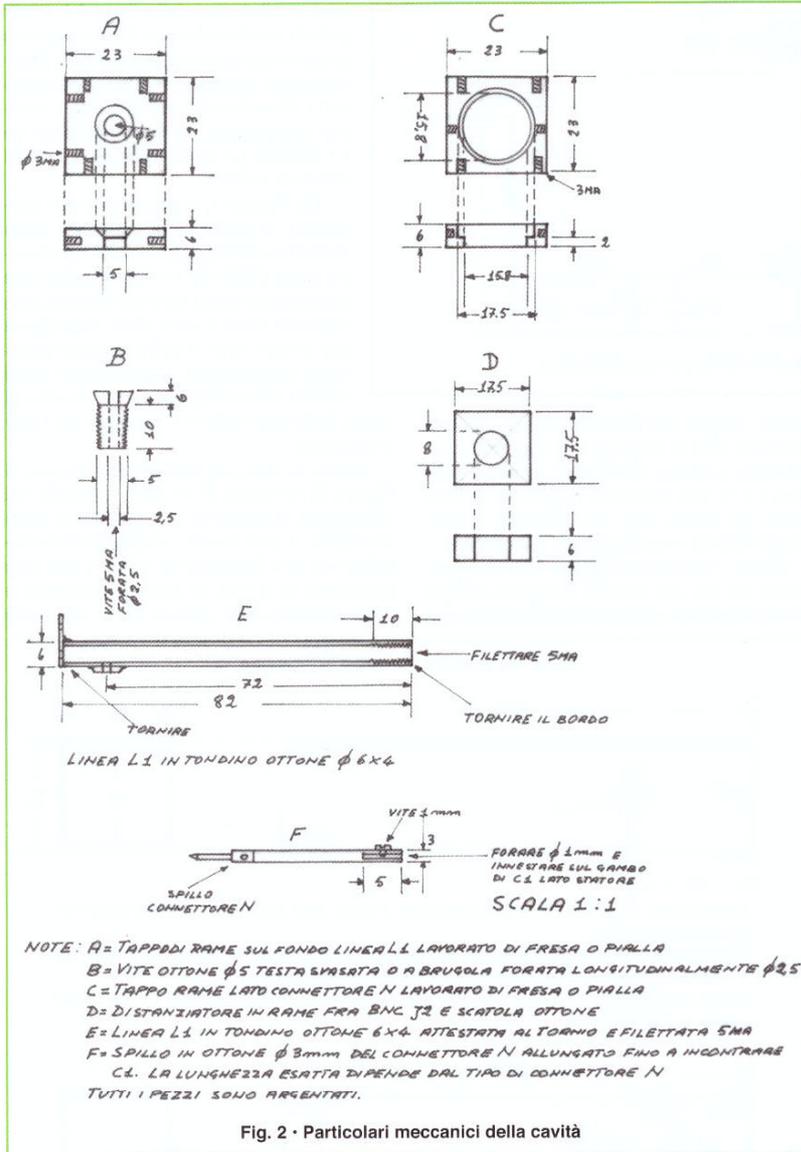


Fig. 1 - Sezione longitudinale della cavità



bisogna prestare molta attenzione nel collegare la fine di un avvolgimento con l'inizio dell'altro e non si può sbagliare perché il punto nero segnato sullo schema elettrico di **Figura 3**, indica il principio dei due avvolgimenti bifilari fatti con due conduttori affiancati in filo di rame smaltato diametro 0.2 mm.

Il materiale del nucleo binoculare di ferrite su cui è avvolto TR non è molto critico, ma deve presentare una resistenza di circa 30 k Ω misurata coi puntali del tester fra gli estremi di uno dei due fori. Come si vede sullo schema elettrico in **Figura 3**, l'uscita del preamplificatore, è prelevata sul centro del trasformatore bifilare TR mediante un condensatore ceramico chip in porcellana ad alto Q tipo ATC da 470 pF, mentre per rendere il circuito condizionatamente stabile ed evi-

tare autooscillazioni, è necessario diminuire leggermente il guadagno infilando un piccolo nucleo di ferrite FB sul terminale di drain del GaAsFet e perciò ho usato un nucleo di recupero della Fair-Rite materiale no.43 che si è rivelato molto adatto a rendere il circuito condizionatamente stabile con ingresso chiuso su 50 Ω cosa difficile da ottenere con un GaAsFet in 70 cm o, in altre parole, come sarebbe difficile tenere in equilibrio un quadro sul muro piantando il chiodo sul lato inferiore della cornice.

