

F- DEPI
N.2
1979
Ej. 6



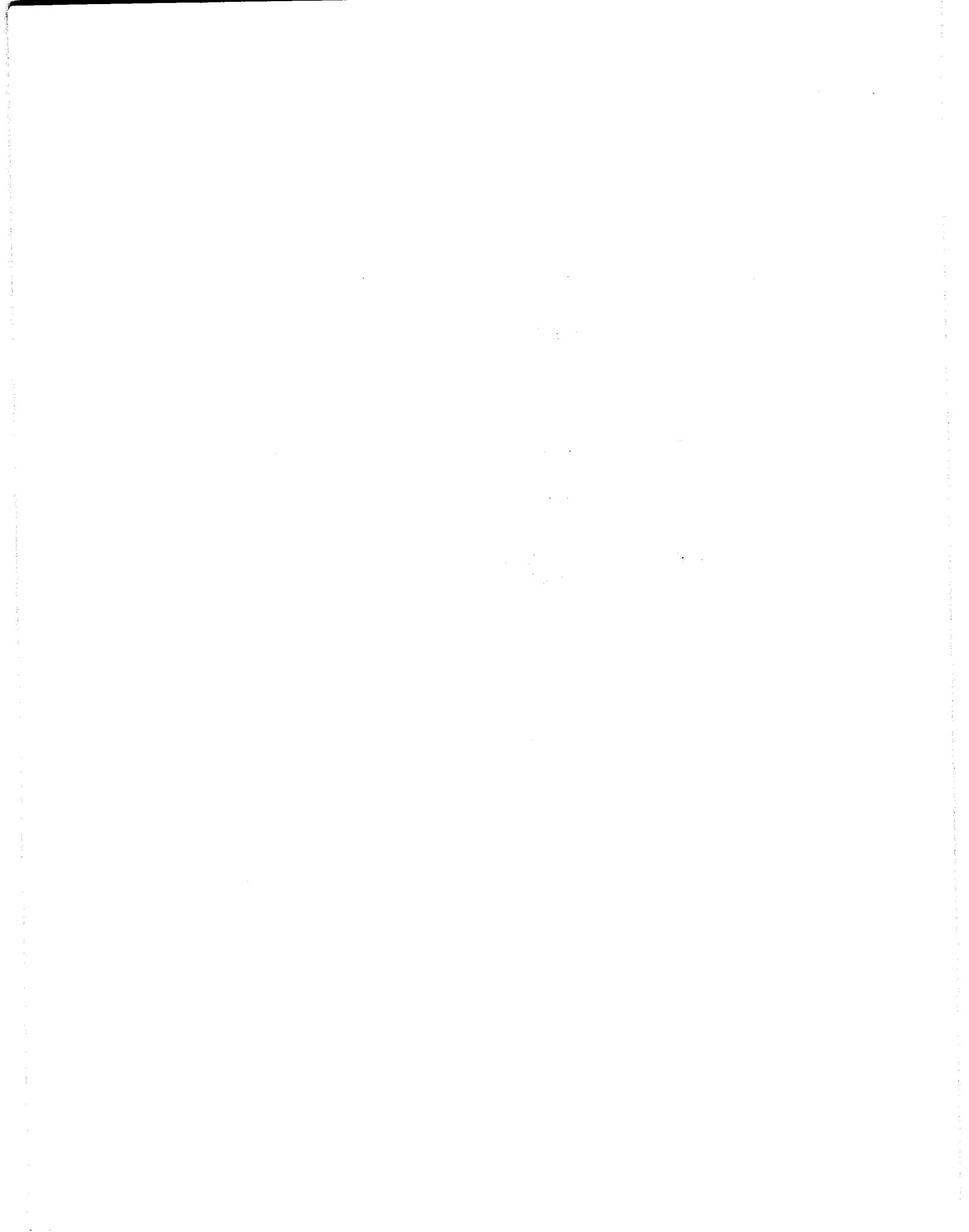
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

