La Serie Universitaria de la Fundación Juan March presenta resúmenes, realizados por el propio autor, de algunos estudios e investigaciones llevados a cabo por los becarios de la Fundación y aprobados por los Asesores Secretarios de los distintos Departamentos.

El texto íntegro de las Memorias correspondientes se encuentra en la Biblioteca de la Fundación (Castello, 77. Madrid-6).

La lista completa de los trabajos aprobados se presenta, en forma de fichas, en los Cuadernos Bibliográficos que publica la Fundación Juan March.

Estos trabajos abarcan las siguientes especialidades: Arquitectura y Urbanismo; Artes Plásticas; Biología; Ciencias Agrarias; Ciencias Sociales; Comunicación Social; Derecho; Economía; Filosofía; Física; Geología; Historia; Ingeniería; Literatura y Filología; Matemáticas; Medicina, Farmacia y Veterinaria; Música; Química; Teología. A ellas corresponden los colores de la cubierta.

Edición no venal de 300 ejemplares,
que se reparte gratuitamente a investigadores,
Bibliotecas y Centros especializados de toda España.

Este trabajo fue realizado con una Beca en el Extranjero, 1974.
Departamento de Física.

Fundación Juan March

FJM-Uni 30-Seb
di Estabilidad de osciladores no si
Sebastián Franco, José Luis.
1031744
Biblioteca FJM

SERIE UNIVERSITARIA

Fundación Juan March

Estabilidad de osciladores no sinusoidales en el rango de microondas

José Luis Sebastián Franco

FJM
Uni-
30
Seb
30

Estabilidad de osciladores no sinusoidales en el rango de microondas/José Luis Sebastián Franco

Fundación Juan March (Madrid)

Fundación Juan March (Madrid)

Fundación Juan March
Serie Universitaria
30

Estabilidad de osciladores no sinusoidales en el rango de microondas

José Luis Sebastián Franco

FUNDACION JUAN MARCH
EX LIBRIS

Fundación Juan March
Castelló, 77. Teléf. 225 44 55
Madrid - 6

Fundación Juan March (Madrid)

La Fundación Juan March no se solidariza necesariamente con las opiniones de los autores cuyas obras publica.

Depósito Legal: M – 19064 – 1977
I.S.B.N. 84 - 7075 - 052 - 6
Ibérica, Tarragona, 34.– Madrid –7

Fundación Juan March (Madrid)

INDICE

		Página
I.– INTRODUCCION		3
II.– INTRODUCCION A LA FUNCION DESCRIPTIVA		
II. 1	Modelo de realimentación	5
II. 2	Modo de operación L.S.A. Forma de onda del voltaje	9
II. 3	Línea del dispositivo. Lugar de impedancia	14
II. 4	Estabilidad de las soluciones	15
III.– RESULTADOS EXPERIMENTALES		
III. 1	Circuito de una sola resonancia	17
III. 2	Circuitos de resonancia múltiple. Consideraciones teóricas	20
III. 3	Circuito de doble resonancia	27
III. 4	Circuito de resonancia múltiple	31
III. 5	Modelo experimental	37
IV.– CONCLUSIONES		46

Fundación Juan March (Madrid)

Fundación Juan March (Madrid)

INTRODUCCION

Durante la pasada década, se ha logrado un amplio conocimiento teórico sobre el efecto de la transferencia de electrones y se han desarrollado numerosos osciladores y amplificadores incorporando diodos "Gunn" como elementos activos. La operación exacta de estos dispositivos varía considerablemente, dependiendo de los parámetros del cristal y no menos importantes, los del circuito asociado. En un completo análisis de osciladores Gunn es evidente que hay diferentes clases de osciladores cada uno con un modo común de operación. Uno de los más interesantes modos de oscilación es el L.S.A. porque es capaz de suministrar una potencia de salida relativamente alta sin muchas de las limitaciones inherentes en los otros modos de oscilación.

En osciladores no sinusoidales o de relajación, la interacción circuito - elemento activo no ha sido estudiada totalmente, por lo que no se ha dado una explicación satisfactoria a fenómenos observados cuando se trabaja en este tipo de oscilación. Ha sido nuestra intención con este estudio tratar de aclarar o dar mayor infor

Fundación Juan March (Madrid)

mación sobre este problema, para lo cual el circuito y el elemento activo son estudiados independientemente al mismo tiempo que se observan las condiciones comunes a ambos cuando el sistema oscila en estado estacionario.

El empleo de la Función Descriptiva es particularmente útil, permitiendo la obtención de la línea del dispositivo de una forma teórica, lo que hasta ahora sólo se obtenía experimentalmente. La determinación del lugar de impedancia del circuito y la línea del dispositivo facilita grandemente el estudio de la estabilidad del sistema para todas las componentes armónicas, haciendo este estudio más completo y general que los realizados hasta ahora con oscilaciones puramente sinusoidales.

Fundación Juan March (Madrid)

INTRODUCCION A LA FUNCION DESCRIPTIVA

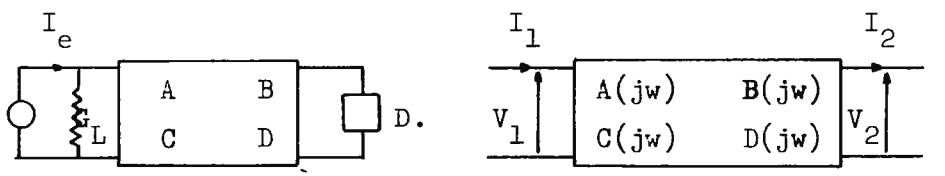
2.1.- Modelo de realimentación

El estudio de un sistema no lineal se puede simplificar aproximando cada elemento no lineal por un operador lineal y estudiar el sistema lineal resultante. La única restricción existente es que la cuasi-linearización se hace para formas de señales específicas. Las funciones cuasi lineales que describen aproximadamente las características de transferencia de los elementos no lineales se denominan Funciones Descriptivas (F.D.)

Es posible entonces, utilizar la teoría de control con todas sus ventajas, una vez que el elemento no lineal ha sido aproximado por un conjunto de funciones cuasi lineales, cada una de las cuales actúa sobre una componente de la señal a la entrada del elemento no lineal. Somerville (1) y Atherton (2) consideran esta aproximación como un conjunto paralelo de ganancias estáticas. Sin embargo, sotros hemos considerado el caso más general, es decir, un conjunto paralelo de operadores lineales dinámicos. Gelb (3) y Van der Velde (4) presentan un estudio completo sobre Funciones Descriptivas.

Fundación Juan March (Madrid)

Es necesario conocer pues, la forma de onda a la entrada del elemento no lineal. Su determinación es simplificada si se consideran separadamente los efectos de las partes lineal y no lineal del circuito. Un modelo de realimentación, de la forma común utilizado en teoría de control, nos permite determinar si la aproximación de la forma de onda asumida a la entrada del elemento no lineal es razonablemente correcta. Consideremos el circuito de la Fig.1



(a) Fig.1 (b)

El elemento activo es una conductancia negativa función del voltaje y está acoplado a la carga G_L mediante un circuito de acoplo Fig.1b determinado por su matriz de transmisión :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad \ldots . 1$$

Las componentes de Fourier de las corrientes y voltajes estacionarios $i_d(t)$, $v_d(t)$, $i_e(t)$, $v_e(t)$ son I_{dk}, V_{dk},

Fundación Juan March (Madrid)

I_{ek} y V_{ek} respectivamente, donde los subíndices k corresponden a las distintas frecuencias presentes en el sistema no lineal. La componente k del voltaje a través del diodo puede escribirse como:

$$V_{dk} = \frac{I_{ek} - (G_L.B(jw_k) + D(jw_k))\, I_{dk}}{G_L.A(jw_k) + C(jw_k)} \quad \ldots . \; 2$$

El modelo de realimentación de la Fig.2 es una reformulación matemática de la ecuación 2, donde N_k representa el operador no lineal.

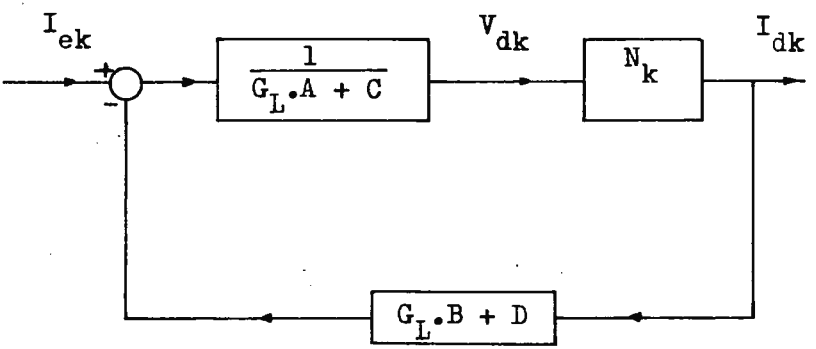


Fig. 2

Los voltajes y corrientes asociados al operador no lineal se pueden expresar en el domínio del tiempo como:

Fundación Juan March (Madrid)

$$v_d(t) = \sum_{k=o} \left|V_{dk}\right| \cos(w_k t + \theta_k) \quad \ldots . 3$$

$$i_d(t) = \sum_{k=o} \left|I_{dk}\right| \cos(w_k t + \varphi_k) \quad \ldots . 4$$

Para la componente k, el operador no lineal puede ser sustituido por la función de transferencia :

$$N_k = \frac{\left|I_{dk}\right|}{\left|V_{dk}\right|} e^{j(\varphi_k - \theta_k)} \quad \ldots . 5$$

Las funciones N_k se denominan Funciones Descriptivas para múltiples señales sinusoidales de entrada, y N_k representa la admitancia no lineal del elemento activo a la frecuencia $w_k = 2.\pi.f_k$

La ecuación característica del modelo de realimentación viene dada por :

$$N_k \left(G_L.B(jw_k) + D(jw_k)\right) + G_L.A(jw_k) + C(jw_k) = 0 \quad . 6$$

$$N_k = -\frac{1}{L(jw_k)} \quad \ldots . 7$$

El término de la izquierda en la ecuación 7 está asociado al elemento activo, siendo en general una función de V_{dk} y w_k, mientras que el término de la derecha depende exclusivamente de los elementos pasivos del circuito.La

Fundación Juan March (Madrid)

ecuación 7 conduce a un conjunto infinito de ecuaciones no lineales para las distintas componentes armónicas w_k y como se muestra posteriormente representa la condición de conductancia y susceptancia netas nulas para cada frecuencia.

2.2.- Modo de operación L.S.A. Forma de onda del voltaje

Jeppesen y Jeppsson (5) consideran que un oscilador de relajación es extremadamente aduecuado para el modo L.S.A de operación, porque el oscilador alcanza su ciclo límite dentro de las primeras oscilaciones al ser conectado, evitando pues los problemas de acumulación de carga espacial. La característica I - V del dispositivo viene dada por :

$$I = G_o \frac{V + \frac{l.v_s}{\mu_o} \left(\frac{V}{V_A}\right)^4}{1 + \left(\frac{V}{V_A}\right)^4} \qquad \ldots . 8$$

donde l es la longitud activa del dispositivo, μ_o es la movilidad para bajos campos, v_s la velocidad de saturacion y $V_A = E_A.l$, siendo E_A un campo constante de 4 KV/cm

Existen determinadas condiciones que deben ser satisfechas tanto por el elemento activo como por la

Fundación Juan March (Madrid)

parte lineal del sistema para que la F.D. tenga plena aplicación. Las condiciones son:

a) La característica I - V del elemento no lineal es invariante con el tiempo.

b) El elemento no lineal no genera subarmónicos al aplicarle una señal sinusoidal a la entrada.

c) La parte lineal del sistema filtra los armónicos de orden superior, de forma que una cantidad muy pequeña es realimentada.

