

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1980

08.80.04

CNEA-NT 9/80

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DE SISTEMAS

POR EL METODO DE BODE

Preparó: Enrique E. Marzullo

Revisó : José R. Lorenzetti

GERENCIA DE INGENIERIA
DIRECCION DE CENTRALES NUCLEARES
Buenos Aires-Argentina

1980.-

1.-

DESCRIPCION DEL PROGRAMA "BODEC"

1. INTRODUCCION

El propósito de este programa es obtener la respuesta frecuencial en amplitud y fase de un sistema lineal.-

El proceso aludido es posible presentarlo definido por un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias y lineales de primer orden , donde se presupone una única variable de entrada al sistema y hasta cinco salidas .-

Los procesos que se desean analizar pueden resultar continuos o discretos en el dominio del tiempo y pueden incluir o no retardos de primer orden .-

El programa proporciona una buena información al usuario sobre el análisis que se desea obtener como , por ejemplo , una tabla de amplitud y fase en función de la frecuencia , una representación gráfica de las mismas y los márgenes de fase y de ganancia correspondientes .-

El lenguaje utilizado es FORTRAN IV en su versión G y la computadora utilizada es una IBM 370 / 158 .-

2. PLANTEO MATEMATICO DEL PROBLEMA.

El sistema lineal , continuo e invariante en el tiempo que puede analizar este programa está definido por un conjunto de hasta 80 ecuaciones diferenciales de la forma :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_h(t) - \sum_{k=1}^n a_{kh} \cdot x_k(t - \tau_k) = b_h \cdot u_h \\ y_h(t) - \sum_{k=1}^n c_k \cdot x_k = 0 \end{array} \right. \quad (2.1)$$

$h = 1, \dots, n$

ó equivalentemente :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}(t) = A x(t - \tau) + B u(t) \\ y(t) = C x(t) \end{array} \right.$$

con $\tau_k \neq 0$, $\forall$ x_k que posea un retardo .

Siendo :

$x_k(t - \tau_k)$ la función $x_k(t)$ con un retardo de tiempo τ_k ,

y

$$u_h, a_{kh}, b_h, c_k \in \mathbb{R} .$$

Además :

$$\left\{ \begin{array}{l} b_h = 0 \quad ; \quad h \neq 1 \\ b_h = 1 \quad ; \quad h = 1 \end{array} \right. \quad h = 1, \dots, n$$

En lo que respecta al análisis de sistemas discretos , éstos se consideran como un sistema continuo en donde existe una acción de muestreo a la entrada y otra a la salida del mismo.

Dentro del sistema a analizar se considerarán los "data holding" de orden cero que correspondan . La expresión de cada uno de ellos es :

$$x_k(t) = x_k(t_0) \quad ; \quad t_0 < t < t_0 + T \quad ,$$

siendo T el intervalo de muestreo .

El rango de frecuencias entre los que se desea realizar el análisis , se divide en intervalos espaciados logarítmicamente y en los valores extremos de dichos intervalos se calcula el valor de la función transferencia .-

3. MÉTODOS DE CÁLCULO EMPLEADOS Y CONSIDERACIONES GENERALES.

El programa realiza el análisis frecuencial del sistema , descrito en el apartado anterior , aplicando al mismo la transformada de Fourier . De esta manera , las ecuaciones (2.1) resultarán :

$$\left\{ \begin{array}{l} j\omega X_h - \sum_{k=1}^n a_{kh} \cdot e^{-j\omega \tau_{b_k}} \cdot X_k = b_h \cdot U_h \\ Y_h - \sum_{k=1}^n c_k \cdot X_k = 0 \end{array} \right. \quad (3.1)$$

En caso que el sistema contenga uno , o más , "data holding" de orden cero se aplicará la función transferencia que corres

ponda al mismo , esto es :

$$F_{DH} = \frac{1 - e^{-j\omega T}}{j\omega}$$

A continuación se siguen dos caminos diferentes , según se trate de un sistema continuo o de un sistema muestreado .-

3.1.1 Solución del sistema continuo

Si se observan las ecuaciones (3.1) tendremos , para cada valor de ω , un sistema de ecuaciones algebraicas lineales con coeficientes complejos . El sistema se resuelve por medio de la subrutina MEØ4A (ver el punto 4.2) obteniéndose , como resultado , los valores real e imaginario de las variables x_k que se desean obtener como salidas .-

3.1.2 Solución del sistema muestreado

Como sabemos , dada una señal continua $f(t)$, la transformada de Fourier de dicha función pero muestreada con una frecuencia ω_s , esta dada por :

$$F^*(j\omega) = -\frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} F \left[j(\omega + k \cdot \omega_s) \right]$$

La solución del sistema para cada ω se lleva a cabo,

resolviendo el conjunto de ecuaciones para los distintos valores de $\omega + k \omega_s$ y sumando , posteriormente , los resultados obtenidos . Naturalmente , el número de sumandos se limita de acuerdo con un algoritmo especialmente ideado con el fin de disponer de una exactitud razonable y de un tiempo de ejecución aceptable . Una idea clara de esto , lo demuestra el hecho que para tener una cota de error igual a 10^{-4} basta con sumar diecinueve términos , esto es , $k = -9, -8, \dots, 0, 1, 2, \dots, 9$.-

El rango de frecuencias en el cual se desea analizar el sistema esta limitado de acuerdo con el "teorema del muestreo" , a una frecuencia

$$\omega_F \leq \frac{\omega_s}{2}$$

con lo cual se analiza nada mas que la componente primaria del espectro .-

3.2 CALCULOS ADICIONALES.

Una vez hallados los valores de las partes real e imaginaria de una variable de salida , se obtienen los siguientes parámetros :

- 3.2.1 Módulo de la función transferencia ; el cual se proporciona en valor absoluto y en decibeles .
- 3.2.2 Fase de la función transferencia ; en este caso se utilizó un algoritmo que establece : si entre dos valores sucesivos de frecuencia , la fase difiere en dos cuadrantes se asume un retraso de fase , es decir , desplazamiento en el sentido de las agujas del reloj.
- 3.2.3 Márgenes de fase y de ganancia ; se empleó para este cálculo la subrutina MARGIN (ver el punto 4.5).
- 3.2.4 Curvas de fase y de ganancia ; se realizan usando la subrutina ØCOLA (ver el punto 4.10).

4 SUBROUTINAS Y FUNCIONES UTILIZADAS.

4.1 DELHOL

Efectúa la tabla con las posiciones de los retardos y los holding introducidos en el sistema . Su finalidad radica en que , merced a esta tabla , es posible detectar sobre qué variable fueron aplicados y , además , sobre cual ecuación .-

4.2 MEO4A

Sirve para resolver un sistema de ecuaciones algebraicas lineales con coeficientes complejos , de la forma ;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j = b_i, \quad i = 1, \dots, n$$

con a_{ij} , $b_i \in \mathbb{C}$. Esta emplea el método de eliminación gaussiano con la ventaja, además, de que no necesita de la facilidad COMPLEX del FORTRAN y que puede resolver un número ilimitado de ecuaciones .-

Como uno de los parámetros de esta subrutina es la norma de la matriz A , se escogió para tal fin el máximo de la suma de cada fila, o sea :

$$\| A \| = \max_i \left(\sum_j |a_{ij}| \right)$$

Se realizaron numerosas pruebas para poder estimar la precisión de MEO4A, habiéndose encontrado resultados ampliamente satisfactorios que justificaron su utilización .-

Esta subrutina, a su vez, necesita de otra llamada MCO3AS que evalúa el producto interno de dos vectores $a^T \cdot b$, con $a = \{a_i\}$ y $b = \{b_i\}$ y además, la suma de un valor c , o sea :

$$s = \pm c \pm \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i$$

Utiliza doble precisión para los resultados intermedios logrando, así, minimizar los errores de redondeo .-

Estas dos subrutinas pertenecen a la " HARWELL SUBROUTINE LIBRARY" . $\left[11 \right]$

4.3 IMPRS

Se desarrolló con el propósito de poder obtener la tabla con los resultados del análisis frecuencial . A través de ésta , es posible conocer cómo han variado los distintos parámetros , como así también , para qué valor de ω se produjo un "lagging" en la fase . De haber ocurrido esto último se imprime, además , una advertencia .-

4.4 IMPRUV

Se utiliza para comprobar el error que se comete al usar MEO4A . Genéricamente hablando , dado un sistema

$A \cdot X = B$, MEO4A nos proporciona una solución X_1 cuya precisión deseamos estimar . De hecho , si hacemos el producto $A \cdot X_1$ nos dará un nuevo valor B_1 , para los términos independientes , que será calculado por IMPRUV .-

Actualmente , esta subrutina se evita usando un "switch" de condición , dada la escasa utilidad que puede tener para el usuario .-

4.5 MARGIN

Como es por todos conocidos $\left[4 \right]$, los márgenes de fase y de ganancia resultan de gran importancia en la determina-

ción de la estabilidad relativa de un sistema . Para encontrar dichos márgenes **MARGIN** emplea dos métodos numéricos . Por una parte se construye una "spline" natural cúbica con la cual se obtiene un polinomio aproximante , cuya representación se adapta perfectamente al tipo de curvas que aparecen en los diagramas de Bode . Por la otra , se utiliza el método de Newton-Raphson con las condiciones de Fourier para poder encontrar una raíz del polinomio anteriormente citado . Para entender claramente cómo se aplicaron dichos métodos vamos a dar un ejemplo del cálculo de margen de fase (el margen de ganancia se obtiene en forma análoga , con ligeras modificaciones) .-

Los resultados del análisis frecuencial nos permite conocer un conjunto de puntos (ω_1, h_1) , (ω_2, h_2) , , (ω_n, h_n) ; llamaremos $\mathcal{H}$ al conjunto de los valores que toma la ganancia para cada $\omega_i \in W$, y por lo tanto W resultará ser el dominio de la frecuencia ω . Esto nos asegura , que los conjuntos W y $\mathcal{H}$ son coordinables .-

