Conoscere e misurare la cifra di rumore

Adelmo De Santis

16 ottobre 2009

Parte Zero
- Informazioni

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

Parte Sesta

Parte Zero

Parte Zero
● Informazioni
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Informazioni

Ringraziamenti:

- Chiarissimo Preside Prof. Giovanni Latini
- Prof. Claudio Turchetti
- Ing. Ennio Gambi

Informazioni

- Le slide non saranno disponibili per motivi di copyright delle immagini.
- Per motivi di sicurezza siete pregati di lasciare lo stabile alle ore 13.30.

Parte Zero

Parte Prima
- Introduzione
- Introduzione
- Definizioni
- Sorgenti di rumore
- E i radioamatori?
- E i radioamatori?

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

Parte Sesta

Parte Prima

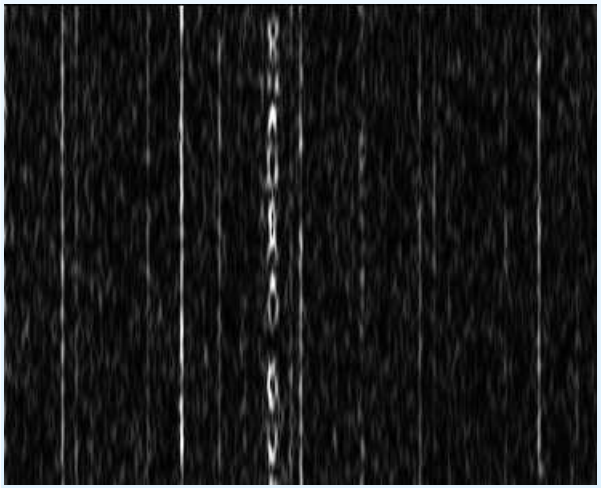
Parte Zero
Parte Prima
- Introduzione
- Introduzione
- Definizioni
- Sorgenti di rumore
- E i radioamatori?
- E i radioamatori?

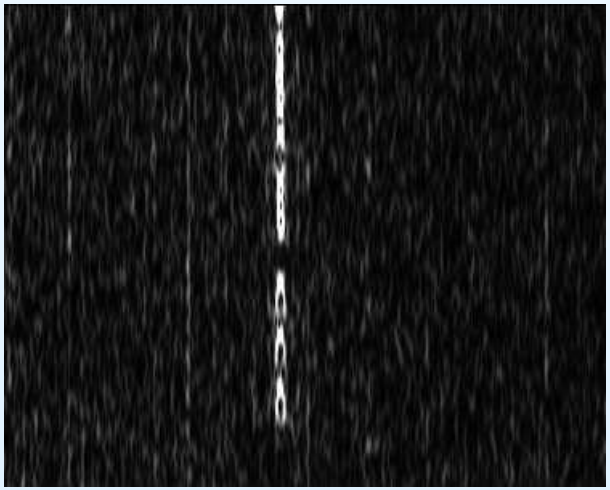
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Introduzione

Rapporto Segnale Rumore!

- Esperienza quotidiana!
- Dall'ascoltare questa lezione alla visione delle TV!
- Interessa tutti i sistemi, analogici e digitali.
- Condiziona la trasmissione dell'informazione.
- Sistemi digitali $\rightarrow$ soglia!
- Sistemi analogici $\rightarrow$ fruscio o effetto neve.





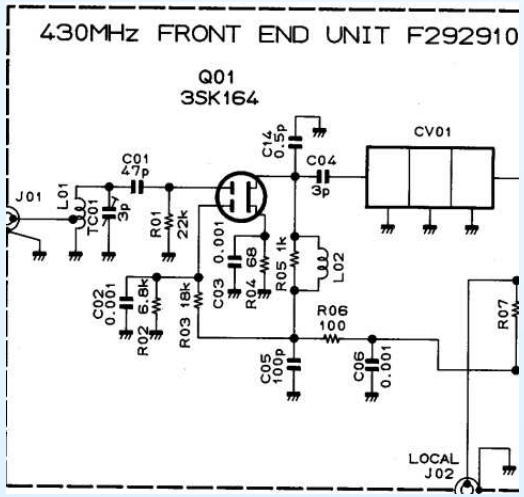
Parte Zero
Parte Prima
- Introduzione
- Introduzione
- Definizioni
- Sorgenti di rumore
- E i radioamatori?
- E i radioamatori?

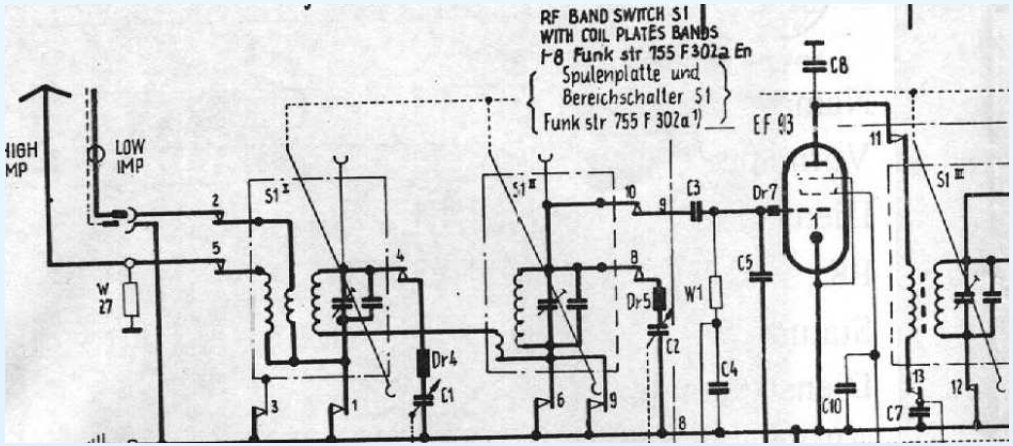
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Introduzione

Riduzione: del rumore - degli effetti del rumore

- Riduzione al minimo della banda passante.
- Cura costruttiva;
- Soluzioni tecnologiche.
- Studio di modulazioni robuste.
- Sviluppo di sistemi di codifica di canale.
- Analisi DSP del segnale.





Parte Zero
Parte Prima
- Introduzione
- Introduzione
- Definizioni
- Sorgenti di rumore
- E i radioamatori?
- E i radioamatori?

Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Definizioni

- Il rumore è un segnale, di andamento casuale nel tempo, che si sovrappone al segnale utile e ne influenza la intellegibilità. A causa del rumore si ha un limite al di sotto del quale il segnale non è più intellegibile.
- Il rumore è ogni interferenza casuale scorrelata dal segnale di interesse.

Necessità di utilizzare strumenti matematici appositi per la caratterizzazione analitica:

- Funzioni Stocastiche;
- Insiemi Statistici;
- Densità di probabilità.

Parte Zero
Parte Prima
- Introduzione
- Introduzione
- Definizioni
- Sorgenti di rumore
- E i radioamatori?
- E i radioamatori?

Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Sorgenti di rumore

Innumerevoli sorgenti di rumore:

- Interne - Proprie dei dispositivi:
  - Rumore Termico;
  - Rumore Shot;
  - Rumore Flicker;

Influenzano il comportamento delle apparecchiature elettroniche.

- Esterne
  - Man Made Noise;
  - Galactic Noise;

Influenzano il funzionamento delle apparecchiature elettroniche.

E i radioamatori?

Parte Zero
Parte Prima
- Introduzione
- Introduzione
- Definizioni
- Sorgenti di rumore
- E i radioamatori?
- E i radioamatori?

Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Tipicamente solo gli operatori delle VHF e superiori si preoccupano della cifra di rumore:
Preamplificatori di antenna!!!

Specifications	
Type	MKU LNA 432 A
Center frequency	432.2 MHz +/-
Noise figure @ 18 °C	0,4 dB +/- 0,05
Gain	typ. 20 dB
Input retrun loss	typ. 5 dB
Output return loss	min. 15 dB
Output IP3	typ. +27 dBm
Supply voltage	+ 12 ... 14 V DC
Current consumption	typ. 60 mA
Input connector	N - male / 50 ohms
Output connector	N - female / 50 ohms
Case	milled aluminium
Dimensions mm	50 x 30 x 22
Weight	typ. 100 g

Parte Zero
Parte Prima
- Introduzione
- Introduzione
- Definizioni
- Sorgenti di rumore
- E i radioamatori?
- E i radioamatori?

Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

E i radioamatori?

Ottimo argomento di conversazione:

- Terminologia? figura di rumore, cifra di rumore, temperatura di rumore;
- Valori della NF? 0.1, 10, 100 o 1000?
- Più bassa la NF e meglio è ?
- Dove mettere il preamplificatore?

Ottimo ambito per la autocostruzione:

- Componenti facilmente reperibili on-line;
- Migliaia di progetti disponibili in rete;
- Difficoltà di realizzazione;
- Difficoltà di misura;

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

Parte Sesta

Parte Seconda

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Numerosi fattori devono influenzare la decisione.

- Tipologia prevalente di utilizzo del sistema;
- Necessità di privilegiare altre caratteristiche elettriche.
- Posizione della stazione;
- Caratteristiche del sistema radiante;

Occorre considerare il radio-noise presente nel luogo ove effettuiamo la ricezione:

RADIO - NOISE

- Un fenomeno elettromagnetico tempo-variante che ha componenti nel range delle frequenze radio, che apparentemente, non trasporta informazione, e che può essere sovrapposto o combinato con un segnale desiderato.

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Il radio noise impone un limite per le prestazioni di un sistema radio e per la sua cifra di rumore:
è solitamente inappropriato utilizzare sistemi riceventi che abbiano una cifra di rumore minore di quella imposta dall'ambiente esterno

- Sorgenti Atmosferiche;
- Radiazioni non intenzionali da macchine o apparecchiature;
- Emissioni da gas o idrometeore;
- Ostacoli o costruzioni nei pressi dell'antenna.

L'effetto di queste sorgenti è la presenza di rumore ai capi dell'antenna ideale. Il rumore ha intensità variabile in funzione della frequenza.

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Zero

Parte Prima

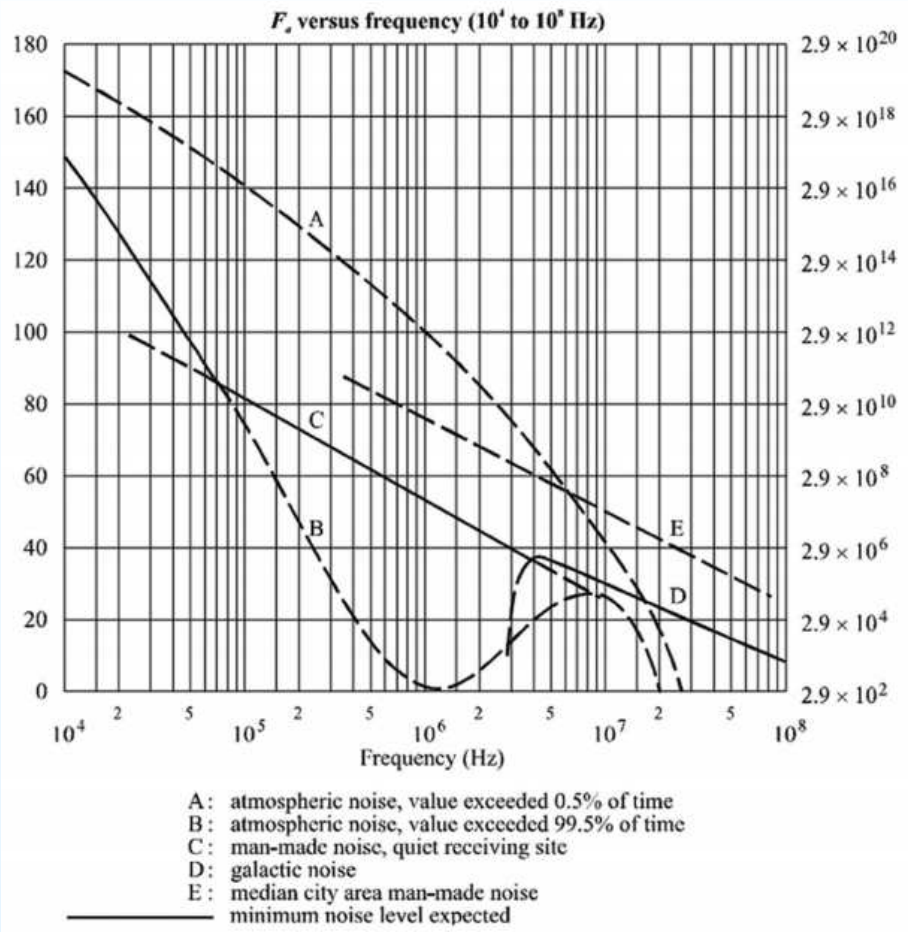
Parte Seconda
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

Parte Sesta



Ascissa: Frequenze in rappresentazione logaritmica.

Ordinate: $F_a(dB) = 10log\frac{p_n}{kt_0b}$

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Occorre anche considerare il contributo del Man-Made Noise:

- Originato da altri sistemi di telecomunicazione;
- Emissioni accidentali da macchine o dispositivi elettrici;

Caratteristiche particolari di variabilità:

- In funzione dell'orario;
- in funzione della posizione relativa a:
  - Centri urbani
  - Centri Industriali

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

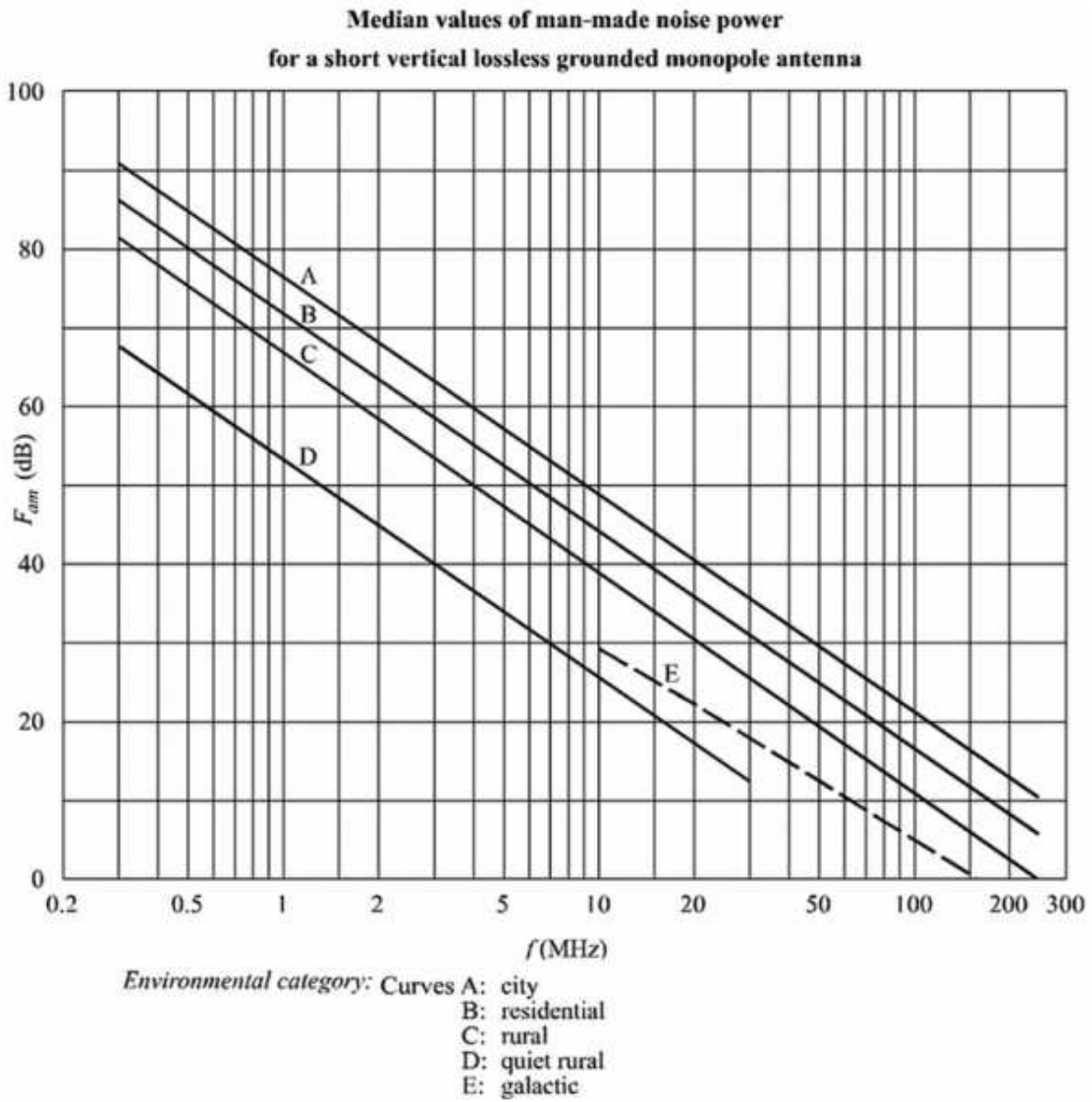
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

Parte Sesta



Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Il contributo delle sorgenti di rumore può essere evidenziato attraverso una serie di calcoli che chiamano in gioco la temperatura equivalente di rumore.
In particolare per la gamma dei 6m:

- Ambienti cittadini rumorosi rendono inutile la ricerca della NF bassa;
- Ambienti rurali portano comunque ad un degrado delle prestazioni;
- Nell'utilizzo per comunicazioni satellitari o EME si hanno i maggiori vantaggi dalla NF bassa;
- Ulteriori vantaggi provengono dall'uso di antenne molto direttive.