Come mostra lo schema elettrico di **Figura 3**, il gate del GaAsFet, è auto-polarizzato mediante la caduta di tensione che si genera ai capi del resistore chip da 100 Ω inserito fra source e massa mentre i due terminali del source sono bypassati a massa attraverso due condensatori chip ATC da 50 mils in porcellana ad alto Q da 470 pF reperibili presso il riferimento in Bibliografia (12)

Costruzione meccanica

Per ottenere bassa cifra di rumore NF ed alto guadagno G, è necessario tenere basse le perdite ohmiche nel circuito di ingresso e nel fondo della cavità dove la corrente RF è massima, per cui tutte le parti meccaniche, devono essere lavorate accuratamente con buona manualità da aggiustatore meccanico, usando, come minimo, un piccolo tornio da hobbistica, una serie di buone lime e un trapano a colonna, seguendo con molta attenzione i disegni delle **Figure 1, 2, e 4**.

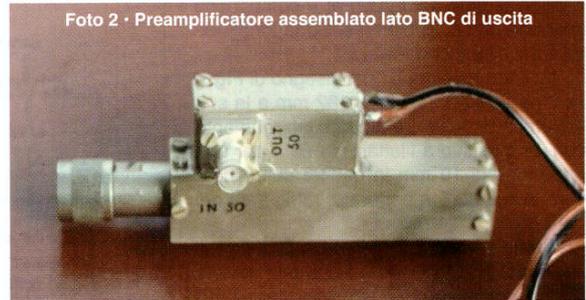
Tutti i pezzi meccanici, devono essere realizzati in ottone o meglio in rame elettrolitico, come mostrato nei disegni costruttivi delle **Figure 2 e 4**.

Come suggerito da DL9KR, per ridurre le perdite elettriche, tutti i pezzi vanno accuratamente argentati elettroliticamente specialmente nell'interno del profilato quadrangolare della cavità da 25 x 25 x 1 mm e le parti meccaniche non vanno saldate fra loro a stagno, ma tutti i pezzi argentati, devono essere infilati e forzati uno nell'altro senza giochi meccanici e successivamente avvitati perché in queste condizioni la resistenza elettrica di contatto fra le varie parti è inferiore a quella che si avrebbe saldando fra loro i pezzi con la nota lega di stagno all'argento del tipo 62% Sn, 36% Pb e 2% Ag e infatti la resistività elettrica della lega di cui sopra, è $\rho = 11 \times 10^{-6} \Omega/\text{cm}$ mentre per l'argento puro $\rho = 1.6 \times 10^{-6} \Omega/\text{cm}$.

A 435 MHz, la profondità di penetrazione della corrente RF nel conduttore di rame, è circa 3 μm o micron per cui è sufficiente fare una buona argentatura elettrolitica scartando quella fatta con prodotti chimici a strofinio perché questa non resisterebbe a lungo su parti esposte all'esterno agli agenti atmosferici.

Nei miei prototipi, ho usato rame elettrolitico per tutti i pezzi disegnati in **Figura 2 e**