Para nuestros cálculos , interesará que por lo menos algún $h_i \in \mathcal{H}$ satisfaga :

$$sg(h_i) \neq sg(h_j) \quad ; \quad \forall h_j \in \mathcal{H} , i \neq j .$$

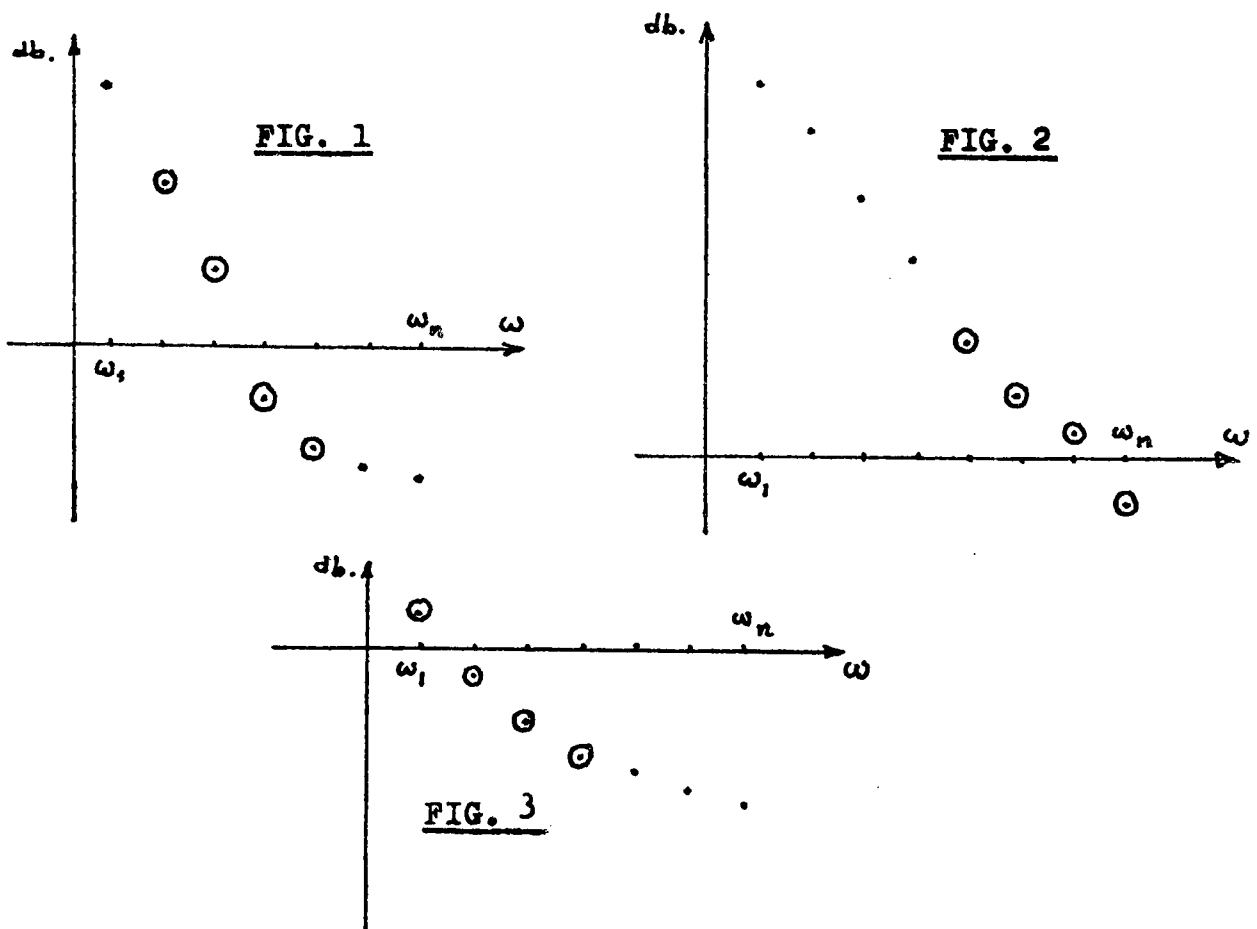
Si esto no se verifica , podremos asegurar que la ganancia no pasa por 0 db. para el rango de frecuencias en estudio y ,

por lo tanto , no existe margen de fase .-

Ahora bien , suponiendo que lo anteriormente dicho se cumple , el programa escoge un subconjunto $\Lambda \subset \mathcal{H}$, de manera que Λ resulta ser un subconjunto ordenado cuyo cardinal es igual a 4 . Los elementos de Λ se eligen en forma tal que al menos algún $h_i \subset \Lambda$ verifique :

$$\text{sg} (h_i) \neq \text{sg} (h_k) \quad ; \quad \forall h_k \subset \Lambda , \quad i \neq k .$$

De esto se deduce que también es posible que la cantidad de signos sean iguales dos a dos (FIG. 1) . En caso contrario estaríamos en las condiciones de las FIG. 2 y FIG. 3 .-



Dado que el tratamiento es exactamente igual para cualquiera de las tres situaciones graficadas , tomaremos para nuestro análisis la que se presenta en la FIG. 1 .-

Por comodidad , llamaremos (ω_1, h_1) , (ω_2, h_2) , (ω_3, h_3) , (ω_4, h_4) a nuestros puntos de interés (ver FIG. 4) .-

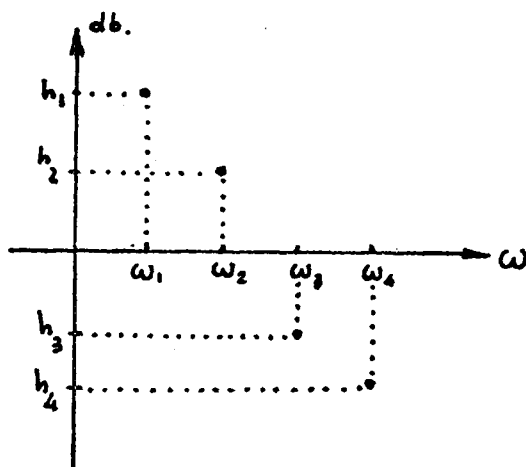


FIG. 4

Con tales puntos , que designaremos "nodos" , se construye una función interpoladora definida como :

$$s(\omega) = \begin{cases} s_1(\omega) & ; \omega \in [\omega_1, \omega_2] \\ s_2(\omega) & ; \omega \in [\omega_2, \omega_3] \\ s_3(\omega) & ; \omega \in [\omega_3, \omega_4] \end{cases}$$

Una vez obtenida la spline , por medio de la subrutina SPLINE , se elegirá aquella $s_i(\omega)$ tal que para algún

$$\omega_i \in [\omega_1, \omega_4] , \quad s_i(\omega_i) = 0 .$$

Como lo que queremos es hallar el ω_1 , el programa detectará que, al resultar h_2 positivo y h_3 negativo deberá encontrarse una raíz para $S_2(\omega)$ con $\omega \in [\omega_2, \omega_3]$.

Ahora bien, para encontrar la raíz de $S_2(\omega)$, se utiliza el método de Newton-Raphson con las condiciones de Fourier.

Con estas condiciones, a través de la FUNCTION SPL, es posible encontrar el valor inicial ω_0 para comenzar a iterar con el método. Está previsto, incluso, que ante la imposibilidad de hallar ω_0 se pueda acortar el intervalo utilizando, a tal fin, un algoritmo especialmente ideado.-

Sea pues, ω_1^* el valor de frecuencia para el cual

$$S_2(\omega_1^*) = 0.$$

Como, además, para cada punto $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ existen determinados valores correspondientes a la fase, se construye con éstos una nueva spline $\hat{S}(\omega)$ definida así:

$$\hat{S}(\omega) = \begin{cases} \hat{S}_1(\omega) & ; \omega \in [\omega_1, \omega_2] \\ \hat{S}_2(\omega) & ; \omega \in [\omega_2, \omega_3] \\ \hat{S}_3(\omega) & ; \omega \in [\omega_3, \omega_4] \end{cases}$$

Consideramos ahora $\hat{S}_2(\omega)$ nuevamente en el intervalo

$\left[\omega_2, \omega_3 \right]$, y por medio de la FUNCTION SPL determinaremos para ω_1^* el valor de fase correspondiente . Finalmente , si a dicho valor le sumamos 180° habremos obtenido el margen de fase.-

4.6 SPLINE

Posee un algoritmo para poder calcular una spline natural cúbica que pasa por cuatro nodos $\left[8 \right]$. Es llamada por la subrutina MARGIN .-

4.7 SPL

Es una función que permite evaluar el polinomio aproximante :

$$S_1(x) = a_1 + b_1(x - x_1) + c_1(x - x_1)^2 + d_1(x - x_1)^3 ,$$

como así también , sus derivadas primera y segunda . Es llamada por la subrutina MARGIN .-

4.8 MINMAX

Permite encontrar , al mismo tiempo , los elementos máximo y mínimo de un arreglo unidimensional . A estos elementos los llamaremos M_0 y m_0 , respectivamente .-

4.9 GENVAL

A partir de los valores M_0 y m_0 proporcionados por MINMAX, este subprograma recalcula dichos valores obteniéndose dos nuevas cantidades M_1 y m_1 de manera que se satisfagan :

- i. $M_1 \geq M_0$ y $m_1 \leq m_0$
- ii. $\left| M_1 - m_1 \right| = \min \left\{ 10, 20, 50, 100, 200, \dots, 900, 1000 \right\}$

Si por algún motivo resultase que la diferencia es mayor que 1000, entonces, se considerarán como verdaderos los valores dados por MINMAX .-

Este cálculo se justifica por el hecho que facilita enormemente la lectura de escala en los gráficos realizados por ØCOLA, y donde el porcentaje de error total en la graficación no supera el 1% .-

4.10 ØCOLA

La decisión de utilizar esta subrutina perteneciente a la "HARWELL SUBROUTINE LIBRARY" $\left[11 \right]$, nació del hecho de haberse efectuado pruebas con otras similares cuyas características demostraban, en la práctica, no ser tan versátiles

como las de aquella .-

Por ejemplo , se probó primeramente con la subrutina "PLOT" perteneciente a la "SCIENTIFIC SUBROUTINE PACKAGE" [18]. Mas tarde , y por gentileza del personal de computación del Centro Atómico Bariloche , se utilizó la rutina GRAFOS , la cual se usó durante algunos meses , y habiéndose constatado lo engorroso que en esta resultaba la lectura de la escala de ordenadas , se concluyó en que tampoco era adecuada .-

La versión original de ØCOLA fue ligeramente modificada de manera que el eje de abscisas , en su versión actual , está medido en décadas .-

5. FACILIDADES DEL PROGRAMA.

El usuario del programa BODEC dispone , en cada corrida , de una amplia información. Veamos a continuación una síntesis de dichas facilidades .-

Primeramente se obtiene un listado de las ecuaciones , lo cual permite verificar que los datos fueron ingresados correctamente ; y luego , las frecuencias inicial y final , el número de puntos por década , el número de líneas y la (s) variable (s) a representar .-

