

Amplificadores con FET As Ga para banda L

Inss. J.A. Bava, J.J. Larrarte

Introduccion

Durante los ultimos años la investisacion y el desarrollo de amplificadores, a partir de transistores de efecto de campo de arseniuro de galio (FET As Ga), se ha centrado fundamentalmente en tres ramas, a saber, bajo ruido/alta ganancia, potencias medias y dispositivos de potencia. Ademas podriamos mencionar ramas marginales como el desarrollo de osciladores, mezcladores, dispositivos logicos, etc.. Dentro de estas ramas existen aplicaciones, tales los casos de comunicaciones y radioastronomia, donde la sensibilidad de los sistemas depende fundamentalmente de la temperatura de ruido total de los mismos. Dado que la temperatura de ruido del sistema depende directamente de la que posee el primer amplificador, seria deseable que este poseyera la menor temperatura que tecnicamente se pudiera lograr.

Los amplificadores contruidos con transistores FET de As Ga brindan una alternativa frente a los amplificadores parametricos con características comparables con la ventaja de su mayor estabilidad (fig. 1).

El presente articulo detalla el diseño y construccion de amplificadores con FET de As Ga para el uso en receptores de radioastronomia en banda L.

Tecnicas de diseño con parametros "S"

En el diseño de amplificadores en muy alta frecuencia los parametros utilizados son los denominados "S" (scaterins parameters), que poseen como ventaja principal su facil determinacion y medida. Estos parametros describen la interrelacion de las ondas incidente y reflejadas normalizadas de

entrada y salida, normalmente referidos a 50 ohms. En la fig. 2 se expresa como viene definida la matriz "S" para un dispositivo de dos puertas.

Uno de los factores mas importantes en el diseño de amplificadores es la determinación de su estabilidad. Existen dos expresiones tradicionales cuando se habla de estabilidad condicional e incondicional. Un circuito es incondicionalmente estable cuando S11 y S22 son menores que la unidad y el factor de estabilidad K mayor que la unidad. Por otro lado un circuito sera condicionalmente estable cuando algunas de las condiciones anteriores no se cumple.

Haciendo uso de la carta de Shmith se pueden trazar los círculos de estabilidad para un transistor dado (fig. 3). Estos trazados se pueden obtener para la entrada y la salida separadamente indicando los valores de impedancia de carga o impedancia de generador respectivamente que hacen estable o inestable al amplificador.

Asi mismo sobre la carta de Smith se pueden trazar círculos de ganancia y cifra de ruido constante (fig. 4 y 5). Estos nuevos graficos permitiran determinar cual sera el circuito de adaptación necesario para obtener maxima ganancia o minima cifra de ruido segun sea el objetivo perseguido en el diseño.

#### Descripción del diseño

El diseño que se detalla a continuación fue realizado con un FET de As Ga Avantex AT-8110 para la frecuencia de 1500 Mhz. De las características provistas por el fabricante se obtuvieron, para una corriente Id igual a 20 mA y la frecuencia de diseño, los siguientes valores de los parametros de reflexion:

$$S_{11} = 0,834 / -80,7$$

$$S_{22} = 0,416 / -56,7$$

$$S_{21} = 4,57 / 117,5$$

$$S_{12} = 0,069 / 36,3$$

De acuerdo a lo dicho anteriormente el primer paso en el diseño es la determinación del factor de estabilidad 'K' y el trazado de las zonas de estabilidad en la carta de Smith (fig. 5). En nuestro caso particular del FET AT-8110 el valor del factor 'K' fue igual a 0,431 lo cual indica que el mismo es potencialmente inestable y que bajo ciertas combinaciones de impedancia de generador y de carga puede llegar a oscilar.

Un camino a seguir para hacer que un transistor condicionalmente estable se convierta en incondicionalmente estable, es la introducción de una inductancia de realimentación en source. El uso de la misma normalmente reduce el valor de la ganancia en una pequeña cantidad y si la inductancia puede ser elegida en forma apropiada, puede mantenerse la cifra de ruido del transistor. Así mismo este método evita el agregado de elementos adaptadores en serie con el gate que podrían desmejorar la cifra de ruido del amplificador.

En estas condiciones para obtener el nuevo factor de estabilidad, se deben conocer los valores de los parámetros de reflexión para el conjunto transistor e inductancia de realimentación. Los pasos seguidos para obtener estos valores fueron transformar los parámetros de reflexión del transistor a parámetros de impedancia y hallar la matriz de impedancia equivalente del conjunto transistor e inductancia de realimentación. Por último se realiza la conversión de parámetros de impedancia a parámetros de reflexión. La figura 6 muestra en forma esquemática la idea anterior.