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?
- Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Ambito	NF_{pre}	NF_{rx}	NF_{sys}
Cittadino	2 dB	8 dB	18.2 dB
	2 dB	2 dB	18.2 dB
	8 dB	2 dB	18.5 dB
	8 dB	8 dB	18.5 dB
Rurale	2 dB	8 dB	6.8 dB
	2 dB	2 dB	6.7 dB
	8 dB	2 dB	9.7 dB
	8 dB	8 dB	9.8 dB
Ideale	2 dB	8 dB	2.3 dB
	2 dB	2 dB	2.1 dB
	8 dB	2 dB	8 dB
	8 dB	8 dB	8 dB

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Esempio:

- Amplificatori per ricezione televisiva terrestre.
  - I modelli Low Noise hanno NF_{typ}=2dB;
  - I modelli Normali hanno NF_{typ}= 5-7dB;
  - Tipicamente alto guadagno:
- Amplificatori/Convertitori satellitari
  - Sono tutti con NF molto bassa, 0.5 - 1 dB;
  - Hanno guadagni molto alti: 40 - 60 dB
  - I modelli Normali hanno NF_{typ}= 5-7dB;
  - Tipicamente alto guadagno:

Di quanta NF abbiamo bisogno?

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
● Di quanta NF abbiamo bisogno?
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta

Quindi?

- Ragionare la scelta in fase di progetto (o di acquisto);
- Cercare di massimizzare i parametri utili:
  - Robustezza alle intermodulazioni;
  - Filtraggio;
  - Facilità di ripristino;
  - Durata!
- Eventualmente adottare delle soluzioni di compromesso.

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Parte Terza

Modellazione effetti

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Input Referred Noise

Il rumore di un due porte può essere modellato da due generatori di rumore in ingresso.
Uno in serie di tensione ed uno in parallelo di corrente.

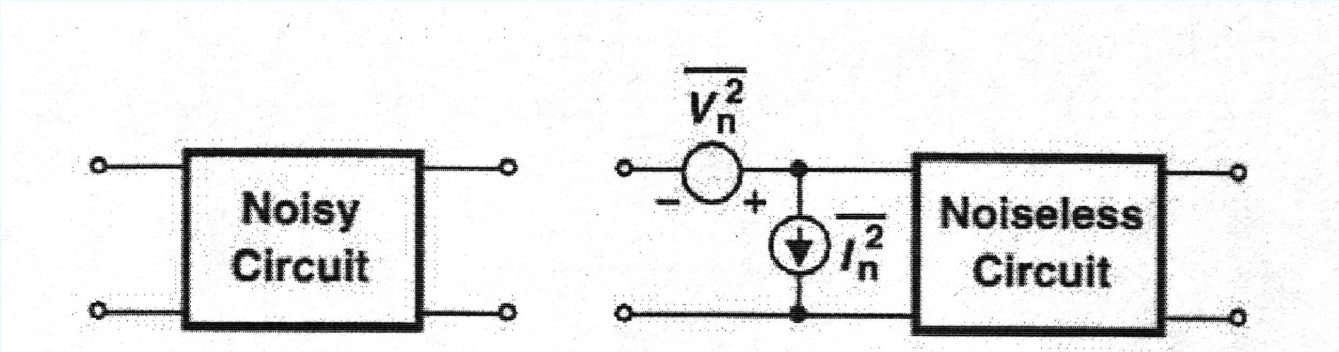


Figure 2.27 Representation of noise by input noise generators.

- Utilizzato nello studio di molti circuiti;

Rumore Termico

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Rumore Termico

- Sempre presente nei sistemi;
- Limite ultimo nella sensibilità di un ricevitore radio (Friis, 1928);

Caso pratico: un resistore.

$$PSD = N_{resistor} = 2kTR \qquad k = 1.38 \cdot 10^{-23} J/K$$

Rumore Termico

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Nelle analisi circuitali utilizziamo:

$$V_n^2 = 4kTR \cdot \Delta f$$

Indica

- valore quadratico medio della tensione di rumore del resistore nella banda Δf.
- la potenza del segnale in una banda di frequenza stretta.

Potenza di Rumore

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Avendo definito:

valore quadratico medio di tensione $V_n^2 = 4kTR$

valore quadratico medio di corrente $I_n^2 = \frac{4kT}{R}$

Considerando la condizione di massimo trasferimento in potenza:

$$P_{out} = kTB\ w/Hz$$

Attenzione: formula applicabile a tutti i ricevitori!
Antenna modellabile come un resistore!

Potenza di Rumore

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Alla temperatura di 290K:

$$P_{available} = kT = 4 \cdot 10^{-21}$$

Riportando in dBm:

$$P_{available} = 10 \log_{10} \frac{4 \cdot 10^{-21}}{1 \cdot 10^{-3}} = -174\, dBm/Hz$$

- Valore riferito alla banda di 1 Hz;
- Valore dipendente dalla banda passante;
- Calcolo del Minimum Detectable Signal;

Noise Factor

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Noise Factor di un dispositivo:

$$F = \frac{SNR_i}{SNR_o} = \frac{\frac{S_i}{N_{i\,source}}}{\frac{S_o}{N_{o\,total}}} = \frac{N_{o(total)}}{G \cdot N_{i(source)}}$$

in cui:

Rumore totale in uscita: $N_{o(total)} = N_{o(source)} + N_{o(added)}$

- Valore minimo 1;
- Il dispositivo non aggiunge rumore;

Noise Figure

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Noise Figure di un dispositivo
(nella lingua di Dante: CIFRA di rumore):

$$NF = 10 \log_{10} F$$

- Valore minimo 0;
- Fornito nei datasheet dei dispositivi;
- Misurabile con strumentazione di laboratorio;

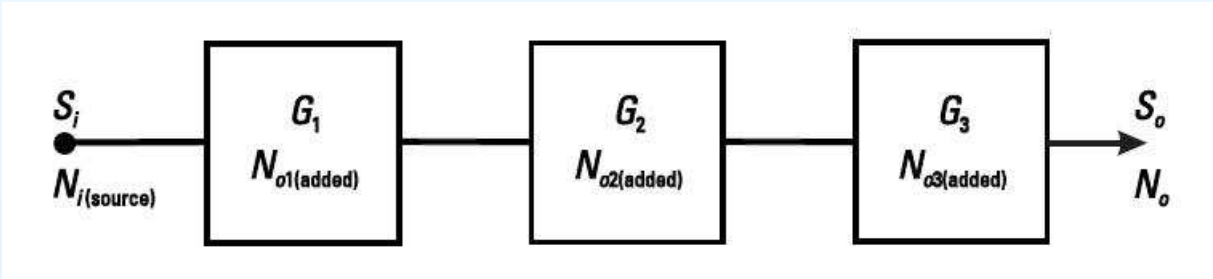
Dispositivi in cascata

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Lavoro teorico condotto da H.T.Friis:
Noise Figures of Radio Receivers, July 1944

Cascata di blocchi aventi:

- stessa caratteristica passabanda;
- caratterizzati in G e F (fattore di rumore, grandezze lineari);



Dispositivi in cascata

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Segnale in uscita: $S_0 = S_i \cdot G_i \cdot G_2 \cdot G_3$

Rumore in ingresso: $N_{i(source)} = kT$

Rumore totale in uscita:

$$N_{O(total)} =$$

$$N_{i(source)} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 + N_{O1(added)} \cdot G_2 \cdot G_3 + N_{O2(added)} \cdot G_3 + N_{O3(added)}$$

Consideriamo che:

$$N_{O(source)} = N_{i(source)} \cdot G_i \cdot G_j \cdot G_k$$

Dispositivi in cascata

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Otteniamo:

$$F = \frac{N_{O(total)}}{N_{O(source)}} =$$

$$1 + \frac{N_{O1(added)}}{N_{i(source)} \cdot G_1} + \frac{N_{O2(added)}}{N_{i(source)} \cdot G_1 \cdot G_2} + \frac{N_{O3(added)}}{N_{i(source)} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot G_3} \rightarrow$$

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2}$$

Dispositivi in cascata

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2}$$

- Guadagno del primo stadio domina l'espressione;
- Primo stadio SEMPRE ad alto guadagno e basso F;
- Secondo stadio poco influente;
- Discorso generico: LNA - Mixer - IF;

Attenzione: i dispositivi debbono avere stessa banda passante.

Dispositivi in cascata

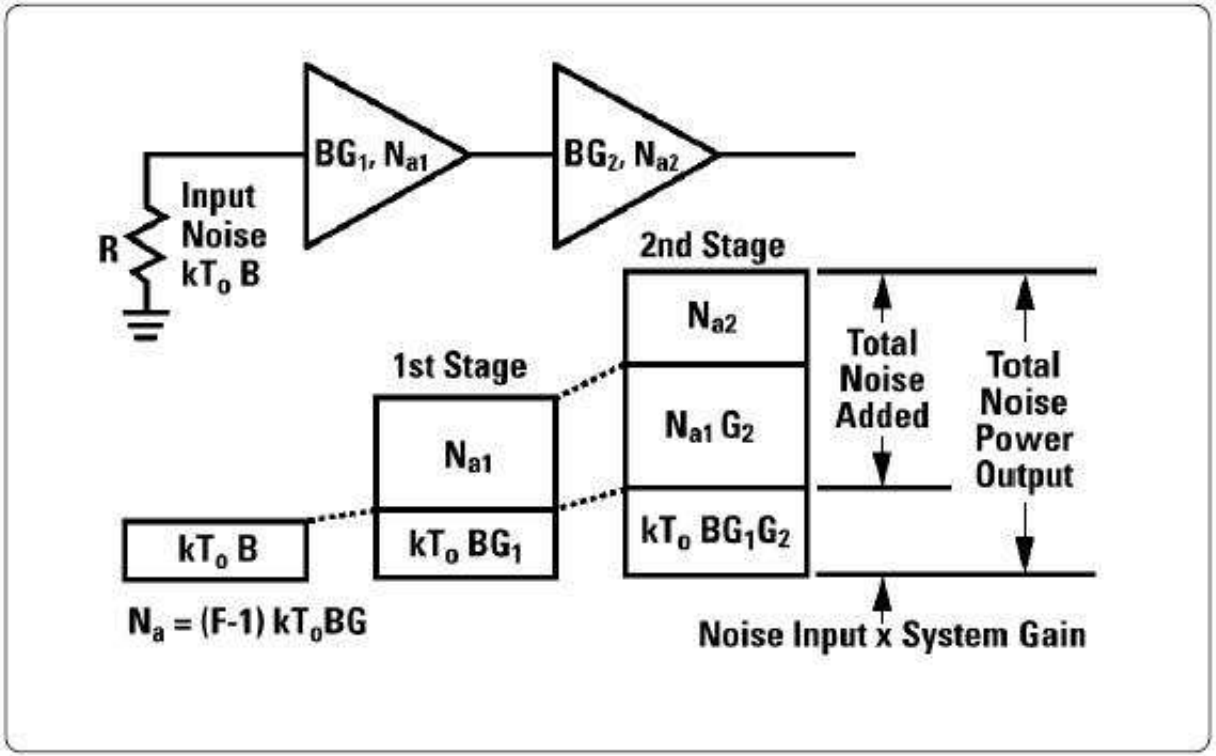
Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico



Circuiti con perdita.

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

- Realizzati con componenti passivi;
- Contribuiscono al rumore della catena;
- Spesso presenti in posizione critica (filtro);

Studio attraverso equivalente dei Thevenin:

$$F = 4kTR_{out}\frac{V_{in}^2}{V_{TH}^2}\frac{1}{4kTR_s} = L$$

Il valore del fattore di rumore equivale alla perdita introdotta.

Circuiti con perdita.

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Conseguenze:

- Attenzione ai filtri preselettori!
- Minimizzare attenuazione in banda;
- Compromesso tra fattore di forma e attenuazione in banda;
- Analisi dello spettro preventiva!

Uso di filtri in cavità coassiale o microstriscia.

Impedenza

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Adattamento di impedenza importante:

- Definire un valore di impedenza che minimizza la figura di rumore;
- Condizioni di disadattamento possono essere benefiche;
- Effetti di mismatch possono essere mascherati dall'alto guadagno;
- Forte disadattamento, le formule hanno validità limitata.

Parametro CRITICO in fase di misura!

Sensibilità

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Estensione dei concetti visti sino ad ora.

Sensibilità di un sistema ricevente (Sensitivity):
minimo livello di segnale che un sistema può rilevare con un rapporto segnale/rumore accetabile.

Nota la cifra di rumore, possiamo predire il valore del minimo segnale in ingresso per una dato rapporto S/N in uscita.

$$NF = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \qquad SNR_{in} = \frac{P_{sig}}{P_{RS}}$$

$$P_{sig} = P_{RS} \cdot NF \cdot SNR_{out}$$

Sensibilità

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Introducendo il valore della larghezza di banda:

$$P_{sig,tot} = P_{RS} \cdot NF \cdot SNR_{out} \cdot B$$

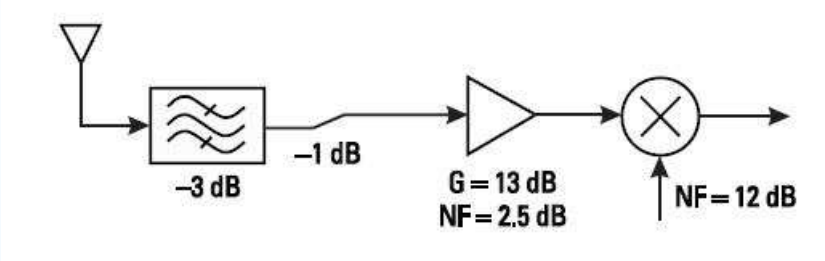
riscrivendo in notazione logaritmica:

$$P_{in,min|dBm} = P_{RS|dBm/Hz} + NF_{|dB} + SNR_{min|dB} + 10\log_{10} B$$

Non vi è dipendenza dal guadagno del sistema.