Una forma de onda de relajación no puede ser representada de un modo exacto mediante la consideración de una única señal sinusoidal. Jeppesen y Jeppsson muestran que el segundo armónico tiene la mayor significación en el modo L.S.A. siendo del orden del 45% de la amplitud del fundamental, mientras que el tercer armónico es inferior al 6%. Se puede representar entonces, la forma de onda de relajación a la entrada del elemento no lineal como:

$$v = V_1 \cos(wt) + V_2 \cos(2wt + \theta) \quad . . 9$$

Experimentalmente hemos comprobado que la amplitud del tercer armónico es muy pequeña en comparación con el segundo armónico para distintos circuitos y por tanto la

Fundación Juan March (Madrid)

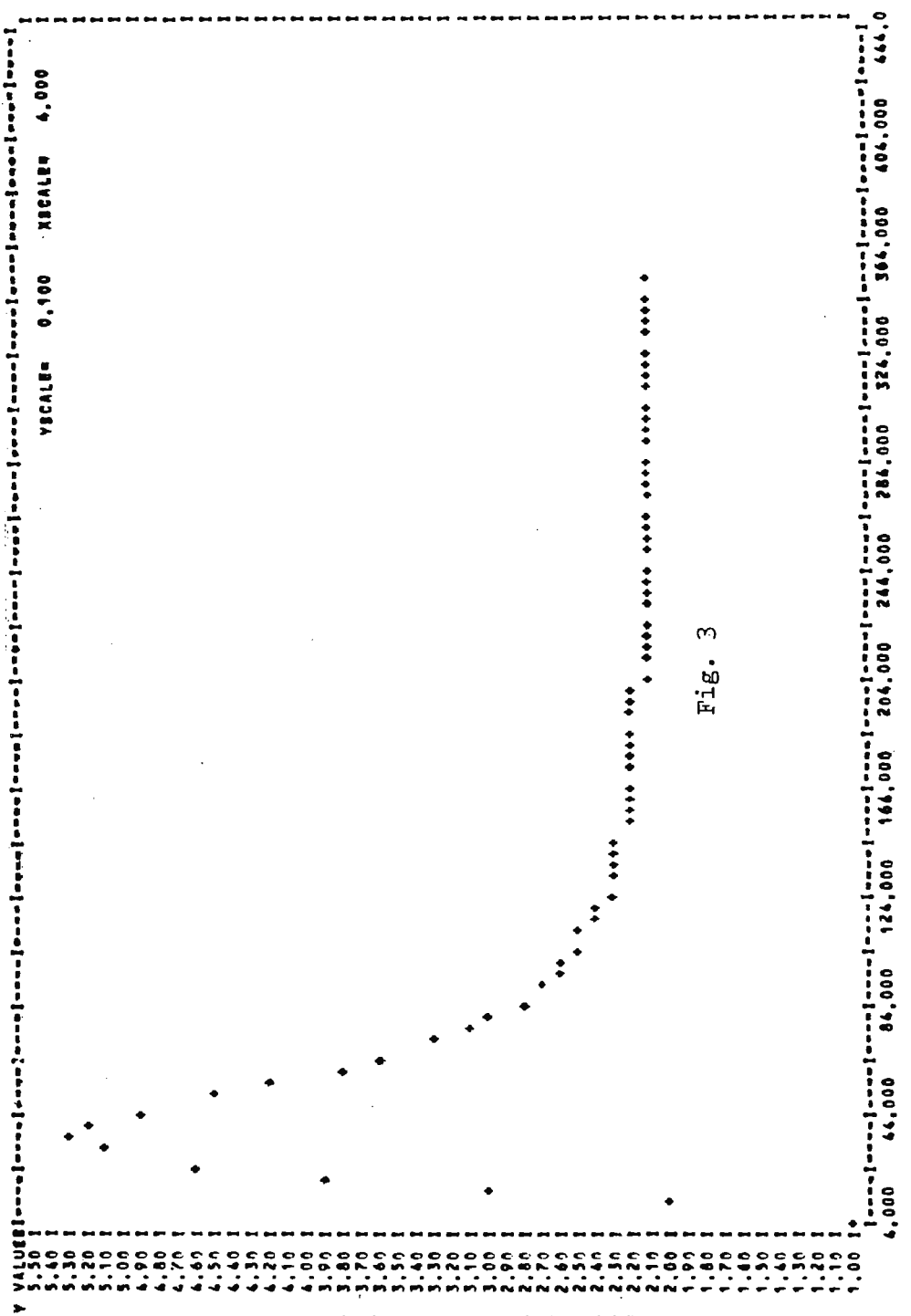


Fig. 3

Fundación Juan March (Madrid)

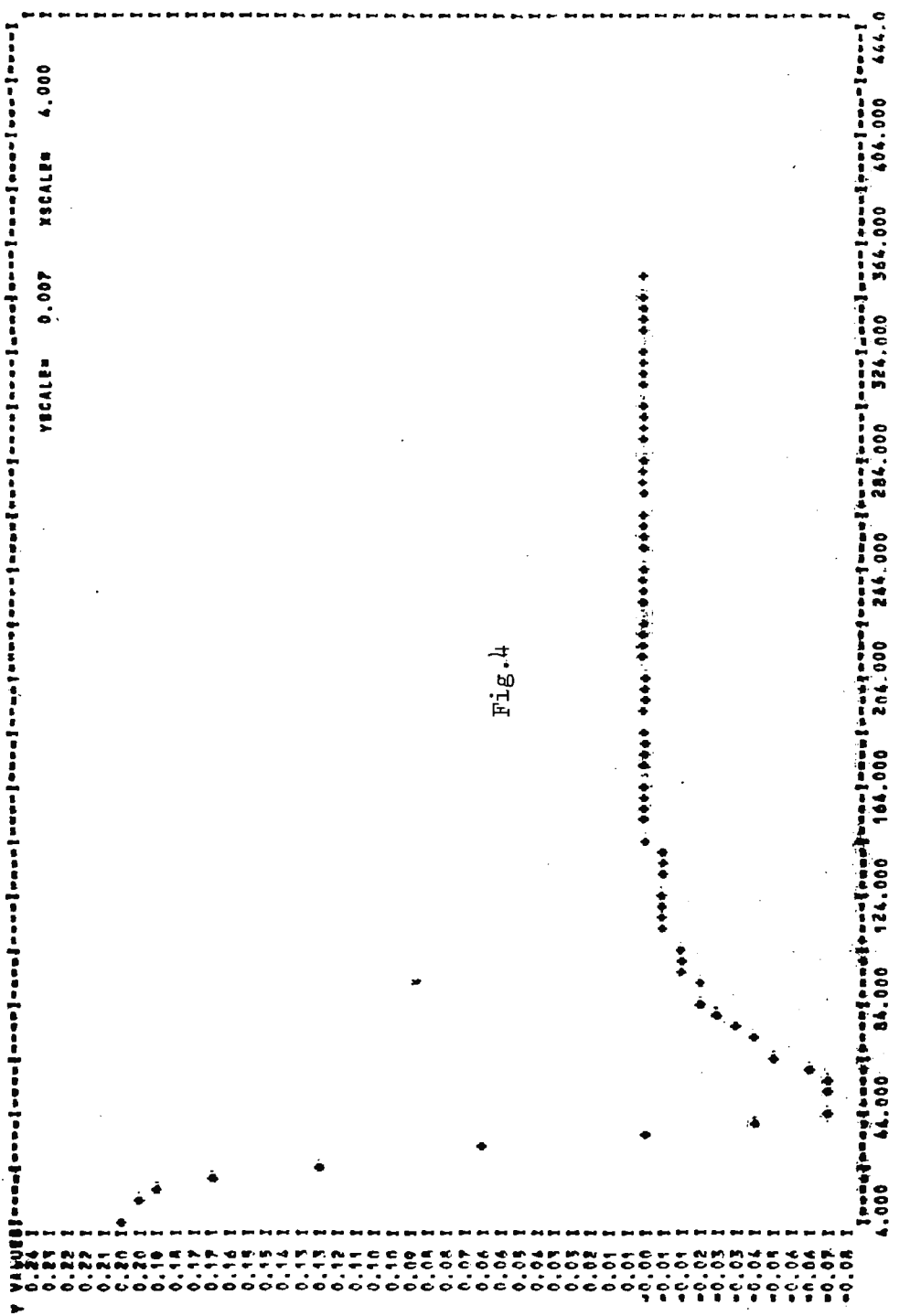


Fig.4

Fundación Juan March (Madrid)

acción de filtraje por la parte lineal del sistema es suficiente para obtener una buena aproximación.

El elemento no lineal es invariante con el tiempo y consideramos que en el domínio del tiempo la variación de corriente alrededor del punto de polarización es una función univaluada de la variación del voltaje alrededor de este mismo punto. Para una señal de entrada descrita por la ecuación 9, el sistema de ecuaciones no lineales que definen el punto de operación es :

$$N_w \, L(jw) + 1 = 0 \qquad \ldots . \; 10$$

$$N_{2w} \, L(j2w) + 1 = 0 \qquad \ldots . \; 11$$

La solución de este sistema de ecuaciones determinan V_{1o}, V_{2o}, w_o y θ. La consideración del angulo θ hace que N_w y N_{2w} sean complejas por lo son cuatro ecuaciones a resolver simultáneamente.

En este estudio hemos utilizado el método iterativo desarrollado por Powell (6) por ser éste algoritmo más eficiente que los demás. Sin embargo una deficiencia de éste método iterativo es que requiere una estimación inicial de la posición de la solución. Es de destacar como ventaja fundamental, la posibilidad de determi

Fundación Juan March (Madrid)

nar la línea del dispositivo para pequeñas desviaciones - alrededor del punto de operación.

2.3.- Línea del dispositivo. Lugar de impedancia.

La ecuación 7 puede ser resuelta utilizando un método grafico, dibujando el lugar de admitancia o impedancia del circuito L(jw) y la línea del dispositivo $N_k(V_{dk})$ La intersección de ambas lineas determina el punto de operación como se muestra en la Fig.5.

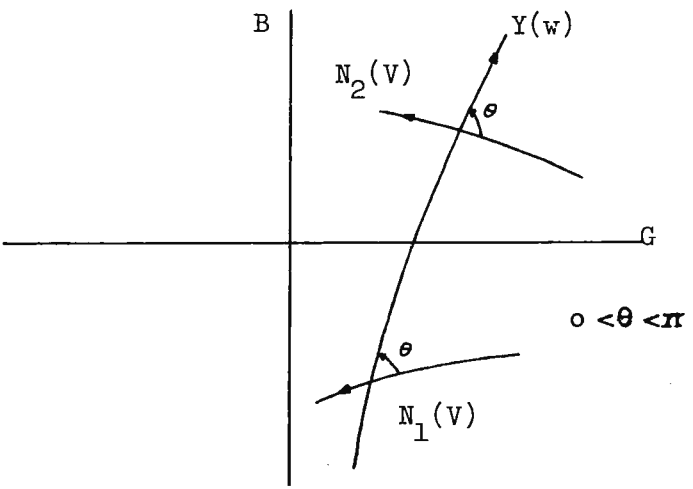


Fig. 5

Para una señal del tipo $v = V_1\cos(wt)$, la línea del dispositivo está unívocamente determinada, a cada valor de G_L le corresponde un único valor de la amplitud del voltaje V_1. Sin embargo cuando más de una componente es con-

Fundación Juan March (Madrid)

siderada, para cada valor de G_L existen valores de V_1 y V_2 y θ espeficos. Es posible representar $N_w(V_1)$ y $N_{2w}(V_2)$ en el plano (G, jB), donde V_1 y V_2 están relacionados por la característica I - V del elemento activo y el circuito de acoplo.