SIMULADORES DIGITALES ELECTRONICOS

Alejandro Guarda Auras
Roberto Daza Gómez Torres
José Miguel Martínez Alcaraz

I N D I C E

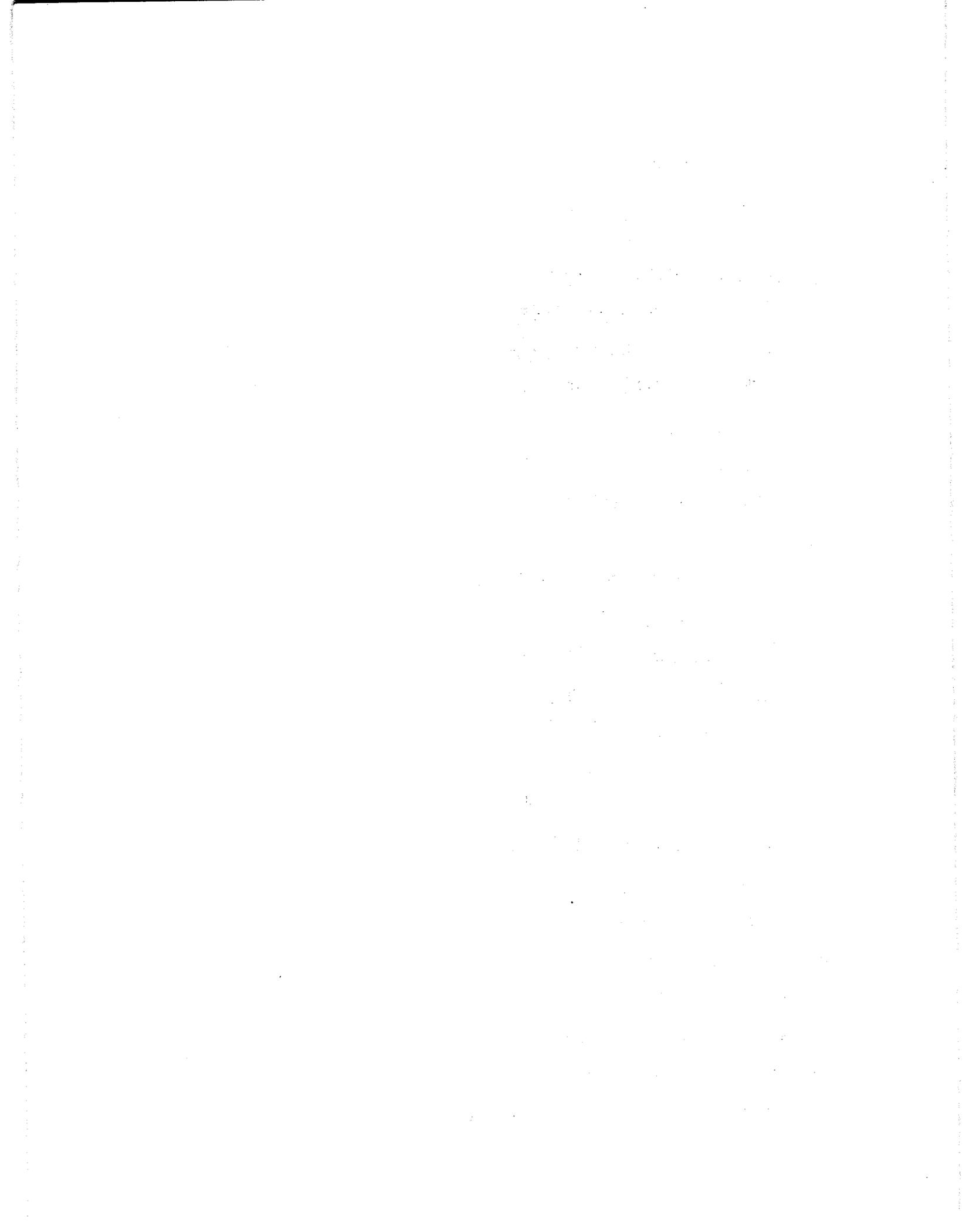
		Página
Capítulo 1	Introducción	1
Capítulo 2	FRANK: Manual del usuario y ejemplo	7
Capítulo 3	BIASN: Manual del usuario y ejemplo	21
Capítulo 4	SLIC: Manual del usuario y ejemplo	39
Capítulo 5	SICINOL: Manual del usuario y ejemplo	91
Capítulo 6	SLIC/REMOTO: Manual del usuario y ejemplo.	106



P R O L O G O

El presente trabajo tiene por objeto presentar cuatro programas FRANK, BÍASN, SLIC y SICINOL, que se encuentran actualmente en la Programateca del CSC. Los programas fueron originalmente desarrollados en la Universidad de California, Berkeley, y han sido adaptados a las facilidades del Centro de Cómputo de la UNAM. En la actualidad, se está trabajando para mejorar dichos programas, haciéndolos más flexibles e incorporándoles nuevas posibilidades de análisis.

El desarrollo del presente trabajo ha sido posible gracias a la cooperación de varias personas. Queremos agradecer especialmente al Dr. William J. McCalla de Signetics, al Dr. Richard I. Dowell de Bell Laboratories, al Prof. Ronald A. Rohrer de la Universidad de Carnegie-Mellon, al Prof. Robert W. Dutton de la Universidad de Stanford, a los Profesores David A. Hodges, Donald Pederson y a Shi Ping Fan, de la Universidad de California, Berkeley, y al Centro de Cálculo de la UNAM, por las facilidades otorgadas. Finalmente, al señor Carlos Fuentes quien dibujó las figuras.