Además se logra un listado con todas las variables que intervienen en el sistema , conjuntamente con una tabla que in-

dica las posiciones de los retardos y "data holding" que existieran , con sus correspondientes valores .-

Toda la información que se menciona de aquí en adelante , se proporciona para cada una de las variables de salida que se desea analizar (ver el MANUAL DE USO) ; excepto , cuando se consideran sistemas muestreados en los cuales se admite una única salida .-

Se construye una tabla con los resultados del análisis frecuencial donde se aprecian : la salida con su valor absoluto y el valor de fase y amplitud para cada valor de frecuencia ya sea en rad./seg. ó en htz. -

A continuación se proporcionan los valores de margen de fase y de ganancia si los hubieran , junto con dos gráficos sobre fase y amplitud en función de la frecuencia . En la curva de amplitud se representa al módulo en db. de la función de transferencia .-

Como mencionamos anteriormente , BODEC asume "lagging" (retraso de fase) y cuando así ocurre se indica claramente en qué iteración se produjo y cuál debe ser la acción a tomar.-

Por otra parte , cuando se detecta que el sistema es discreto y no se alcanza la cota de error deseada , se efectúa una evaluación de los errores cometidos en la determinación de la amplitud de las armónicas para un valor de frecuencia deter-

minado .-

Finalmente , en el programa BODEC se previeron distintas alternativas , que impiden su ejecución cuando medien posibles errores que se pudieran cometer al ingresar los datos. También , en estos casos , el usuario dispone de la información correspondiente . (Ver el MANUAL DE USO).-

MANUAL DE USO

Se describe a continuación la manera en que se deben introducir los datos:

1. Formato de las seis (6) primeras tarjetas

PRIMER TARJETA : se colocarán las siguientes letras

T : col. 2

Z : col. 4

D : col. 6

donde T representa el "retardo" , Z representa el "holding" y D significa "derivada".

SEGUNDA TARJETA : llevará el tiempo de muestreo (TSAMPL) de esta manera

la palabra: "MUESTREADO" : col.1-10

el valor de: "TSAMPL" : col.13-22

La variable "TSAMPL" se representará en formato F10. 4

Nota 1: Si Ud. desea tratar un modelo continuo deberá colocar en las col. 13-22 el valor cero.

TERCERA TARJETA : en forma consecutiva se colocarán el número de puntos por década (NPPD) elegido y el número de líneas (NLIN), ambos con formato I 10.

NPPD : col. 1-10

NLIN : col. 11-20

Para este último número se deberá considerar el número de filas que ocupan las ecuaciones propiamente dichas, debiéndose ignorar: el nombre de las ecuaciones y las especificaciones sobre retardo (s) y holding (s) que se efectúen. Por ello es recomendable colocar dicho número una vez que se han escrito todas las ecuaciones en el formato que se describe en el punto 2.

CUARTA TARJETA : se darán los valores de frecuencia inicial (WIN) y final (WFIN) en formato F 10.4

WIN : col. 1-10

WFIN : col. 11-20

La relación entre dichos valores proporciona el número de décadas en que se obtiene la respuesta.

Nota 2: Se debe tener la precaución que el NPPD multiplicado por el número de décadas sea menor ó igual a 60 (ver 3-b-4)

QUINTA TARJETA : se proporciona el número de variables que se desean representar (NVR). Se colocará en la col. 3, con formato I 1.

Nota 3 : Como actualmente este programa se encuentra en una etapa de nuevas y mejores modificaciones NVR debe ser, provisoriamente, igual a 1; se ha pensado que dicho valor, en el futuro, será menor ó igual a 5.

SEXTA TARJETA : en relación a lo mencionado para la tarjeta anterior, se escribirá el nombre de la variable que se desea representar en las col. 3-6 y formato A4.

2. Formato de las ecuaciones

A continuación de lo anteriormente descrito se introducirán todas las ecuaciones. El formato y la secuencia para cada una de ellas es el siguiente:

TARJETA 1 : col. 1-4 Nombre de la ecuación

TARJETA 2 : se escribe la ecuación con el siguiente formato

1 X , 4 (F 12.5 , A 4 , 2 X , A 1) (2.a)

col. 2-13 Coeficiente de la variable

col. 13-18 Variable correspondiente (máximo 4 car.)

col. 19 Se colocará T, Z ó D según corresponda.

En caso contrario, se deja un blanco.

Este formato, como podemos apreciar en (2.a), se podrá repetir tres (3) veces más en la misma tarjeta.

Nota 4 : En el caso que la ecuación tuviera una "T" o una "Z" en alguno de los lugares indicados, se procederá así:

- i) Si fuera una T, se agregará una tarjeta inmediatamente detrás de la que contiene la ecuación, que tendrá:

col. 1-8 la palabra "RETARDO"

col. 9-18 el valor que corresponda, con formato F10.4.

ii) Si fuera una Z, se agregará una tarjeta inmediatamente detrás de la que contiene la ecuación, que tendrá:

col. 1-8 la palabra "HOLDING"

col. 9-18 el valor que corresponda, con formato F10.4.

iii) Si en una misma ecuación figuran más de una "T" o una "Z" o ambas, entonces se agregarán la (s) tarjeta (s) de RETARDO y HOLDING en el mismo orden que se encuentran en la ecuación. Se tendrá la precaución de que el "HOLDING" o el "RETARDO" se aplique sobre una variable para la cual no se define, en la misma ecuación, se derivada.

Nota 5 : En el caso que por el tamaño de la ecuación no alcanzara una tarjeta, entonces, se repetirá el nombre de la ecuación en otra tarjeta y en la siguiente se continuará con la ecuación. Esto se podrá repetir tantas veces como sea necesario.

Sobre lo expuesto en esta nota, se advierte que al repetir el nombre de la ecuación no se ignore lo ex-

representado en la Nota 4.

3. Consideraciones generales

- a) El programa asume que la primera ecuación está igualada a una "entrada sinusoidal", por cuya circunstancia en la primera se deberá incluir la (s) variable (s) ligada (s) con la entrada al sistema; mientras que las restantes estarán igualadas a cero.
- b) Interrupciones : el programa no se ejecutará si encuentra que:
 - 1º- El número de ecuaciones es distinto del número de variables.
 - 2º- La matriz que representa al sistema es singular o próxima singular.
 - 3º- Cuando el valor de WIN o WFIN resulten igual a cero.
 - 4º- Si NPPD multiplicado por el número de décadas es mayor que 60.
 - 5º- Si se pretende representar más de una variable cuando el sistema es muestreado.
 - 6º- Si hubier un error de sintáxis en la variable que se desea representar.

En todos los casos el usuario dispondrá de información.

- c) En el caso que aparezca un lagging dudoso, se recomienda aumentar el número de puntos por década (inicialmente, dicho número se podrá elegir igual a 5)
- d) El programa está dimensionado actualmente para resolver, como máximo, un sistema de 80 ecuaciones diferenciales. Si por algún motivo fuera necesario aumentar dicho número, no existen limitaciones excepto las propias que surjan de la computadora que el usuario utilice.

EJEMPLOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Uno de los primeros ejemplos que se utilizaron para comprobar la precisión del programa fue el de considerar un modelo que represente las ecuaciones cinéticas de un reactor nuclear. Observar el EJEMPLO 1. Veamos entonces, los resultados del ejemplo mencionado.

Se presenta primeramente un diagrama en bloques del modelo y a continuación se describen todas las ecuaciones del sistema con sus correspondientes referencias. Para poder comparar los valores obtenidos se utilizaron dos corridas: en la primera se asumió que el sistema es continuo, mientras que en la segunda, se le otorgó un tiempo de muestreo igual a 0.5 seg. De esta manera, en las FIG. 5 y 6 se han trazado las curvas correspondientes a la evolución de la fase y la ganancia, con y sin muestreo respectivamente.

Dichas curvas fueron confrontadas con las que aparecen en el libro de M. A. Schultz [6], siendo los resultados ampliamente satisfactorios.

En el EJEMPLO 2 se ha considerado un modelo simplificado que representa, con un total de treinta (30) ecuaciones diferenciales, la simulación del comportamiento dinámico de la Central Nuclear Embalse. Ver FIG. 7.

En el citado modelo se han tenido en cuenta:

- 1) Las ecuaciones cinéticas del reactor con seis
(6) grupos de neutrones retardados.

- 2) La instrumentación correspondiente a la lectura de flujo neutrónico "incore" con cuatro (4) cons tan tes de tiempo.
- 3) La ecuación de medición de período.
- 4) La ecuación de transformación de potencia neutrónica a térmica.
- 5) La ecuación con el coeficiente de reactividad por temperatura.
- 6) El algoritmo de la función error.

Se efectuaron dos corridas : en la primera se consideró que el sistema es continuo , mientras que en la segunda , se le otorgó un tiempo de muestreo igual a 0.5 seg. Los resultados se pueden observar en los listados adjuntos.

Para tener una idea sobre las posibilidades de BODEC, se proporcionan a continuación los datos sobre tiempos y cantidad de memoria requeridos , para cada corrida del EJEMPLO 2.

MODELO CONTINUO :

Máxima memoria usada : 232 K

Tiempo total de CPU : 1 M 01,36 SEG.

MODELO MUESTREADO :

Máxima memoria usada : 232 K

Tiempo total de CPU : 2 M 10,47 SEG.

Por último , y con el solo propósito de dar al lector una idea aún más precisa acerca de las facilidades del programa , diremos que se ha desarrollado un modelo para simular , también , el comportamiento dinámico de la Central Nuclear Atucha por medio de un sistema con 52 ecuaciones diferenciales. Para ello se consideraron :

- 1) Las ecuaciones cinéticas del reactor con dos (2) grupos de decaimiento y seis (6) grupos de neutrones retardados.
- 2) Las ecuaciones de balance térmico para el óxido de uranio (UO_2) y la vaina de elementos combustibles .
- 3) Las ecuaciones del circuito refrigerante dentro del reactor.
- 4) Las ecuaciones para el generador de vapor.
- 5) Las ecuaciones para el sistema del circuito moderador incluyendo el intercambiador de calor del moderador .
- 6) Las ecuaciones de balance térmico del circuito secundario de generación de vapor vivo .
- 7) Las ecuaciones de los algoritmos de control de las regulaciones de potencia del reactor y de apertura de la válvula de regulación de turbina .