Se pueden obtener diferentes puntos de operación modificando las condiciones de carga del circuito y por tanto determinar la línea del dispositivo, con tal de que el oscilador continue oscilando en la transición de un punto a otro.

2.4.- Estabilidad de las soluciones.

Kurokawa (7) y Kenyon (8) han estudiado las condiciones de estabilidad para un circuito no lineal de microondas donde la señal de entrada es del tipo $v = V_1\cos(wt+\theta)$. Cuando la señal de entrada contiene más componentes que el fundamental, encontramos que las mismas condiciones de estabilidad han de ser satisfechas por cada componente armónica. El conjunto de ecuaciones no lineales puede ser escrito como:

$$U_1(A_{1o},A_{2o},w_o) + jV_1(A_{1o},A_{2o},w_o) = 0 \quad . . 12$$

$$U_2(A_{1o},A_{2o},w_o) + jV_2(A_{1o},A_{2o},w_o) = 0 \quad . . 13$$

Fundación Juan March (Madrid)

donde

$$U_i = Re(N_{wi}.L(jwi) + 1) \quad \ldots 14$$

$$V_i = Im(N_{wi}.L(jwi) + 1) \quad \ldots 15$$

Para una pequeña perturbación alrededor del punto de operación :

$$A_{1o} \rightarrow A_{1o} + \Delta A_1 \quad \ldots 16$$

$$A_{2o} \rightarrow A_{2o} + \Delta A_2 \quad \ldots 17$$

$$w_o \rightarrow w_o + \Delta w + j\Delta\sigma \quad \ldots 18$$

$$\theta_o \rightarrow \theta_o + \Delta\theta \quad \ldots 19$$

las condiciones de estabilidad para el fundamental y segundo armónico vienen dadas por:

$$\frac{\partial U_1}{\partial A_1}\frac{\partial V_1}{\partial w} - \frac{\partial U_1}{\partial w}\frac{\partial V_1}{\partial A_1} > 0 \quad \ldots 20$$

$$\frac{\partial U_2}{\partial A_2}\frac{\partial V_2}{\partial w} - \frac{\partial U_2}{\partial w}\frac{\partial V_2}{\partial A_2} > 0 \quad \ldots 21$$

Estas ecuaciones son equivalentes a las presentadas por Kurokawa, sin embargo vemos que para obtener un punto de operación estable ambas componentes de la señal han de verificar la condición de estabilidad. La interpretación gráfica de las ecuaciones 20 y 21 se muestra en la Fig.5.

Desde el punto de vista de estabilidad es muy

Fundación Juan March (Madrid)

útil por tanto determinar la línea del dispositivo. Las ecuaciones 10,11,20 y 21 son más restrictivas que para el caso más sencillo de considerar únicamente el fundamental y que ha sido hasta ahora el más extensamente estudiado.

1,2 - Somerville,M.J. and Atherton,D.P. Proc. IEE Vol.8 pp. 547-549 (1958)

3,4 - Gelb,A. and W.E.van der Velde "Multiple Input D.F." McGraw-Hill 1968

5 - Jeppesson,P. and Jeppsson,B.J. Proc.IEEE Trans. E.D. vol 18. pp 439-449 (1971)

6 - Powell,M.J.D. Computer Journal. Vol.5 No.2. pp 147-151. (1968)

7 - Kurokawa,K. Bell System Tech. Journal.pp 1937-1955 (1969)

8 - Kenyon,N.D. Bell System Tech. Journal.pp 255-273 (1970)

RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1.- Circuito de una sola resonancia.

En el circuito de una sola resonancia de la Fig.6, el empleo de la F.D sinusoidal ($v = V_1 \cos(wt)$) conduce a los mismos resultados obtenidos por Hines (1)

Fundación Juan March (Madrid)

Fig(7). Para un elevado valor de la conductancia de carga G_L, cesa toda oscilación al no satisfacerse la condición para osciladores de resistencia negativa $|G_d| \geq G_L$. Para una señal de entrada del tipo $v = V_1 \cos(wt) + V_2 \cos(wt.2 + \theta)$ y muy altos valores de G_L la forma de onda del voltaje tiende a ser sinusoidal en lugar de relajación. Bajo éstas condiciones el dispositivo activo opera en un modo de tránsito de domínios o eliminación parcial de domínios y muestra significativas variaciones en la fase de la admitancia total debido a los efectos de la susceptancia no lineal. La Fig.8 muestra la forma de onda para estos valores de G_L cuando el segundo armónico está presente en la señal de entrada al elemento no lineal.

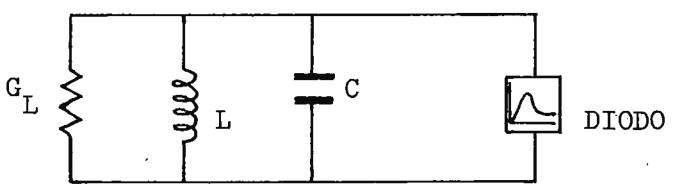


Fig. 6

La operación en L.S.A comienza cuando el valor medio de la conductancia en un ciclo completo de RF es mayor o igual a cero ($\overline{G} \geq 0$) y para un circuito de una sola reso

Fundación Juan March (Madrid)

nancia, la potencia de salida decrece para valores crecientes de la amplitud del voltaje. La Fig. 9b muestra la variación de la admitancia del circuito experimental de la Fig.9a en el plano de referencia donde está situado el diodo. La transición entre los diferentes puntos de operación es perfectamente estable como se observa en la Fig. 10, para diferentes posiciones del corto variable (plunger). La potencia de salida para el segundo armónico es muy pequeña ($\leq$1 W peak) comparada con el fundamental (19 W peak). El circuito de la Fig.6 es una buena aproximación del diseño experimental como se observa en la Fig. 11 para diferentes condiciones de carga y la F.D. demuestra ser particularmente útil en el diseño de circuitos simples de una sola resonancia.

Las condiciones de conductancia y susceptancia neta igual a cero son fácilmente derivadas de la ecuación característica del sistema :

$$N_{wk}\ L(jw_k) + 1 = 0 \qquad \ldots\ldots 22$$

Para este circuito :

$$L(jw_k) = \left(G_L + j\left(w_k.C - \frac{1}{w_k.L}\right)\right)^{-1} \qquad . 23$$

Sustituyendo 23 en ecuación 22 se tiene:

Fundación Juan March (Madrid)

$$N_{wk} + G_L + j\left(w_k \cdot C - \frac{1}{w_k \cdot L}\right) = 0 \qquad \ldots\ldots 24$$

Para una señal $v = V_1 \cos(wt)$:

$$N_w = U + j\,V \qquad \ldots\ldots 25$$

donde U y V representan las partes real e imaginaria de la admitancia del elemento activo. Sustituyendo 25 en 24 y separando partes real e imaginaria se tiene :

$$U + G_L = 0 \qquad \ldots\ldots 26$$

$$V + wC - \frac{1}{w.L} = 0 \qquad \ldots\ldots 27$$

Así pues las condiciones de oscilacion son:

$$-G_{diodo} + G_{circuito} = 0$$

$$-B_{diodo} + B_{circuito} = 0$$

La solución del sistema de ecuaciones 26 y 27 determinan el punto de operación.

3.2.-Circuitos de resonancia múltiple.

Para el estudio de un circuito de resonancia múltiple, es necesario emplear Funciones Descriptivas para múltiples señales de entrada. El modelo experimental que hemos diseñado para éste estudio posee facilidades de sintonía para el fundamental y segundo armónico, siendo posible sintonizar el circuito para máxima potencia de sa-

Fundación Juan March (Madrid)

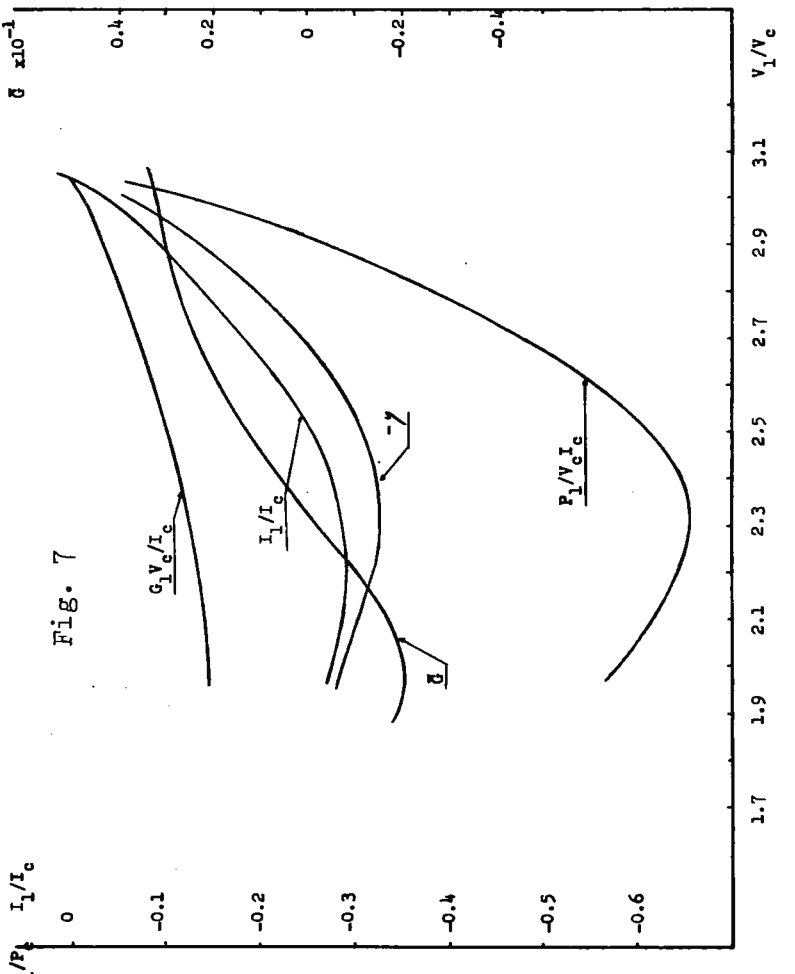


Fig. 7

Fundación Juan March (Madrid)