CAPITULO 1: INTRODUCCION.

Con la introducción en la década del 60 de los circuitos integrados y el éxito que éstos han tenido, los conceptos tradicionales del diseño en electrónica han debido de ser modificados.

Debido a la estructura monolítica del proceso de fabricación de circuitos integrados, una vez diseñado un circuito y comenzado su proceso de fabricación, ya no es posible alterar ningún parámetro de los componentes del circuito. Esta restricción, que no se presenta en el diseño con componentes discretos, impuso un cambio fundamental en la filosofía del diseño. Ya no fue posible recurrir al alambrado preliminar y a las pruebas en el laboratorio hasta cumplir con las especificaciones dadas. En cambio, comenzaron a aparecer programas de computadora, a los que se les especificaba la topología del circuito, en un principio restringido a contener exclusivamente componentes pasivos; éste analizaba el circuito entregando como respuesta los voltajes en los nodos, las corrientes en las ramas, la ubicación de los polos y ceros, etc. Así se inició una área muy productiva de la Ingeniería Eléctrica, que se ha llamado "Diseño y simulación de circuitos con computadora".

La idea general fue incorporar la computadora en proceso de diseño como un elemento interactivo importante.

Las necesidades de contar con simuladores que facilitaran al diseñador el análisis de circuitos, hicieron necesario desarrollar campos paralelos, como son los de Modelado de dispositivos y Métodos Numéricos.

Por las razones explicadas anteriormente, no bastaba con tener un simulador que sólo aceptara componentes pasivos, por lo que pronto se desarrollaron simuladores que aceptaban dispositivos de estado sólido (diodos, TBJ, FET,

MOS), lo cual se logró, incluyendo en el programa, modelos de los dispositivos más usados. La complejidad del modelo a utilizar, depende exclusivamente de la exactitud requerida de las respuestas. Inicialmente se utilizó el modelo de Ebers-Moll [1], el que por las limitaciones que posee, resultó insuficiente en muchas aplicaciones. Posteriormente, Mc Calla [2] desarrolló un modelo de Ebers-Moll modificado incluyendo efectos de segundo orden, basado en un "modelo de transporte" propuesto por Logan [3]. Dicho modelo es el que utilizan los programas SICINOL y SLIC. Otro modelo muy importante es el Gummel y Poon [4], que ha sido incorporado en otros simuladores [5] y que está basado en el modelo de control de carga de Beanfooy y Sparks [6]. Aun cuando los modelos mencionados han mejorado enormemente la exactitud de los simuladores actualmente disponibles, el trabajo en el campo de modelado aún requiere bastante desarrollo; por ejemplo, se requieren modelos más exactos del FET y del MOS, e incorporar una segunda constante de tiempo para el análisis transiente de circuitos digitales saturables.

En el área de métodos numéricos, quizá el aporte más importante ha sido la proposición de un algoritmo para invertir matrices semi-vacías. Para introducir este concepto, es conveniente, primero, describir brevemente las funciones que realiza un simulador.

Un simulador digital de circuitos electrónicos, básicamente, acepta la topología de un circuito y los valores de los componentes del mismo, almacenando estos datos según el método de análisis en el que está basado (principalmente los métodos de nodos y de variables de estado). Para el caso del método de nodos, el programa construye la matriz de admitancias de nodo y luego, a partir de voltajes de nodos supuestos, analiza el circuito y compara los voltajes obtenidos con los supuestos; si no concuerdan, vuelve a repetir el aná

lisis, esta vez a partir de los voltajes obtenidos en el análisis anterior. El proceso se repite hasta que los voltajes concuerden.

Por lo anterior, se puede apreciar que el simulador realiza en forma iterativa el análisis del circuito. El número de iteraciones dependerá de qué tan cerca de la solución estén los valores iniciales supuestos. Esto provocó el que hayan surgido varias proposiciones para los voltajes iniciales (en las juntas de un TBJ por ejemplo). Sin embargo, todas ellas son empíricas y por lo tanto carecen de generalidad. Cuando los valores iniciales de los voltajes se encuentren muy cerca de la solución, el simulador requerirá de varias iteraciones para converger a ésta; como cada iteración requiere un análisis del circuito, el tiempo de computación requerido para analizar un circuito de 30 nodos o más puede ser prohibitivo.

Como el costo del tiempo de computación puede influir fuertemente en el diseño de un circuito, y éste se incluye en el costo total de manufactura, fue necesario optimizar dicho tiempo de computación y, a la vez, minimizar la cantidad de memoria requerida por el programa. Para esto, se partió de la base de que la matriz de admitancia de nodos de circuitos grandes (más de 10 ó 15 nodos), tiene la característica de ser "casi-vacía" o "poco densa", es decir, la mayoría de sus elementos son cero y además, aquellos elementos distintos de cero, se encuentran por lo general, cerca de la diagonal. Como los métodos tradicionales de inversión de matrices operan sobre todos los elementos de éstas, dichos métodos son muy ineficaces si se utilizan en la solución de circuitos electrónicos, ya que más del 50% de los elementos de dicha matriz serán cero.