Esempio

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico



Considerando: BW=200kHz e $SNR_{desiderato} = 7dB$ Calcolare:

- NF effettiva;
- Noise Floor

Noise Floor: $-174dBm + 10\log_{10}(200.000) = -121dBm$
Applichiamo la legge di Friis per la cascata di amplificatore e Mixer:

$$F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

Esempio

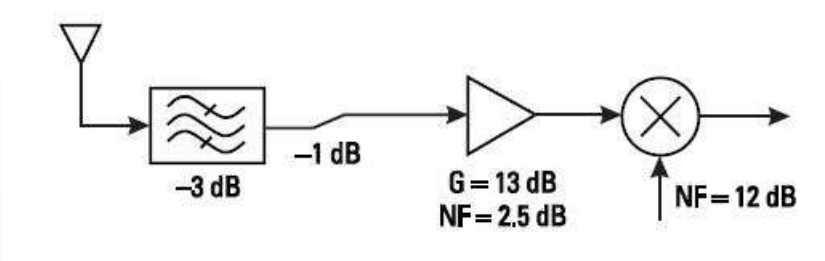
Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico



Ricordando che essa considera il FATTORE DI RUMORE:
$F = 10^{\frac{NF}{10}}$ Convertendo i valori:

G=13dB $\rightarrow$ 20 volte in potenza;

NF=2.5dB $\rightarrow$ F=1.78;

NF=12dB $\rightarrow$ F=15.84;

Esempio

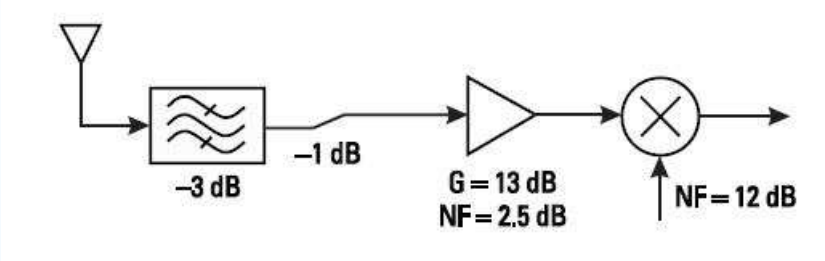
Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico



$$NF_{total} = 3dB + 1dB + 10\log_{10}[1.78 + \frac{15.84 - 1}{20}] \approx 8dB$$

Sensibilità necessaria: $-121dBm + 7dB + 8dB = -106dBm$

Valore del minimo accettabile del segnale.

- Larghezza di banda dipendente dal segnale trasmesso;
- Minimizzare attenuazione del filtro;
- LNA $\rightarrow$ basso rumore!

Temperatura di Rumore

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Ipotesi di massimo trasferimento di potenza.

Temperatura di una sorgente resistiva che fornisce la stessa potenza spettrale di rumore della sorgente in test.

Relazione con il fattore di rumore:

$$T_R = (F - 1)T_0$$

Noise Figure NF	Noise Factor F	Noise Temperature T_e
0dB	1	0K
1dB	1.26	75.1K
3dB	2.00	290K
10dB	10	2610K
20dB	100	28710K

Temperatura di Rumore

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

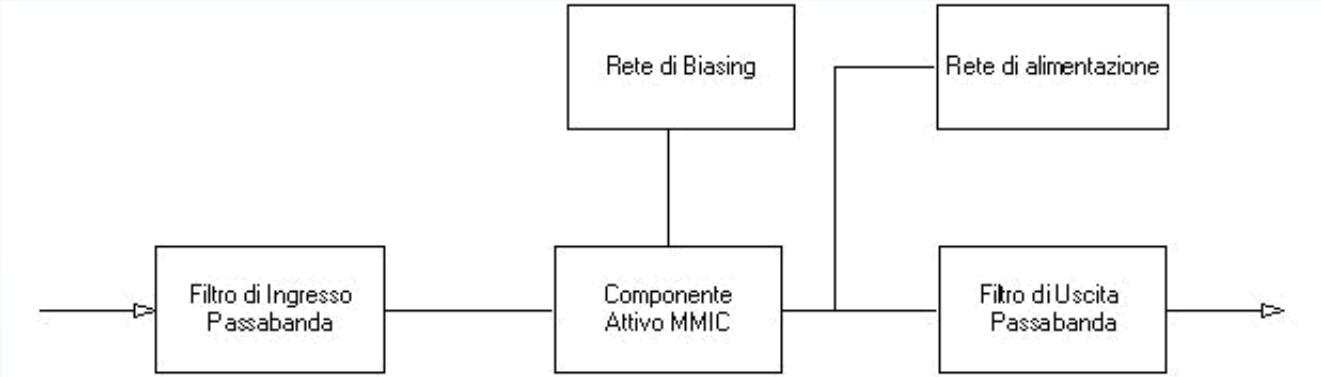
- Non è raro parlare temperatura di antenna;
- Considerazioni fisiche non banali;
- Possibilità di definire una temperatura apparente di antenna;
- Considerazioni sul noise floor.

Un caso pratico

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Un esempio pratico?

Analisi un preamplificatore... non funzionante secondo specifica.



Parametri misurati: NF=6dB G=10dB (NF<2dB - G>15dB)

Un caso pratico

Parte Zero

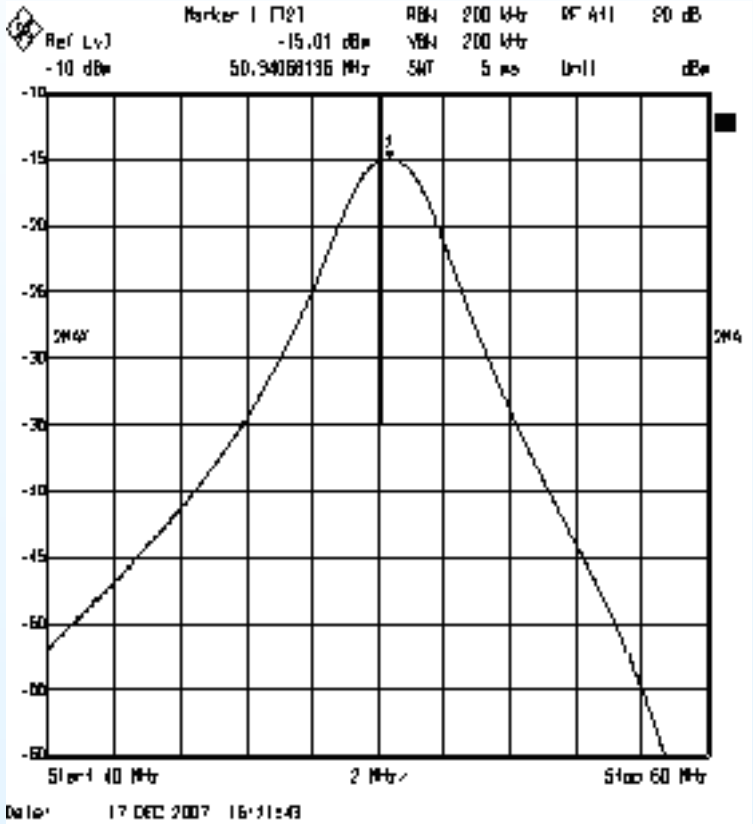
Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

La risposta dei filtri utilizzati nel progetto è la seguente:



Esibisce una attenuazione di ben 5 dB!

Un caso pratico

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Analisi del sistema così composto:

Utilizziamo la legge di Friis:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2}$$

Un caso pratico

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

Con i seguenti parametri:

Grandezza	Valore Logaritmico	Valore Lineare
Attenuazione	5dB	3.16
Guadagno	22 dB	158.5
Cifra di Rumore	1 dB	1.26

$$NF_{tot} = 5dB + 10log_{10}[1.26 + \frac{3.16 - 1}{158.5}] \approx 6dB$$

Conclusioni??

Un caso pratico

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
- Modellazione effetti
- Rumore Termico
- Rumore Termico
- Potenza di Rumore
- Potenza di Rumore
- Noise Factor
- Noise Figure
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Dispositivi in cascata
- Circuiti con perdita.
- Circuiti con perdita.
- Impedenza
- Sensibilità
- Sensibilità
- Esempio
- Esempio
- Esempio
- Temperatura di Rumore
- Temperatura di Rumore
- Un caso pratico

- Il filtro in ingresso attenua troppo.
- Il filtro in uscita non ci interessa quanto attenui.
- É davvero troppa questa cifra di rumore?
- É davvero poco il guadagno?

Idee?

- Migliorare il filtro in ingresso.
- Sfruttare la alta OIP3 dichiarata dal componente attivo.
- Eventualmente filtrare forte in uscita.

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Parte Quarta

Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Breve panoramica:

- sui dispositivi a semiconduttore;
- le caratteristiche di rumore dei semiconduttori;
- tecnologie e substrati per semiconduttori.

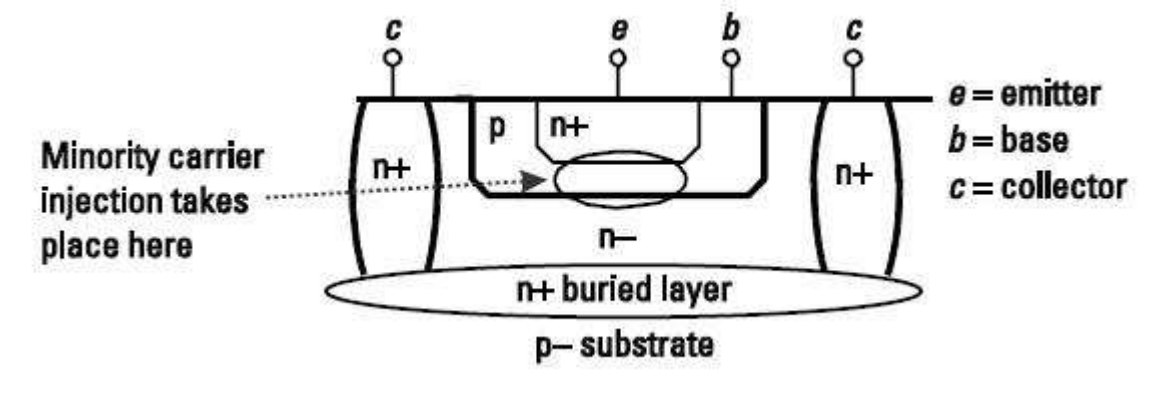
Sempre alla ricerca del minimo rumore.

Transistor Bipolare

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Transistor Bipolare:

- Ottimo guadagno;
- Utilizzabile (Si) fino a qualche GHz;
- Si presta alla integrazione tra RF e sistemi digitali;
- Substrato in Si, SiGe, GaAs, InP



Transistor Bipolare

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Cause di rumore nei transistor:

- Rumore termico;
- Rumore Shot (giunzione base-collettore), natura granulare dei portatori di carica.
- $1/f$ Noise (flicker noise), domina tipicamente a bassa frequenza.

Basso rumore assicurato da:

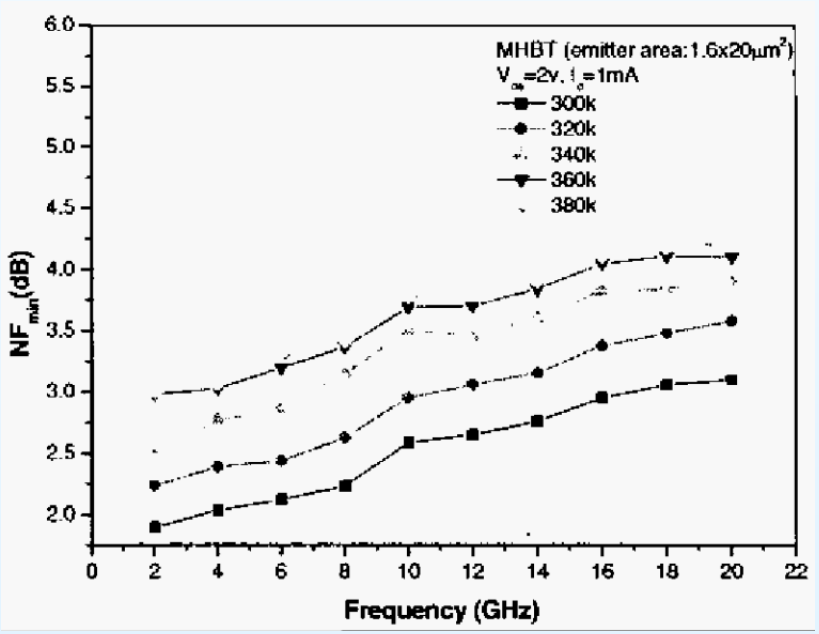
- alto guadagno in corrente (β);
- alta frequenza di taglio f_T;
- bassissima resistenza di base r_b .

Heterojunction BT

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

HeteroJunction Bipolar Transistor.

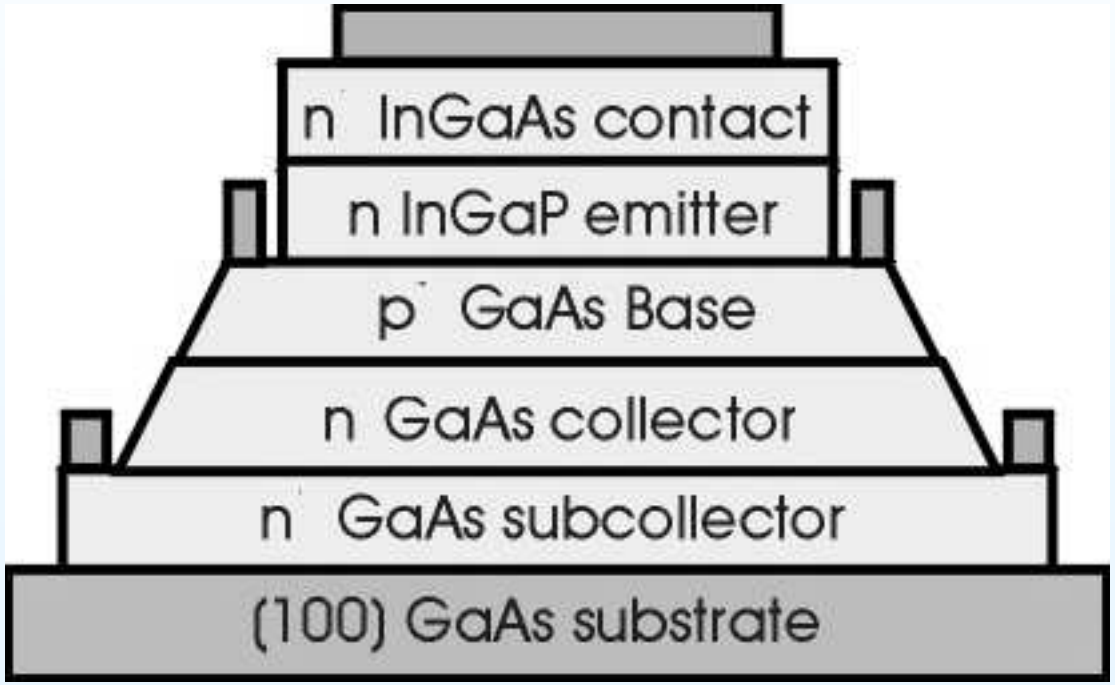
- Creato su substrato GaAs;
- Presenza di InP/InGaAs (Methamorphic HBT);
- Presenza di InP/InGaAs/InP (Double HBT);



Heterojunction BT

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

HeteroJunction Bipolar Transistor.