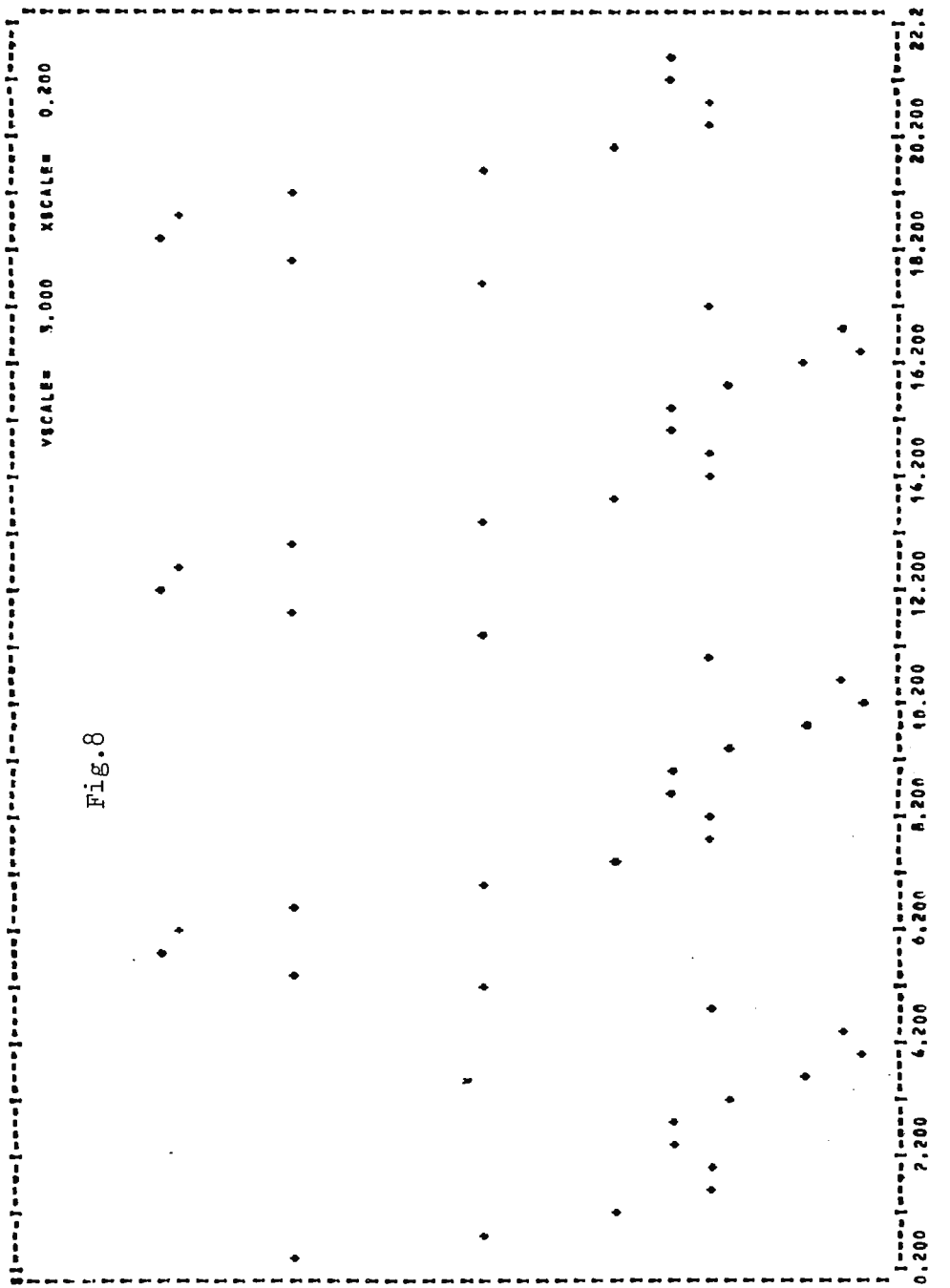


Fig.8

Fundación Juan March (Madrid)

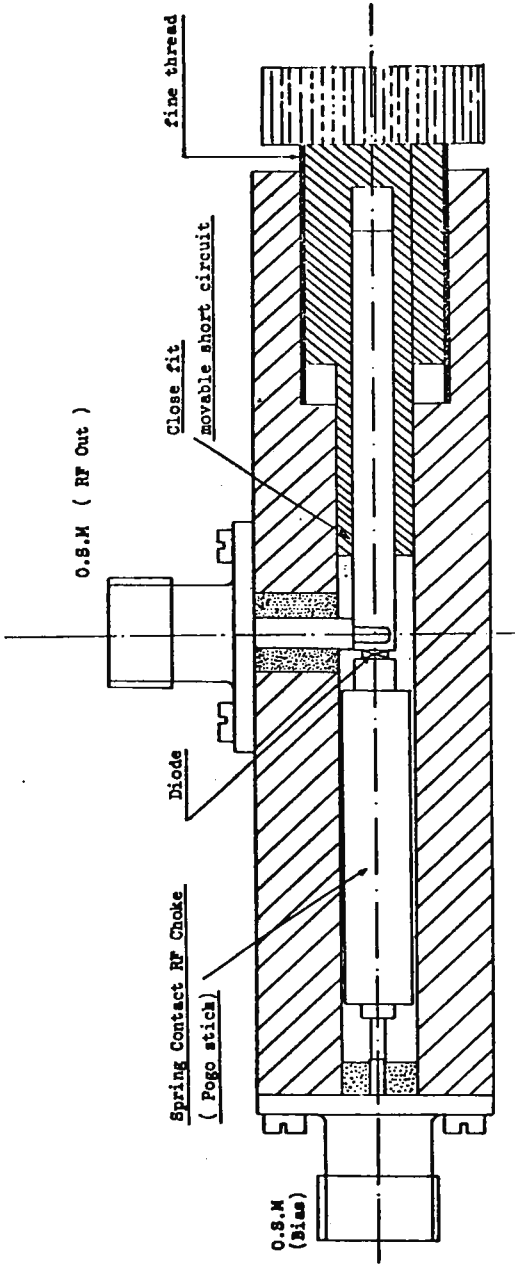
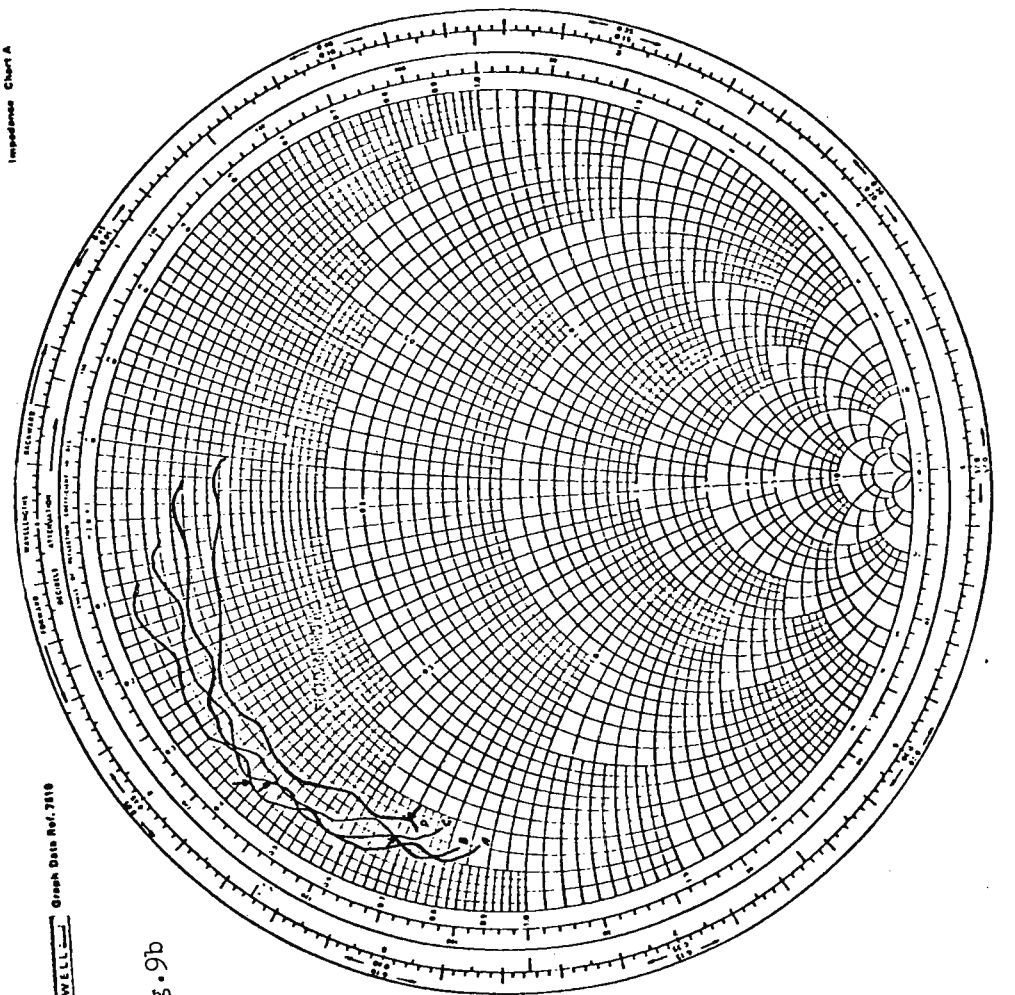


Fig.9a

Fundación Juan March (Madrid)



ig.9b

Fundación Juan March (Madrid)

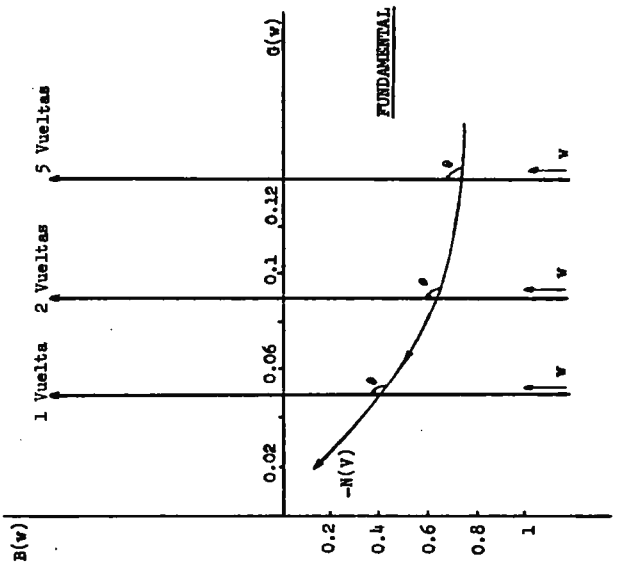


Fig.10

Fundación Juan March (Madrid)

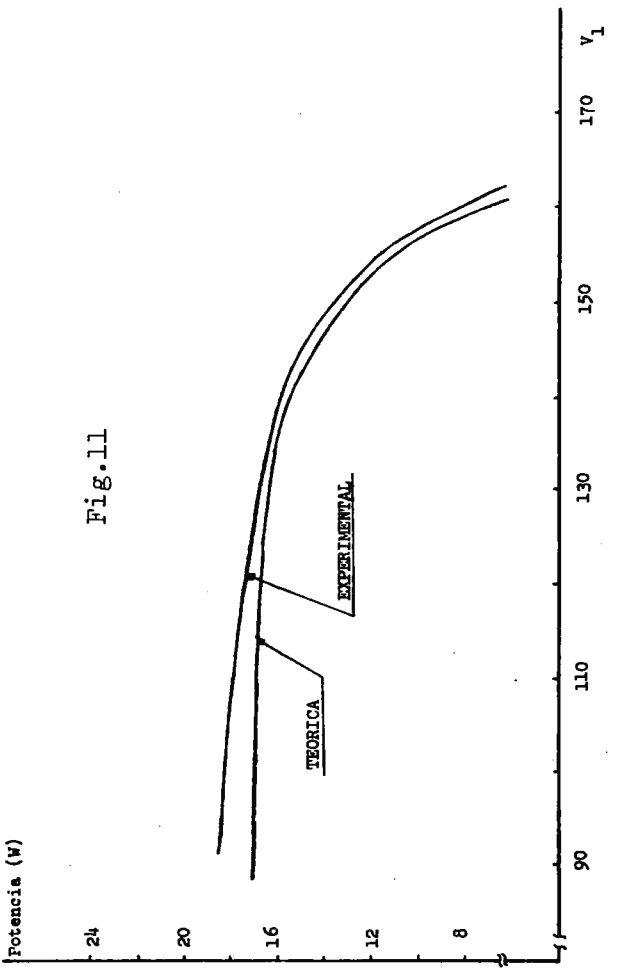


Fig.11

Fundación Juan March (Madrid)

lida a la frecuencia fundamental y mínima para el segundo armónico y viceversa. No hay una apreciable potencia de salida para el tecer armónico en todos los resultados experimentales. En el modelo teórico no se han impuesto restricciones sobre ninguna componente de frecuencia haciendo más general el presente estudio.