Utilizando esta propiedad de la matriz de admitancias de nodos, Berry [7] propuso un algoritmo que optimiza la inversión de dicha matriz. Para ejemplificar el ahorro de tiempo, en un circuito cuya matriz de admitancias de

47 x 47, se requerían 36,000 operaciones básicas (cada operación básica equivale a una multiplicación y una resta), utilizando un método convencional de reducción (por ejemplo el de Gauss). Utilizando una versión simplificada del algoritmo de Berry, para la misma matriz, se requirieron sólo 600 operaciones básicas para su solución. Es decir, hubo una reducción de 60 a 1 en el número de operaciones. Aún cuando el ahorro ha sido considerable, el hecho es que debemos tener en cuenta que para cada solución se han requerido varias iteraciones, lo cual hace aún mayor el ahorro.

Los simuladores que se describen a continuación fueron desarrollados por el grupo de Circuitos Integrados del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de California en Berkeley.

Dichos programas varían en complejidad y ofrecen distintos tipos de análisis. En conjunto, el usuario tiene las opciones de análisis de polarización, señal pequeña, respuesta de frecuencia, Bode, transiente, distorsión, ruido y sensibilidad.

El más pequeño de dichos programas, FRANK, acepta elementos pasivos (R, L y C) y fuentes de corriente controladas por voltaje y calcula ubicación de polos y ceros, respuesta de frecuencia y Bode. En complejidad, le sigue BIASN, que acepta resistores y transistores (TBJ y FET) y calcula la polarización del circuito, los parámetros de señal pequeña de los transistores y análisis de ruido. Estos dos programas, FRANK y BIASN, se unieron en uno, SLIC, que además de los tipos de análisis originales mencionados, tiene incorporado un modelo más exacto de transistores y calcula sensibilidades.

El usuario debe utilizar uno de los tres, según los tipos de respuesta que desee, de acuerdo a la etapa en que se encuentre su diseño. Por ejemplo, para obtener una información completa del comportamiento de un circuito, se

debe recurrir a SLIC, en cambio si sólo se interesa por la polarización, el más indicado es BIASN por el ahorro de tiempo de computación que implica. Similarmente, si se está analizando en frecuencia, y ya se conocen los parámetros de señal pequeña de los transistores, se puede utilizar FRANK.

Los tres programas mencionados son adecuados para circuitos analógicos. Para circuitos digitales, en los que interesa el comportamiento transiente del mismo, el programa SICINOL es el más adecuado. Dicho programa tiene el mismo modelo para transistores que SLIC y realiza análisis transiente y de distorsión. También puede ser utilizado para analizar circuitos no lineales como amplificadores de potencia, osciladores, etc.

En los capítulos siguientes se describen con más detalle los cuatro programas y se incluye el Manual del usuario de cada uno.

Referencias:

- [1] J. J. Ebers and J. L. Moll, "Large signal behavior of function transistors", Proc. IRE, Vol. 42, Dec. 1954, pp 1761-1772.

- [2] W. J. Mc Calla, "Computer-Aided Design of Integrated Bandpass Amplifier", University of California, Berkeley, Ph. D. Disertation, June 1972.

- [3] J. Logan, "Characterization and modeling for statistical design", Bell Syst. Tech. J., Vol. 50, April 1971, pp 1105-1147.

- [4] H. K. Gummel and H. C. Poon, "An Integrated Charge Control Model of Bipolar Transistors", Bell Syst. Tech. J., Vol. 49, May 1970, pp 827-852.

- [5] L. W. Nagel and D. O. Pederson, "Simulation program with integrated circuit emphasis (SPICE)", 16th Midwest Symposium on Circuit Theory, Waterloo, Ontario, April 12, 1973.

- [6] R. Beanfooy and J. J. Sparkes, "The Function Transistor as a Charge Controlled Device", H.T.E. Journal, Vol. 13, October 1957, pp 310-324.

- [7] R. D. Barry, "An optimal ordering of electronic Circuit equations for a sparce matrix solution", IEEE Trans. Circuit Theory, Vol. CT-18, Jan. 1971, pp 40-50.

CAPITULO 2: FRANK: Manual de Usuario y Ejemplo

2.1 Manual del usuario.

FRANK es un programa que calcula polos y ceros y respuesta de frecuencia de circuitos RLC, lineales y activos, de un máximo de 30 nodos.