En el caso particular de nuestro diseño colocando una inductancia de 1 nH se obtuvieron los siguientes valores de los

parametros de reflexion del conjunto:

$$S_{11} = 0,548 / -63,34$$

$$S_{22} = 0,440 / -21,6$$

$$S_{21} = 3,533 / 257,25$$

$$S_{12} = 0,079 / 84,7$$

De acuerdo a la nueva situacion el valor del coeficiente de estabilidad es ahora mayor que la unidad ( $K=1,056$ ), mientras que los circulos de estabilidad caen fuera de la carta de Smith, lo que indica que el amplificador se ha transformado en incondicionalmente estable.

La figura 5 muestra el trazado de los circulos de ganancia constante que para un valor de 11 db da como resultado un coeficiente de reflexion en la carga igual a  $0,221 / 77,2$ . Con el conocimiento del coeficiente de reflexion en la carga se puede arribar al valor del coeficiente de reflexion correspondiente a la entrada (fis 7), que en nuestro caso particular toma un valor de  $0,443 / 61,46$ .

A partir del conocimiento de los valores de los coeficientes de reflexion se calculan las impedancias de entrada y salida normalizadas respecto a 50 ohms:

$$Z_e/Z_o = 1,04 + j 1,01$$

$$Z_c/Z_o = 1,00 + j 0,45$$

Estos valores indican la necesidad de incluir elementos adaptadores en la entrada y la salida con el objeto de llevar los valores de impedancia de entrada y salida del amplificador a 50 ohms.

En la fis. 6 se muestra el circuito completo del amplificador donde ademas de los componentes de señal se han agregado aquellos que hacen a la polarizacion del elemento activo. Se hace notar que en la entrada la inductancia  $L_1$  permite la adaptacion a 50 ohms, a la vez que se nota el agregado

de un filtro pasa alto con frecuencia de corte en 500 Mhz construido por las inductancias L2 y L3 y el capacitor C1. En la salida se ha agregado un "ferrite bead" que evita oscilaciones parasitas en alta frecuencia adicionando una inductancia del orden de nHs. La inductancia L4 permite la adaptacion a 50 omhs y por ultimo se coloca una bobina L5 que hace las veces de choque de RF y permite el desacople de la polarizacion de drain.

#### Detalles constructivos

Las bobinas estan construidas con alambre de bronce fosforoso, el cual posee la suficiente rigidez que facilita tanto su construccion como su montaje autosostenido. En cuanto a los capacitores de desacople son del tipo "chips" especiales para su montaje sobre lineas de microtira. Estos capacitores son comerciales (marca Vitremon) cuyas caracteristicas permiten su uso en el rango de 0,4 a 4,2 Ghz.

Todos los componentes del amplificador se hallan montados sobre material de circuito impreso del tipo RT/Duroid. Este material se caracteriza fundamentalmente por su buena estabilidad mecanica; un valor de la constante dielectrica uniforme en un gran ancho de banda (2,16-2,14 en el rango de frecuencias que va desde 1Mhz a 10 Ghz); y su bajo factor de disipacion extiende su uso en microtira hasta mas alla de banda Ku.

Las soldaduras se realizaron con estaño Plata al 3%. La razon del uso de este tipo de aleacion en la soldadura se debe fundamentalmente a su bajo valor en el punto de fusion que evita sobrecalentamientos en los componentes, especialmente en el caso del FET de As Ga.

Un ultimo detalle para apuntar en esta breve descripcion es la precaucion con que se han debido manejar estos

componentes fundamentalmente en el caso del elemento activo. Los capacitores chips y los FET son sensibles a descargas estaticas por lo que fue necesario conectar a masa todo los elementos que entraban en contacto directo con ellos (pinzas, soldadores, etc.), como asi mismo la persona que realizaba el armado del amplificador debia usar pulseras desacopladas de la misma forma. Inclusive usar una malla en su pecho para evitar el efecto de materiales sensibles a adquirir cargas estaticas presentes en su ropa.

#### Resultados

En la realizacion del ajuste y medida del amplificador el objetivo perseguido fue la obtencion de la minima cifra de ruido, obteniendose buenos resultados para el punto de trabajo de continua caracterizado por tension de gate,  $V_{st}$ , igual a -1 volts para lo cual la corriente de drain,  $I_{da}$ , oscilaba entre 15 y 20 mA segun el transistor; mientras que la tension de drain era de 1,5 volts. En estas condiciones se consiguio que la cifra de ruido de los amplificadores construidos fuera menores de 80 K con una ganancia de 10 db segun aparece en la fig. 7.

Estos amplificadores son utilizados en las primeras etapas de un receptor usado como polarimetro para estudios radioastronomicos. En el caso particular del I.A.R. (Instituto Argentino de Radioastronomia) este polarimetro estudia la emision del continuo en la frecuencia de 1425 Mhz con un ancho de banda de 20 Mhz. Los resultados arrojados hasta el presente en el receptor construido a partir del amplificador con FET de As Ga son satisfactorios, entre los cuales podemos resaltar una estabilidad menor a 0,1 db en cuatro horas de observacion.