3.3 - Circuito de doble resonancia.

La adición de un circuito serie L_2C_2 en el circuito paralelo original L_1C_1 como se muestra en la Fig.12 conduce a distintas situaciones todas ellas de interés. La frecuencia resonante es la misma para ambos circuitos.

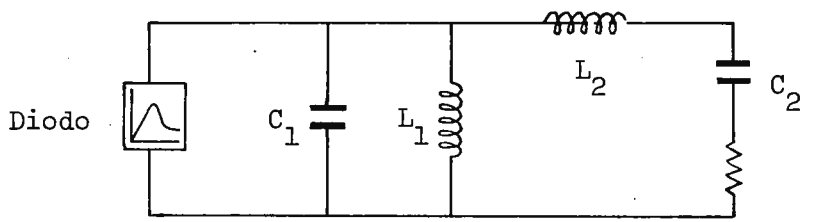


Fig. 12

Definiendo $Q_1 = w_o \cdot C_1 \cdot R_L$ 28

$Q_2 = w_o \cdot L_2 \cdot G_L$ 29

$b = B \cdot G_L$ 30

se tiene :

Fundación Juan March (Madrid)

$$\left.\frac{\partial b}{\partial w}\right|_{w_o} = 2 \cdot C_1 \cdot R_L - 2 \cdot L_2 \cdot G_L = \frac{2}{w_o} \left(Q_1 - Q_2 \right) \quad . 31$$

La susceptancia del circuito serie tiende a compensar la del circuito paralelo original para valores $w = w_o$. El factor Q efectivo a w_o es la diferencia $Q_1 - Q_2$ que puede hacerse tán pequeña como se desee. La matriz de transmisión para el circuito de acoplo está dada por :

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^2 L_1 C_2 + 2w^2 L_2 C_2 - (w^2 L_1 C_1)^2 - 1 & j(wL_2 - \frac{1}{wC_2}) \\ j(wC_1 - \frac{1}{wL_1}) & 1 \end{bmatrix}$$

siendo la ecuación característica del modelo de realimentación :

$$N_{wk} \frac{j(w_k L_2 - \frac{1}{w_k C_2}) G_L + 1}{G_L \frac{w^2 L_1 C_2 + 2w^2 L_2 C_2 - (w^2 L_1 C_1)^2 - 1}{w^2 L_1 C^2} + j(w_k C_1 - \frac{1}{w_k L_1})} +$$

$$+ 1 = 0 \quad \ldots . 33$$

Las condiciones de oscilación son:

$$N_w = D_1 + j\, D_2 \quad \ldots . 34$$

$$N_{2w} = D_3 + j\, D_4 \quad \ldots . 35$$

Fundación Juan March (Madrid)

$$D_1 = -G_L \,/\, \left(1+G_L^2 \,(wL_2 - 1/wC_2)^2 \right) = - G_{circuito} \quad \ldots 36$$

$$D_2 = \left(-(wC_1 - 1/wL_1) + G_L^2 \,(wL_2 - 1/wC_2)\left(1-(wL_2 - 1/wC_2)(wC_1 - 1/w\cdot L_1)\right)\right)/\left(1+G_L^2 (wL_2 - 1/wC_2)^2\right) = -B_{circuito} \quad \ldots 37$$

Las mismas condiciones se verifican para el segundo armónico:

$$D_3 = - G_{2w\ circuito}$$

$$D_4 = - B_{2w\ circuito}$$

Para el caso $Q_2 > Q_1$, el lugar de admitancia presenta un loop y por tanto existen distintos posibles puntos de operación al haber varias intersecciones entre la línea del dispositivo y el lugar de admitancia como se muestra en la Fig.13. Los puntos A y O son estables, mientras que el punto B no satisface el critério de estabilidad $0 < \theta < \pi$. El elemento activo no puede operar con tal alto valor para la conductancia en el punto B. Sin embargo, suponiendo que la conductancia del diodo alcanzara este valor, caulquier pequeña desviación alrededor de éste punto B hará que la amplitud del voltaje a través del diodo aumente, moviendose hacia el punto de operación A. La región entre O' y B es inestable (en ésta región la

Fundación Juan March (Madrid)

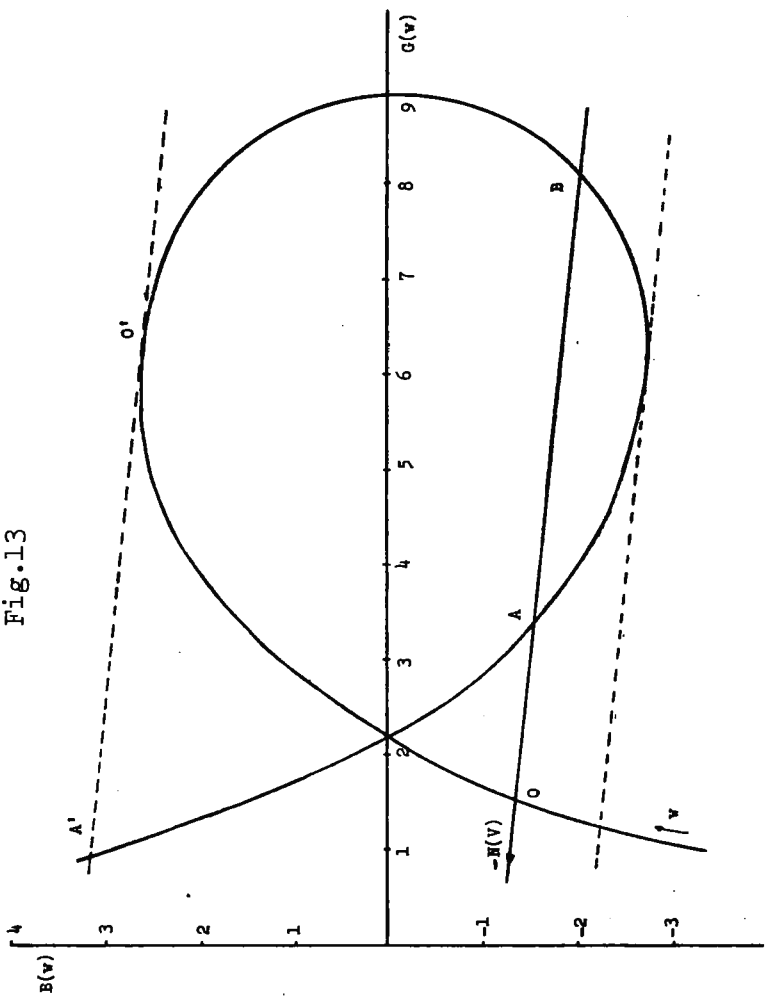


Fig.13

Fundación Juan March (Madrid)

línea del dispositivo es tangente en O' y B).Sintonizando el circuito (disminuyendo el valor de L_1), la frecuencia de operación cambia de O a O' con un salto posterior al punto A'. Aumentando el valor de L_1, la frecuencia disminuye al punto A, saltando posteriormente a O. La oscilación cesa si el circuito se carga con una conductancia muy elevada.

Un circuito de doble resonancia suministra un buen conocimiento de cómo se selecciona el punto de operación, sin embargo en casos prácticos con facilidades de sintonía en el circuito, no constituye una buena aproximación. En este tipo de circuito el lugar de admitancia para el segundo armónico es una función univaluada de w mientras que en el modelo experimental existen múltiples loops tanto para el fundamental como para el segundo armónico. Debemos pues considerar un circuito multiresonante para un estudio más detallado del segundo armónico.

3.4. - Circuito de resonancia múltiple.

El modelo de resonancia múltiple de la Fig. 14 constituye una buena aproximación a nuestro modelo experimental. Las conductancias de carga para el fundamental

Fundación Juan March (Madrid)

y segundo armónico son distintas perimitiendo mayor flexibilidad en el estudio de su comportamiento bajo distintas condiciones de carga.

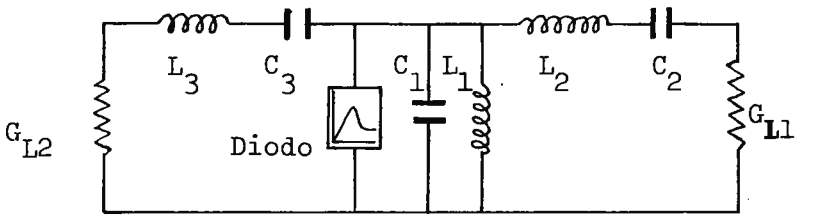


Fig.14

El voltaje a través del elemento activo viene dado por:

$$V_{dk} = (I_{ek} - (D_1 + B_1 G_{L2}) I_{dk} / (C_1 + A_1 G_{L2})(1 - Tt) \quad . .38$$

donde;

$$T = (A_2 G_{L1} + C_2) / (B_2 G_{L1} + D_2) \quad . .39$$

$$t = (B_1 G_{L2} + D_1) / (C_1 + A_1 G_{L2}) \quad . .40$$

y(A_1, B_1, C_1, D_1) , (A_2, B_2, C_2, D_2) corresponden a lods dos circuitos de acoplo asociados con el diodo. La ecuación característica del modelo de realimentación es:

$$N_k (D_1 + B_1 G_{L2}) / (1 - Tt)(C_1 + A_1 G_{L2}) + 1 = 0 \quad .41$$

donde N_k es la F.D. para la componente w_k. Para una se-

Fundación Juan March (Madrid)

ñal de entrada del tipo $v = V_1\cos(wt) + V_2\cos(2wt+\theta)$, existen cuatro ecuaciones no lineales a resolver simultáneamente para obtener el punto de operación (V_{1o}, V_{2o}, w_o, θ_o). La Fig.15a muestra los resultados por ordenador para el circuito de la Fig.14. Los tres diferentes loops en el lugar de admitancia corresponden a diferentes condiciones de carga. Observamos en la Fig. 15b para el segundo armónico, que al no modificar la conductancia de carga a ésta frecuencia, la variación es pequeña. La Fig.15c demuestra inmediatamente que mientras que la admitancia total para el fundamental es inductiva, es capacitiva para el segundo armónico.

Para máxima potencia de salida a la frecuencia fundamental vemos que ocurre para valores relativamente altos de la conductancia. Vemos en la Fig. 15a que ésta condición de máxima potencia de salida ocurre cerca del límite de estabilidad, por lo que el ruido puede tener un efecto considerable. A la frecuencia fundamental la susceptancia presenta un valor cerca del mínimo posible para cada loop en consideración. Este valor de la susceptancia y el alto valor de la conductancia aseguran una alta potencia de salida al fundamental.