HEMT

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

HEMT: High Electron Mobility Transistor.

- Dispositivo nato nel 1979 (Takashi Mimura)
- Commercializzato dal 1987 come rimpiazzo dei MESFET;
- Si tratta di un dispositivo assimilabile ai FET;

Si propone di risolvere il dilemma dei portatori:

- Elettroni liberi sono generati da layer drogati n;
- Le impurità di drogaggio rallentano i portatori;
- Uso di una eterogiunzione di AlGaAs (fortemente n) e di un layer GaAs
- Elettroni richiamati in GaAs senza collisioni per via del band-gap.
- Creazione di un canale a bassa resistenza!

HEMT

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

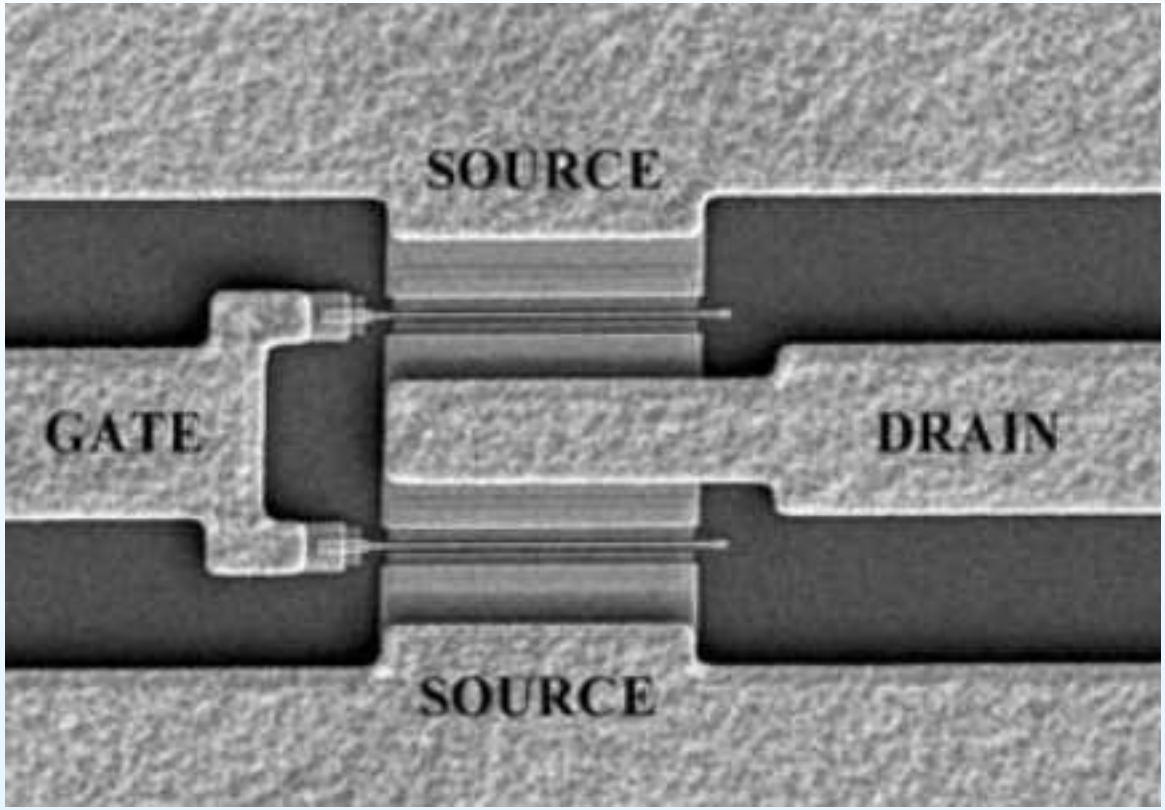
Caratteristiche cristallografiche dei materiali compatibili.
Non sempre...

- pHEMT - Pseudomorphic HEMT
  - Layer sottilissimo di materiale in modo che il reticolo cristallino possa deformarsi.
  - Migliora ulteriormente le caratteristiche del dispositivo.
- mHEMT - Metamorphic HEMT
  - Utilizzo di un layer di separazione.
  - Realizzato tipicamente in AlInAs

HEMT

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Fotografia al microscopio elettronico di un HEMT

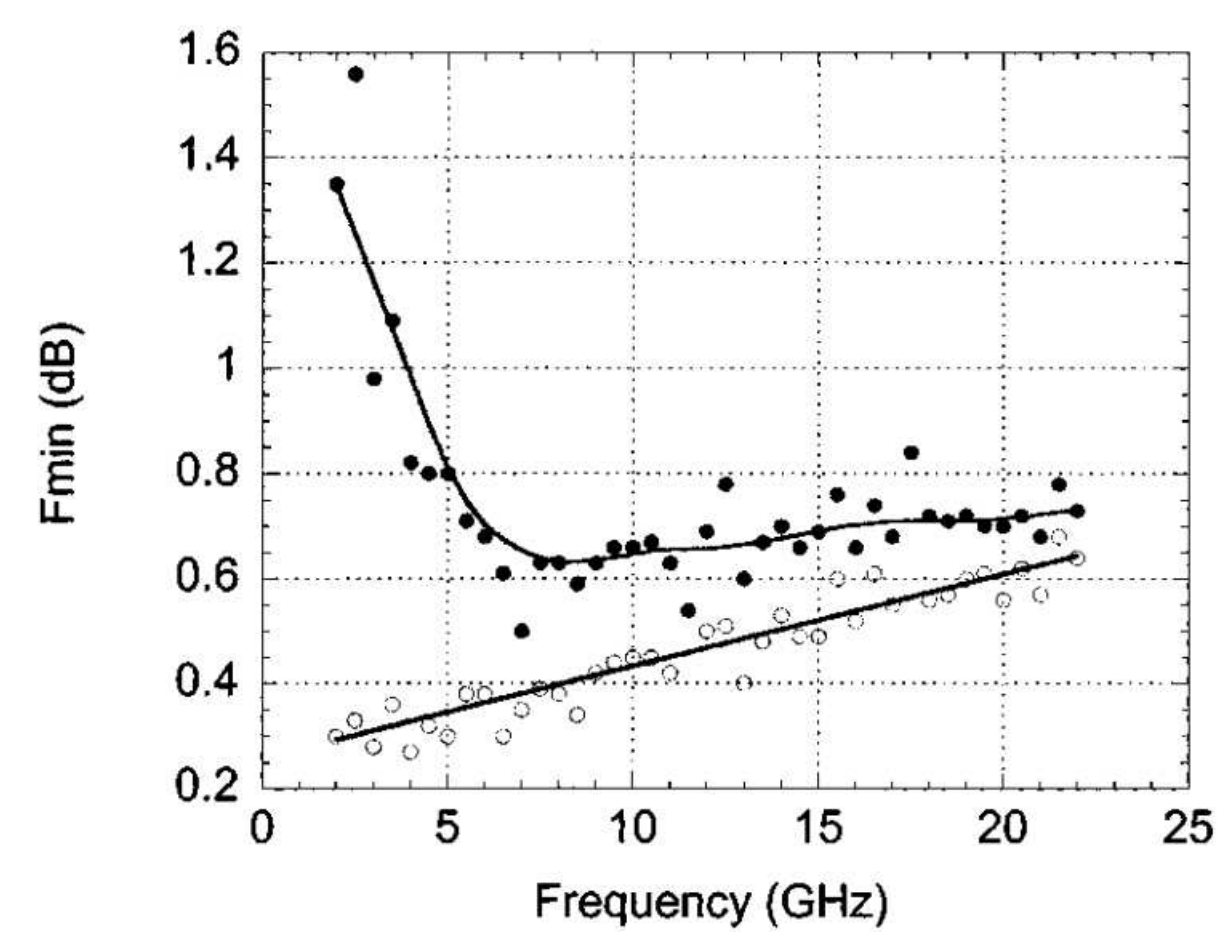


HEMT

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Analisi dell'andamento del rumore a temperature criogeniche: 18K

Struttura: InP/InAlAs/InGaAs



HEMT

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Esempio concreto: AVAGO Technologies ATF-54143.

- Specifiche date a 2GHz, 3V e 60mA
- OIP3: 36.2 dBm;
- 1-dB Gain Compression Point: 20.4 dBm
- NF: 0.5 dB
- Gain: 16.6 dB.

HEMT

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

ATF-54143 Typical Performance Curves, continued

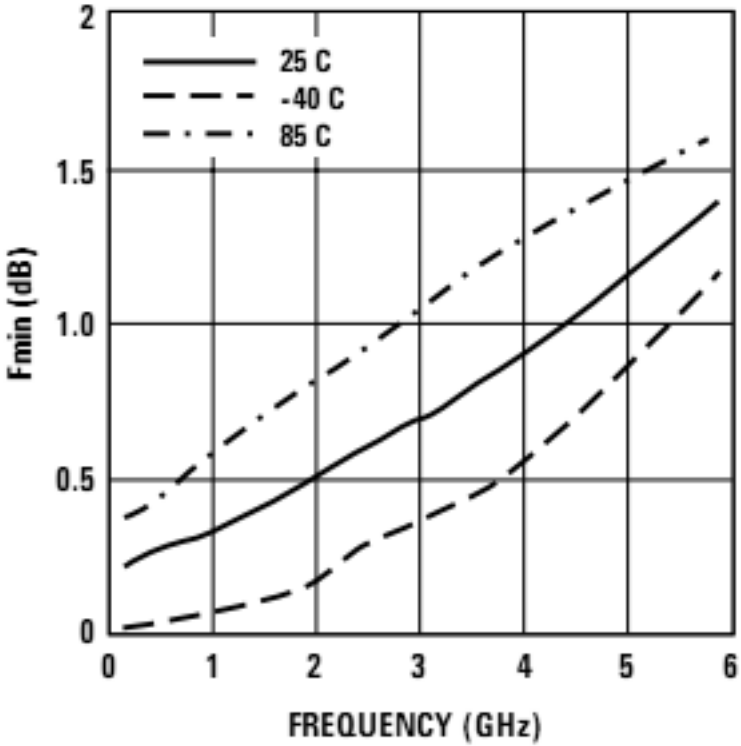


Figure 15. Fmin[2] vs. Frequency and Temp Tuned for Max OIP3 and Fmin at 3V, 60 mA.

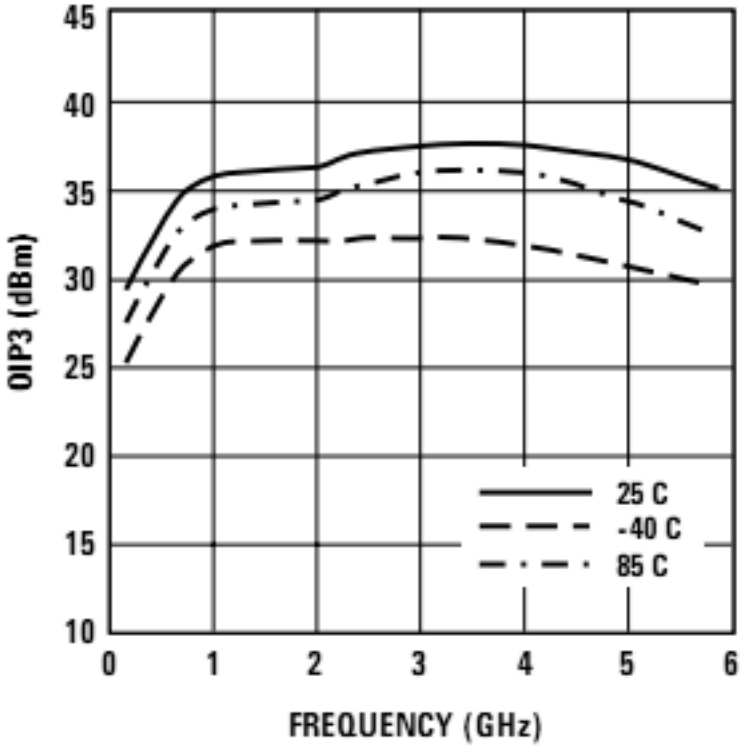


Figure 16. OIP3 vs. Frequency and Temp Tuned for Max OIP3 and Fmin at 3V, 60 mA.

HEMT

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Sono prodotti molto diffusi in ambito radioamatoriale:

DB6NT

Modello	Gain	NF
MKU LNA 144 A	25dB	0.35dB
MKU LNA 432 A	20dB	0.4dB
MKU LNA 131 A HEMT	18dB	0.5dB
MKU LNA 102 S-EME R120	23dB	0.7dB
MKU LNA 243 WS2	26dB	1.5dB

FET

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

FET - MOSFET - MESFET

Sono tutti transistor ad effetto di campo:

- FET
  - Giunzione di gate realizzata in modo p-n;
  - Substrato non isolante;
- MOSFET
  - Giunzione di gate realizzata con interposizione di uno strato di ossido;
- MESFET
  - Giunzione di gate realizzata con metallo-semiconduttore;
  - Substrato isolante, realizzati in GaAs InP o SiC.

FET

Parte Zero

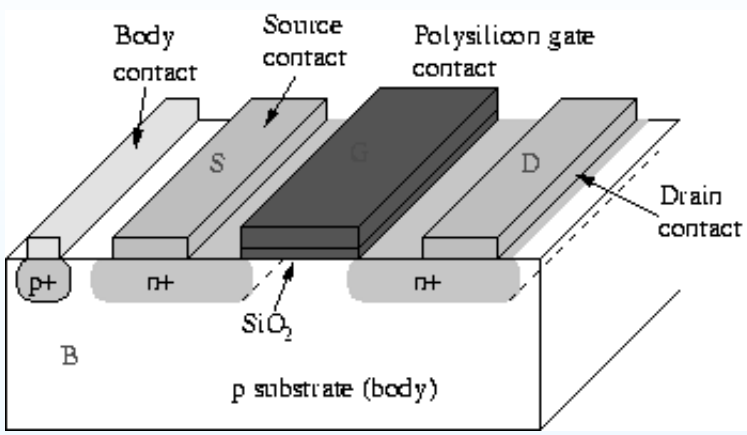
Parte Prima

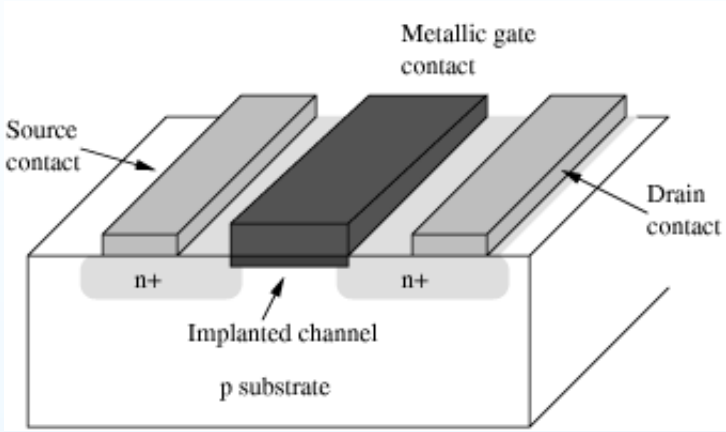
Parte Seconda

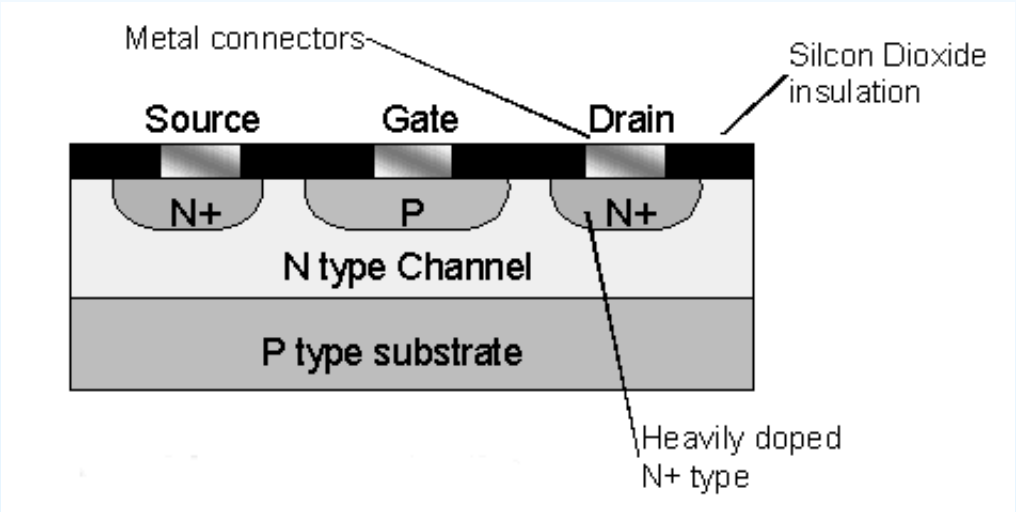
Parte Terza

Parte Quarta

- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC







Dispositivi Discreti

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Ottimi componenti ma...