Cabe señalar que para facilitar la tarea de diseño se han

desarrollados programas en lenguaje BASIC, ahorrando de esta manera el esfuerzo de cálculo de las expresiones matemáticas necesarias.

#### Reconocimientos

Los autores agradecen la colaboración recibida de todo el personal técnico del I.A.R. y en forma especial a los Ings. E. Filloy, J. C. Olalde, A. J. Sanz y Sr. Z. Swidrak.

#### Referencias

- 1- Solid-State Microwave Amplifier Design- Tri T. Ho- A Wiley-Interscience publication.
- 2- The 600 Mhz noise performance of Ga As FET's at room temperature and below- Darrell M. Burns- National Radio Astronomy Observatory (NRAO)- Internal Report N' 197.
- 3- S-Parameter Design- Hewlett Packard- Application note N' 95, N' 154.
- 4- L-Band Cryogenically- Cooled Ga As FET Amplifier- D. R. Williams, W. Lum- Microwave Journal- October 1980.
- 5- Loss of ferrite beads at microwave frequencies- M. W. Sinclair- NRAO- Internal Report N' 208.
- 6- Passive and Active Microwave Circuit- J. Helszajn Wiley-Interscience publication.

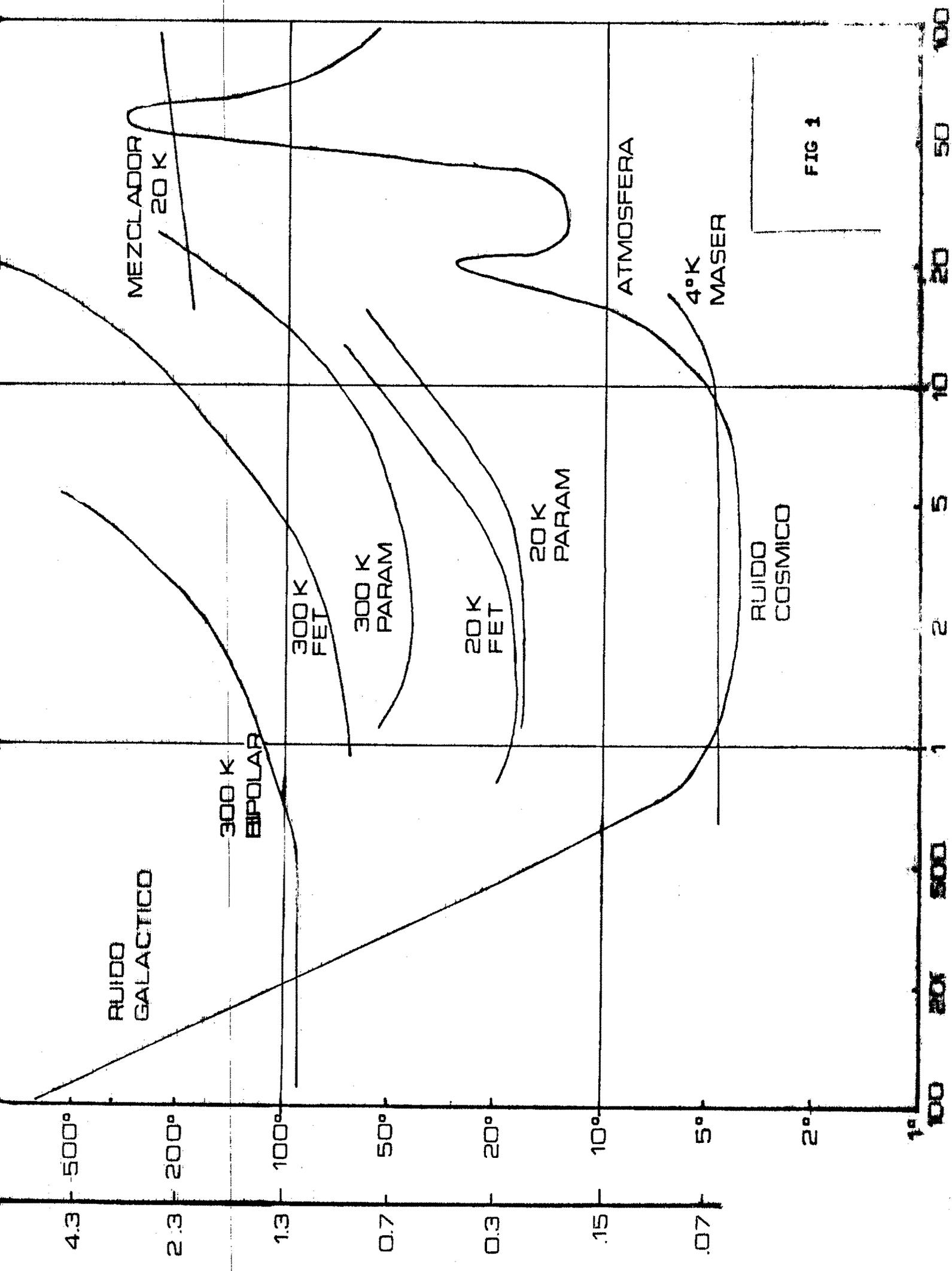
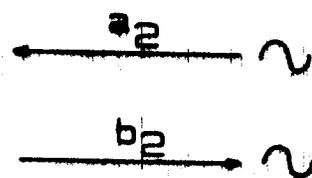
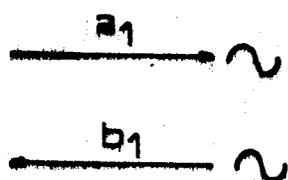
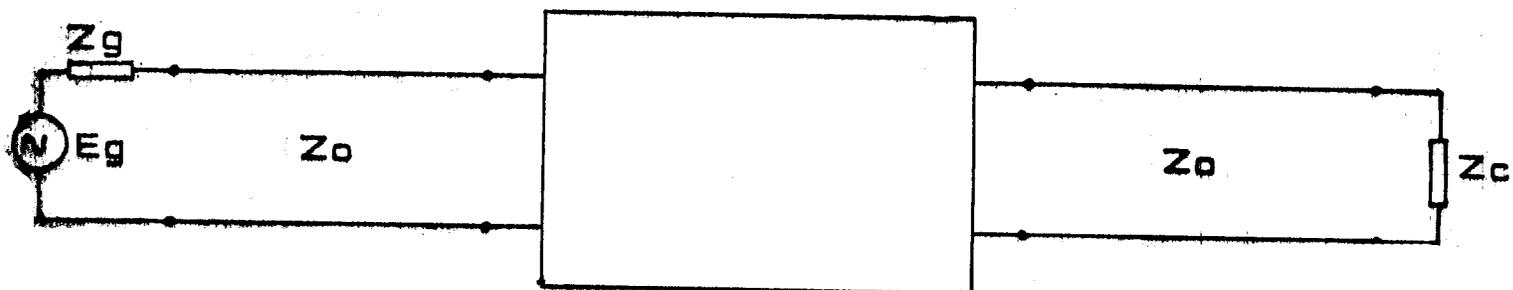