Además , se tuvieron en cuenta los retardos producidos por los distintos componentes (reactor, generador de vapor, etc.) y por las tuberías de las ramas fría y caliente del circuito primario y moderador .-

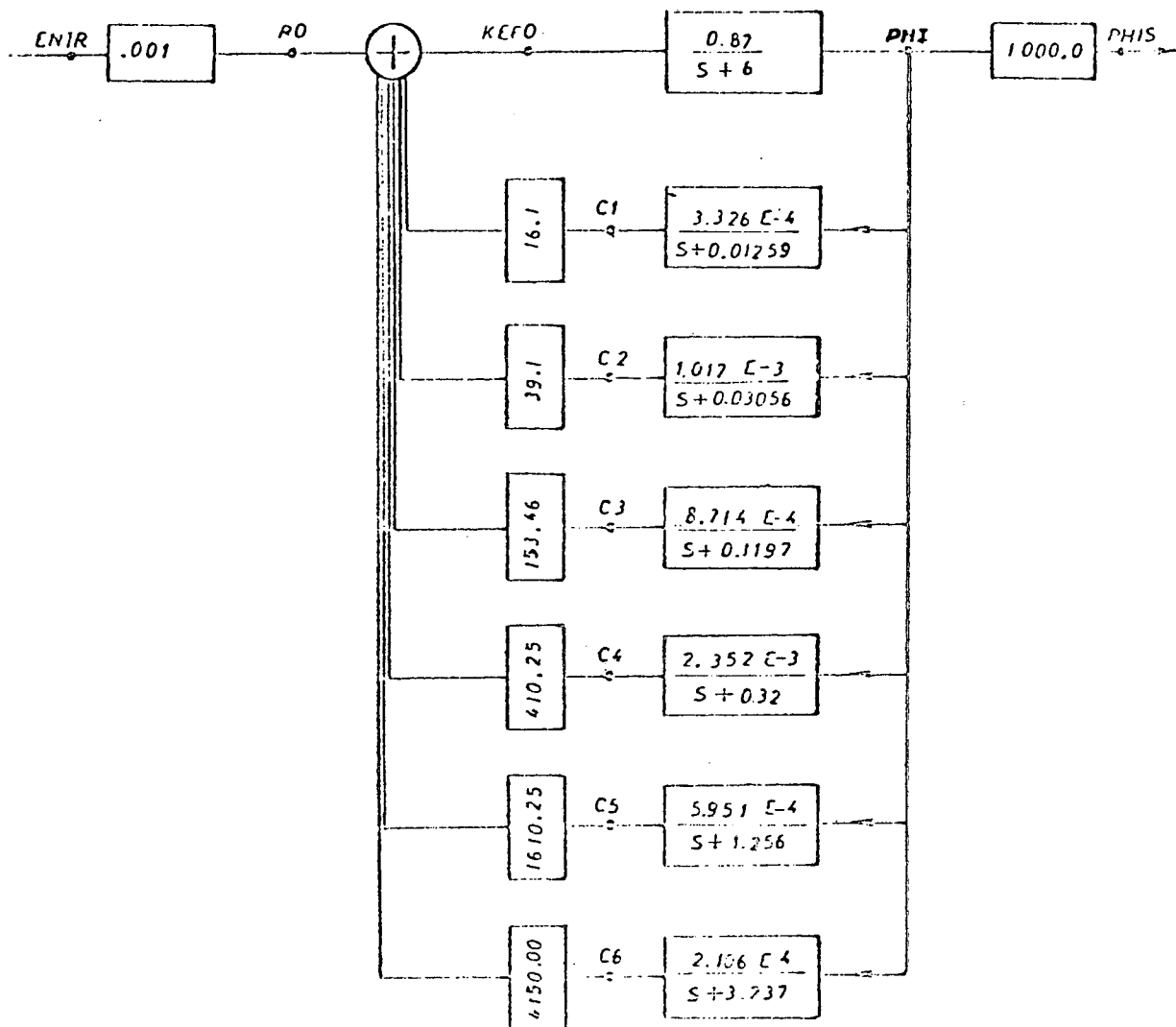
El modelo se corrió únicamente en forma continua ;
y los requerimientos fueron :

Máxima memoria usada : 232 K

Tiempo total de CPU : 3 M 20,52 SEG.

EJEMPLO 1

DIAGRAMA EN BLOQUE DE LAS ECUACIONES CINETICAS DE UN REACTOR



ECUACIONES CINÉTICAS QUE SE TUVIERON EN CUENTA PARA EL ANALISIS
FRECUENCIAL

$$1.0 \ E(t) = 1$$

$$0.001 \ E(t) - 1.0 \rho(t) = 0$$

$$1.0 \ \frac{d\phi}{dt} + 6.0 \ \phi(t) - 0.87 \ S_T(t) = 0$$

$$1.0 \ \frac{dC_1}{dt} + 0.01259 \ C_1(t) - 0.0003326 \ \phi(t) = 0$$

$$1.0 \ \frac{dC_2}{dt} + 0.03056 \ C_2(t) - 0.001017 \ \phi(t) = 0$$

$$1.0 \ \frac{dC_3}{dt} + 0.1197 \ C_3(t) - 0.0008714 \ \phi(t) = 0$$

$$1.0 \ \frac{dC_4}{dt} + 0.32 \ C_4(t) - 0.002352 \ \phi(t) = 0$$

$$1.0 \ \frac{dC_5}{dt} + 1.256 \ C_5(t) - 0.0005951 \ \phi(t) = 0$$

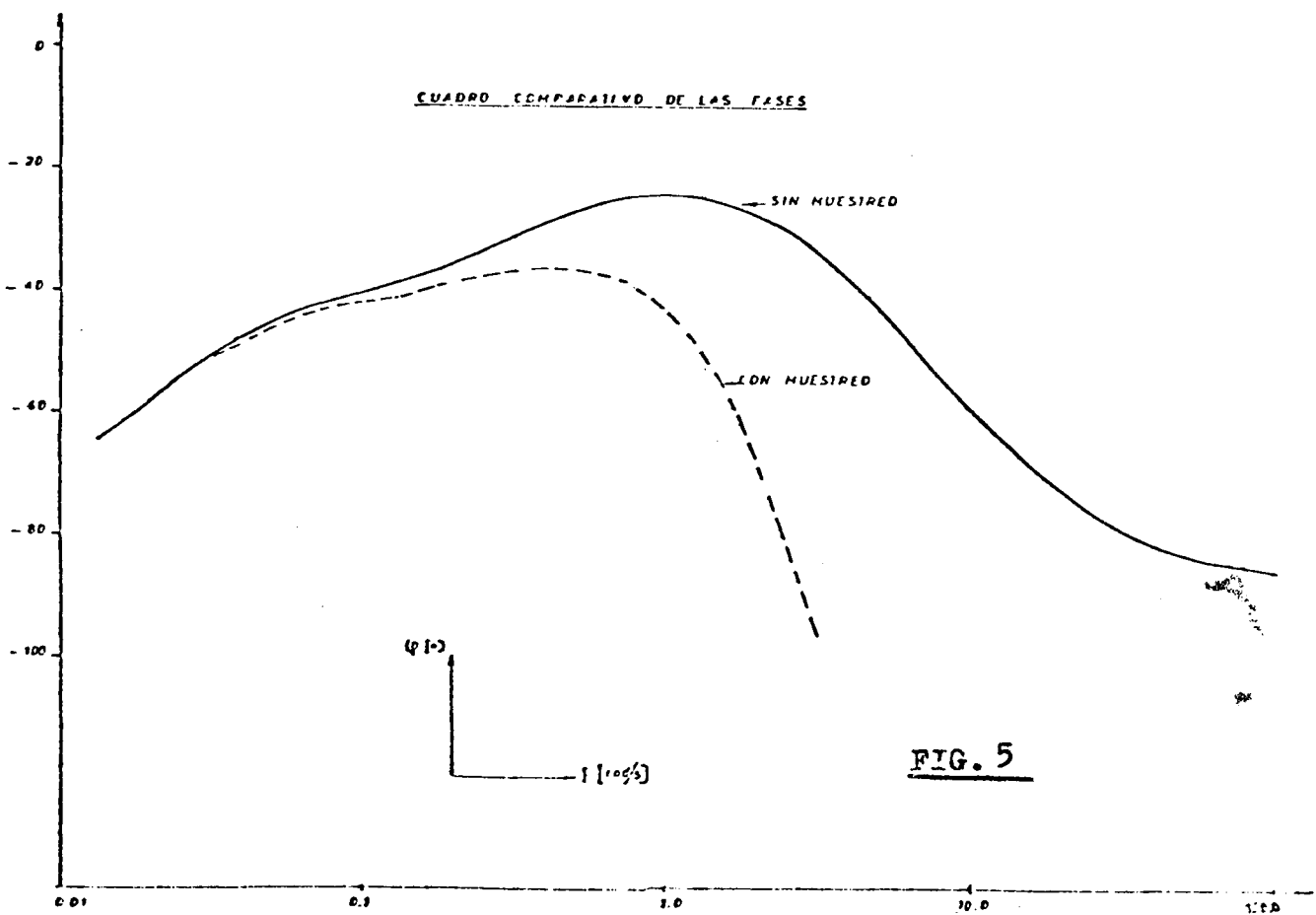
$$1.0 \ \frac{dC_6}{dt} + 3.237 \ C_6(t) - 0.0002106 \ \phi(t) = 0$$