Foto 2 - Preamplificatore assemblato lato BNC di uscita



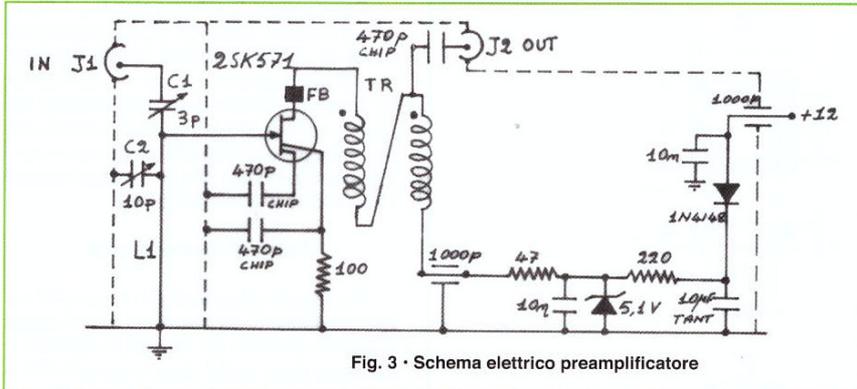


Fig. 3 - Schema elettrico preamplificatore

ciò è molto importante specie per la linea tubolare L1 della cavità realizzata con un tubetto di rame di diametro esterno 6 mm e diametro interno 4 mm mentre tutti i pezzi sono stati argentati elettroliticamente a fine lavorazione meccanica.

La parte più critica dove il contatto metallo con metallo deve essere ampio e perfetto è il fondo chiuso della cavità nel punto in cui la linea L1 è avvitata al centro del blocchetto quadrato di rame 17.5 x 17.5 mm mediante una vite conica da 5 mm forata al centro, come si vede in **Figura 2** sezione D perché in questo punto la corrente a RF ha il massimo valore e quindi le massime perdite ohmiche si hanno anche sul contatto metallo con metallo nell'interno del profilato quadrangolare della cavità.

Montaggio meccanico

Osservando i disegni in **Figura 2**, introdurre nel fondo del profilato quadrangolare il blocchetto di rame da 23 x 23 mm del dettaglio C forzandolo nell'interno del profilato con un martello di legno per non deformare il tenero rame, dopodiché fissarlo usando 8 viti di ottone da 3MA preventivamente argentate.

In conformità ai disegni di **Figura 2**, l'estremo filettato a destra della linea tubolare L1 raffigurata nel dettaglio E, deve essere avvitato al centro del blocchetto di rame da 23 x 23 mm raffigurato nel dettaglio A, usando la vite conica perforata da 5 MA del dettaglio B, mentre l'estremo sinistro di L1, verrà in seguito collegato ai compensatori C1 e C2 nonché al gate del GaAsFet e componenti associati come visibile in sezione longitudinale del disegno in **Figura 1**.

La linea tubolare L1 nel disegno di **Figura 2** particolare E, è lunga 82 mm e la sua estremità di destra, è filettata internamente con un maschio a filettare da 5MA per una profondità di 10 mm in quanto dovrà ricevere la vite conica perforata, raffigurata nel dettaglio B.

Come si vede nel disegno di **Figura 1**, al lato sinistro di L1 porta saldata una piccola staffa in rame per stringere e avvitare il ter-

minale di gate del GaAsFet senza saldarlo evitando così di riscaldarlo troppo danneggiandolo a causa dell'inerzia termica della linea L1 e, per stringere il gate su questa staffa, ho usato una vite diametro 1 mm, recuperata da una montatura per occhiali.

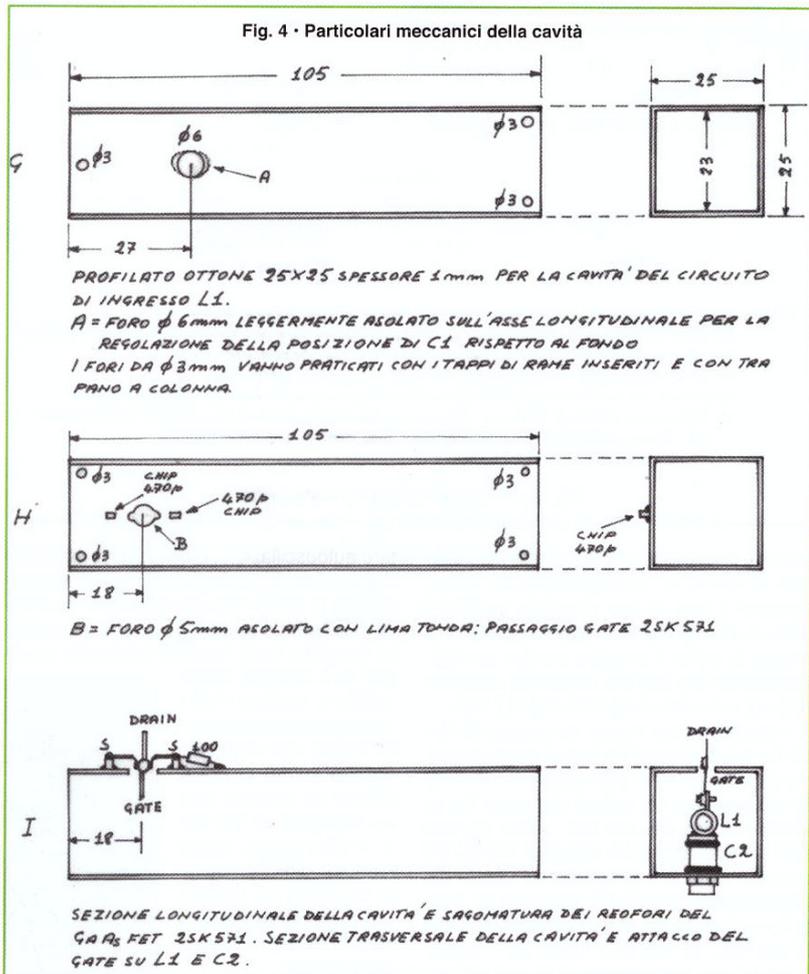
Come mostrato in **Figura 1**, il compensatore C1 ha uno statore cilindrico filettato che ha diametro esterno inferiore al diametro