Fundación Juan March (Madrid)

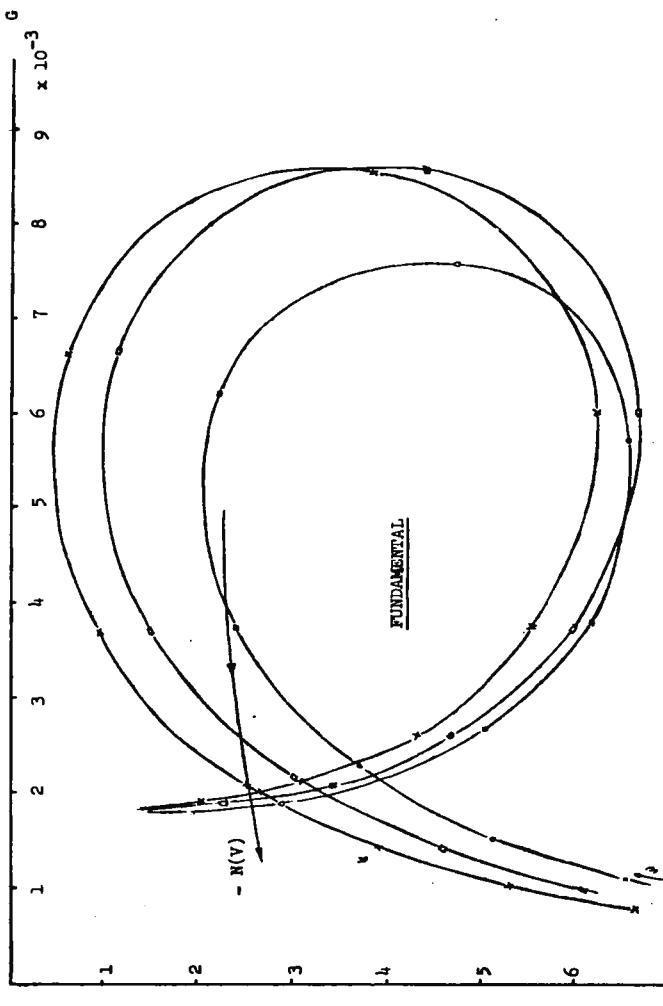


Fig.15a

Fundación Juan March (Madrid)

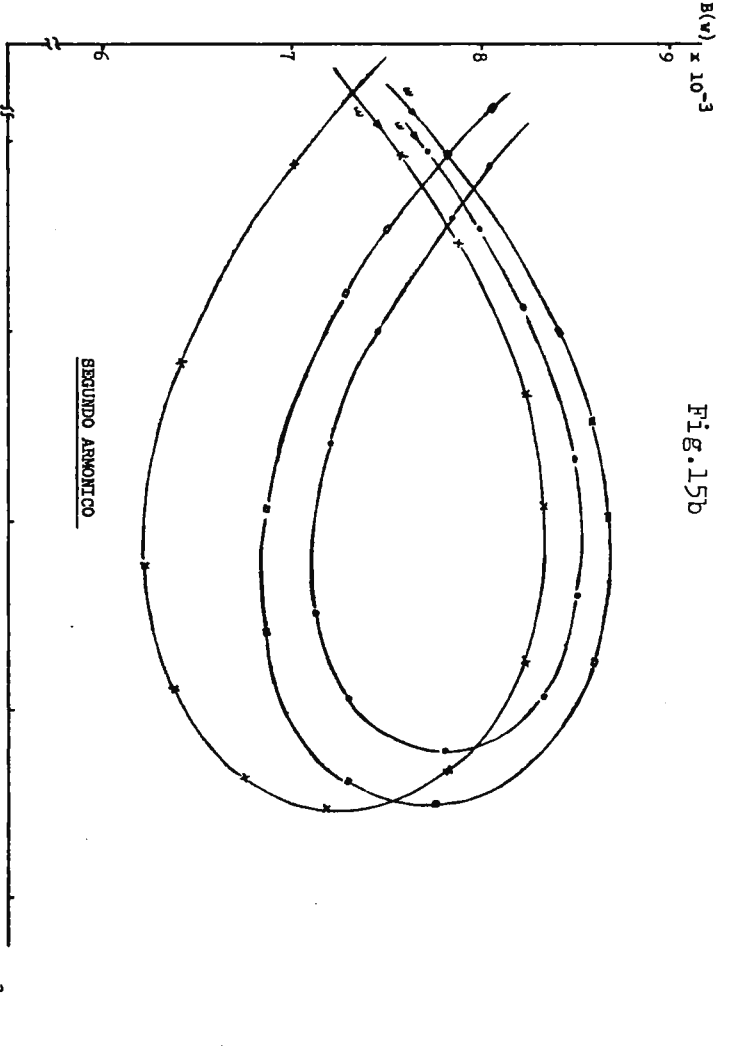


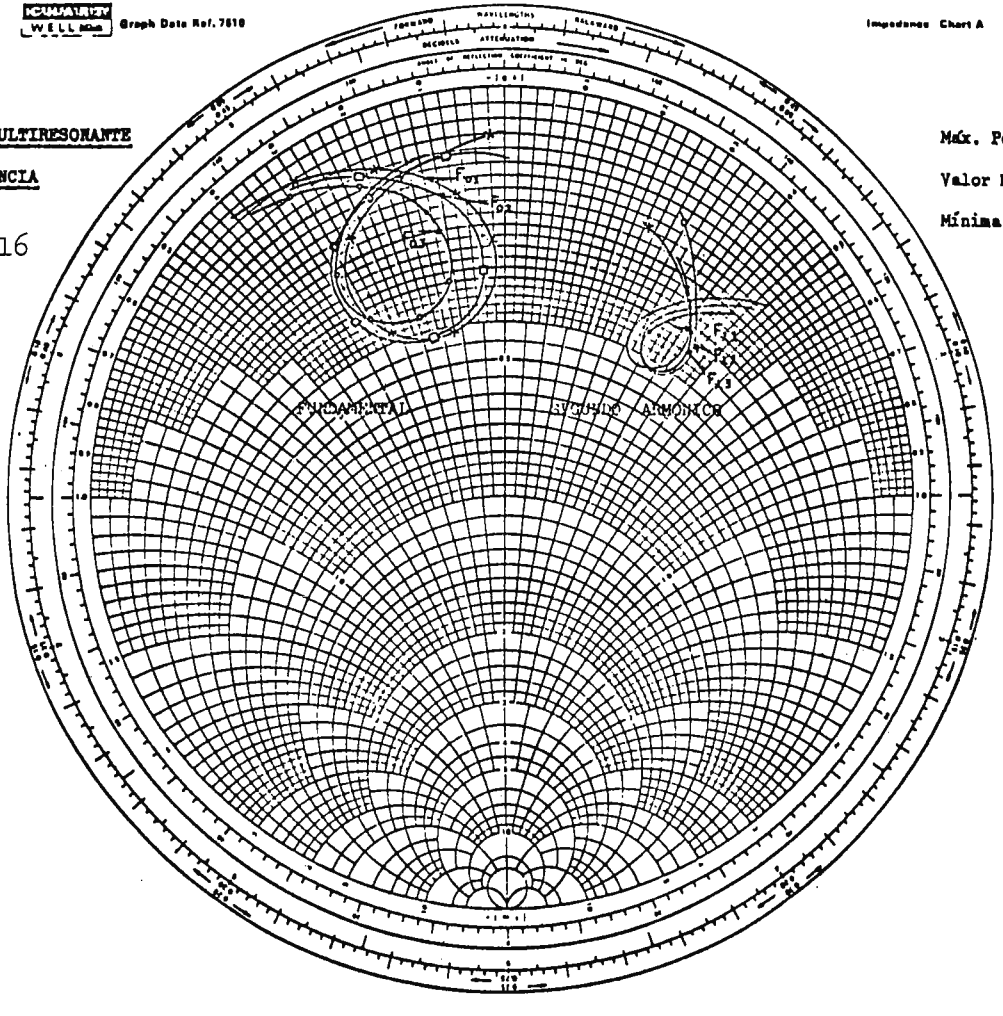
Fig.15b

Fundación Juan March (Madrid)

CIRCUITO MULTIRESONANTE

ADMITANCIA

Fig.16



Fundación Juan March (Madrid)

Para el tipo de señal que estamos considerando, Grozskowsky (2), van der Pol (3) y más recientemente Quine(4) han mostrado que para que la característica I - V del elemento activo no presente ningún ciclo de histéresis durante un ciclo completo de RF, las componentes armónicas han de satisfacer la condicion :

$$\sum n \left|V_n\right|^2 B_n = 0 \qquad \ldots . 42$$

es decir :

$$V_1^2 B_1 + 2 V_2^2 B_2 = 0 \qquad \ldots . 43$$

Los resultados por ordenador muestran un perfecto acuerdo con la ecuación 43. Al no imponer ninguna restricción sobre el segundo armónico, los valores de la susceptancia son los esperados de acuerdo con la relación:

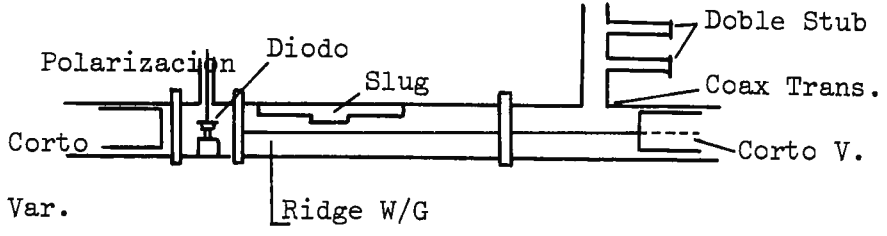
$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{2B_2}{B_1}} \qquad \ldots . 44$$

3.5.- Modelo experimental.

La Fig.17 muestra el diseño experimental de un circuito multiresonante. El diodo está colocado en un iris rectangular y la carga es conectada mediante una guía de ondas ridge en banda S. El ajuste de admitancia

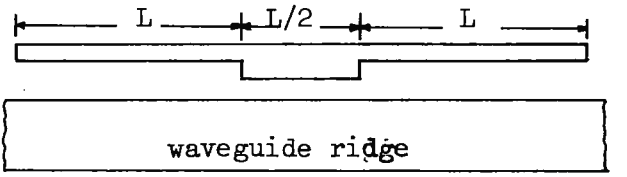
Fundación Juan March (Madrid)

Fig.17



Fundación Juan March (Madrid)

a la frecuencia fundamental se realiza mediante un doble stub coaxial en la transición guia/coax de salida. El ajuste para el segundo armónico es mediante un cortocircuito variable junto con un slug en la guía de ondas ridge. Este slug se muestra en la Fig. 16 y esta diseñado para presentar un alto valor de VSWR al segundo armónico, mientras que es transparente al fundamental. La sintonía para el segundo armónico está pues localizada en las proximidades del diodo.



$L = \lambda/4$ a la frecuencia fundamental

Fig.16

Para un voltaje de polarización fijo, el circuito fué ajustado para obtener máxima potencia de salida en el fundamental y las potencias para los distintos armónicos fueron asimismo, medidas. Una vez determinados éstos valores para distintas condiciones de carga del circuito, el

Fundación Juan March (Madrid)

diodo fué reemplazado por una línea de prueba, sin modificar ninguno de los elementos de ajuste, y se determinó la admitancia presentada al diodo en su plano de referencia utilizando un Analizador de Redes HP 8410. Una atención especial se puso en la determinación exacta del plano de referencia en el cual se observó la admitancia.

El lugar de admitancia para el fundamental y segundo armónico, ya transformado a través del embalaje S4 en el que se encuentra montado el diodo, se muestra en la Fig. 18. Teniendo en cuenta que el circuito fué sintonizado previamente al fundamental, observamos que la conductancia a esta frecuencia es bastante elevada, siendo por el contrario mínima para el segundo armónico. La susceptancia es casi la mínima posible dentro del loop de admitancia. Para éste lugar de máxima potencia de salida la línea del dispositivo es casi tangente y se observaron fluctuaciones en el pulso de polarización (respuesta), indicando la posible presencia de ruido en la oscilación.