FIG 1



$$a_1 = \frac{E_{i1}}{\sqrt{Z_0}}$$

$$a_2 = \frac{E_{i2}}{\sqrt{Z_0}}$$

$$b_1 = \frac{E_{r1}}{\sqrt{Z_0}}$$

$$b_2 = \frac{E_{r2}}{\sqrt{Z_0}}$$

ONDAS INCIDENTES  
Y REFLEJADAS  
NORMALIZADAS

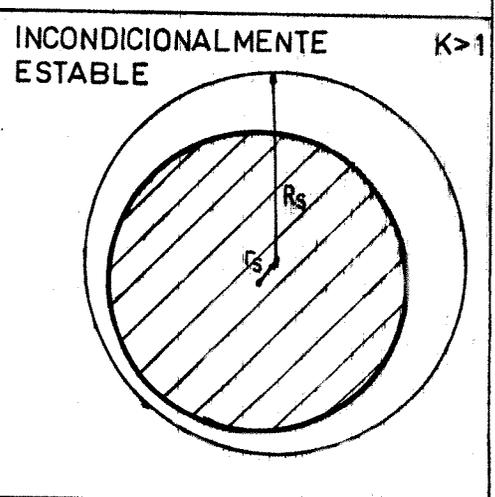
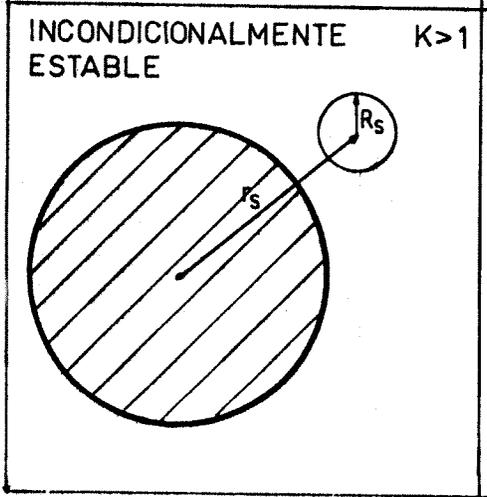
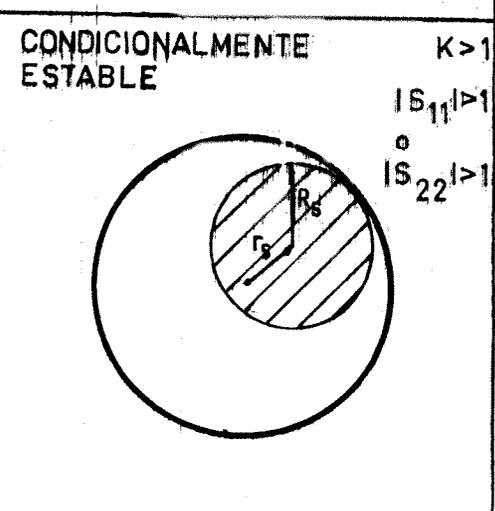
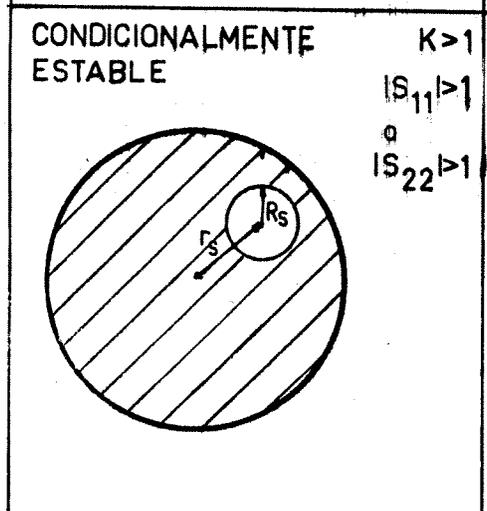
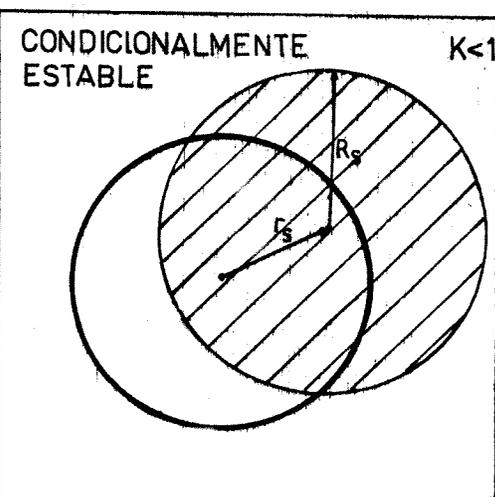
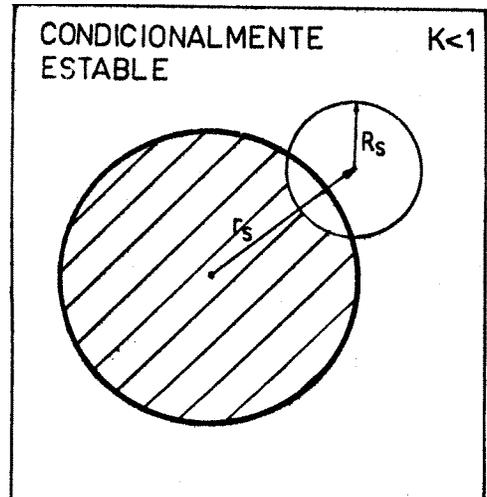
DONDE

$E_i$  = ONDA INCIDENTE

$E_r$  = ONDA REFLEJADA

FIG 2

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$