Dado un circuito, descrito por un conjunto de nodos y por sus elementos, FRANK calcula polos y ceros de la función de transferencia entre dos puertos especificados por el usuario; además, y en forma optativa, calcula la respuesta de frecuencia del circuito y grafica los diagramas de Bode de magnitud y de fase.

El programa puede ser usado en "batch" para ejecutar varios trabajos en una corrida. Para esto, es necesario poner los trabajos en forma secuencial, cada uno con su tarjeta de "TITULO" que debe ser la primera, y su tarjeta de "END" que debe ser la última.

Los tipos de elementos que acepta FRANK son: Resistores, Capacitores, Inductores y Fuentes de corriente controladas por voltaje.

A continuación se da una explicación detallada de cada una de las tarjetas de control y de elementos.

a) Tarjeta de título.

Esta deberá ser la primera tarjeta de cada trabajo y puede contener cualquier tipo de comentario o información, entre las columnas 1 y la 80.

Ejemplo:

```
1234567890123456789012345678...  
UNAM CIRCUITO DE PRUEBA - ETAPA DE AMPLIFICACION
```

b) Tarjeta de especificación de la salida.

Esta deberá ser la segunda tarjeta de cada conjunto de datos. Se puede especificar un sola salida. La forma general de esta tarjeta, en sus dos opciones, es la siguiente:

VOUT N+ N-

IOUT N+ N-

La primera opción: VOUT, indica que se desea una salida de voltaje, y la segunda opción: IOUT, indica que se desea una salida de corriente. Los símbolos N+ y N- indican el número del nodo positivo y el número del nodo negativo del puerto de salida.

VOUT o IOUT deben perforarse en las columnas 1 a 4. N+ se debe perforar en las columnas 6 y 7 y N- en las columnas 9 y 10.

Ejemplos:

```
1234567890123456789012345678...
VOUT 03 13
IOUT 01 11
```

c) Tarjeta de especificación de la fuente de entrada.

Esta deberá ser la tercera tarjeta de cada conjunto de datos. Se puede especificar sólo una fuente de entrada.

La forma general de esta tarjeta, en sus dos opciones, es la siguiente.

VXXX N+ N- VALOR

IXXX N+ N- VALOR

VXXX es el nombre de la fuente y puede tener de uno a cuatro caracteres, perforados en las columnas uno a la cuatro, el primero de los cuales deberá ser la letra V si la fuente de entrada es una fuente de voltaje.

IXXX es el nombre de la fuente y puede tener de uno a cuatro caracteres, perforados en las columnas uno a la cuatro, el primero de los cuales deberá ser la letra I si la fuente de entrada es una fuente de corriente.

N+ es el número del nodo positivo de la fuente de entrada (de voltaje o de corriente); se debe perforar en las columnas 6 y 7.

N- es el número del nodo negativo de la fuente de entrada (de voltaje o de corriente); se debe perforar en las columnas 9 y 10.

VALOR es el valor de la fuente. El valor usual de la fuente de entrada es 1.0. Si el valor especificado por el usuario es diferente de 1.0, la salida será escalada de acuerdo con el valor especificado. Este valor se perfora entre las columnas 12 y 27 y debe contener un punto decimal.

Ejemplos:

```
1234567890123456789012345678...
VS 03 10 1.0
VENT 14 00 1.0
I1 01 02 1.0
ICOR 06 12 1.0
```

d) Tarjetas de elementos.

Estas tarjetas pueden aparecer en cualquier orden. El usuario deberá tener presente los factores de escala que utilice. Por ejemplo, si los capacitores son del orden de nano-Farads y los resistores del orden de Kilo-ohms, las conductancias serán escaladas por mili-mhos y la frecuencia por MGH (Mega-Hertz).

3) Tarjetas de resistores.

Forma general:

RXXX N1 N2 VALOR

RXXX es el nombre que identifica a un resistor dado; puede tener de uno a cuatro caracteres, de los cuales el primero debe ser la letra R y deberá perforarse entre las columnas uno y cuatro.

N1 y N2 son los nodos a los que está conectado el resistor; se deben perforar en las columnas 6-7 y 9-10 respectivamente.

VALOR es el valor escalado de la resistencia; debe perforarse entre las columnas 12 y 21, y deberá tener un punto decimal. No se pueden especificar resistores de valor cero.

Ejemplos:

```
1234567890123456789012345678...
RPI1 14 16 2500.0
R1 04 05 100.0
```

f) Tarjeta de capacitor.

Forma general:

CXXX N1 N2 VALOR

CXXX es el nombre que identifica a un capacitor dado; puede tener de uno a cuatro caracteres, de los cuales el primero debe ser la letra C y deberá perforarse entre las columnas uno y cuatro.

N1 y N2 son los nodos a los que está conectado el capacitor; se deben perforar en las columnas 6-7 y 9-10 respectivamente.