interno di 4 mm della linea L1 e per poterlo avvitare dentro L1, è necessario saldare a stagno all'estremità di L1 il piccolo dado cilindrico dorato in dotazione a C1 facendo attenzione a che il dado sia posizionato concentricamente su L1 affinché C1 avvitato dentro L1 risulti allineato e dritto.

Da **Figura 1**, si arguisce che il connettore N maschio di ingresso, deve essere di ottima qualità come ad esempio il tipo UG21-B/U isolato in teflon che presenta lo spillo centrale sfilabile con notevole forza e ciò è molto importante per evitare che lo spillo applichi pressioni meccaniche indesiderate sullo statore del condensatore C1 mentre si avvita detto connettore N maschio sul relay di antenna.

Come si vede nel disegno meccanico di **Figura 2**, dettaglio F, lo spillo centrale del connettore N maschio di ingresso, è stato allungato e poi forato longitudinalmente sul tornio con diametro di 1 mm e per una profondità di 5 mm, in modo da infilarci lo spillo centrale dello statore di C1 che verrà

Fig. 4 - Particolari meccanici della cavità



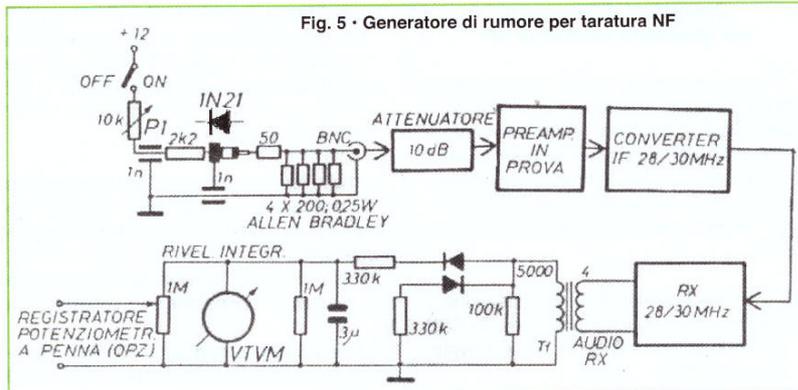


Fig. 5 - Generatore di rumore per taratura NF

bloccato con una piccola vite diametro 1 mm come mostrato anche in **Figura 1**.

Il rotore del compensatore C1, viene ruotato mediante un cacciavite autocostruito e lungo 20 cm usando un pezzo di stecca di ombrello diametro 2 mm affilata a una estremità per poterla incastrare nel taglio della vite del rotore di C1, come si vede anche nel **Disegno 2**.