La Fig.19 muestra el lugar de admitancia para distintos valores del voltaje de polarización. Las transiciones de un punto de operación a otro son perfectamente estables. Los resultados para máxima potencia de sali

Fundación Juan March (Madrid)

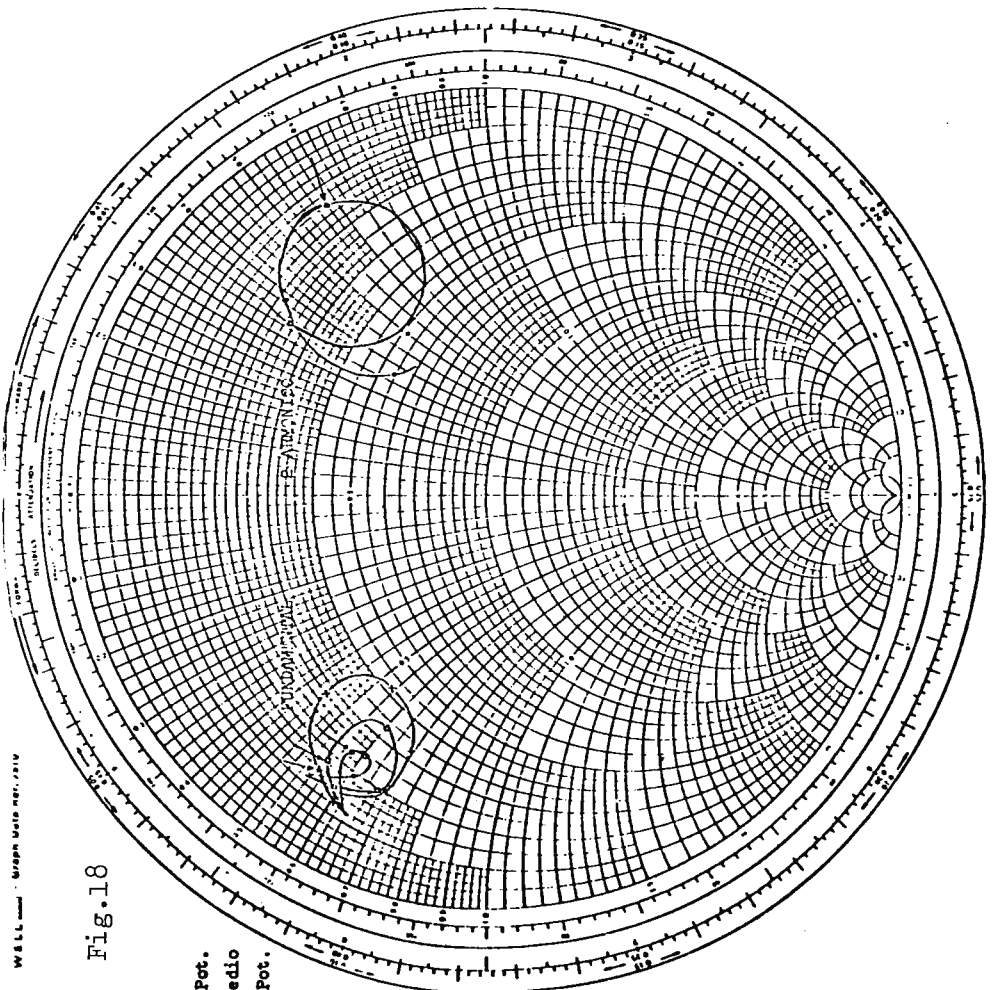


Fig.18

Fundación Juan March (Madrid)

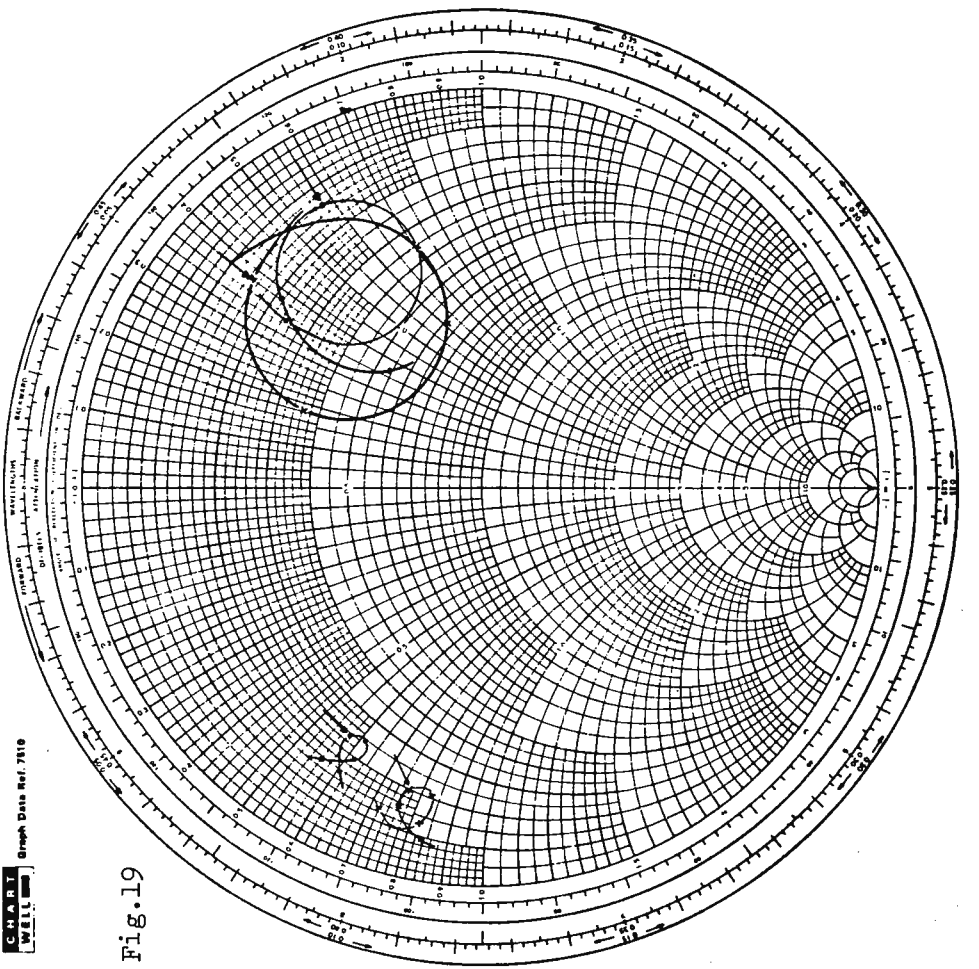


Fig.19

Fundación Juan March (Madrid)

da para el segundo armónico se muestran en la Fig.20. El fundamental no presenta ninguna resonancia por lo que hemos representado sólamente el valor de su admitancia a la frecuencia de operación. Las mismas condiciones para la conductancia y susceptancia se observan en este caso. Asimismo, en la Fig.20 se muestra el lugar de admitancia del segundo armónico para el caso de no oscilación, observándose los altos valores de conductancia y susceptancia presentados al diodo. La variación de potencia y conductancia en función de la amplitud del voltaje para el fundamental sintonizado para máxima potencia de salida se muestra en la Fig. 21.

La potencia y la conductancia aumenta para valores crecientes de la amplitud del voltaje. En comparación con el caso de un circuito de una sola resonancia, vemos que esta variación corresponde al lado izquierdo de las curvas de la Fig.7. El diodo está operando en L.S.A. y el segundo armónico en un circuito multiresonante tiene un definido efecto en el valor medio de la conductancia del dispositivo.

Se observó una gran variación de la potencia del fundamental para un pequeño cambio en la conduc-

Fundación Juan March (Madrid)

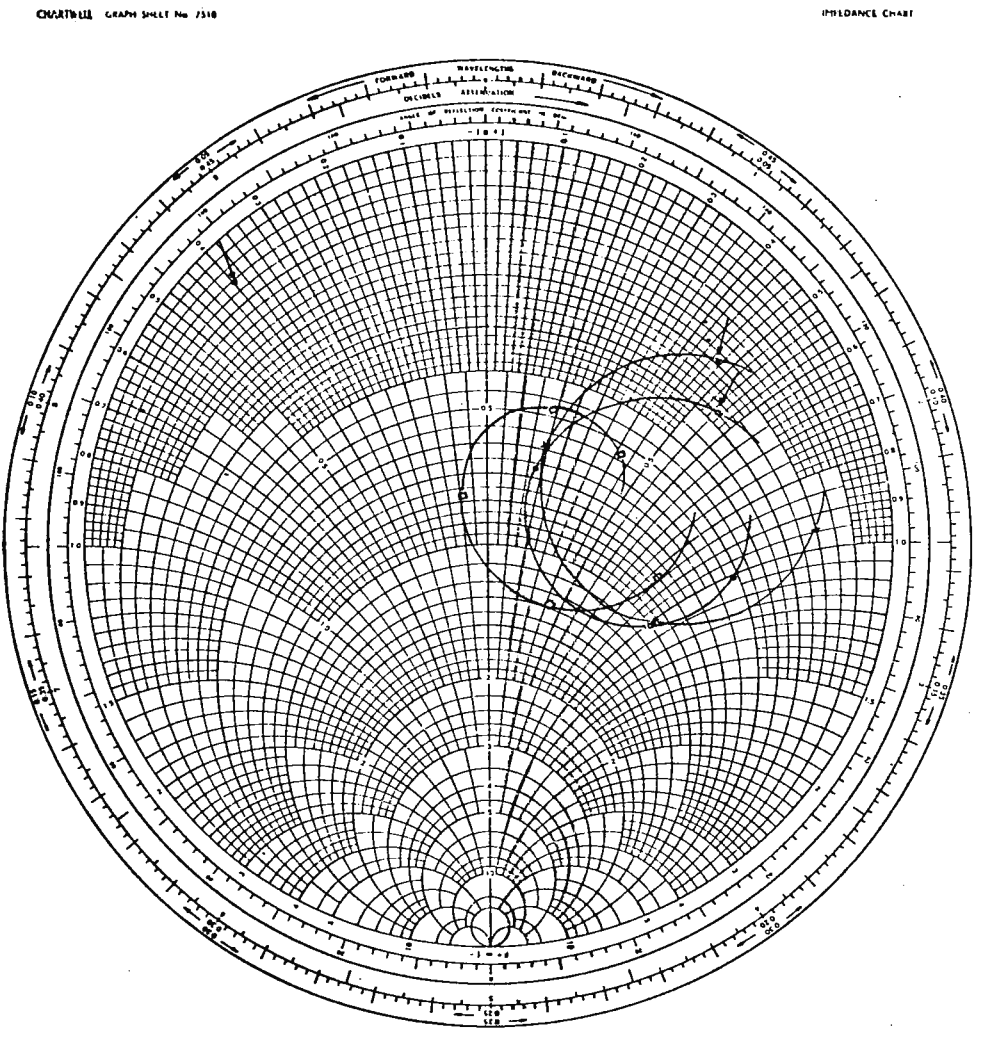


Fig.20

Fundación Juan March (Madrid)