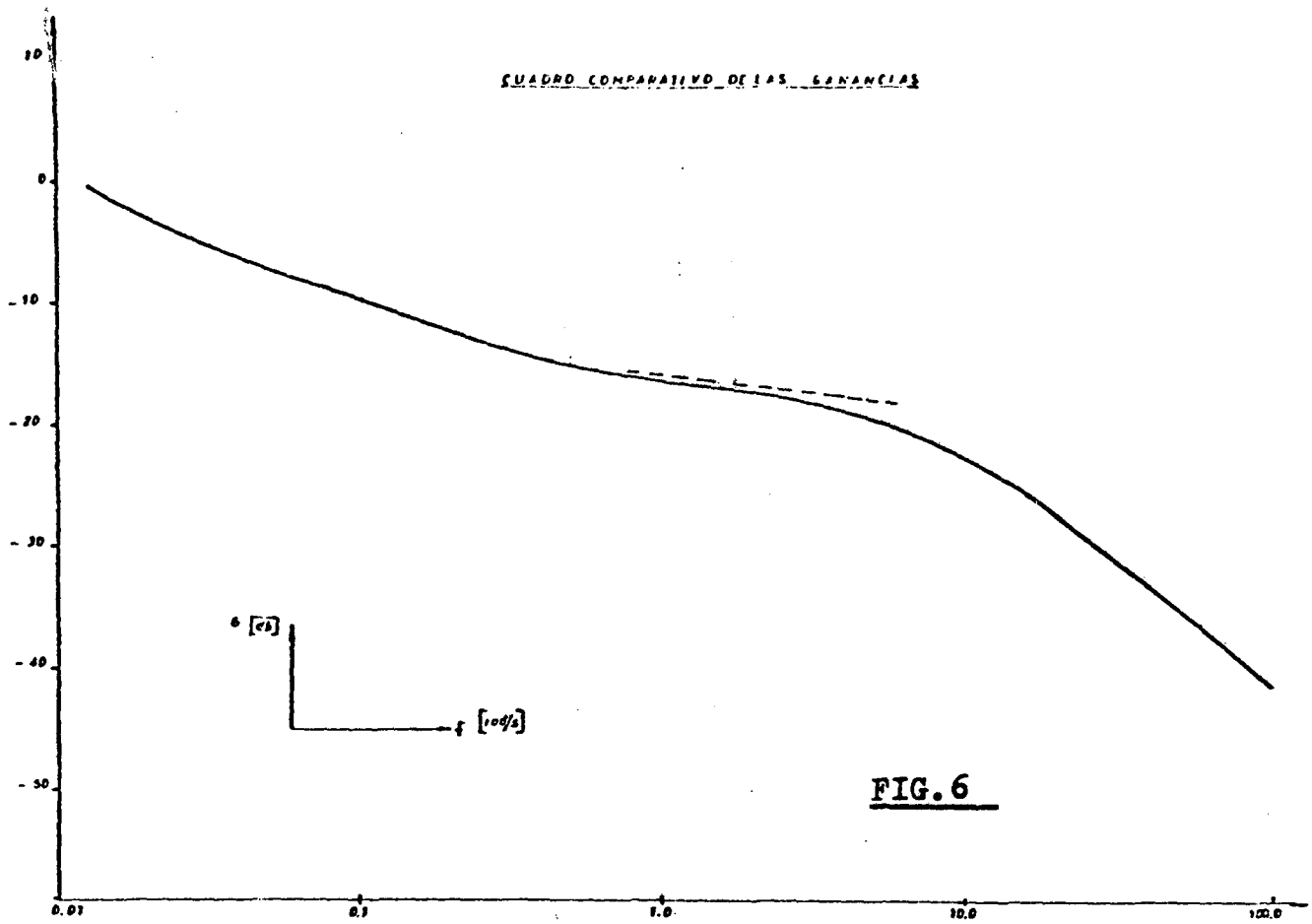
$$1.0 \ S_T(t) - 16.1 \ C_1(t) - 39.1 \ C_2(t) - 153.46 \ C_3(t) - 410.25 \ C_4(t) - \\ - 1610.2 \ C_5(t) - 4150.0 \ C_6(t) - 1.0 \ \rho(t) = 0$$

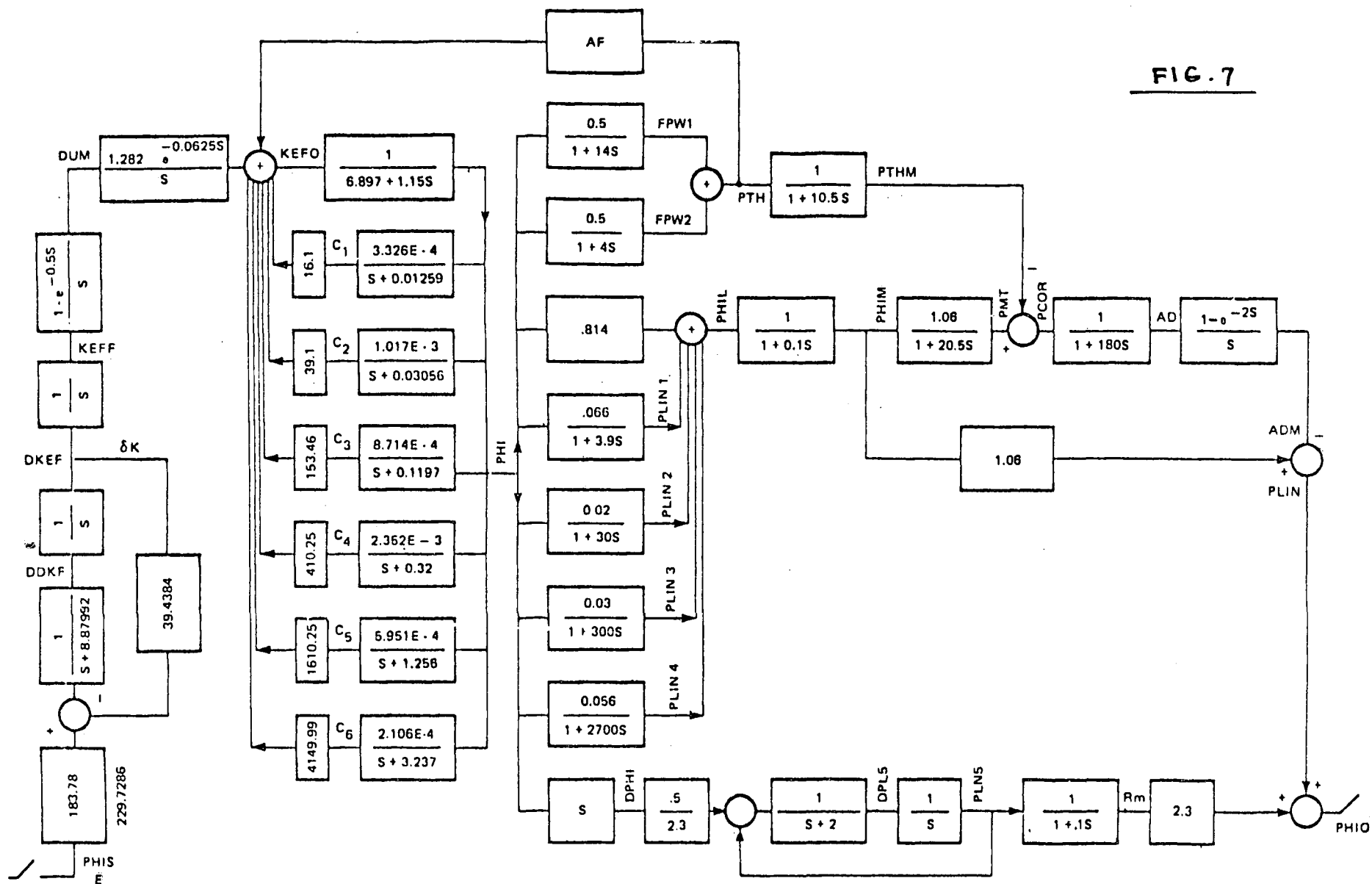
$$1000.0 \ \phi(t) - 1.0 \ \phi_s(t) = 0$$

TABLA DE REFERENCIAS

VARIABLES	CODIGO UTILIZADO EN EL PROGRAMA
FLUJO (Φ)	PHI
ENTRADA (E)	ENTR
REACTIVIDAD (P)	RP
CONCENTRACION DE PRECURSORES DE NEUTRONES RETARDADOS (C_i)	C1 C2 C3 C4 C5 C6
FLUJO DE SALIDA (Φ_s)	PHIS
VARIABLE AUXILIAR (S_T)	KEF0







EJEMPLO 2

LISTADO DEL SISTEMA CONTINUO

UELW = 1.3335

NPPD = 8

WIN = 0.0010

WFIN = 10.0000

NLEN = 32

VARIABLE(S) A REPRESENTAR : PHIS -

LISTADO DE LAS ECUACIONES DEL SISTEMA

ECUACION: DKEF

0.32609E-01 DKEF 0 0.21739E+00 DKEF 0.0 0.0

ECUACION: PHI

0.11500E+01 PHI 0 0.68970E+01 PHI -0.10000E+01 KEFD 0.0

ECUACION: C1

-0.33260E-03 PHI 0.10000E+01 C1 0 0.12590E-01 C1 0.0

ECUACION: C2

-0.10170E-02 PHI 0.10000E+01 C2 0 0.30560E-01 C2 0.0

ECUACION: C3

-0.87140E-03 PHI 0.10000E+01 C3 0 0.11970E+00 C3 0.0

ECUACION: C4

-0.23520E-02 PHI 0.10000E+01 C4 0 0.32000E+00 C4 0.0

ECUACION: C5

-0.59510E-03 PHI 0.10000E+01 C5 0 0.12560E+01 C5 0.0

ECUACION: C6

-0.21060E-03 PHI 0.10000E+01 C6 0 0.32370E+01 C6 0.0

ECUACION: PLN1

-0.66000E-01 PHI 0.39000E+01 PLN1 0 0.10000E+01 PLN1 0.0

EQUACION: PLN2						
-0.20000E-01	PHI	0.30000E+02	PLN2	0	0.10000E+01	PLN2 0.0
EQUACION: PLN3						
-0.30000E-01	PHI	0.30000E+03	PLN3	0	0.10000E+01	PLN3 0.0
EQUACION: PLN4						
-0.56000E-01	PHI	0.27000E+04	PLN4	0	0.10000E+01	PLN4 0.0
EQUACION: DPL5						
0.10000E+01	PLN5	0	-0.10000E+01	DPL5	0.0	0.0
EQUACION: DPHI						
0.10000E+01	PHI	0	-0.10000E+01	DPHI	0.0	0.0
EQUACION: PLN5						
0.23000E+01	PLN5	0.23000E+01	DPL5	0	0.46000E+01	DPL5 -0.50000E+00 UPHI
EQUACION: PHIM						
0.81400E+00	PHI	0.10000E+01	PLN1	0.10000E+01	PLN2	0.10000E+01 PLN3
EQUACION: PHIM						
0.10000E+01	PLN4	-0.10000E+01	PHIM	0.0		0.0
EQUACION: FPW1						
-0.50000E+00	PHI	0.14000E+02	FPW1	0	0.10000E+01	FPW1 0.0
EQUACION: FPW2						
-0.50000E+00	PHI	0.40000E+01	FPW2	0	0.10000E+01	FPW2 0.0
EQUACION: PTH						
0.10000E+01	FPW1	0.10000E+01	FPW2	-0.10000E+01	PTH	0.0
EQUACION: PTHM						
-0.10000E+01	PTH	0.10500E+02	PTHM	0	0.10000E+01	PTHM 0.0
EQUACION: PMT						
-0.10600E+01	PHIM	0.20500E+02	PMT	0	0.10000E+01	PMT 0.0
EQUACION: PCOR						
0.10000E+01	PTHM	-0.10000E+01	PMT	0.10000E+01	PCOR	0.0