- Sintesi difficoltosa di un amplificatore;
- Scelta del punto di lavoro;
- Adattamento di impedenza in ingresso ed uscita;
- Stabilizzazione del circuito (K tipicamente < 1);
- Utilizzo di simulatori software (Genesys o Spice);

Tuttavia...

- Prestazioni senza compromessi;
- Possibilità di ottimizzazione molto spinta;
- Didatticamente insuperabili.

Dispositivi Discreti

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Performance Comparison, Weaknesses and Strength

++ best, + good, o moderate

	GaAs based Technology			Si based Technology	
Parameter	MESFET	HEMT	HBT	Si BJT	SiGe HBT
Low Noise					
LF<100MHz	o	o	+	++	++
RF 2GHz	++	++	++	+	+
RF 10GHz	+	++	+		o
Gain	+	++	++	++	++
Power <0.5W	++	++	++	+	+
>2.0W	++	++	++		
Efficiency	+	++	+	o	o
Low Voltage	+	++	+	+	+
Integration RF func.	++	++	++	o	o
RF/digital	o	o	o	++	++
Power Supply	+	+	++	++	++

MMIC

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

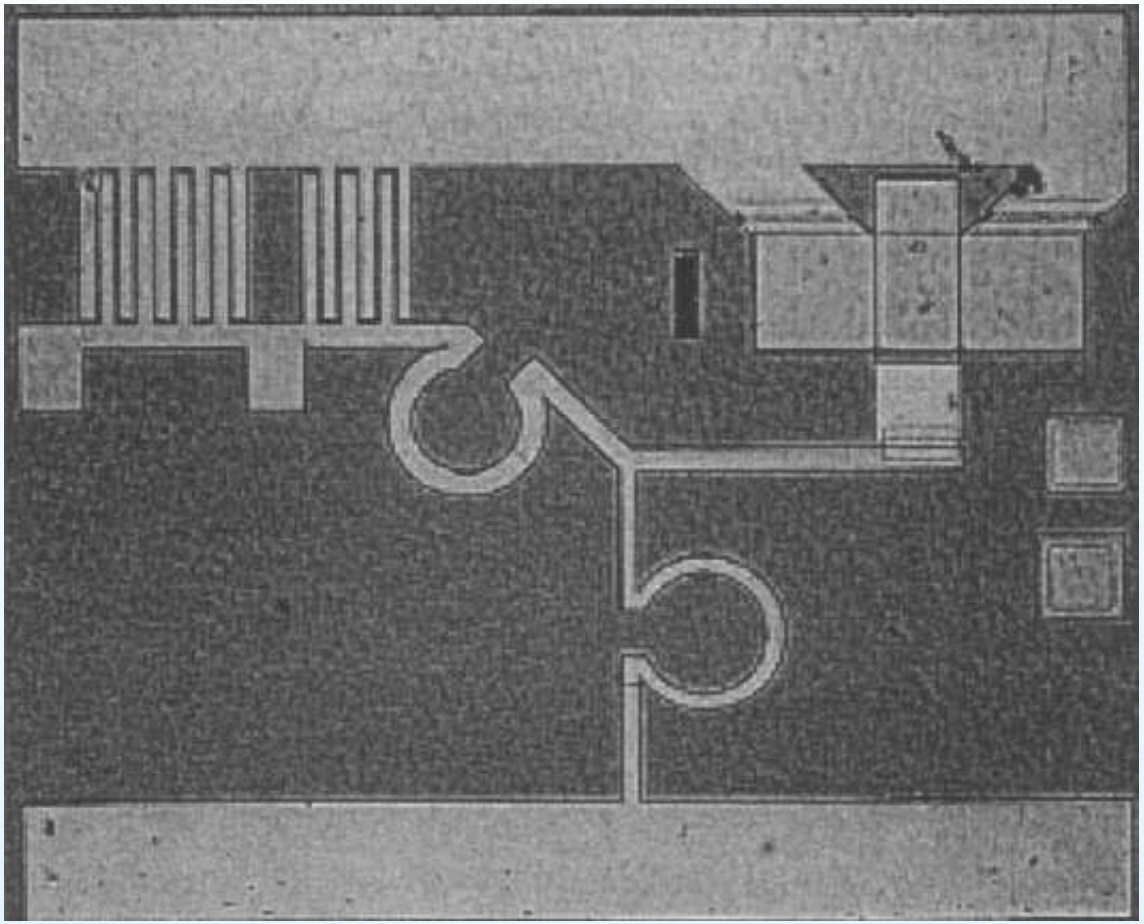
Alternativa meno complessa: MMIC
Monolithic Microwave Integrated Circuits.

- Nascono negli anni 60 (Plessey GAT1 - 1967);
- Utilizzo di Si, GaAs, InP e micromachines;
- Integrano componenti attivi e reti passive di adattamento;
- Possono lavorare a frequenze molto alte;
- Semplicissimi da polarizzare;
- Incodizionatamente stabili
- Maledettamente economici!

MMIC

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

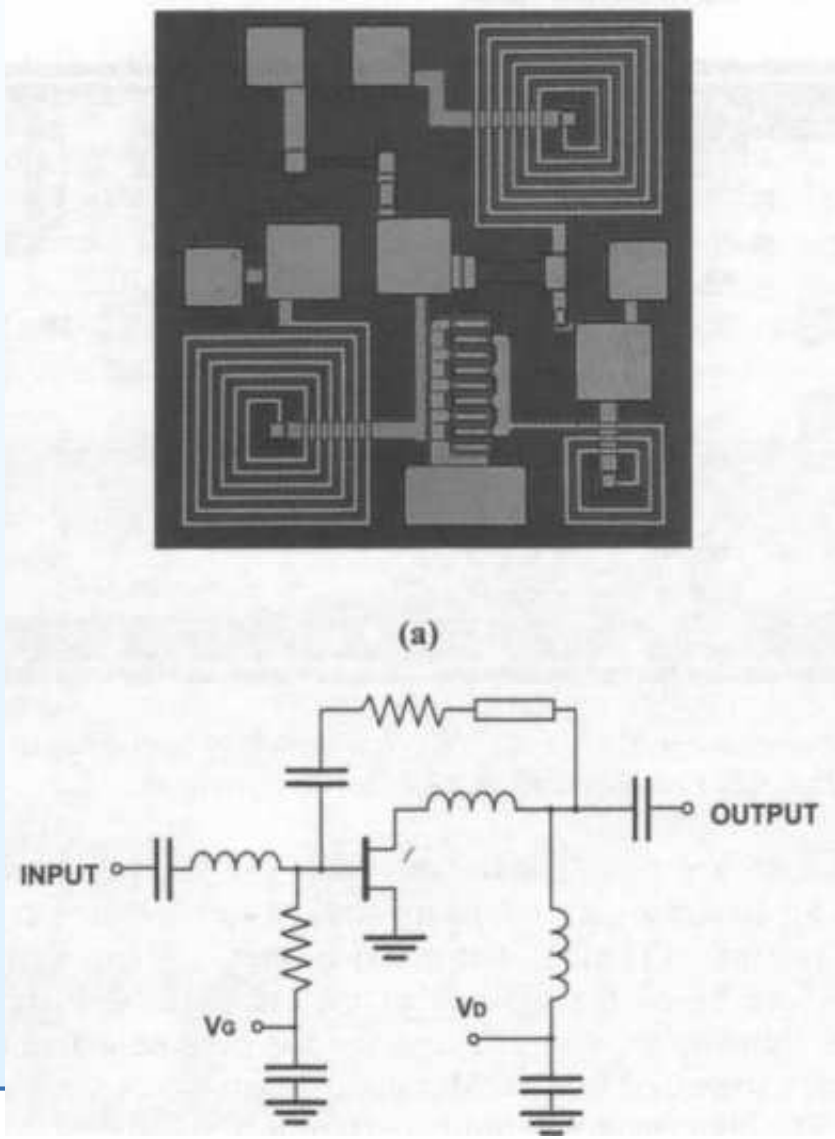
Primo amplificatore MMIC al mondo.



MMIC

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Amplificatore 1 - 2 GHz e schematico.



MMIC

Parte Zero

Parte Prima

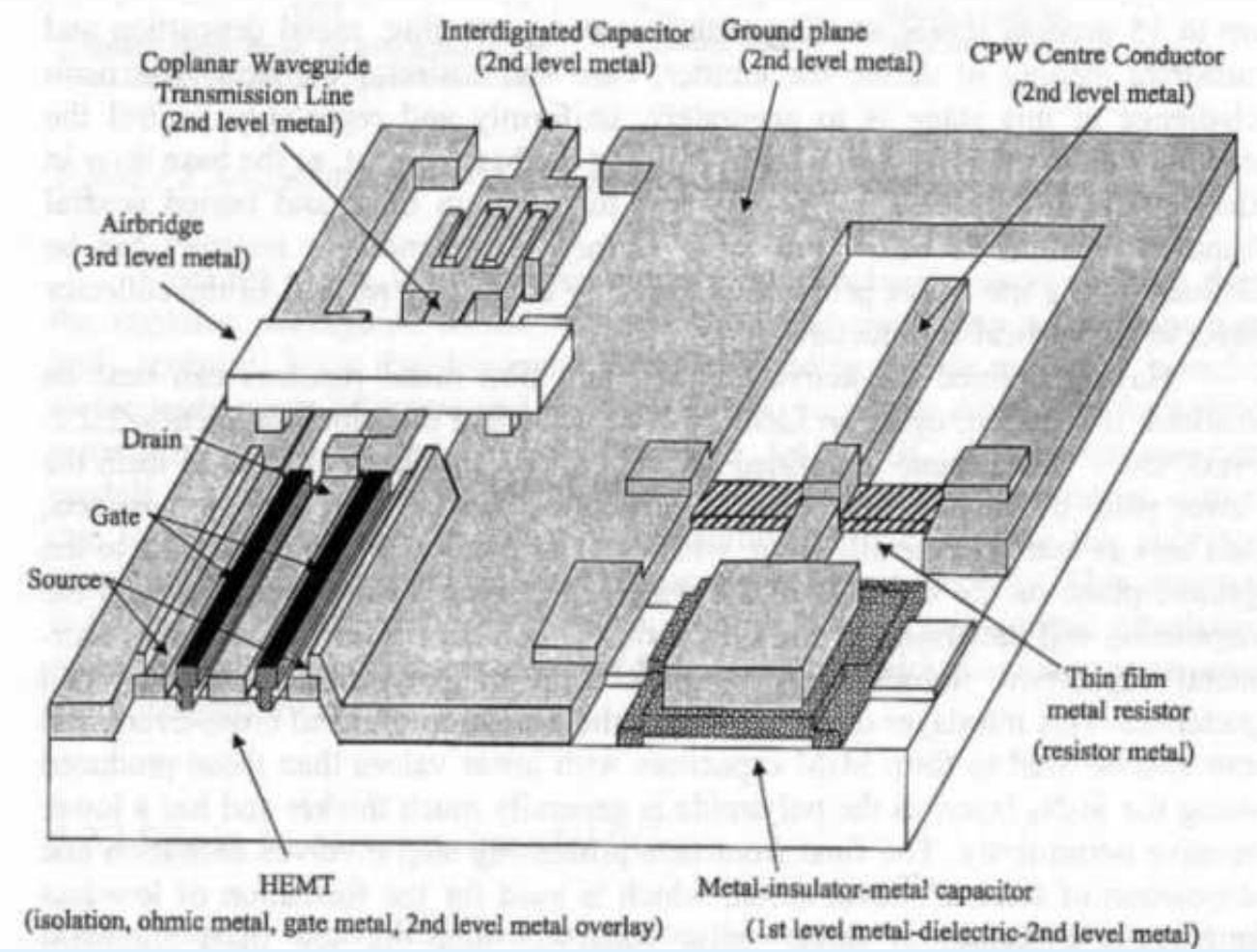
Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

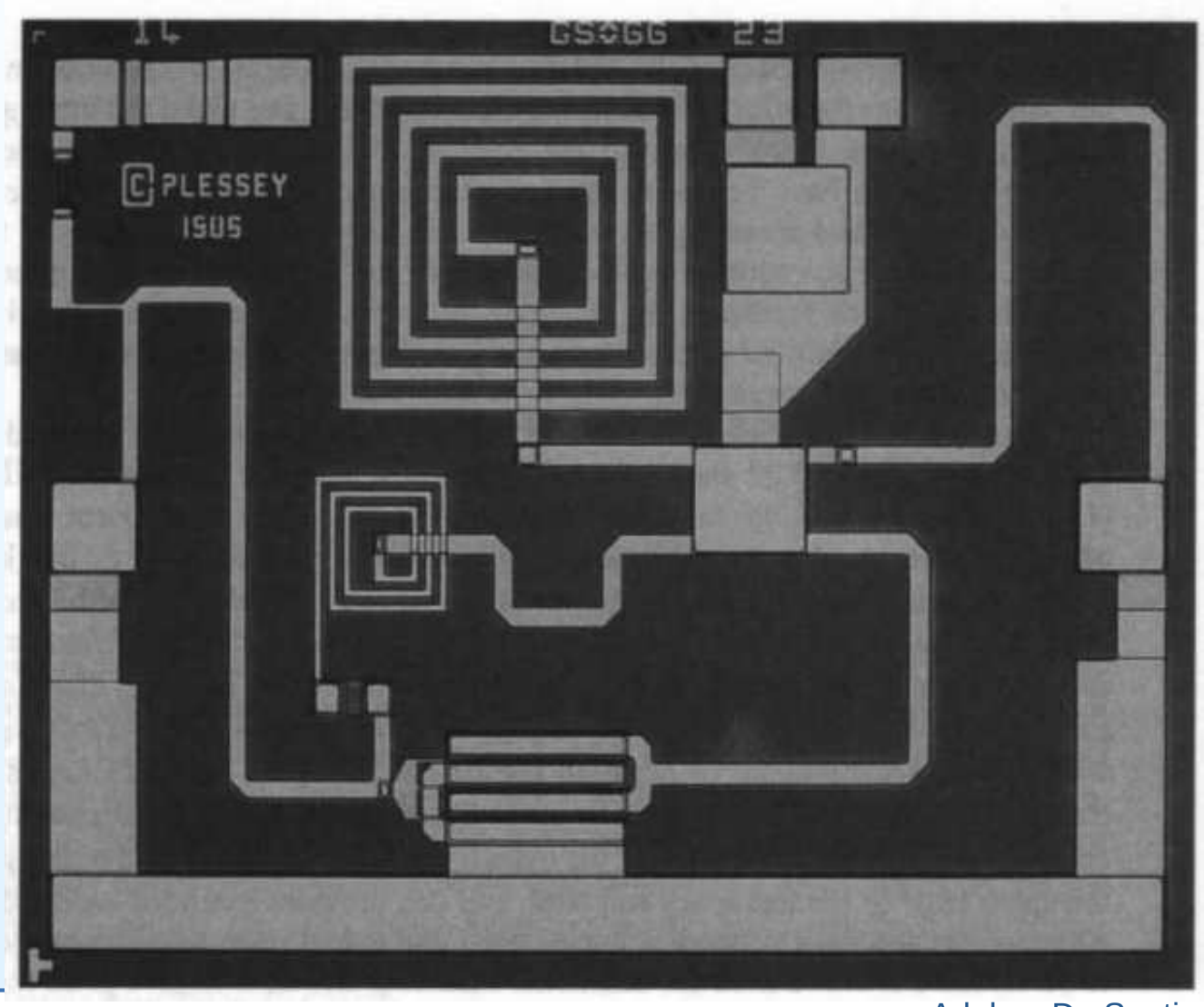
HEMT Coplanar Waveguide MMIC



MMIC

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Amplificatore in controreazione da 1 a 6 GHz.



