

## Preamplificatore a basso rumore per la banda S

In questo articolo descrivo un preamplificatore per la ricezione dei satelliti meteorologici in banda S a 1.7GHz. Il preamplificatore impiega nel primo stadio un FET al GaAs, con il quale è possibile ottenere una figura di rumore al di sotto di 1.5dB. Il guadagno del preamplificatore si aggira sui 20dB.

I trasmettitori a bordo dei satelliti hanno generalmente una potenza d'uscita tra 1 e 10W, la distanza dalla stazione ricevente è nell'ordine di migliaia di km, perciò non è facile ottenere in fase di ricezione un buon rapporto segnale/rumore, specialmente nella ricezione di trasmissioni a larga banda. Per migliorare il rapporto S/N possiamo agire su due variabili:

- guadagno (dimensioni) dell'antenna ricevente
- cifra di rumore del ricevitore

Il rapporto S/N è esattamente proporzionale al guadagno dell'antenna. Per un miglioramento di 6dB dobbiamo raddoppiare il diametro di un'antenna parabolica. Con l'aumentare del guadagno dell'antenna diventa sempre più stretto il suo lobo di radiazione ed il inseguimento del satellite può diventare molto difficile.

Un po' più difficile è calcolare il miglioramento

del rapporto S/N migliorando la cifra di rumore del ricevitore. Nella ricezione dei satelliti essa si rivela un parametro assai scomodo per fare i calcoli e adesso vediamo il perché. La cifra di rumore di un ricevitore è definita come il peggioramento del rapporto S/N a causa del rumore introdotto dal ricevitore. Il rapporto S/N all'entrata del ricevitore è definito come il rapporto tra la potenza del segnale utile contro la potenza di una sorgente di rumore termico a  $290^{\circ}\text{K}$  (temperatura ambiente). Nei collegamenti terrestri un'antenna si comporta come una sorgente di rumore termico a temperatura ambiente, poiché raccoglie il rumore irradiato dall'ambiente che la circonda. In queste condizioni il peggioramento del rapporto S/N è esattamente la cifra di rumore del ricevitore per definizione. Nel caso della ricezione spaziale l'antenna è puntata nel cielo e quindi raccoglie il rumore termico irradiato dal cielo, non dalla terra. La temperatura effettiva di rumore del cielo può essere maggiore o inferiore alla temperatura della terra. Nella banda S la temperatura effettiva di rumore del cielo è molto bassa, sotto i  $20^{\circ}\text{K}$ , ad eccezione di qualche punto "caldo", come il sole. Perciò il rumore proprio del ricevitore peggiora il rapporto S/N molto più che nella ricezione di emit

tenti terrestri. Per esempio, migliorando la cifra di rumore di un ricevitore da 2dB a 1dB, il rapporto S/N migliora di oltre 3dB! Da questo semplice esempio si vede, che dobbiamo fare i calcoli con le potenze di rumore e non con le cifre di rumore. La potenza del rumore è direttamente proporzionale alla temperatura effettiva di rumore:

$$P_N = k_B \cdot T_{eff} \cdot \Delta f$$

dove:  $P_N$  = potenza del rumore

$k_B$  = costante di Boltzman

$T_{eff}$  = temperatura effettiva di rumore

$\Delta f$  = larghezza di banda del ricevitore

La qualità di un preamplificatore a basso rumore si esprime anche con la sua temperatura effettiva di rumore, la relazione con la cifra di rumore (NF; espressa in dB) è la seguente:

$$T_{eff} = 290^\circ K \cdot \left( 10^{\frac{NF}{10}} - 1 \right)$$

$$NF = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{T_{eff}}{290^\circ K} + 1 \right)$$

(la temperatura ambiente si suppone  $290^\circ K$ )  
Per calcolare il rapporto S/N dobbiamo considera

re tutte le fonti di rumore, dobbiamo quindi sommare le potenze del rumore o le temperature effettive di rumore. Un altro fattore, del quale spesso non si tiene conto, e che la temperatura effettiva di rumore di un'antenna puntata nel cielo può essere maggiore della temperatura del cielo in quel punto a causa dei lobi secondari dell'antenna, che captano il rumore irradiato dalla terra.