-0.10000E+01	PCOR	0.1E+00	AD	0.10000E+01	AD	0.0
EQUACION: ADM						
-0.10000E+01	AD	2	0.10000E+01	ADM	0.0	0.0
EQUACION: PLIN						
-0.10000E+01	PHIM		0.10000E+01	ADM	0.10000E+01	PLIN
EQUACION: PHIO						
0.20000E+01	PLN5		0.10000E+01	PLIN	-0.10000E+01	PHIO
EQUACION: KEFF						
0.10000E+01	KEFF		-0.10000E+01	KEFF	0	0.0
EQUACION: DUM						
0.10000E+01	KEFF	2	-0.10000E+01	DUM	0.0	0.0
EQUACION: KEFO						
0.10000E+01	KEFO		-0.16100E+02	C1	-0.39100E+02	C2
EQUACION: KEFO						
-0.41025E+03	C4		-0.16102E+04	C5	-0.41500E+04	C6
EQUACION: PHIS						
0.10000E+01	PHIS		-0.10000E+01	PHIO	0.0	0.0

NUMERO DE ECUACIONES	30	NUMERO DE VARIABLES		30		

LISTADO DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA

KEFF	PHI	KEFO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	PLN1
PLN2	PLN3	PLN4	PLN5	OP15	DPHI	PHIM	FPW1	FPW2	PTH
PTHM	PMT	PCOR	AD	ADM	PLIN	PHIO	KEFF	DUM	PHIS

POSICIONES DE LOS RETARDOS Y LOS HOLDING EN EL SISTEMA DADO

NOMBRE DE LA ECUACION	NOMBRE DE LA VARIABLE	VALOR ASIGNADO	TIPO
ADM	AD	2.00000	Z
DUM	KEFF	0.50000	Z
KEFO	DUM	0.02000	T

.....

.....
 * RESULTADOS DEL ANALISIS FRECUENCIAL *

FRECUENCIA (W)		SALIDA		MODULO	FASE	MODULO
IRAO./ SEG)	(HZ)	PARTE REAL	PARTE IMAG.		(GRADOS)	(DECIB.)
1.0000E-03	1.5915E-04	-3.0779617E+04	-3.6901396E+03	3.1000027E+04	-173.16	89.83
1.3335E-03	2.1224E-04	-1.7461887E+04	-2.0155684E+03	1.7577820E+04	-173.42	84.90
1.7783E-03	2.8302E-04	-9.9032696E+03	-1.1626680E+03	9.9712812E+03	-173.30	79.98
2.3714E-03	3.7742E-04	-5.6166753E+03	-7.0328174E+02	5.6605508E+03	-172.86	75.06
3.1623E-03	5.0329E-04	-3.1833347E+03	-4.4267236E+02	3.2139661E+03	-172.08	70.14
4.2170E-03	6.7114E-04	-1.8111611E+03	-2.7057715E+02	1.8241453E+03	-171.51	65.22

5.6234E-03	8.9498E-04	-1.017745E+03	-1.444846E+02	1.0372073E+03	-166.48	60.12
7.4989E-03	1.1935E-03	-5.763264E+02	-1.4296907E+02	5.9379468E+02	-166.07	55.47
9.9999E-03	1.5915E-03	-3.285764E+02	-1.4400786E+02	3.4464478E+02	-162.44	50.75
1.3335E-02	2.1224E-03	-1.892372E+02	-7.558833E+01	2.0377519E+02	-158.23	46.18
1.7783E-02	2.8302E-03	-1.1020976E+02	-5.444235E+01	1.2292339E+02	-153.71	41.79
2.3714E-02	3.7741E-03	-6.490208E+01	-3.888841E+01	7.5660995E+01	-149.07	37.58
3.1623E-02	5.0329E-03	-3.869273E+01	-2.763673E+01	4.7549103E+01	-144.46	33.54
4.2169E-02	6.7115E-03	-2.342614E+01	-1.9564255E+01	3.0521210E+01	-140.13	29.69
5.6234E-02	8.9499E-03	-1.445641E+01	-1.3769097E+01	1.9964371E+01	-136.39	26.01
7.4989E-02	1.1935E-02	-9.0990620E+00	-9.5991964E+00	1.3226394E+01	-133.47	22.43
9.9999E-02	1.5915E-02	-5.810931E+00	-6.6190395E+00	8.8078709E+00	-131.28	18.90
1.3335E-01	2.1223E-02	-3.7346554E+00	-4.5317726E+00	5.8723593E+00	-129.49	15.38
1.7783E-01	2.8302E-02	-2.4041519E+00	-3.1066141E+00	3.9282312E+00	-127.74	11.88
2.3713E-01	3.7741E-02	-1.5564013E+00	-2.1532326E+00	2.8568394E+00	-125.86	8.49
3.1622E-01	5.0329E-02	-1.0315075E+00	-1.5193596E+00	1.8364258E+00	-124.17	5.28
4.2169E-01	6.7114E-02	-7.2274733E-01	-1.0882120E+00	1.3063574E+00	-123.59	2.32
5.6233E-01	8.9498E-02	-5.5083674E-01	-7.7574813E-01	9.5142323E-01	-125.38	-0.43
7.4988E-01	1.1935E-01	-4.5210302E-01	-5.2929747E-01	6.9609833E-01	-130.50	-3.15
9.9999E-01	1.5915E-01	-3.7795907E-01	-3.2676822E-01	4.9963033E-01	-139.15	-6.03
1.3335E+00	2.1223E-01	-3.0260122E-01	-1.6834855E-01	3.4627837E-01	-150.91	-9.21
1.7783E+00	2.8302E-01	-2.2352868E-01	-5.7998717E-02	2.3093057E-01	-165.45	-12.73
2.3713E+00	3.7741E-01	-1.4806986E-01	8.2591288E-03	1.4829999E-01	-183.19	-16.58
3.1622E+00	5.0328E-01	-8.2219660E-02	3.4834413E-02	9.0931237E-02	-205.28	-20.83
4.2169E+00	6.7114E-01	-3.1026151E-02	4.1460253E-02	5.1783923E-02	-233.19	-25.72
5.6233E+00	8.9498E-01	-8.0655538E-04	2.5957063E-02	2.5969591E-02	-268.22	-31.71
7.4988E+00	1.1935E+00	6.8771951E-03	7.7877156E-03	1.0389626E-02	-311.45	-39.67
9.9998E+00	1.5915E+00	2.5037723E-03	-1.8060714E-04	2.5102776E-03	-364.13	-52.01

MARGEN DE FASE • 55.19 GRAQOS

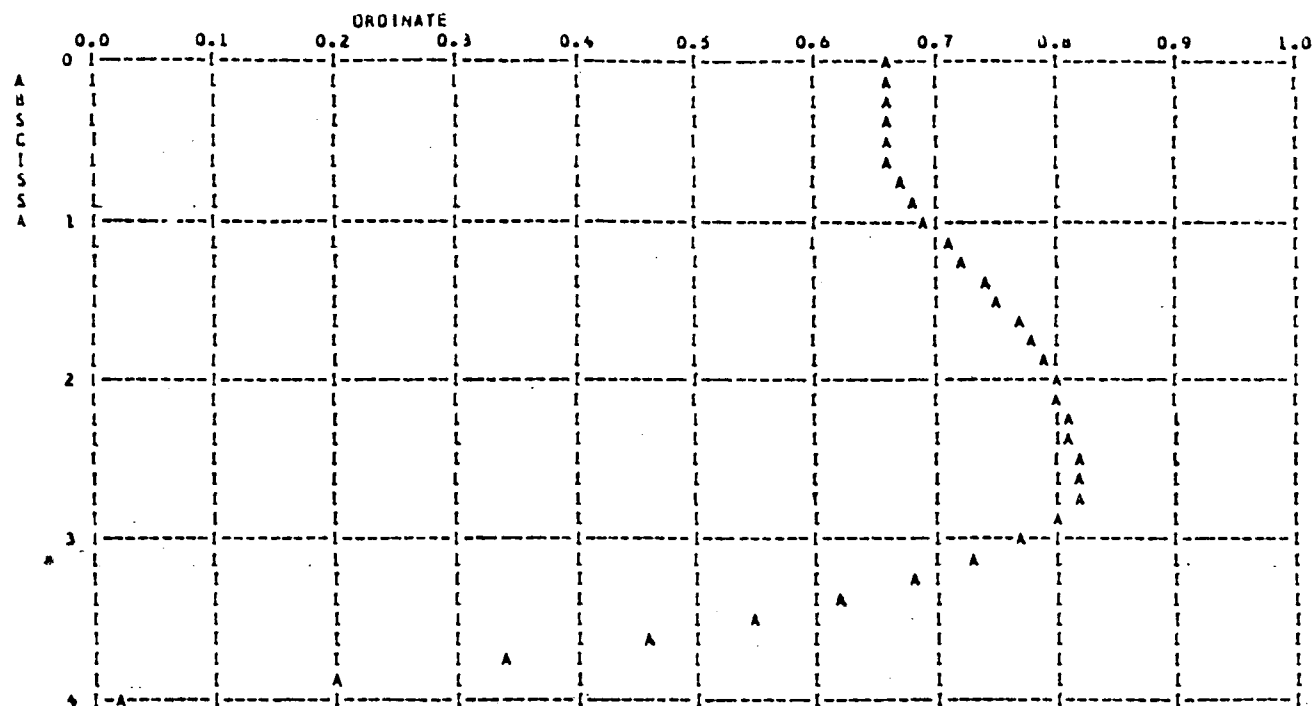
MARGEN DE GANANCIA • 15.92 08.