$$r_s = \frac{C_2^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}$$

$$R_s = \frac{|S_{12} S_{21}|}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}$$

DONDE

$$C_2 = S_{22} - \Delta S_{11}^*$$

$$\Delta = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$$

FACTOR DE ESTABILIDAD

$$K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{21} S_{12}|}$$

REGION ESTABLE

REGION INESTABLE

FIG 3

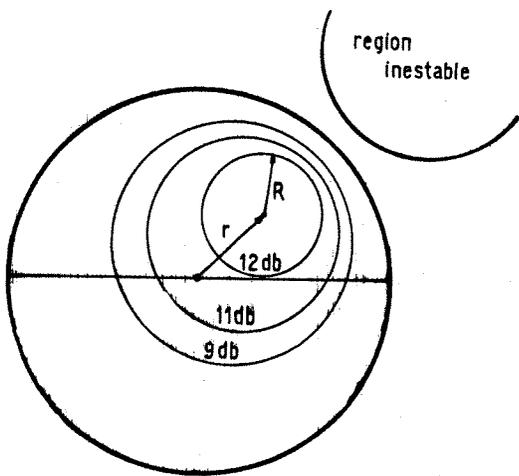
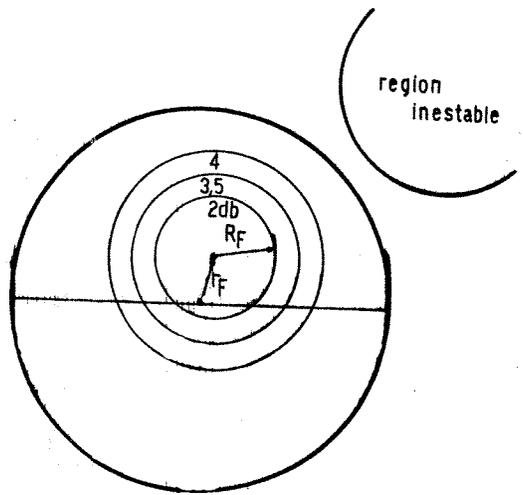


FIG 4



CIRCULOS DE GANANCIA CTE.