MMIC

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Esempio di utilizzo di un MMIC: MGA-62563

Caratteristiche:

- Alimentazione singola: 3V o 5V.
- Incondizionatamente Stabile.
- Polarizzazione semplicissima
- Parametri elettrici a 500MHz, 3V, 60mA
  - 0.9 dB NF
  - 22 dB Gain
  - 32.9 dBm OIP3
  - 17.8 dBm P_{1dB}

MMIC

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

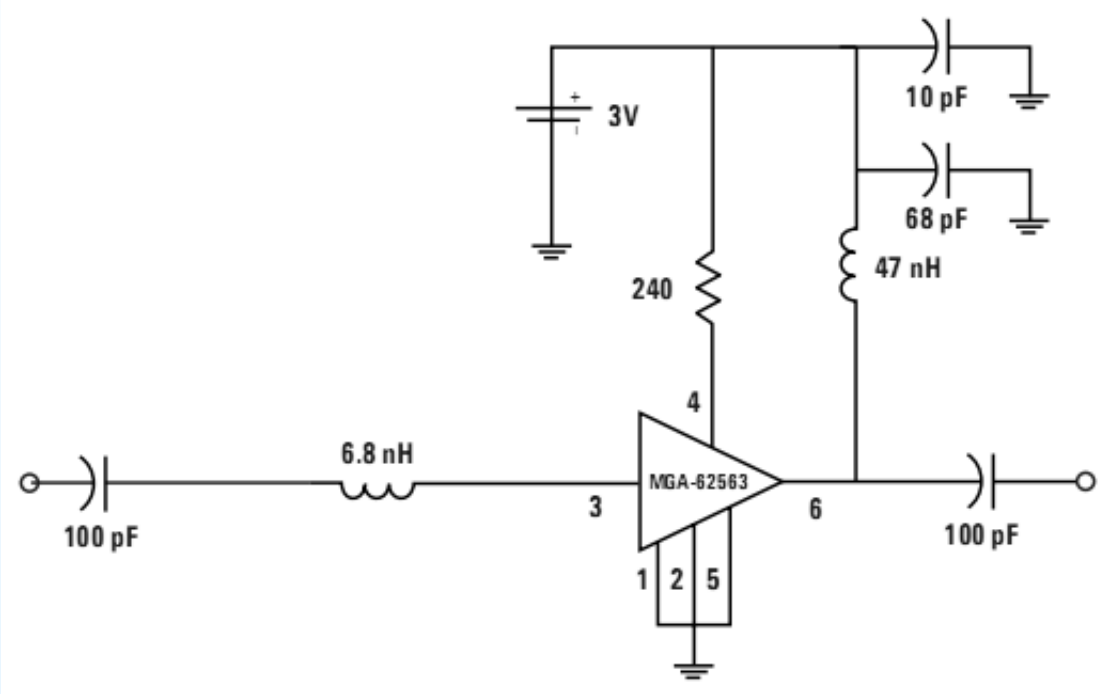
Vantaggi e svantaggi...

- Vantaggi
  - Costo contenuto (su ebay...)
  - LNA realizzato con pochi componenti
  - Prestazioni onorevoli
  - Broad Band
- Svantaggi
  - Dimensioni imbarazzanti;
  - Componenti passivi di fascia alta;
  - Broad Band

MMIC

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

Schema tipico:



MMIC

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

MGA-62563 Typical Performance, Freq=0.1 GHz, T_C=25°C at 50Ω Input and Output

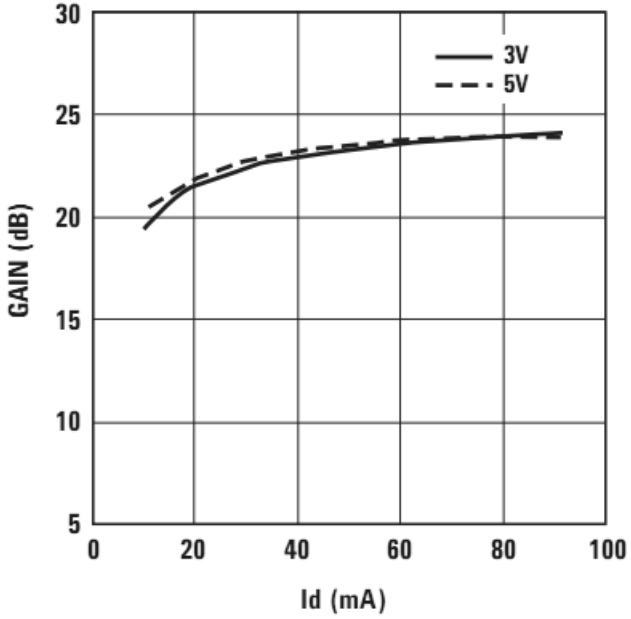


Figure 28. Gain vs. Id (100 MHz).

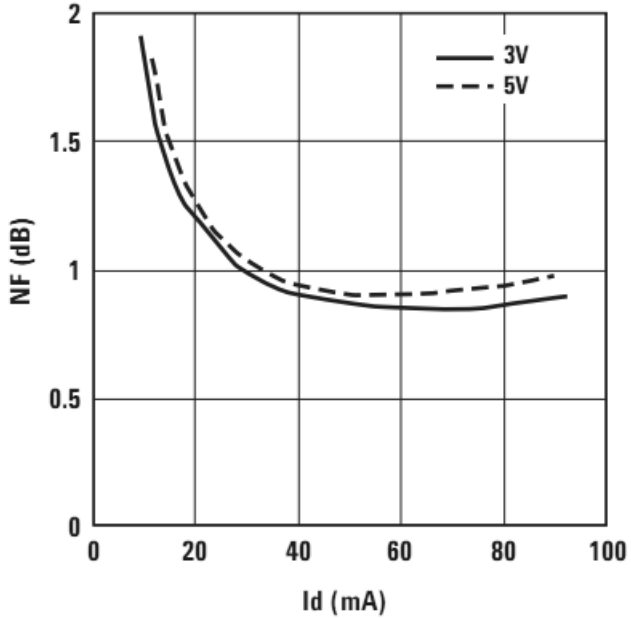


Figure 29. NF vs. Id (100 MHz).

MMIC

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

- Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.
- Transistor Bipolare
- Transistor Bipolare
- Heterojunction BT
- Heterojunction BT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- HEMT
- FET
- FET
- Dispositivi Discreti
- Dispositivi Discreti
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC
- MMIC

MGA-62563 Typical Performance, $V_d = 3V$, $I_{ds} = 60$ mA at 50Ω Input and Output

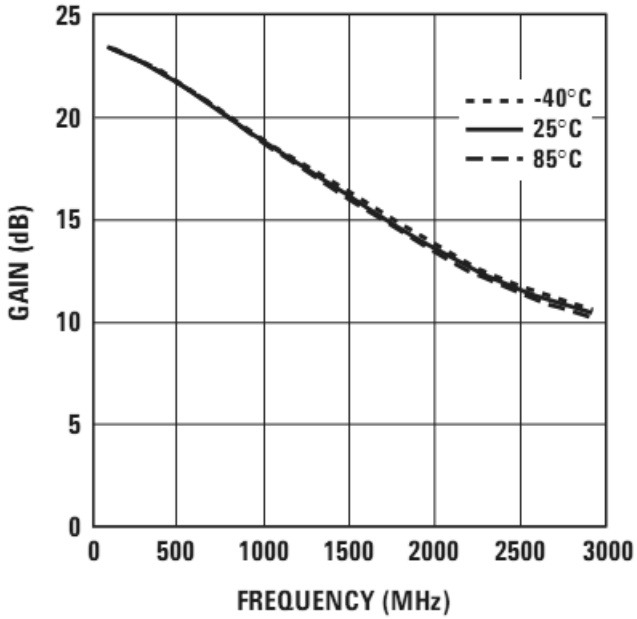


Figure 8. Gain vs. Frequency (3V 60 mA).

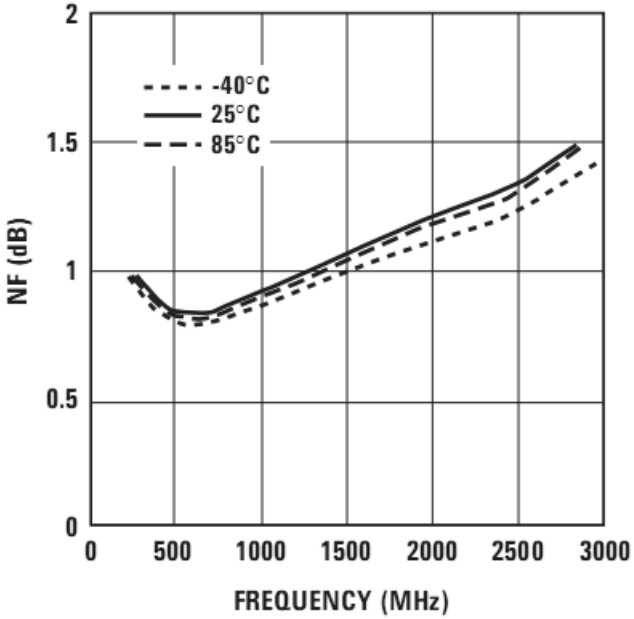


Figure 9. NF vs. Frequency (3V 60 mA).

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Parte Quinta

Determinazione NF

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Possibile in molti modi:

- Determinazione analitica
- Simulazione al calcolatore
- Misura

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Determinazione NF

Richiamiamo il concetto di:

temperatura di rumore

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_0}$$

La relazione tra le grandezze è la seguente:

Noise Figure NF	Noise Factor F	Noise Temperature T_e
0dB	1	0K
1dB	1.26	75.1K
3dB	2.00	290K
10dB	10	2610K
20dB	100	28710K

Determinazione NF

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

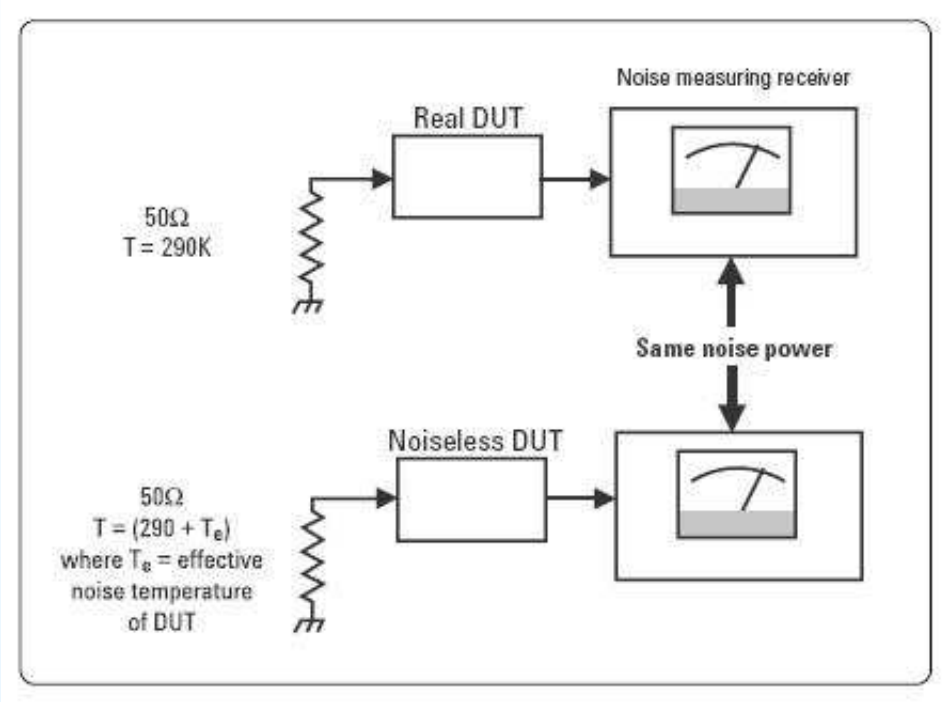
Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta



Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Determinazione NF

Consideriamo una sorgente di rumore calibrata:

Excess Noise Ratio:

$$ENR_{dB} = 10\log_{10}[\frac{T_S^{ON} - T_S^{OFF}}{T_0}]$$

Le temperature indicate si riferiscono alla temperatura di RUMORE della sorgente, accesa e spenta.

T_0: 290K

Y-Factor

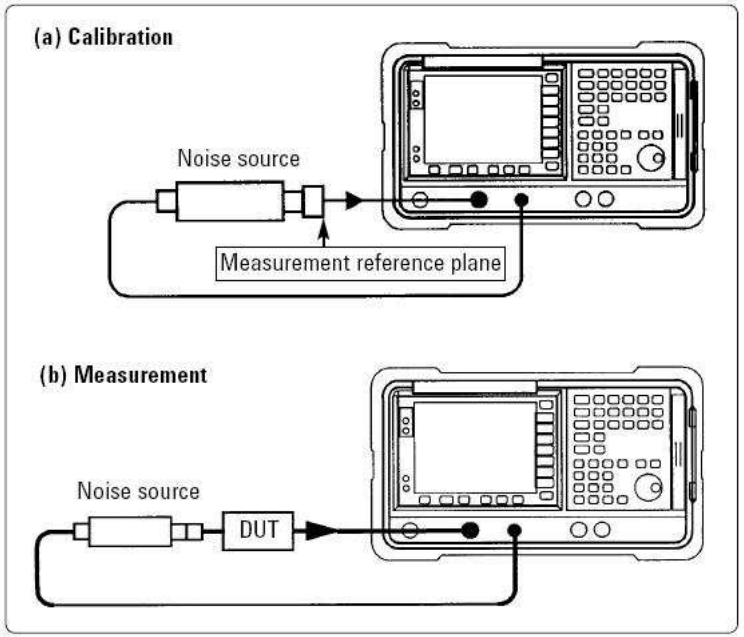
rapporto tra due livelli di potenza, quello rilevato con la sorgente accesa, e quello rilevato con la sorgente spenta.

$$Y = \frac{N^{ON}}{N^{OFF}} \rightarrow Y = \frac{T^{ON}}{T^{OFF}}$$

Determinazione NF

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta



Temperatura di rumore dello strumento T_2

$$Y_2 = \frac{N_2^{ON}}{N_2^{OFF}} = \frac{T_S^{ON} + T_2}{T_S^{OFF} + T_2} \rightarrow T_2 = \frac{T_S^{ON} - Y_2 T_S^{OFF}}{Y_2 - 1}$$

Ricavando T_2 viene azzerato lo strumento.