VALOR es el valor escalado de la capacidad; debe perforarse entre las columnas 12 y 21 y deberá tener un punto decimal. No se pueden especificar capacitores de valor cero.

Ejemplos:

```
1234567890123456789012345678...
CPI 09 16 0.000005
CMU1 01 12 0.0001
```

g) Tarjeta de inductor.

Forma general:

LXXX N1 N2 VALOR

LXXX Es el nombre que identifica a un inductor dado; puede tener de uno a cuatro caracteres, de los cuales el primero debe ser la letra L y deberá perforarse entre las columnas uno y cuatro.

N1 y N2 son los nodos a los que está conectado el inductor; se deben perforar en las columnas 6-7 y 9-10 respectivamente.

VALOR es el valor escalado de la resistencia; debe perforarse entre las columnas 12 y 21 deberá tener un punto decimal. No se pueden especificar inductores de valor cero.

Ejemplos:

```
1234567890123456789012345678...
LIND 09 10 0.00003
LAI 01 12 0.0000005
```

h) Tarjeta de fuente de corriente controlada por voltaje.

Forma general:

GMXX N+ n- C+ C- VALOR

GMXX es el nombre que identifica a la fuente controlada; debe tener de dos a cuatro caracteres, de los cuales los dos primeros deben ser las letras GM y se deben perforar en las columnas uno a la cuatro. N+ y N- son los nodos a los cuales está conectada GMXX. El orden de los nodos es importante: la corriente por la fuente va del nodo N+ al nodo N-. Estos nodos se deben perforar en las columnas 6-7 y 9-10 respectivamente.

C+ y C- son los nodos que controlan a la fuente. C+ es el nodo positivo y C- es el nodo negativo. Estos nodos se deben perforar en las columnas 12-13 y 15-16 respectivamente.

VALOR es el valor de la transconductancia de la fuente; debe perforarse entre las columnas 18 y 27 y deberá tener un punto decimal.

Ejemplo:

```
1234567890123456789012345678...
GM1 06 05 03 00 0.000005
GMIN 08 00 02 00 0.00000047
```

i) Tarjeta de análisis de frecuencia.

Forma general:

FREQ PD FMIN FMAX

FREQ indica que se desea un análisis de frecuencia impreso en escala logarítmica. Esta instrucción debe perforarse en las columnas uno a la cuatro.

PD indica el número de valores de frecuencia por década, a los cuales se calculará la respuesta. No debe llevar punto decimal y se debe perforar en las columnas seis y siete.

FMIN y FMAX son los valores mínimo y máximo del rango de frecuencia en que se desea el análisis. Se deben perforar entre las columnas 10-19 y 20-29 respectivamente, y deberán contener un punto decimal.

Ejemplos:

```
1234567890123456789012345678...
FREQ 10 100.0 1000000.0
FREQ 06 1.0 1000.0
```

j) TARJETA END.

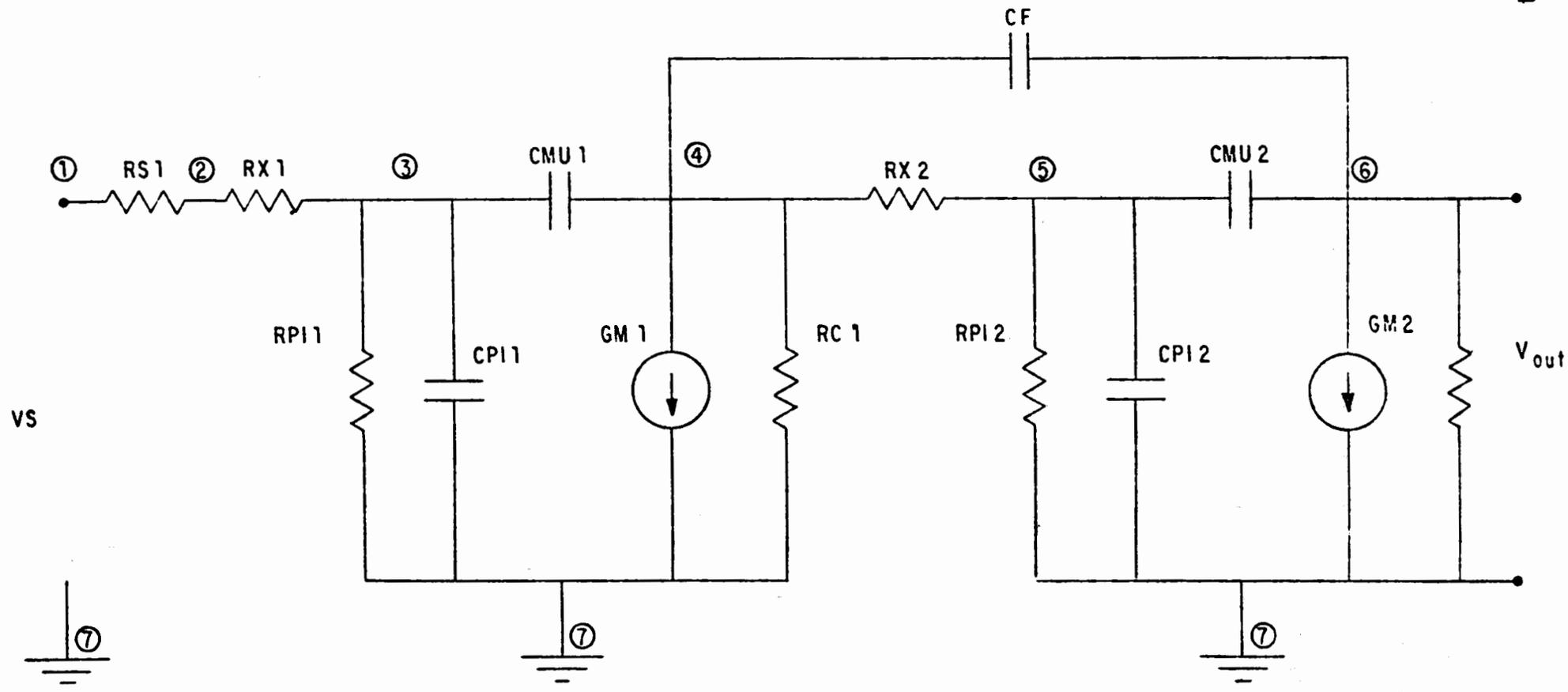
Forma general:

END

Esta tarjeta debe ser la última de cada conjunto de datos y deberá estar siempre presente. La tarjeta se debe perforar en las columnas uno y tres. Si END no está presente, el trabajo no será ejecutado.

2.2 Ejemplo FRANK.

En la figura se muestra el circuito de señal pequeña de un amplificador en cascada. A continuación, se incluye el conjunto de tarjetas con los datos e instrucciones para el programa y el listado de FRANK con las respuestas de los distintos análisis.



EJEMPLO FRANK : AMPLIFICADOR EN CASCADA

DESPI ANALOGICOS LINEALES ALEJANDRO GUARDA ,AMPLIFICADOR EN CASCADA

ROUT 05 07

VS 1 7 1.0

PS 1 2 1.0

FX1 2 3 0.1

RPI1 3 7 2.5

OPT1 3 7 0.1

OF 04 05 0.005

OM1 3 4 0.005

OM2 4 7 3 7 20.0

OC1 4 7 10.0

OC2 4 5 0.1

OP12 5 7 2.5

OP12 5 7 0.1

OM2 5 6 0.005

OM2 6 7 5 7 20.0

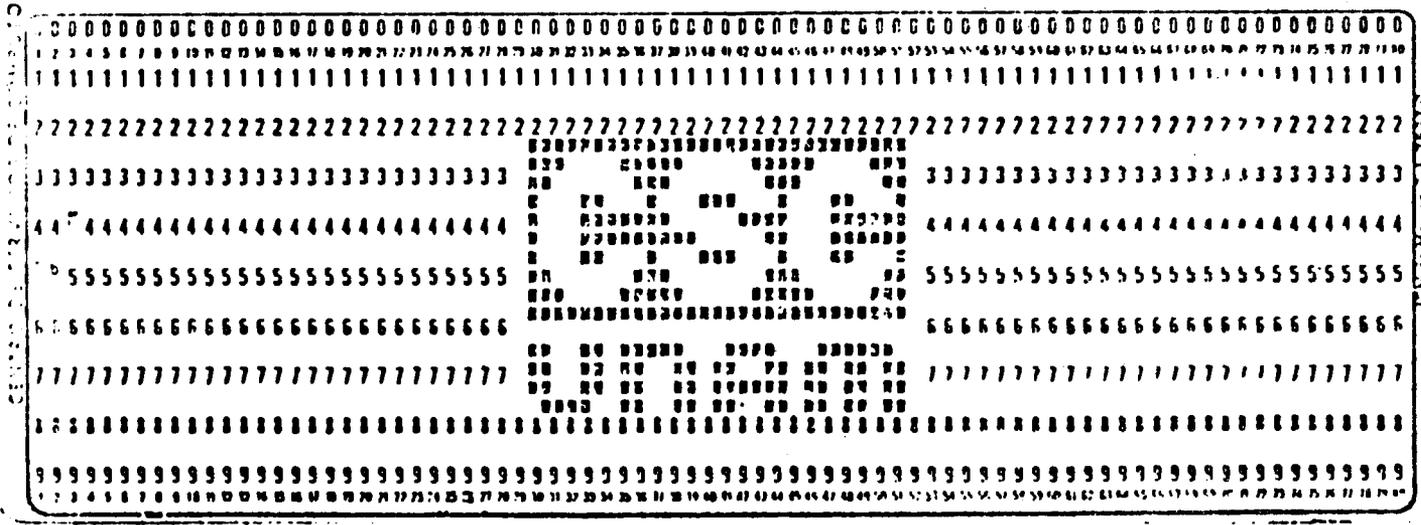
OC2 6 7 10.0

REQ 10 0.001 1000.0

END

0

0



 *
 * ANALISIS DE POLOS Y CEROS *
 *

DESFI ANALOGICOS LINEALES ALEJANDRO GUARDA AMPLIFICADOR EN CASCA FRANK..