CIRCULOS DE FIGURA DE RUIDO CTE.

$$r = \left[ \frac{G}{1 + D_2 G} \right] C_2^*$$

$$R = \frac{(1 - 2K |S_{12} S_{21}| G + |S_{12} S_{21}|^2 G^2)^{1/2}}{1 + D_2 G}$$

DONDE

$$D_2 = |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$$

$$G = \frac{\text{GANANCIA DESEADA}}{|S_{21}|^2}$$

$$\Delta = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$$

$$r_F = \frac{|\Gamma_{opt}|}{1 + N}$$

$$R_F = \frac{1}{1 + N} \sqrt{N^2 + N(1 - |\Gamma_{opt}|^2)}$$

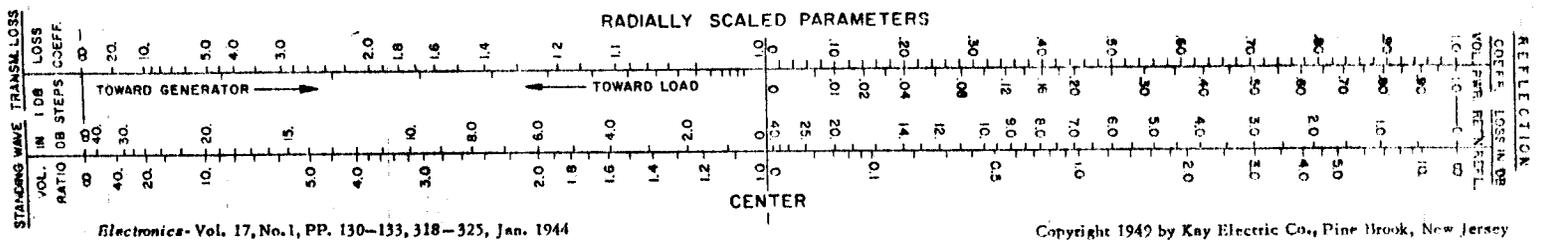
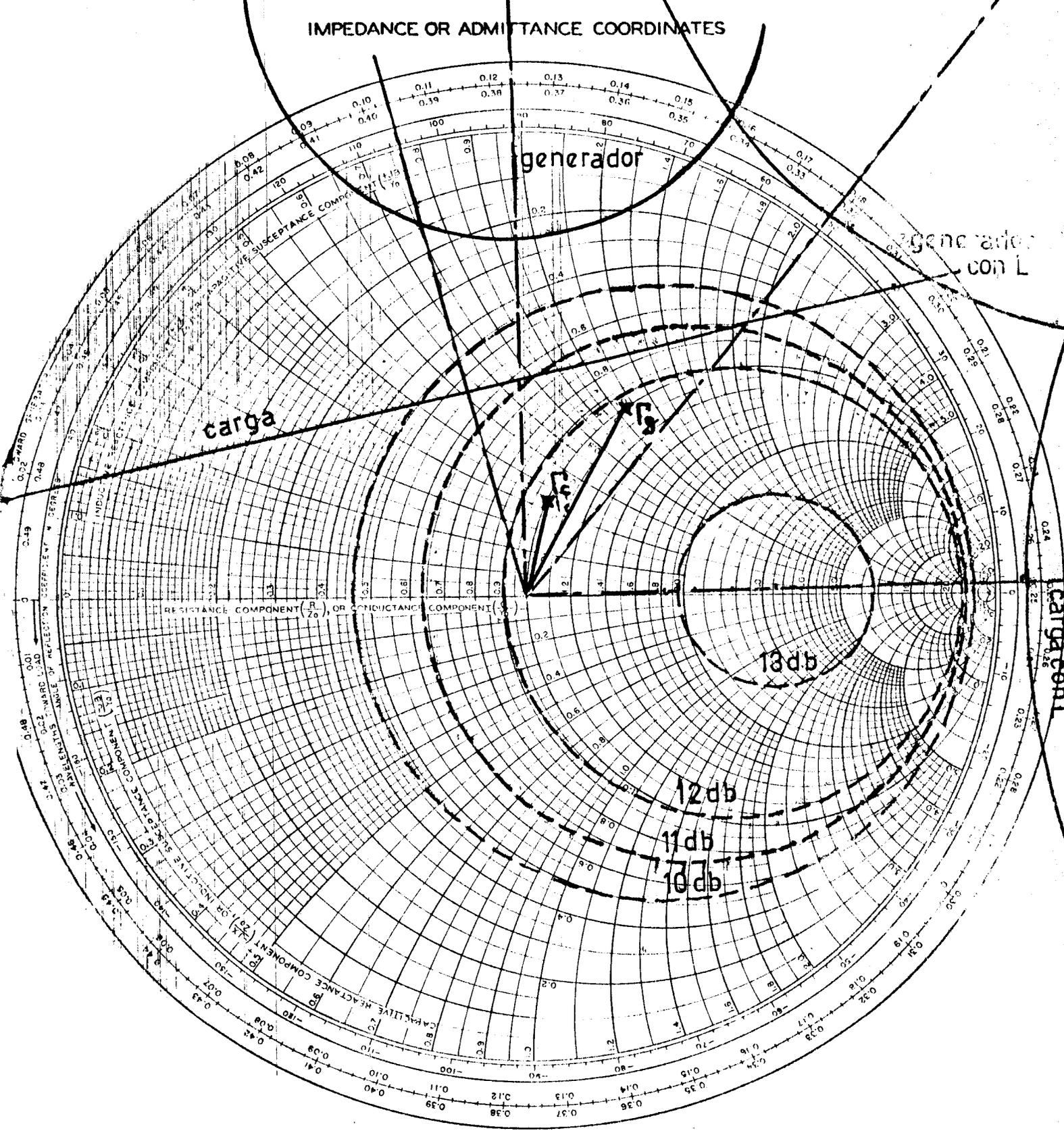
DONDE