Tutta questa esposizione del problema credo sia stata necessaria per dimostrare che nel caso della ricezione spaziale a senso costruire ricevitori con cifre di rumore al di sotto di 2dB.

Poiché i FET al GaAs non sono molto noti a gran parte dei lettori credo che sarà utile una descrizione della loro costruzione e funzionamento. La costruzione, semplificata, è visibile in Fig. 1. Il FET al GaAs è in sostanza un FET a giunzione. La giunzione gate-canale è del tipo schottky, cioè il metallo del gate è scelto in modo che al contatto col semiconduttore forma una giunzione rettificatrice. I metalli per i contatti del drain e del source sono invece scelti in modo che formano col semiconduttore un contatto puramente resistivo, senza proprietà rettificatrici. La ragione per la quale questi semiconduttori possono lavorare anche a frequenze oltre i 20 GHz e che i elettroni liberi si posso

no muovere nel GaAs molto più velocemente che nel Si. Le proprietà RF di un FET dipendono fortemente dalla lunghezza del canale (distanza tra source e drain). Il limite della lunghezza del gate sopra il canale è sui  $0,5\mu\text{m}$ , imposto dalla tecnologia di costruzione del FET. Gran parte dei FET in commercio, compreso il CFY11 al quale si riferisce il progetto, hanno il gate lungo circa  $1\mu\text{m}$  e sono utilizzabili fino a  $12\text{GHz}$  circa. La larghezza del gate va da alcune decine di  $\mu\text{m}$  per i FET a basso rumore fino a alcune centinaia di  $\mu\text{m}$  per i FET di potenza. La relativa corrente di saturazione  $I_{DSS}$  a  $V_{GS} = 0\text{V}$  va da  $50\text{mA}$  fino a  $1\text{A}$  per i tipi di potenza, che possono fornire oltre  $1\text{W}$  a  $10\text{GHz}$ . I FET al GaAs sono dispositivi che lavorano a basse tensioni. La massima tensione d'alimentazione ammessa è  $5\text{V}$  per quasi tutti i tipi di FET al GaAs (tensione CC tra drain e source).  $V_{GS}$  può andare tipicamente da  $0$  a  $-5\text{V}$ .

Limitero la descrizione ai tipi di bassa potenza, come sono il CFY11 ed il CFY12 della Siemens, oppure i molto simili 2N6680 e HFET 1102 della Hewlett-Packard. La tensione tipica d'alimentazione  $V_{DS}$  va da  $3$  a  $4\text{V}$  e la migliore cifra di rumore si ottiene a  $I_D = 15\% I_{DSS}$ . Aumentando la  $I_D$  cresce il guadagno e peggiora la cifra di rumore. Dati tipici sono  $NF = 1\text{dB}$ ,  $G = 12\text{dB}$  a  $2\text{GHz}$  e  $NF = 2\text{dB}$ ,

$G = 10\text{dB}$  a  $4\text{GHz}$  sempre a  $I_D = 15\% I_{DSS}$ . Nonostante i FET al GaAs lavorino a basse tensioni e relativamente elevate correnti, le impedenze d'entrata e d'uscita, compensate le componenti capacitive, rimangono pur sempre elevate; nella banda S sono generalmente comprese tra  $150$  e  $500\Omega$ . Questi dati sono naturalmente intesi per la configurazione circuituale source a massa. La capacità drain-gate con il source a massa e nell'ordine di centesimi di pF, comunque è sufficiente a provocare autooscillazioni di un amplificatore, date le elevate impedenze d'entrata e d'uscita ed il elevato guadagno del FET. Perciò né l'impedenza del generatore (antenna) né l'impedenza del carico dell'amplificatore non devono discostarsi molto dai valori, per i quali l'amplificatore è stato progettato.