CURVA DE FASE

INDEP. VARIABLE FROM INITIAL VALUE : #IN (DECADES)

EACH DEP VARIABLE Y(NAME) = OFFSET+SCALE*JORDINATE(SYMBOL)

NAME FASE
SYMBOL A
OFFSET -3.70E+02
SCALE 3.00E+02

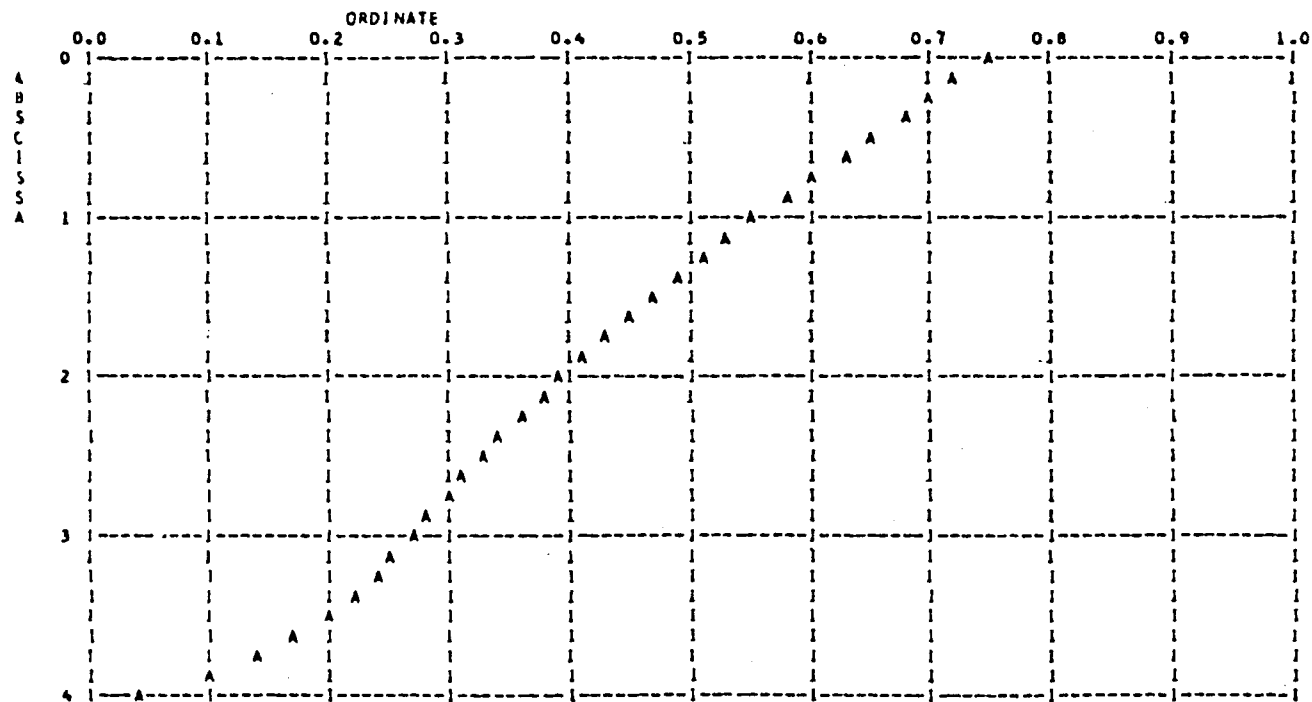


.....

CURVA DE AMPLI TUD

INDEP VARIABLE FROM INITIAL VALUE : MIN (DECADES)
 EACH DEP VARIABLE Y(NAME) = OFFSET+SCALE*ORDINATE(SYMBOL)

NAME AMPL
 SYMBOL A
 OFFSET -6.00E+01
 SCALE 2.00E+02



EJEMPLO 2

LISTADO DEL SISTEMA MUESTREADO

DAIOS GENERALES DE PROGRAMAS

DELTA = 1.3333 NPPU = 8

WIN = 0.0010 WFIN = 10.0000 NLIN = 32

VARIABLE(S) A REPRESENTAR : PHIS -

LISTADO DE LAS ECUACIONES DEL SISTEMA

ECUACION: OKEF

0.32609E-01 OKEF 0 0.21739E+00 OKEF 0.0 0.0

ECUACION: PHI

0.11500E+01 PHI 0 0.68970E+01 PHI -0.10000E+01 KEFU 0.0

ECUACION: C1

-0.33260E-03 PHI 0.10000E+01 C1 0 0.12590E-01 C1 0.0

ECUACION: C2

-0.10170E-02 PHI 0.10000E+01 C2 0 0.10560E-01 C2 0.0

ECUACION: C3

-0.87140E-03 PHI 0.10000E+01 C3 0 0.11970E+00 C3 0.0

ECUACION: C4

-0.23320E-02 PHI 0.10000E+01 C4 0 0.32000E+00 C4 0.0

ECUACION: C5

-0.94510E-03 PHI 0.10000E+01 C5 0 0.12560E+01 C5 0.0

ECUACION: C6

-0.21060E-03 PHI 0.10000E+01 C6 0 0.32370E+01 C6 0.0

ECUACION: PLHI

-0.10000E+01 PHI 0.10000E+01 PLHI 0.0

EQUATION: PLN2

-0.20000E-01 PHI 0.10000E+02 PLN2 0 0.10000E+01 PLN2 0.0

EQUATION: PLN3

-0.10000E-01 PHI 0.30000E+03 PLN3 0 0.10000E+01 PLN3 0.0

EQUATION: PLN4

-0.56000E-01 PHI 0.27000E+04 PLN4 0 0.10000E+01 PLN4 0.0

EQUATION: OPL5

0.10000E+01 PLN5 0 -0.10000E+01 OPL5 0.0 0.0

EQUATION: OPHI

0.10000E+01 PHI 0 -0.10000E+01 OPHI 0.0 0.0

EQUATION: PLN5

0.23000E+01 PLN5 0.21000E+01 OPL5 0 0.46000E+01 OPL5 -0.50000E+00 OPHI

EQUATION: PHIM

0.81400E+00 PHI 0.10000E+01 PLM1 0.10000E+01 PLN2 0.10000E+01 PLN3

EQUATION: PHIM

0.10000E+01 PLN4 -0.10000E+01 PHIM 0.0 0.0

EQUATION: FPH1

-0.50000E+00 PHI 0.14000E+02 FPH1 0 0.10000E+01 FPH1 0.0

EQUATION: FPH2

-0.50000E+00 PHI 0.40000E+01 FPH2 0 0.10000E+01 FPH2 0.0

EQUATION: PTH

0.10000E+01 FPH1 0.10000E+01 FPH2 -0.10000E+01 PTH 0.0

EQUATION: PTHM

-0.10000E+01 PTH 0.10000E+02 PTHM 0 0.10000E+01 PTHM 0.0

EQUATION: PMT

-0.10600E+01 PHIM 0.20500E+02 PMT 0 0.10000E+01 PMT 0.0

EQUATION: PCOR

0.10000E+01 PTHM -0.10000E+01 PMT 0.10000E+01 PCOR 0.0

END OF INPUT

-0.10000E+01	PCU1	0.18000E+01	AD	0	0.10000E+01	AD	0.0
EQUACION: ADM							
-0.10000E+01	AD	2	0.10000E+01	ADM	0.0		0.0
EQUACION: PLIN							
-0.10000E+01	PH14		0.10000E+01	ADM	0.10000E+01	PLIN	0.0
EQUACION: PH10							
0.23000E+01	PLN5		0.10000E+01	PLIN	-0.10000E+01	PH10	0.0
EQUACION: KEKK							
0.10000E+01	OKEF		-0.10000E+01	KEFF	0	0.0	0.0
EQUACION: OUM							
0.10000E+01	KEFF	2	-0.10000E+01	OUM	0.0		0.0
EQUACION: KEF0							
0.10000E+01	KEF0		-0.16100E+02	C1	-0.39100E+02	C2	-0.15346E+03 C3
EQUACION: KEF1							
-0.41025E+03	C4		-0.16102E+04	C5	-0.41500E+04	C6	-0.12821E+01 OUM T
EQUACION: PH15							
0.10000E+01	PH15		-0.10000E+01	PH10	0.0		0.0

TIEMPO DE MUESTREO : 0.5000

NUMERO DE ECUACIONES 30 NUMERO DE VARIABLES 30

LISTADO DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA

OKEF	PH1	KEF1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	PLN1
PLN2	PLN3	PLN4	PLN5	OUM5	OPH1	PH14	PH10	FPW2	PTH
PTH4	PH1	PCIN	AD	ADM	PLIN	PH10	KEFF	OUM	PH15

POSICIONES DE LOS BETABETAS Y LOS MUDING EN EL SISTEMA DAUD

NOMBRE DE LA ECUACION	NUMBRE DE LA VARIABLE	VALOR ASIGNADO	TIPO
ADM	AU	2.00000	Z
DUM	KEFF	0.50000	Z
KEFO	DUM	0.02000	T

.....

RESULTADOS DEL ANALISIS FRECUENCIAL

FRECUENCIA (W)		SALIDA		MODULO	FASE	MODULO
(RADOS/ SEG)	(MTZ)	PARTE REAL	PARTE IMAG.		(GRADOS)	(DECIB.)
1.0000E+03	1.5915E-04	-6.1559234E+04	-7.3802773E+03	6.2000062E+04	-173.16	93.85
1.1519E+03	2.1224E-04	-1.4461771E+04	-4.0111387E+03	3.5155648E+04	-173.42	90.92