Determinazione NF

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Inserzione del DUT.

$$Y_{12} = \frac{N_{12}^{ON}}{N_{12}^{OFF}} \rightarrow T_{12} = \frac{T_S^{ON} - Y_{12} T_S^{OFF}}{Y_{12} - 1}$$

Conoscendo: N_{12}^{ON}, N_{12}^{OFF}, N_2^{ON} ed N_2^{OFF}:

$$G_1 = \frac{N_{12}^{ON} - N_{12}^{OFF}}{N_2^{ON} - N_2^{OFF}}$$

Conoscendo: T_2, $T_1 2$ e G_1:

$$T_1 = T_{12} - \frac{T_2}{G_1}$$

Riduzione Incertezza

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

In definitiva cosa misuriamo:

la differenza tra livelli di potenza RF

Interferenza = errore di misura!

Sorgenti:

- Emissione diretta
- Emissione condotta

- Tubi fluorescenti
- Strumentazione circostante
- Calcolatori elettronici
- Cavi e conduttori

Riduzione Incertezza

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Consigli per la misura:

- Uso di connettori a vite.
- Serraggio dei connettori, controllare lo scuotimento dei cavi.
- Cavi coassiali rigidi o almeno a doppia schermatura.
- Camere schermate (avercele...).
- Scelta appropriata dei misuratori RF.

Riduzione Incertezza

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Scelta della noise source (soldi...):

- Range di frequenza appropriato.
- Attenzione alle tabelle di calibrazione.
- Scelta di ENR:
  - 6dB ENR
    - Low Noise DUT
    - Riduzione delle non linearità nel DUT
    - Migliore adattamento impedenza
  - 15dB ENR
    - NF $>>$ 16dB
- Evitare adattatori interserie!
- Evitare disadattamenti di impedenza!

Riduzione Incertezza

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Averaging.

- Trace Average o Point Average
- Consente di minimizzare la fluttuazione del valore;
- Averaging N riduce il jitter di $\sqrt{N}$
- Utilizzato tipicamente con banda di misura stretta.
- calibrazione con alto average!

Non linearità

- Attenzione ai dispositivi non lineari!
- DUT lontano dalla potenza di saturazione.
- Disabilitare AGC.
- Attenzione alle auto oscillazioni.

Riduzione Incertezza

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

La banda passante.

- Errori se il DUT ha banda passante $<$ dello strumento.
- $G_{DUT_{dB}} >> 10log_{10}(\frac{B_{cal}}{B_{mes}})$
- Range dei NFA: 4MHz - 100kHz

Riduzione Incertezza

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta

Connettori

- Evitare lo sporco!
  - Attenuazione del segnale
  - Disadattamento di impedenza
  - Interferenza
- Connettori danneggiati.
  - Possono danneggiare altri connettori
- Connettori Consumati
  - Avvitarli con cura senza danneggiarli.
  - MAI ruotare il corpo di un connettore!
  - Utilizzare strumenti adatti per il serraggio
  - Attenzione alla corretta coppia di serraggio.

Incertezza

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

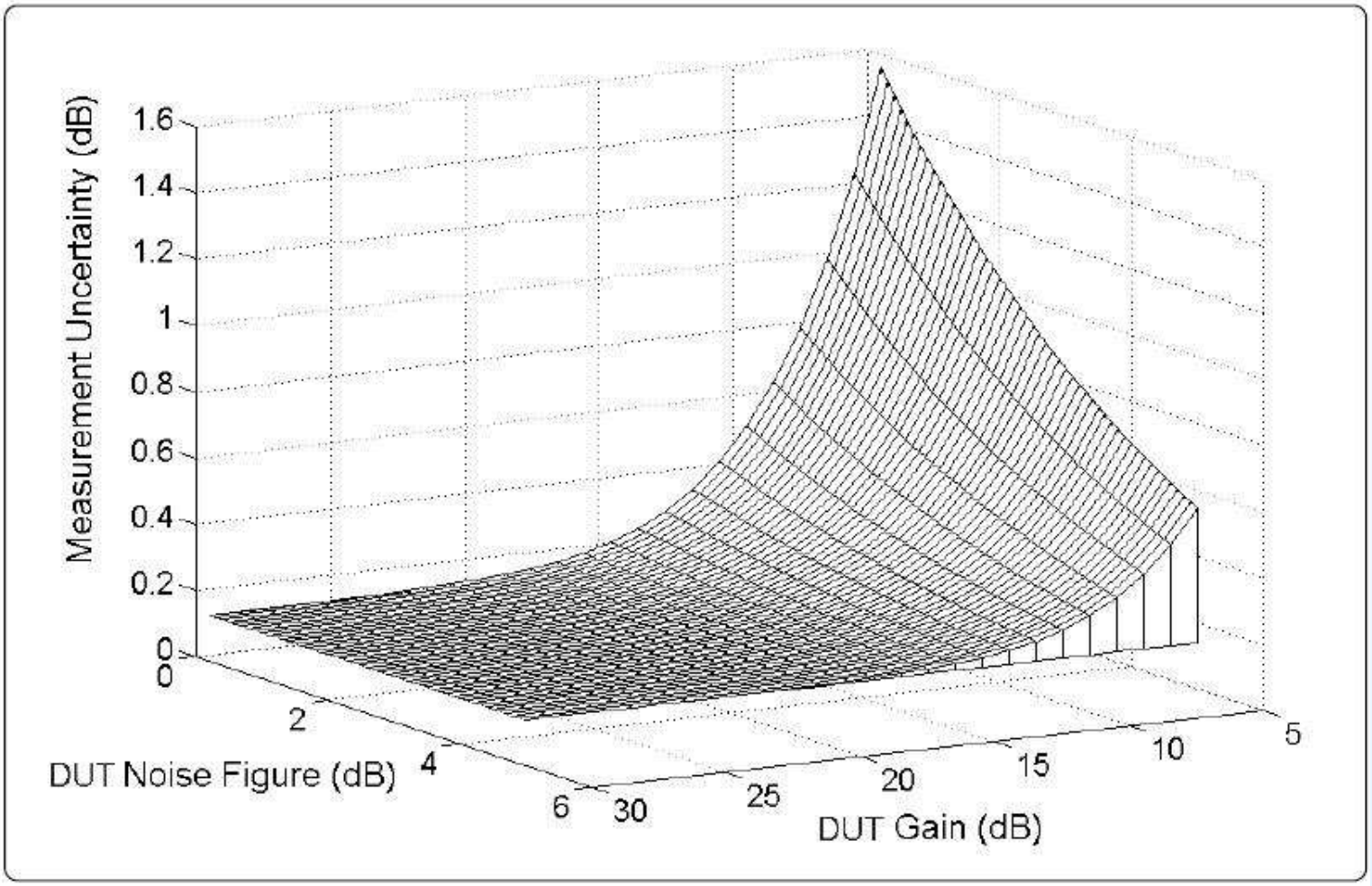
Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta



Determinazione NF

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

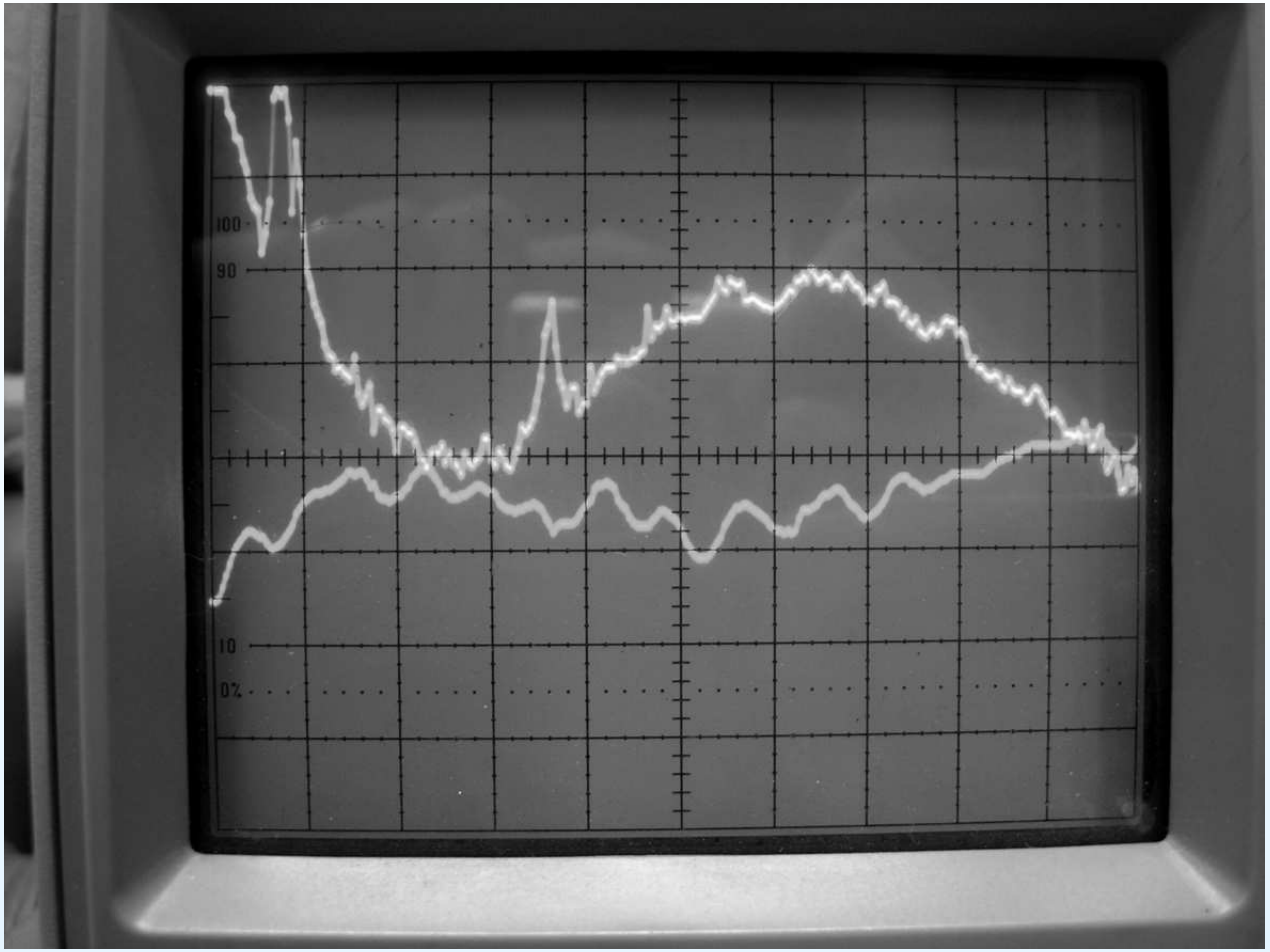
Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta



Determinazione NF

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

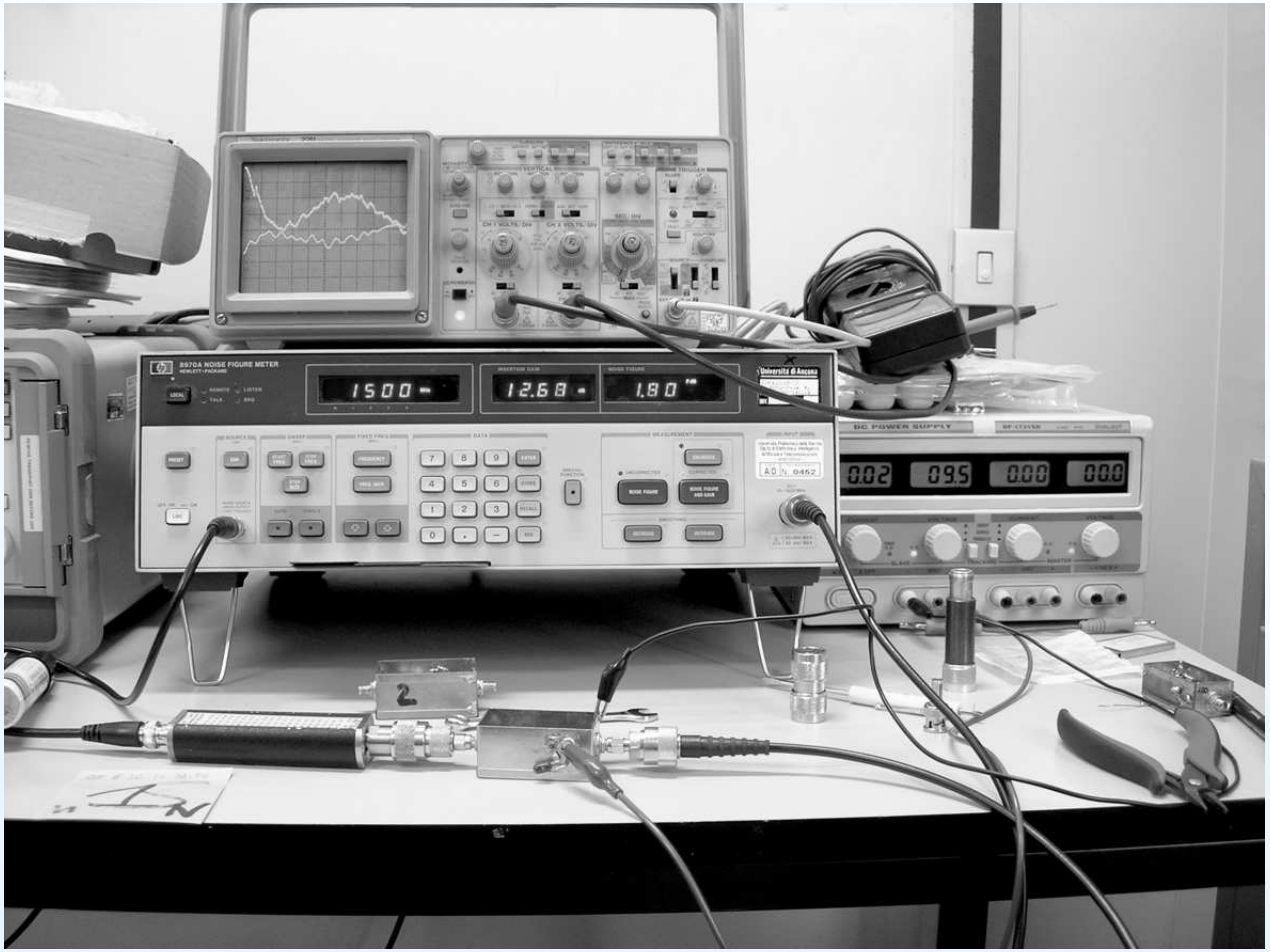
Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Determinazione NF
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Riduzione Incertezza
- Incertezza
- Determinazione NF
- Determinazione NF

Parte Sesta



Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Parte Sesta

Parte sesta...

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Ed ultima.... giuro!