### Circuito del preamplificatore

Il circuito del preamplificatore si compone di due stadi amplificatori più i circuiti d'alimentazione (Fig. 2). Nel primo stadio lavora il FET al GaAs CFY11, nel secondo stadio un transistor bipolare al Si BFR34A. Il guadagno del primo stadio si aggira sui  $13\text{dB}$ , il guadagno del secondo stadio sui  $7\text{dB}$ .  $L_2$  e  $L_3$  compensano le reattanze capacitive del CFY11. I conden

satori da 0.3pF sono soltanto dei supporti di vetro nite. Dal punto di vista elettrico sono inutili, anzi dannosi, poiché la loro reattanza deve essere compensata da  $L_2$  e  $L_3$  e questo riduce la banda passante del preamplificatore.  $L_1$  è un trasformatore d'impedenza da  $50\Omega$  all'impedenza d'entrata del CFY11.  $L_4$  trasforma l'impedenza d'uscita del CFY11 a  $50\Omega$ . L'impedenza d'entrata del BFR34A a una componente induttiva, compensata con il condensatore da 0.6pF arriviamo a circa  $50\Omega$  reali.  $L_5, L_6$  ed il condensatore da 0.6pF trasformano l'impedenza d'uscita del BFR34A a  $50\Omega$ . Poiché l'impedenza d'uscita del BFR34A è già per se molto vicina a  $50\Omega$ , questo accoppiamento non è tanto critico come i primi due (entrata  $50\Omega \leftrightarrow$  CFY11 e CFY11  $\leftrightarrow$  BFR34A). L'alimentazione del preamplificatore è +12V via cavo. Il diodo 1N4002 protegge il preamplificatore da eventuali inversioni di polarità. L'alimentazione del primo stadio con il CFY11 è stabilizzata da un 7805. Il zener da 4,7V dovrebbe proteggere il costoso FET nel caso fallisse il 7805.

## Costruzione del preamplificatore

Il preamplificatore è costruito su di un lamierino di rame alloggiato dentro una scatola metallica (Fig.4. e Fig.5.). Il lamierino di rame è saldato sui

due connettori BNC (sconsigliabili per queste frequenze, sarebbe opportuno utilizzare connettori N o altri per microonde). Le linee  $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$  sono costruite con del filo CuAg da  $1\text{mm}\phi$  a  $1,5\text{mm}$  dal piano di massa (vedi Fig.3. per il calcolo dell'impedenza caratteristica).  $L_6$  è un lamierino di rame largo  $4\text{mm}$  a  $1,5\text{mm}$  circa dal piano di massa. Particolare attenzione meritano i condensatori da  $820\text{pF}$ , non per il valore della capacità, che non è critico. Questi condensatori devono avere la minima induttività possibile, perciò è obbligatorio l'impiego di condensatori ceramici senza terminali, cioè il tipo a pastiglia che si impiega nei tuner UHF per TV. Particolarmente critico è il disaccoppiamento verso massa del source del CFY11. Il FET è in grado di amplificare fino a  $12\text{GHz}$ , quindi può comodamente oscillare a queste frequenze! Il CFY11 a due terminali di source, ognuno dei due deve essere disaccoppiato verso massa. Date le tolleranze della  $I_{DSS}$  del FET si deve trovare sperimentalmente il valore della resistenza nel source. Il terminale di drain del FET è tagliato a  $45^\circ$ , questo è l'unico segno che permette di distinguere il drain dal gate. Il preamplificatore è montato dentro una scatola metallica. Il guaio è che una scatola metallica chiusa si comporta come un risuonatore ad alto  $Q$ . Basta un accoppiamento anche lasco con il

circuito del preamplificatore e questo autooscilla. Una possibile soluzione sarebbe lasciare la scatola aperta per abbassare il Q. Alcuni consigliano di montare nella scatola (lontano dai circuiti dell'amplificatore per non influenzarli) del materiale absorber (materiale con perdite per la RF) per abbassare il Q. (Sembra vada bene la spugna conduttrice di plastica nera che si usa per proteggere i circuiti integrati MOS, io non l'ho provata.) Il problema della risonanza della scatola l'ho risolto saldando cinque resistenze ad impasto da  $100\Omega$  tra la piastra di rame e la scatola metallica (spero siano visibili sulla foto - Fig.6.)

I componenti attivi per microonde hanno le aree delle giunzioni piccole, per avere piccole capacità parassite, perciò sono anche più sensibili alle cariche statiche che i normali semiconduttori per BF. Inoltre i componenti al GaAs sono più delicati dei componenti al Si (esperienze con i LED). Tutto questo vale anche per il CFY11, che non incorpora alcuni dispositivi di protezione. Il CFY11 viene fornito nella spugna elettroconduttrice e va maneggiato con la stessa cura come i dispositivi MOS non protetti.