Per raggiungere il rotore di C1, questo cacciavite viene infilato nell'interno della linea L1 attraverso il foro centrale della vite conica da 5 MA, come mostrato in **Foto 4** e anche se ciò sembra disturbare elettricamente il circuito di ingresso, in realtà ciò non avviene perché l'interno della linea L1 si comporta da gabbia di Faraday dove non esiste né tensione DC e neppure tensione RF e perciò la stecca di ombrello non disturba la taratura di C1 quando si regola per la più bassa cifra di rumore NF.

Per collegare meccanicamente il compensatore C2 alla linea L1, il disegno in **Figura 2** dettaglio E, mostra un dischetto di rame diametro 6 mm preventivamente saldato al castolin sulla linea L1 alla distanza di 72 mm dal fondo.

Questo dischetto è forato e filettato al centro con un maschio a filettare da 1.5 mm, in modo da poterci avvitare lo spillo dello statore di C1, che va ugualmente filettato per tutta la sua lunghezza con una filiera da 1.5 mm.

Tutti i componenti dello schema elettrico CVS-3 e **Foto 3** quali resistori, condensatori, diodo zener e trasformatore TR, vanno montati a pulce morta, nell'interno di una piccola scatola fatta con sottile lamierino di ottone e saldata su un lato del profilato quadrangolare della cavità in prossimità del GaAsFet, in modo da rendere i collegamenti i più corti possibile mentre l'uscita RF del preamplificatore, viene prelevata attraverso un condensatore ATC in porcellana da 470 pF e un connettore femmina BNC, come si vede in **Foto 2**.

Controllo iniziale del preamplificatore

- 1) Collegare all'ingresso del preamplificatore una terminazione da 50 Ω oppure una

buona antenna per 70 cm.

- 2) Collegare l'uscita del preamplificatore all'ingresso RF di un ricevitore per 70 cm oppure all'ingresso di un convertitore 432/28 MHz la cui uscita è collegata a un ricevitore HF a 28 MHz in modo SSB.
- 3) Con riferimento allo schema elettrico in **Figura 3** dissaldare un terminale del resistore da 47 Ω dal secondario del trasformatore TR e collegare in serie a questo circuito un milliamperometro da 50 mA DC fondo scala.
- 4) Alimentare il preamplificatore con 12 volt o al massimo con 13.8 volt DC e osservare la corrente assorbita dal GaAsFet che dovrebbe essere circa 10 mA e se questa fosse molto diversa sostituire il resistore da 47 Ω con un trimmer potenziometrico Cermet da 100 Ω con in serie un resistore da 22 Ω regolando il Cermet fino ad ottenere una corrente di 10 mA.
- 5) Misurare la tensione ai capi del resistore da 100 Ω connesso fra il source del GaAsFet e massa che dovrebbe essere circa 1 volt DC.
- 6) Scollegare il milliamperometro e risaldare i vari componenti del circuito.
- 7) Alimentando il ricevitore dei 70 cm oppure il convertitore 432/28 MHz e il ricevitore HF a 28 MHz con AGC disinserito si deve sentire già un discreto rumore bianco "White Noise" in cuffia o altoparlante.
- 8) Per prima cosa regolare C1 e C2 per il massimo rumore che corrisponde al massimo guadagno G ma non assolutamente alla minima cifra di rumore NF.

Per regolare C1 e C2 per la più bassa cifra di rumore NF, ci sono due possibili modi fra cui il migliore è usare un Misuratore Automatico di Cifra di Rumore, chiamato anche PANFI o Precision Noise Figure Indicator o, in alternativa, usare il metodo manuale con un Generatore di Rumore a diodo autoco-

struito alla portata di ogni OM, con modica spesa e che se usato da mano addestrata ed esperta, offre prestazioni vicine a quelle del PANFI.

Taratura per la migliore NF con un automatic noise figure meter

Attualmente ci sono sul mercato surplus e in Ebay, a prezzo di OM, molti Precision Automatic Noise Figure Indicator, abbreviato in PANFI, e il più noto è il modello analogico AILTECH 75.

E' importante che il PANFI abbia ingresso a 30 MHz e che sia completo di testina generatrice di rumore.

Collegare l'uscita RF del preamplificatore all'ingresso RF di un convertitore 432/28 MHz e collegare l'uscita a 28 MHz del convertitore all'ingresso RF a 28 MHz del PANFI.