$$N = \frac{F - F_{min}}{4 r_n} |1 + \Gamma_{opt}|^2$$

$$r_n = \left[ \frac{F_{\Gamma_{c=0}} - F_{min}}{4 |\Gamma_{opt}|} \right] |1 + \Gamma_{opt}|^2$$

NAME <b>AT8110</b>	TITLE <b>Circuitos de ganancia y estabilidad</b>	DATE
SMITH CHART FORM 5301-7560 N	GENERAL RADIO COMPANY, WEST CONCORD, MASSACHUSETTS	

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES



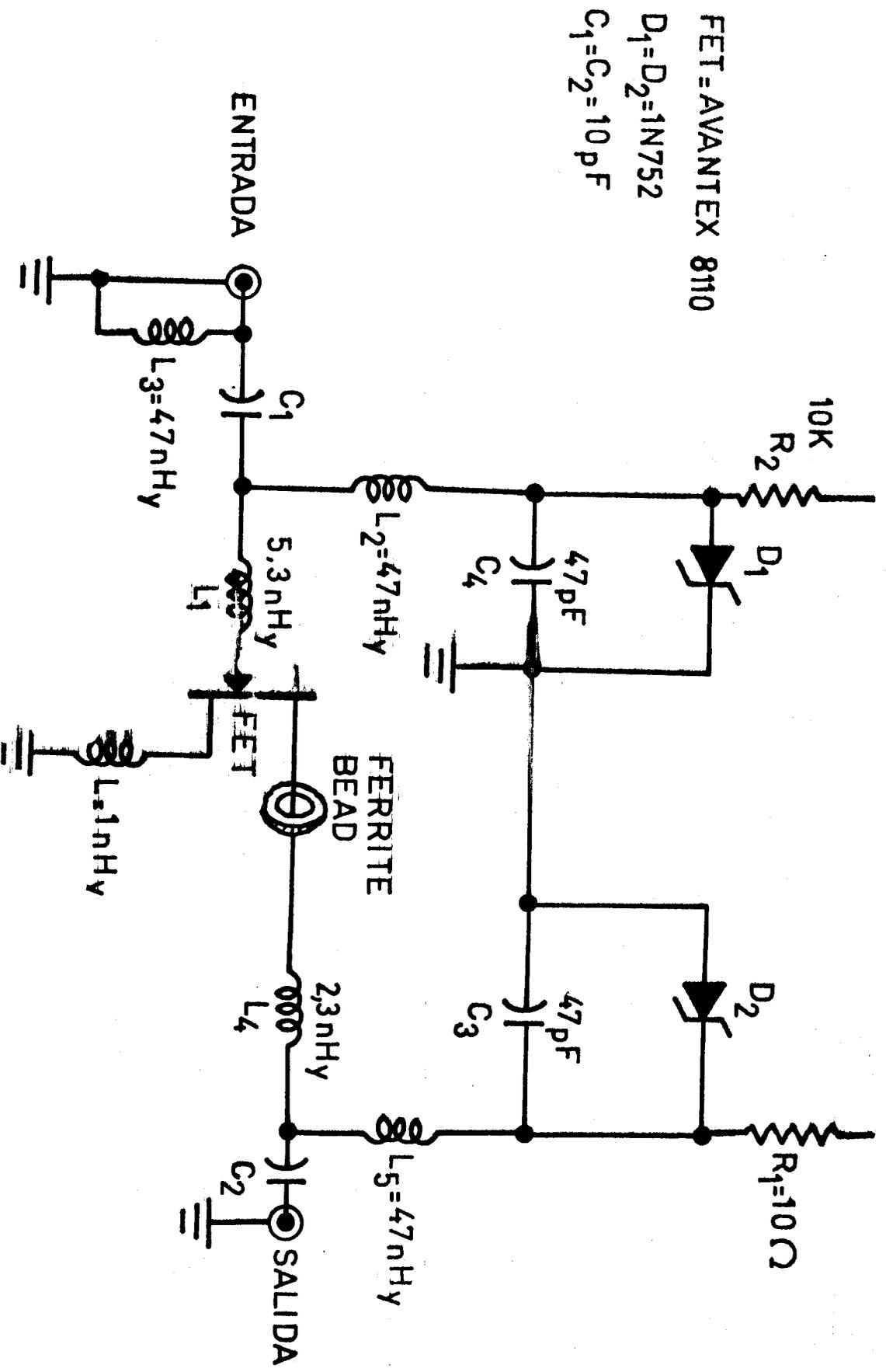


Fig. 6

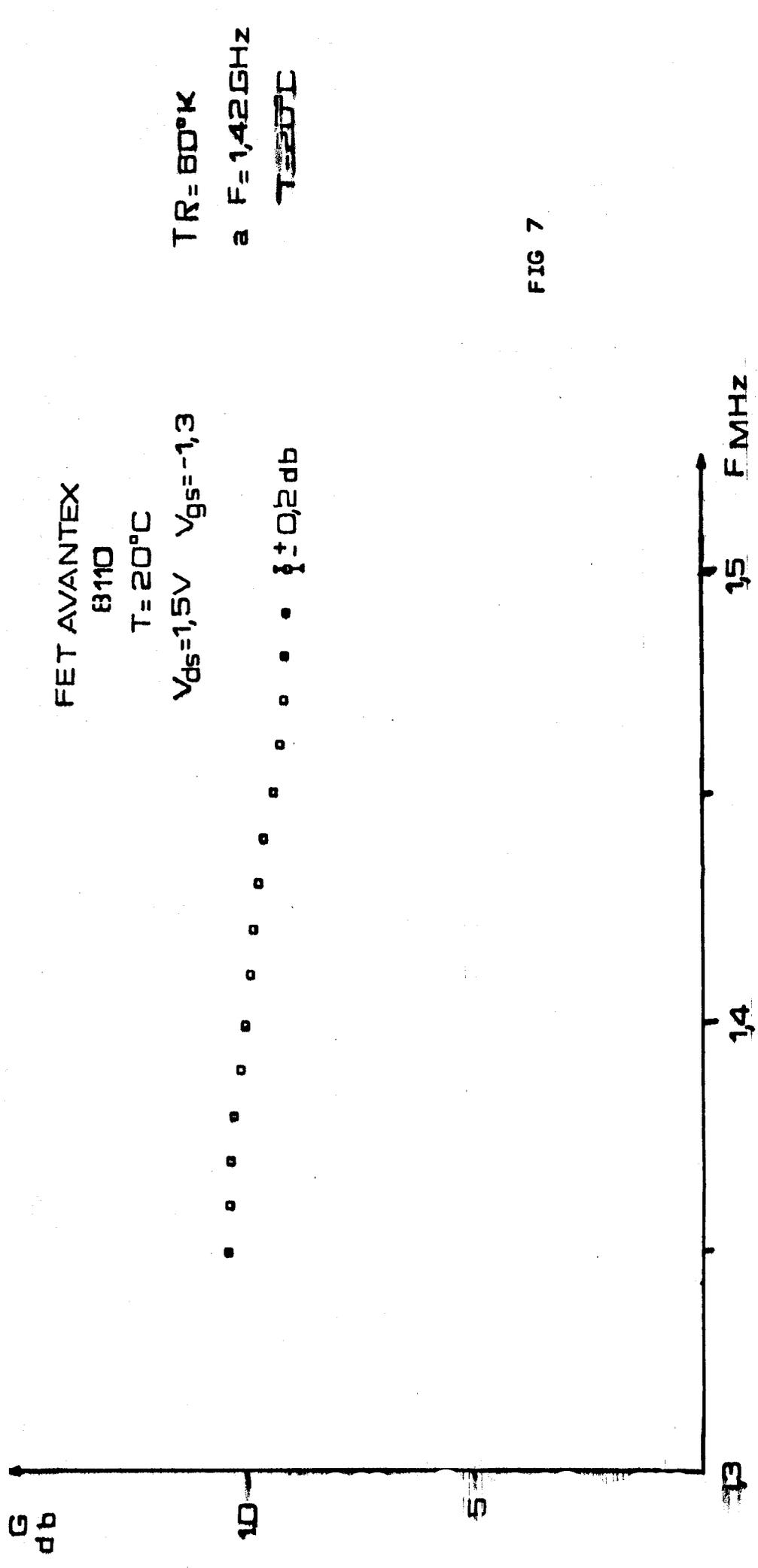


FIG 7