1.7733E-03	2.3302E-04	-1.9806531E+04	-2.3253357E+03	1.5942555E+04	-173.36	86.00
2.3714E-03	3.7742E-04	-1.1233391E+04	-1.4065635E+03	1.1321109E+04	-172.86	81.08
3.1623E-03	5.0329E-04	-6.3666680E+03	-8.8534473E+02	6.4279297E+03	-172.08	76.16
4.2169E-03	6.7113E-04	-3.6020869E+03	-5.8131543E+02	3.6486926E+03	-170.83	71.24
5.6234E-03	8.9499E-04	-2.0354907E+03	-3.9996948E+02	2.0744148E+03	-168.88	66.34
7.4989E-03	1.1935E-03	-1.1526528E+03	-2.8593799E+02	1.1875891E+03	-166.07	61.49
9.9999E-03	1.5915E-03	-6.5715283E+02	-2.0601570E+02	6.8928979E+02	-162.44	56.77
1.3335E-02	2.1224E-03	-3.7847437E+02	-1.5117665E+02	4.0755029E+02	-158.23	52.20
1.7783E-02	2.8302E-03	-2.2041753E+02	-1.0888469E+02	2.4584679E+02	-153.71	47.81
2.3714E-02	3.7741E-03	-1.2960417E+02	-7.7776794E+01	1.5132201E+02	-149.07	43.60
3.1623E-02	5.0329E-03	-7.7345483E+01	-5.5273438E+01	9.5098175E+01	-144.46	39.56
4.2169E-02	6.7115E-03	-4.6852310E+01	-3.9128464E+01	6.1042404E+01	-140.13	35.71
5.6234E-02	8.9499E-03	-2.8912442E+01	-2.7538147E+01	3.9928711E+01	-136.40	32.03
7.4989E-02	1.1935E-02	-1.8194151E+01	-1.9198318E+01	2.6452744E+01	-133.47	28.45
9.9999E-02	1.5915E-02	-1.1621913E+01	-1.3238003E+01	1.7615723E+01	-131.28	24.92
1.3335E-01	2.1223E-02	-7.4693766E+00	-9.0634441E+00	1.1744683E+01	-129.49	21.40
1.7783E-01	2.8302E-02	-4.8083887E+00	-6.2130938E+00	7.8564062E+00	-127.74	17.90
2.3713E-01	3.7741E-02	-3.1129112E+00	-4.3062868E+00	5.3135967E+00	-125.86	14.51
3.1622E-01	5.0329E-02	-2.0631504E+00	-3.0384836E+00	3.6727333E+00	-124.18	11.30
4.2169E-01	6.7114E-02	-1.4456596E+00	-2.1761141E+00	2.6125469E+00	-123.60	8.34
5.6233E-01	8.9498E-02	-1.1014071E+00	-1.5506277E+00	1.9019842E+00	-123.39	5.58
7.4988E-01	1.1935E-01	-9.0373641E-01	-1.0574636E+00	1.3910313E+00	-130.52	2.87
9.9999E-01	1.5915E-01	-7.5508547E-01	-6.5209103E-01	9.9768567E-01	-139.19	-0.02
1.3335E+00	2.1223E-01	-6.0372776E-01	-3.3491683E-01	6.9040310E-01	-150.98	-3.22
1.7783E+00	2.8302E-01	-4.4445312E-01	-1.1398029E-01	4.5883554E-01	-165.62	-6.77
2.3713E+00	3.7741E-01	-2.9141605E-01	1.8515117E-02	2.9200351E-01	-183.64	-10.69
3.1622E+00	5.0328E-01	-1.5633774E-01	7.8035451E-02	1.7473149E-01	-206.53	-15.15
4.2169E+00	6.7114E-01	-4.4073145E-02	7.7353477E-02	9.1606379E-02	-237.61	-20.76
5.6233E+00	8.9498E-01	1.3534419E-02	2.8358433E-02	3.1424772E-02	-295.52	-30.05

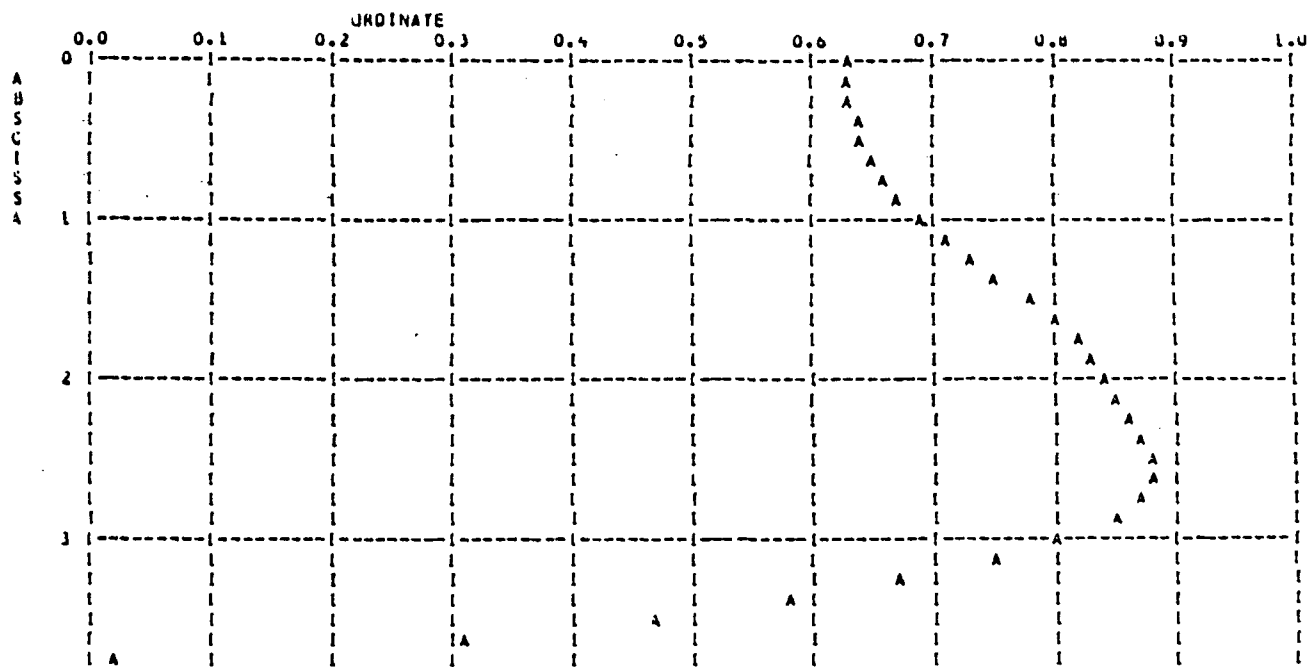
MARGEN DE FASE = 40.88 GRAUOS

MARGEN DE GANANCIA = 9.94 DB.

CURVA DE FASE

INDEP VARIABLE FROM INITIAL VALUE : ω IN (DECADES)
 EACH DEP VARIABLE Y(NAME) = OFFSET+SCALE*JORDINATE(SYMBOL)

NAME FASE
 SYMBOL A
 OFFSET -3.00E+02
 SCALE 2.00E+02

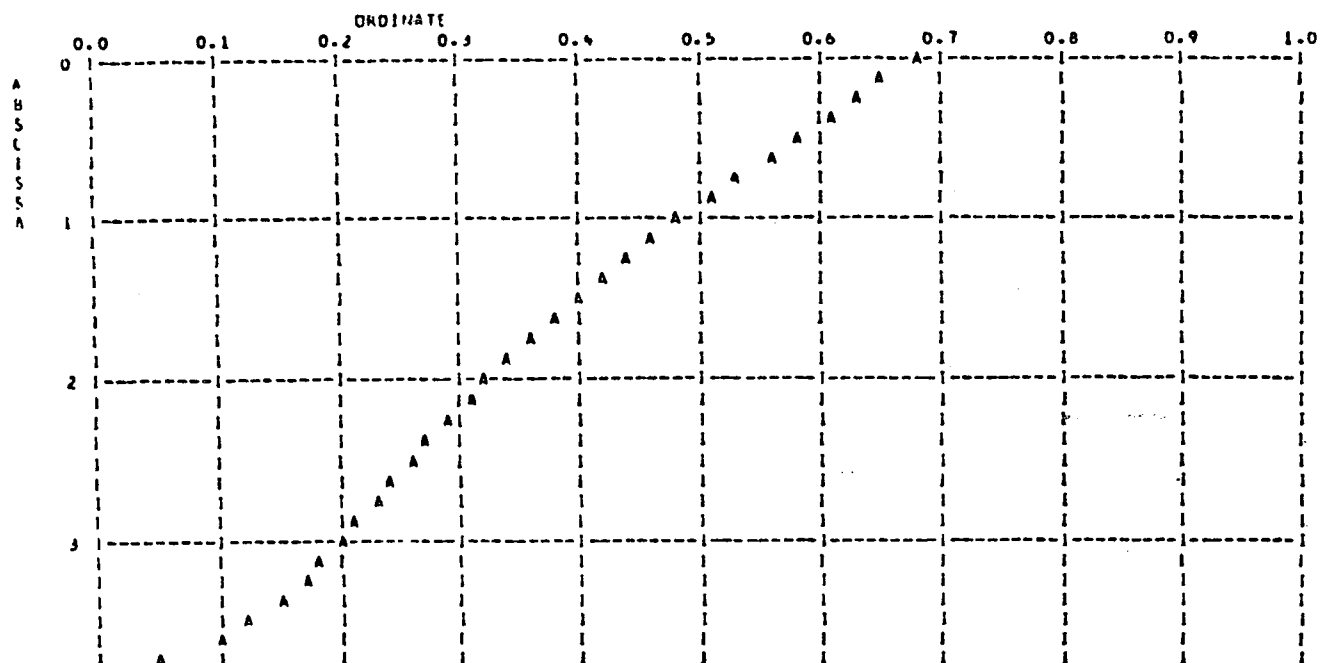


.....

CURVA DE AMPLITUD

INDEP VARIABLE FROM INITIAL VALU : MIN (DECADES)
 EACH DEP VARIABLE Y(NAME) = OFFSET+SCALE*JOINATE(SYMBOL)

NAME AMPL
 SYMBOL A
 OFFSET -4.00E+01
 SCALE 2.00E+02



.....

REFERENCIAS

- [1] K. Ogata :
Modern Control Engineering . Prentice-Hall , 1970.
- [2] M. Schwartz :
Information Transmission , Modulation , and Noise .
Mc. Graw-Hill , 1959.
- [3] J.R. Ragazzini y G.F. Franklin :
Sampled-Data Control Systems . Mc. Graw-Hill , 1958.
- [4] Y. Takahashi , M. Rabins y D. Auslander :
Control . Addison-Wesley , 1970 .
- [5] J.G. Truxal :
Automatic Feedback Control System Synthesis .
Mc. Graw-Hill .
- [6] M.A. Schultz :
Control of Nuclear Reactors and Power Plants.
Mc. Graw-Hill , 1955.
- [7] H. Bode :
Network Analysis and Feedback Amplifier .
D. Van Nostrand , 1956 .

- [8] P.M. Prenter :

Splines and Variational Methods . John-Wiley , 1975.
- [9] A. Ralston y H. Wilf :

Mathematical Methods for Digital Computers .

John-Wiley , 1960 .
- [10] R. Lafara :

Computer Methods for Science and Engineering .

Hayden Book , 1973 .
- [11] Harwell Subroutine Library .

United Kingdom Atomic Energy Authority .

Harwell , Berkshire , 1973 .
- [12] J.C. Maxwell :

Governors . Proc. Roy. Soc. , 16 , 1868 , pp.270-283.
- [13] M. Tolle :

Regelung der Kraftmaschinen .

Berlin : Springer , 1921 .
- [14] N. Wiener :

Cybernetics . New York : Wiley , 1948 .
- [15] W.R. Evans :

Control-System Dynamics . Mc. Graw-Hill , 1954 .

- [16] H. Nyquist :
Regeneration Theory .
Bell System Tech. J. , 11 (1932) , pp. 126-147 .
- [17] C.E. Shannon :
Communication in the Presence of Noise .
Proc. IRE , 37 (1949) , pp. 10-21 .
- [18] Scientific Subroutine Package .
370 . International Business Machines .