Collegare la testina di rumore del PANFI all'ingresso RF del preamplificatore e regolare alternativamente C1 e C2 fino ad ottenere la più bassa cifra di rumore NF. Questa operazione è molto facile perché le regolazioni di C1 e C2 convergono rapidamente alla più bassa NF.

Affinare la regolazione di NF variando anche la corrente di drain del GaAsFet mediante il trimmer potenziometrico Cermet da 100 Ω e usando un PANFI modello AILTECH 75, si otterrà anche l'indicazione del guadagno G in dB. Come si vede da **Foto 5**, il mio PANFI è autocostruito secondo la descrizione di DJ9BV e DF7VX, riportata in Bibliografia (7) e mostra che ho ottenuto una NF = ±0.4 dB.

Taratura manuale di NF usando un generatore di rumore a diodo

La **Figura 5**, mostra lo schema elettrico del generatore di rumore a diodo che comprende un interruttore SPST per alimentare il diodo in funzione di Noise ON e Noise OFF, un potenziometro da 10 kΩ per variare il livello di rumore generato, un diodo 1N21 o similare, mentre tutti i resistori devono essere antinduttivi a carbone Allen Bradley e non del tipo spiralizzato.

Tutti i componenti sono montati in una



scatolina metallica saldabile a stagno con un connettore BNC femmina a flangia isolato in teflon perché i quattro resistori da 100 Ω 1/4 watt devono essere montati e saldati a stagno sulla flangia in configurazione di stella a quattro punte il piú rapidamente possibile e coi terminali cortissimi appena visibili per evitare induttanze indesiderate e formare cosí un resistore da 50 Ω con il minimo di induttanza residua. Da notare che, per generare rumore, il diodo deve essere polarizzato inversamente ossia alimentato col catodo sul +12 volt e inoltre i diodi per microonde tipo 1N21 o 1N23 e simili col contenitore ceramico a cartuccia, non vanno saldati a stagno, pena la loro distruzione perciò la punta del diodo è stata infilata in un piedino cilindrico recuperato da uno zoccolo per valvole Octal, mentre la parte cilindrica di ottone del diodo, è stata calzata dentro il contatto a molla ricavato da un portafusibili per PCB.

Come si vede sullo schema in **Figura 5**, l'uscita del generatore di rumore deve essere collegata a un attenuatore fisso da 10 dB perché il return loss di ingresso dei preamplificatori a GaAsFet, è molto basso nell'ordine di 2 dB o meno, con conseguente ROS di ingresso di circa 9:1 il che falsifica la regolazione di C1 e C2 per il minimo di NF ma l'inserzione dell'attenuatore da 10 dB, ha la funzione di aumentare il return loss di ingresso di 10 dB per il rumore incidente e di altri 10 dB per il rumore riflesso, ottenendosi cosí un isolamento totale di 20 dB fra generatore di rumore e ingresso preamplificatore che elimina le incertezze di taratura per il minimo di NF.

Se l'attenuatore fisso non è disponibile, si può autocostruire usando resistori a carbone antinduttivi Allen Bradley da 1/4 watt due da 27 Ω e uno da 36 Ω collegati a T in una scatola metallica con un connettore BNC maschio e uno N femmina.

Come si vede nello schema a blocchi CVS-5, l'uscita dell'attenuatore da 10 dB va collegata all'ingresso di un convertitore 432-434 MHz con uscita IF 28/30 MHz, mentre l'uscita del convertitore va collegata all'ingresso di un qualunque anche vecchio RX per HF, sintonizzato a 28 MHz, purché munito di AGC escludibile.

L'altoparlante del ricevitore HF va collegato in parallelo al secondario del trasformatore bassa frequenza T1 recuperato da un vecchio ricevitore del tipo con tubo finale 6V6 che ha circa 4 Ω di impedenza secondaria mentre per aumentare il livello della tensione BF di uscita, il segnale di BF viene prelevato sul primario di T1 che ha impedenza di circa 5000 Ω che verrà collegato al restante circuito dello schema in **Figura 5** in modo da essere raddrizzato e inviato a un voltmetro analogico DC da 5 volt fondo scala, oppure da 10 volt fondo scala, come ad esempio il comune tester ICE 680R.