Strumenti di misura

Molte informazioni reperite da HP-Archive.
www.hparchive.com.

Gli albori

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

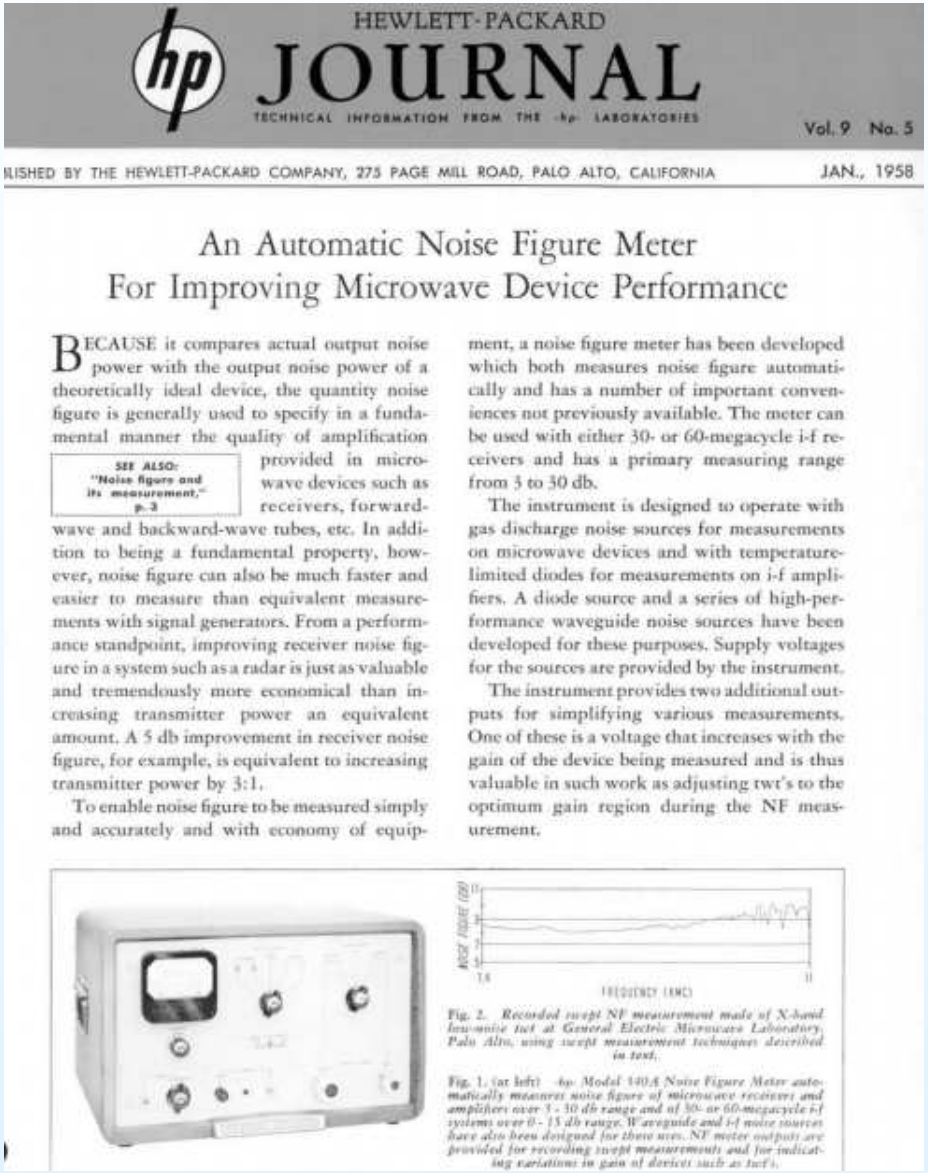
Parte Terza

Parte Quarta

Parte Quinta

Parte Sesta

- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine



HEWLETT-PACKARD JOURNAL

TECHNICAL INFORMATION FROM THE -hp- LABORATORIES

Vol. 9 No. 5

ISHED BY THE HEWLETT-PACKARD COMPANY, 275 PAGE MILL ROAD, PALO ALTO, CALIFORNIA JAN., 1958

An Automatic Noise Figure Meter For Improving Microwave Device Performance

BECAUSE it compares actual output noise power with the output noise power of a theoretically ideal device, the quantity noise figure is generally used to specify in a fundamental manner the quality of amplification provided in microwave devices such as receivers, forward-wave and backward-wave tubes, etc. In addition to being a fundamental property, however, noise figure can also be much faster and easier to measure than equivalent measurements with signal generators. From a performance standpoint, improving receiver noise figure in a system such as a radar is just as valuable and tremendously more economical than increasing transmitter power an equivalent amount. A 5 db improvement in receiver noise figure, for example, is equivalent to increasing transmitter power by 3:1.

SEE ALSO: "Noise figure and its measurement," p. 3

To enable noise figure to be measured simply and accurately and with economy of equipment, a noise figure meter has been developed which both measures noise figure automatically and has a number of important conveniences not previously available. The meter can be used with either 30- or 60-megacycle i-f receivers and has a primary measuring range from 3 to 30 db.

The instrument is designed to operate with gas discharge noise sources for measurements on microwave devices and with temperature-limited diodes for measurements on i-f amplifiers. A diode source and a series of high-performance waveguide noise sources have been developed for these purposes. Supply voltages for the sources are provided by the instrument.

The instrument provides two additional outputs for simplifying various measurements. One of these is a voltage that increases with the gain of the device being measured and is thus valuable in such work as adjusting twt's to the optimum gain region during the NF measurement.

Fig. 2. Recorded swept NF measurement made of X-band low-noise twt at General Electric Microwave Laboratory, Palo Alto, using swept measurement techniques described in text.

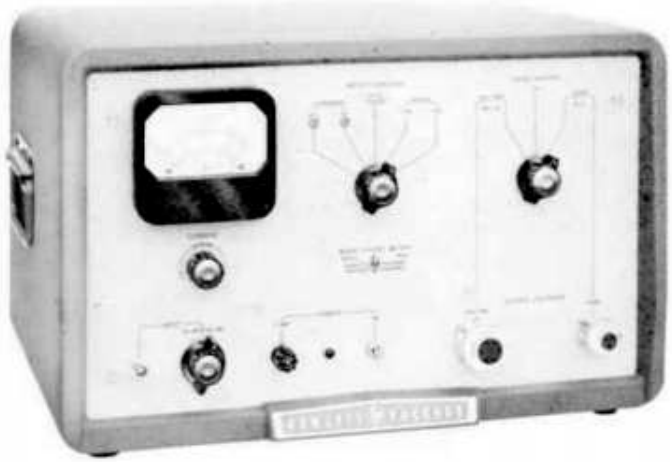
Fig. 1. (at left) -hp- Model 340A Noise Figure Meter automatically measures noise figure of microwave receivers and amplifiers over 3 - 30 db range and of 30- or 60-megacycle i-f systems over 0 - 15 db range. Waveguide and i-f noise sources have also been designed for these uses. NF meter outputs are provided for recording swept measurements and for indicating variations in gain of devices such as twt's.

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Anni 50

HP 340A

- Frequenza di lavoro: 30 o 60 MHz;
- Sorgenti: tubo a scarica di gas o diodo;
- Costoso per l'epoca: 715 dollari;



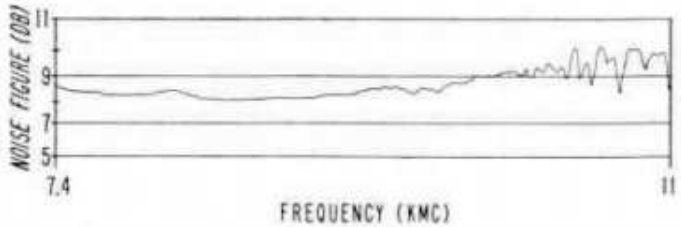


Fig. 2. *Recorded swept NF measurement made of X-band low-noise twt at General Electric Microwave Laboratory, Palo Alto, using swept measurement techniques described in text.*

Fig. 1. (at left) *-hp- Model 340A Noise Figure Meter automatically measures noise figure of microwave receivers and amplifiers over 3 - 30 db range and of 30- or 60-megacycle i-f systems over 0 - 15 db range. Waveguide and i-f noise sources have also been designed for these uses. NF meter outputs are provided for recording swept measurements and for indicating variations in gain of devices such as twt's.*

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Anni 50

Sviluppo negli anni successivi: HP 340B e HP 342A

- Frequenze di ingresso espanse;
- Costo maggiore: 815 $;
- Sergenti disponibili:
  - 343A - 10MHz→600MHz ENR:5.2dB;
  - 345B - 30MHz o 60MHz (75$);
  - Altre fino a 18GHz (180$);

(File pdf del catalogo 1959)

Anni 70

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Passano gli anni e siamo ancora con gli stessi apparati!
(File pdf del catalogo 1976)

Anni 80

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

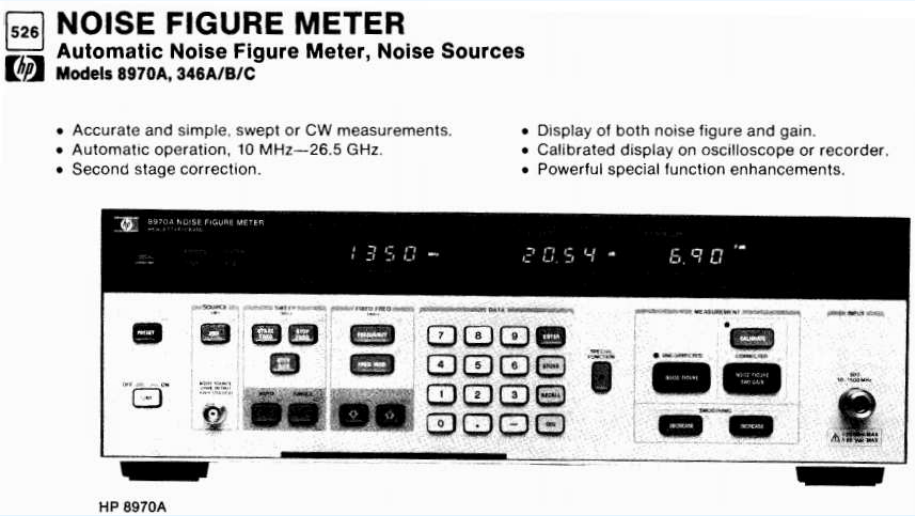
Parte Quinta

Parte Sesta

- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Introduzione di un nuovo modello: 8970A

- Intervallo Frequenza: 10MHz - 1500MHz;
- Intervallo NF: 0-30dB;
- Intervallo Guadagno: -20 40dB;
- Possibilità di pilotare sorgenti a 28V;



Anni 80

Parte Zero

Parte Prima

Parte Seconda

Parte Terza

Parte Quarta

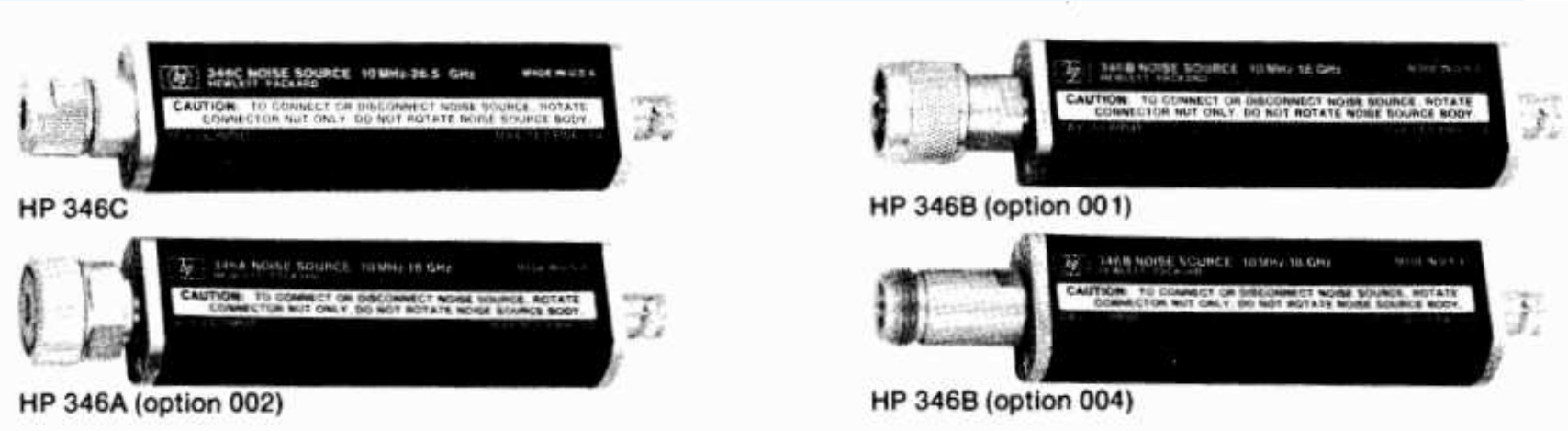
Parte Quinta

Parte Sesta

- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Nuove testine!

- HP346A - ENR:4.5-6.5 dB
- HP346B - ENR:14-16 dB
- HP346C - ENR:12-16 dB Microwave (10MHz-12GHz).



Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Anni 80

HP8970A - Uno strumento comperabile:

- Spin-it: 1500 euro;
- ebay: 1300 - 600 euro;

Testine Generatrici:

- Spin-it: 346C (2000 euro) 346B (1500 euro)
- ebay: 346C (1200 euro) 346B (500-700 euro)

(File pdf del catalogo 1985)

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Anni 90

Aggiornamento del modello: HP8970B

- Intervallo Frequenza: 10MHz - 1600MHz;
- Intervallo NF: 0-30dB;
- Intervallo Guadagno: -20 40dB;
- Possibilità di pilotare sorgenti a 28V;

Introdotti nuovi strumenti per microonde:

- HP8970S/T/U set di strumenti intervallo 10MHz-26.5GHz
- HP8971C Test Set con convertitore dei frequenza
- R347B intervallo 26.5-40GHz ENR:10-13dB
- Q347B intervallo 33-50GHz ENR:6-13dB

Anni 90

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Strumenti meno comperabili:

- Spin-it: 3200 euro;
- ebay: 900 - 2000 euro;

(File pdf del catalogo 1990)

Nuovo Millennio

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Introduzione della famiglia NFA:Agilent N897xA

- N8972A: 10MHz-1.5GHz
- N8973A: 10MHz-3GHz
- N8974A: 10MHz-6.7GHz
- N8975A: 10MHz-26.5GHz

Nuovo Millennio

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Nuove testine generatrici:

- N4000A: 10MHz-18GHz ENR:6dB
- N4001A: 10MHz-18GHz ENR:15dB
- N4002A: 10MHz-26.5GHz ENR:15dB

Aggiornamento dei vecchi modelli:

- 346A: 10MHz-18GHz ENR:5dB
- 346B: 10MHz-18GHz ENR:15dB
- 346C: 10MHz-26.5GHz ENR:15dB

(File pdf del catalogo 2003)

Nuovo Millennio

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Strumenti praticamente incomperabili.

- testequipmentconnection: N8973A - 17688$
- testequity.com: N8973A - 28423 $
- testequity.com: N8974A - 40875 $
- testequity.com: N8975A - 60265 $

Fine

Parte Zero
Parte Prima
Parte Seconda
Parte Terza
Parte Quarta
Parte Quinta
Parte Sesta
- Parte sesta...
- Gli albori
- Anni 50
- Anni 50
- Anni 70
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 80
- Anni 90
- Anni 90
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Nuovo Millennio
- Fine

Grazie per la pazienza!