Dato il costo ancora elevato dei FET al GaAs

(chiamati anche MESFET) ho progettato il preamplificatore in modo che potrebbe lavorare nelle gamme 1.7GHz e 2.2GHz e possibilmente nella gamma amatori 2.3GHz. Ho fatto delle prove soltanto nella gamma 1.7GHz. Non disponendo di strumentazione da laboratorio per queste frequenze tutte le cifre che fornisco sono ottenute da prove comparative con altri preamplificatori. Conviene inoltre giocare sulla lunghezza del cavetto che collega il preamplificatore all'antenna. Date le tolleranze costruttive nell'antenna e nel preamplificatore anno  $50\Omega$  esatti, esiste quindi una lunghezza del cavetto di minimo ed una di massimo rendimento.

Il prezzo dei FET al GaAs è comunque in continua evoluzione verso il calo. Per esempio, la Siemens ha lanciato il nuovo modello CFY12 con caratteristiche migliorate rispetto al CFY11 ed il prezzo quasi dimezzato! Poiché questi semiconduttori verranno impiegati nei convertitori per la ricezione TV via satellite su 12GHz, si prevede la loro produzione su larga scala e di conseguenza a basso costo.

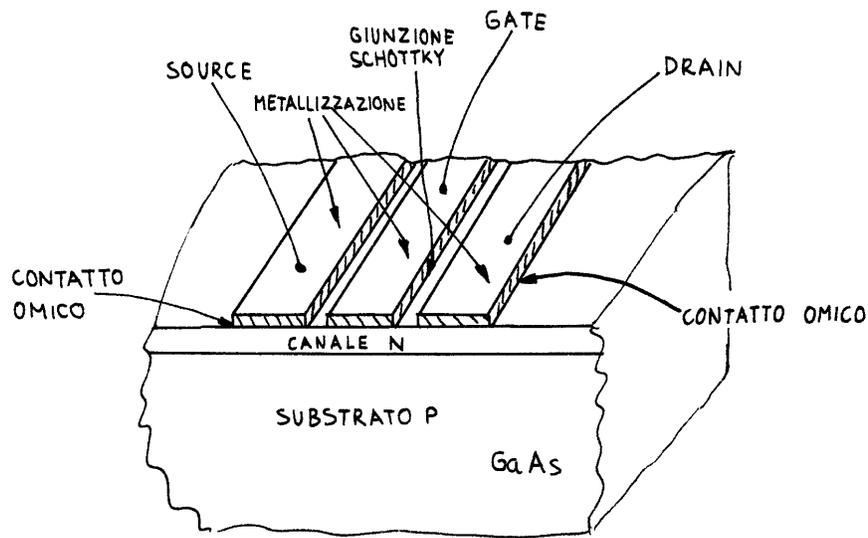


Fig. 1. Spaccato semplificato di un FET al GaAs

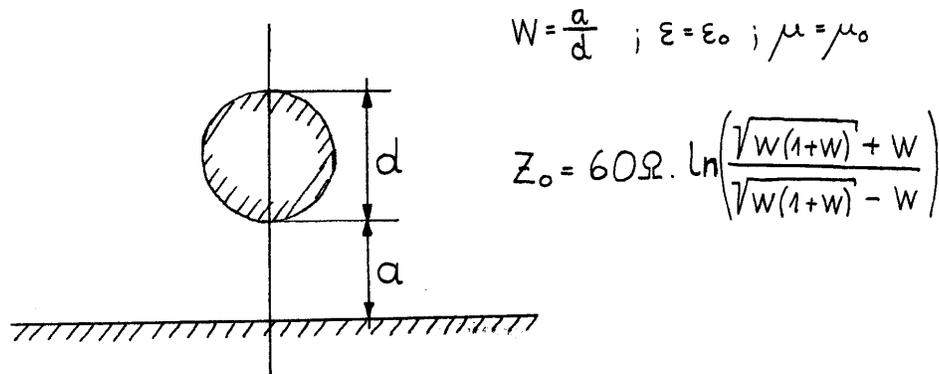
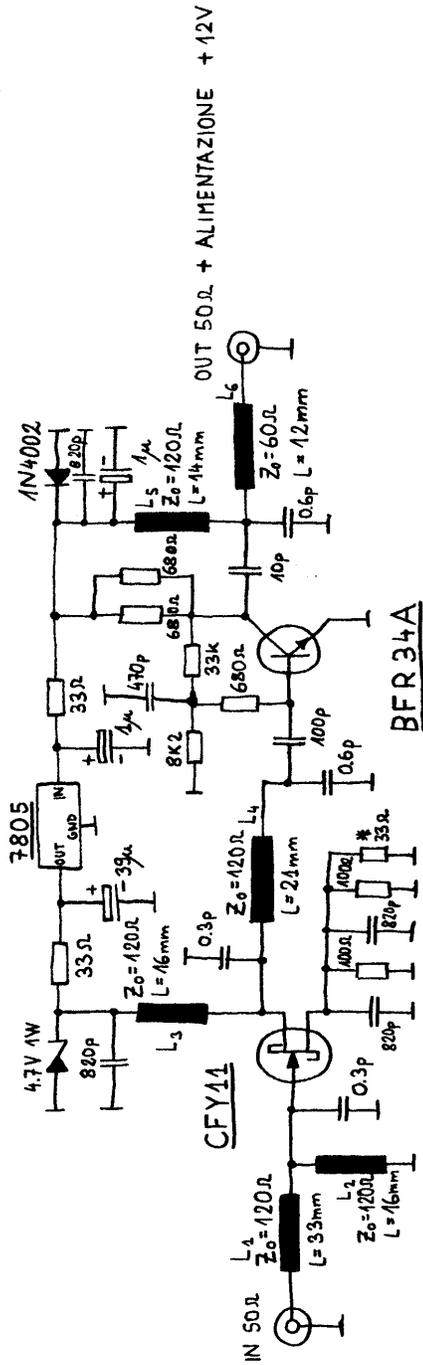


Fig. 3. Impedenza caratteristica  $Z_0$  di una linea formata da un conduttore rotondo parallelo ad un piano infinito



\* VEDI TESTO

Fig.2. - Schema del preamplificatore a basso rumore per la banda S ; NF = 1.5dB ; G = 20dB

N. GORICA, 9.11.1980 Lidmar Matjai

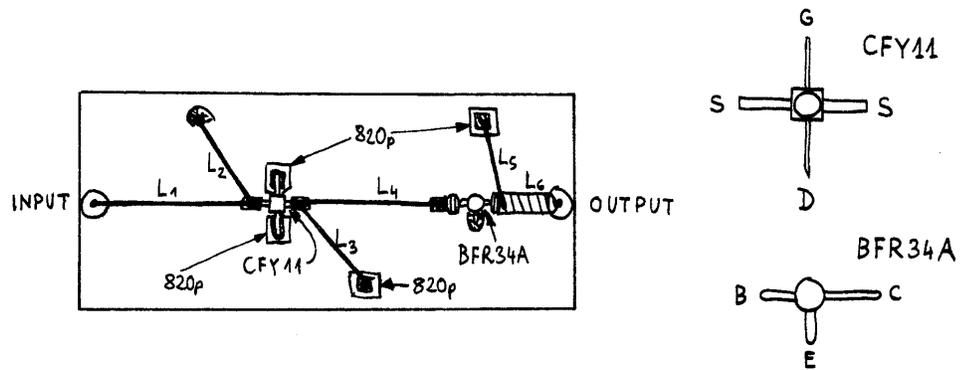


Fig.4. -Disposizione dei componenti principali del preamplificatore

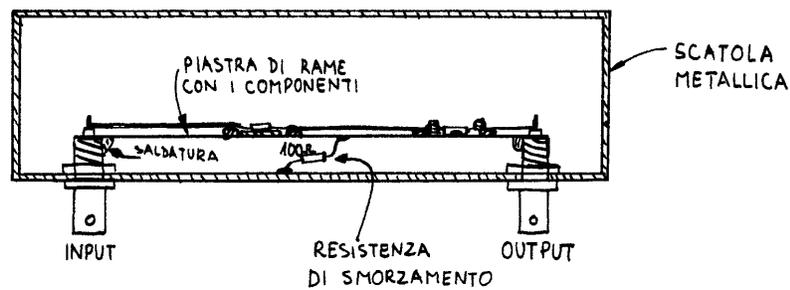


Fig.5 - Costruzione meccanica del preamplificatore



Fig. 6.