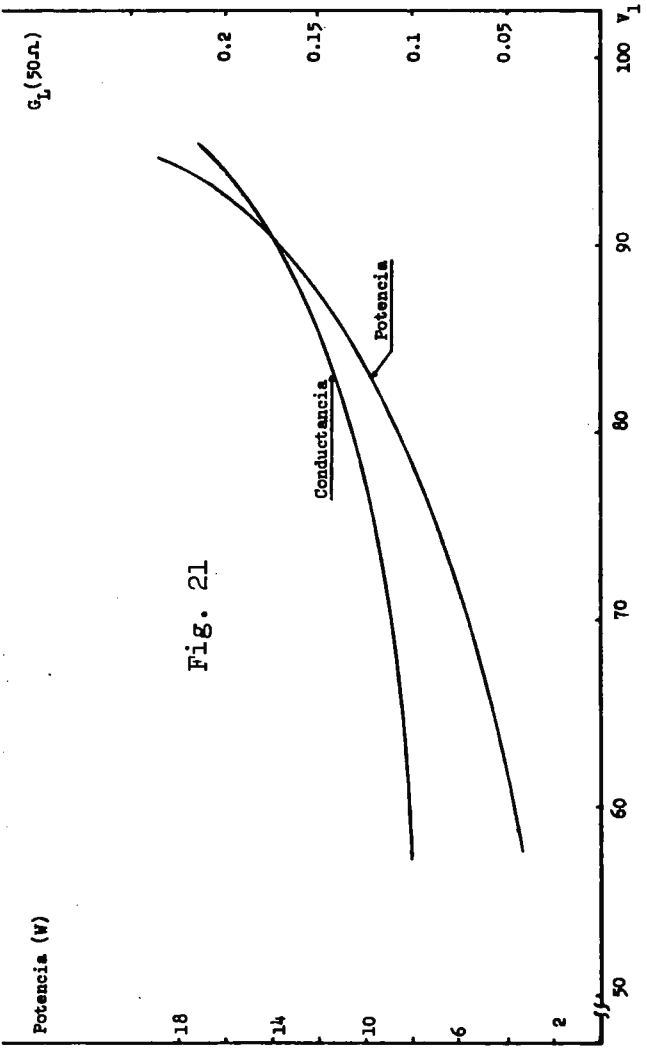


Fig. 21

Fundación Juan March (Madrid)

tancia. Sin embargo para valores inferiores del voltaje de polarización, esta variación no es tan acusada. Esto puede ser debido a que la amplitud del segundo armónico relativa al fundamental decrece a medida que se aumenta el voltaje de polarización y la forma de onda tiende a ser más sinusoidal. Esto se comprobó experimentalmente para varios valores de la polarización. La variación típica del modo L.S.A. de la frecuencia con el voltaje de polarización se muestra en la Fig.22.

---

1 - Hines,M.E. IEEE Trans E.D. Vol.17 No.1 pp 1-8. 1970

2 - Groszkowsky,J. Proc IRE Vol.21 No.7 pp 958-981 (1933)

3 - van der Pol,B. Proc. IRE Vol.22 No.9 pp 1051-1086 (1934)

4 - Quine,J.P. IEEE Trans. on MTT. Vol.20. No.6 pp 418-420. (1972)

4.1.- Conclusiones

La simulación teórica por ordenador y su comprobación por los resultados experimentales, conducen a varias conclusiones. La Función Descriptiva demuestra

Fundación Juan March (Madrid)

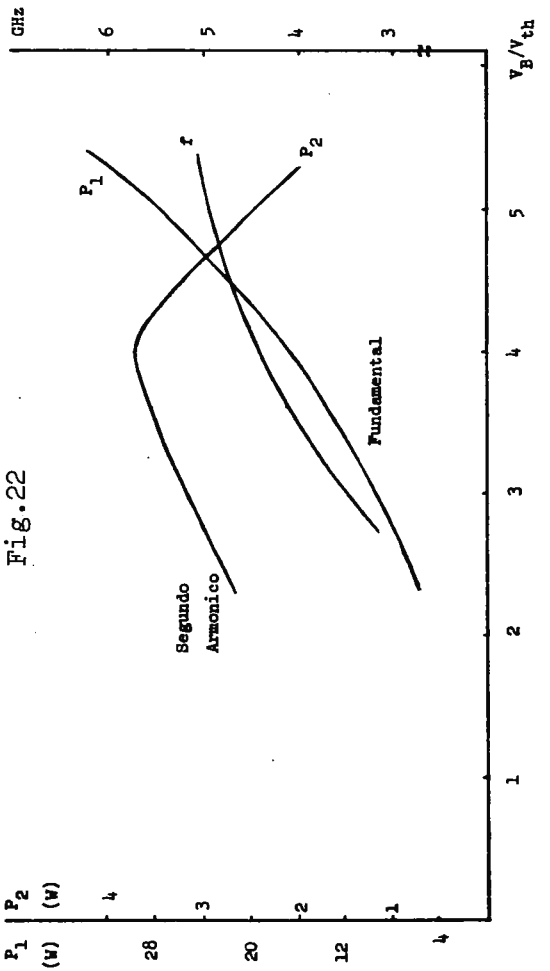


Fig.22

Fundación Juan March (Madrid)

dar una buena descripción de osciladores conteniendo una conductancia negativa. El desarrollo de un modelo de realimentación nos permite utilizar las bien conocidas técnicas de la teoría de control, al mismo tiempo que la ecuación caracteristica del sistema prueba la condición de que la admitancia del diodo a cada frecuencia debe ser siempre igual al valor negativo de la admitancia de carga a la frecuencia correspondiente.

El analisis muestra que la condición de Kurokawa para estabilidad de las soluciones debe ser satisfecha a cada frecuencia. Esto es más restrictivo que para el caso de un oscilador sinusoidal puesto que las admitancias del diodo están relacionadas por su característica I - V. Utilizando un adecuado método iterativo para resolver el conjunto de ecuaciones no lineales que definen el punto de operación y para distintas condiciones de carga, es posible discutir las condiciones de estabilidad estudiando la intersección entre la línea del dispositivo y el lugar de admitancia. Un previo conocimiento experimental de la forma de onda a través del diodo es muy útil puesto que la exactitud del analisis utilizando F.D.

Fundación Juan March (Madrid)

está basado en la aproximación de la señal de entrada al elemento no lineal a la verdadera señal.

Aunque hemos estudiado un elemento no linear activo, la técnica presentada en este estudio puede aplicarse igualmente a elementos pasivos no lineales. Una vez que la señal de entrada al elemento no lineal ha sido definida existe una única F.D. la cual permanece invariable aunque se modifique la parte lineal del sistema. Esto de hecho, nos permite sintonizar el circuito para distintas condiciones y la síntesis de una red lineal dando al circuito óptimas propiedades es pues, posible.

La consideración de circuitos multiresonantes proporciona muy útil información sobre la selección del punto de operación, como es el caso de un circuito de doble resonancia. Los resultados teóricos y experimentales muestran que para un voltaje fijo de polarización, un oscilador L.S.A. con no componentes armónicas en la forma de onda del voltaje debe operar siempre en un régimen en el cual un incremento en el voltaje de RF produce una disminución en la conductancia negativa y en la potencia de salida. Esta condición es satisfecha incluso si existe el segundo armónico en el voltaje, con tal de que el cir

Fundación Juan March (Madrid)

cuito de carga sea esencialmente de resonancia única.Para un circuito multiresonante, el diodo L.S.A. puede operar en un régimen en el cual un incremento en el voltaje de RF da lugar a un incremento en la conductancia negativa del diodo asi como en la potencia de salida.

Consideramos que esta teoría de Funciones Descriptivas puede ser muy útil en el estudio y analisis de situaciones que serían muy difíciles de tratar por otros métodos y en particular la determinación de la línea del dispositivo y el phase locking de osciladores en el que actualmente estamos trabajando.

Fundación Juan March (Madrid)

FUNDACION JUAN MARCH
SERIE UNIVERSITARIA

Titulos Publicados:

1.— *Semántica del lenguaje religioso/A. Fierro (Teología. España, 1973)*
2.— *Calculador en una operación de rectificación discontinua/A. Mulet (Química. Extranjero, 1974)*
3.— *Skarns en el batolito de Santa Olalla/F. Velasco (Geología. España, 1974)*
4.— *Combustión de compuestos oxigenados/J. M. Santiuste (Química. España, 1974)*
5.— *Películas ferromagnéticas a baja temperatura/José Luis Vicent López (Física. España, 1974)*
6.— *Flujo inestable de los polímeros fundidos/José Alemán Vega (Ingeniería. Extranjero, 1975)*
7.— *Mantenimiento del hígado dador in vitro en cirugía experimental José Antonio Salva Lacombe (Medicina, Farmacia y Veterinaria. España,1973)*
8.— *Estructuras algebraicas de los sistemas lógicos deductivos/José Plá Carrera (Matemáticas. España, 1974)*
9.— *El fenómeno de inercia en la renovación de la estructura urbana. Francisco Fernández-Longoría Pinazo (Urbanización del Plan Europa 2.000 a través de la Fundación Europea de la Cultura)*
10.— *El teatro español en Francia (1935–1973)/F. Torres Monreal (Literatura y Filología. Extranjero, 1971)*
11.— *Simulación electrónica del aparato vestibular/J.M. Drake Moyano. (Métodos Físicos aplicados a la Biología. España, 1974)*
12.— *Estructura de los libros españoles de caballerias en el siglo XVI. Federico Francisco Curto Herrero (Literatura y Filología. España,1972)*
13.— *Estudio geomorfológico del Macizo Central de Gredos M. Paloma Fernández García (Geología. España, 1975)*
14.— *La obra gramatical de Abraham Ibn ᶜEzra/Carlos del Valle Rodriguez (Literatura y Filología. Extranjero, 1970)*

Fundación Juan March (Madrid)

15.– *Evaluación de Proyectos de Inversión en una Empresa de producción y distribución de Energía Eléctrica. Felipe Ruíz López (Ingeniería. Extranjero, 1974)*

16.– *El significado teórico de los términos descriptivos./Carlos Solís Santos (Filosofía. España, 1973)*

17.– *Encaje de los modelos econométricos en el enfoque objetivos-instrumentos relativos de política económica./Gumersindo Ruíz Bravo (Sociología. España, 1971)*

18.– *La imaginación natural (estudio sobre la literatura fantástica norteamericana)./Pedro García Montalvo (Literatura y Filología. Extranjero, 1974)*

19.– *Estudio sobre la hormona Natriurética./Andrés Purroy Unanua (Medicina, Farmacia y Veterinaria. Extranjero, 1973)*

20.– *Análisis farmacológico de las acciones miocárdicas de bloqueantes Beta–Adrenérgicos./José Salvador Serrano Molina (Medicina, Farmacia y Veterinaria. España, 1970)*

21.– *El hombre y el diseño industrial./Miguel Durán–Lóriga (Artes Plásticas. España, 1974)*

22.– *Algunos tópicos sobre teoría de la información./Antonio Pascual Acosta (Matemáticas. España, 1975)*

23.– *Un modelo simple estático. Aplicación a Santiago de Chile. Manuel Bastarreche Alfaro (Arquitectura y Urbanismo. Extranjero, 1973)*

24.– *Moderna teoría de control: método adaptativo-predictivo Teoría y realizaciones./Juan Manuel Martín Sánchez (Ingeniería España, 1973)*

25.– *Neurobiología (I Semana de Biología. Conferencias-coloquio sobre Investigaciones biológicas 1977)*

26.– *Genética (I Semana de Biología. Conferencias-coloquio sobre Investigaciones biológicas 1977)*

27.– *Genética (I Semana de Biología. Conferencias-coloquio sobre Investigaciones biológicas 1977)*

28.– *Investigación y desarrollo de un analizador diferencial digital (A.D.D.) para control en tiempo real. /Vicente Zugasti Arbizu (Física. España, 1975)*

29.– *Transferencia de carga en aleaciones binarias. /Julio A. Alonso (Física. Extranjero, 1975)*

Fundación Juan March (Madrid)

Fundación Juan March (Madrid)