Operazioni da eseguire per ottenere il minimo di NF

Alimentare con 12 volt DC il generatore di rumore, il preamplificatore, il convertitore, e accendere il ricevitore HF. Regolare il potenziometro P1 del generatore di rumore per il minimo di resistenza. Se tutto funziona bene il rumore del ricevitore HF con AGC escluso deve variare sensibilmente in altoparlante o cuffia.

- 1) Escludere il circuito AGC del ricevitore.
- 2) Commutare il ricevitore HF in modo SSB per farlo lavorare linearmente col rivelatore a prodotto.
- 3) Ridurre al minimo il guadagno RF del ricevitore HF portando la manopola RF Gain Control tutta in senso antiorario.
- 4) Aumentare al massimo il guadagno audio



Foto 4 - Taratura C1 con giravite fatto da stecca di ombrello

del ricevitore HF portando la manopola Audio Gain Control tutta in senso orario.

- 5) Collegare un voltmetro DC con 5 volt fondo scala, meglio se ad alta impedenza, secondo lo schema di **Figura 5**.
- 6) Mettere OFF l'interruttore SPST del generatore di rumore ed aumentare lentamente la manopola del guadagno RF del ricevitore HF fino a sentire a orecchio l'aumento del rumore in altoparlante o cuffia e regolare il guadagno RF fino a leggere sul voltmetro la tensione di 1 volt e chiamare questa tensione V2.
- 7) Ora mettere ON l'interruttore SPST del generatore di rumore e diminuire la resistenza di P1 prendendo nota su un foglio della nuova tensione letta sul voltmetro preferibilmente entro i 5 volt fondo scala e chiamare questa nuova tensione V1.
- 8) Commutando ON ed OFF l'interruttore SPST regolare C1 e C2 con molta pazienza fino ad ottenere il massimo rapporto fra le due tensioni V1/V2 il che corrisponde alla

condizione di minima cifra di rumore NF del preamplificatore e sebbene questa procedura sia lunga e tediosa, alla fine si troverà che le regolazioni di C1 e C2 convergono al massimo rapporto V1/V2 ossia al minimo di NF.

In altri termini, senza variare la posizione di P1 o di qualunque altro comando del ricevitore HF ma solo regolando C1 e C2 e commutando da ON a OFF l'interruttore SPST, il minimo di cifra di rumore NF, corrisponde alla massima deviazione del voltmetro da V1 a V2.

A fine taratura non sarà possibile conoscere il valore della cifra di rumore NF in dB perché il generatore di rumore a diodo non è calibrato in ENR (Excess Noise Ratio) ma avremo comunque raggiunto la massima sensibilità del preamplificatore associata al massimo guadagno possibile G.

Bibliografia

- 1) Low Noise GaAsFet preamps for EME: Construction and Measurement Problems by DJ9BV Rainer Bertelsmeier: DUBUS 4/88.
- 2) A Continuously Tunable Preamp for 400-1600 MHz by ON6UG, OSCAR-News Dec. 1990 nr. 86.
- 3) Automatische Ruisgetalmetre PA0DBQ-Electron 8/81.
- 4) Automatic Noise-Figure Meter: Ham Radio Magazine- February '82.
- 5) Alignment aid for VHF receivers -Radcom Jan 1976.
- 6) Hot and Cold Resistors as UHF Noise Sources by K4VOW and WA5UVM - QST Sept. '76.
- 7) Novel Approach to Automatic Noise Figure Measurements by DJ9BV and DF7VX, DUBUS 2/90-3/90-4/90.
- 8) Calibrating the Signal Generator in the Sky by N6TX and W4HHK: QST Nov. '92.
- 9) Automatic Noise-Figure meter by K9IMM, QST Feb. 81.
- 10) Noise in Receive System by DL3WR - VHF Communications 4/75.
- 11) Fundamentals of RF and Microwave Noise Figure Measurements: Hewlett-Packard Application Note 57-1.
- 12) RFMICROWAVE <http://www.rfmicrowave.it/>
- 13) Ponte per la misura del ROS di Piero Moroni I5TDJ RadioRivista 9/2013.



Foto 5 - Taratura cifra di rumore su Panfi DJ9BV