P O L O S (RAD/SEG)		C E R O S (RAD/SEG)	
REAL	IMAG	REAL	IMAG
-2.23461E+01	0.	5.27668E+02	0.
-1.18206E+01	0.	-7.21954E+02	0.
-2.18159E+02	0.	4.00000E+03	0.
-1.50226E+03	0.		

COEF DE ADELANTO = 8.52497E-06	COEF DE ADELANTO = 2.62500E-05
--------------------------------	--------------------------------

P O L O S (HERTZ)		C E R O S (HERTZ)	
REAL	IMAG	REAL	IMAG
-3.56297E+02	0.	8.59810E+01	0.
-1.85130E+00	0.	-1.14903E+02	0.
-3.40885E+01	0.	6.36620E+02	0.
-2.39092E+02	0.		

RES PUESTA EN FRECUENCIA

DESFI ANALOGICOS LINEALES ALEJANDRO GJARDA AMPLIFICADOR EN CASCA FRANK

FREQ (HZ)	GANANC DB	GANANC IAG	FASE
1.0000E+00	7.4522E+01	5.5093E+03	1.64
1.4550E+00	7.4527E+01	5.5080E+03	2.06
1.9534E+00	7.4517E+01	5.5080E+03	2.60
1.9953E+00	7.4512E+01	5.5029E+03	3.27
2.5117E+00	7.4504E+01	5.4975E+03	4.11
3.1623E+00	7.4471E+01	5.4899E+03	5.15
3.9911E+00	7.4477E+01	5.4774E+03	6.51
5.0117E+00	7.4474E+01	5.4577E+03	8.17
6.3095E+00	7.4462E+01	5.4270E+03	10.25
7.9433E+00	7.4415E+01	5.3774E+03	12.83
1.0000E+02	7.4447E+01	5.3083E+03	16.00
1.2557E+02	7.4431E+01	5.1935E+03	19.87
1.5947E+02	7.4404E+01	5.0355E+03	24.50
1.9953E+02	7.4367E+01	4.8085E+03	29.90
2.5117E+02	7.4307E+01	4.5041E+03	36.00
3.1623E+02	7.4291E+01	4.1215E+03	42.62
3.9811E+02	7.4304E+01	3.6747E+03	49.47
5.0117E+02	7.4302E+01	3.1922E+03	56.23
6.3095E+02	6.4255E+01	2.7095E+03	62.61
7.9433E+02	6.4295E+01	2.2536E+03	65.43
1.0000E+01	6.5337E+01	1.6474E+03	73.65
1.2557E+01	6.5507E+01	1.4975E+03	78.30
1.5947E+01	6.4613E+01	1.2042E+03	82.49
1.9953E+01	5.9570E+01	9.6342E+02	86.37
2.5117E+01	5.7695E+01	7.6715E+02	90.05
3.1623E+01	5.5655E+01	6.0354E+02	93.51
3.9911E+01	5.3535E+01	4.8042E+02	97.71
5.0117E+01	5.1581E+01	3.7761E+02	101.95
6.3095E+01	4.9333E+01	2.9456E+02	106.69
7.9433E+01	4.7133E+01	2.2747E+02	112.07
1.0000E+02	4.4772E+01	1.7323E+02	118.15
1.2557E+02	4.2244E+01	1.2931E+02	124.93
1.5947E+02	3.9523E+01	9.4654E+01	132.35
1.9953E+02	3.5575E+01	6.7417E+01	140.03
2.5117E+02	3.3335E+01	4.6754E+01	147.86
3.1623E+02	3.0000E+01	3.1643E+01	155.53
3.9911E+02	2.6430E+01	2.0955E+01	162.90
5.0117E+02	2.2737E+01	1.3657E+01	169.95
6.3095E+02	1.8324E+01	8.7794E+00	176.79
7.9433E+02	1.4237E+01	5.5040E+00	-176.40
1.0000E+01	1.0722E+01	3.5154E+00	-169.40
1.2557E+01	6.8172E+00	2.1471E+00	-161.97
1.5947E+01	2.6271E+00	1.3579E+00	-153.91
1.9953E+01	-1.4257E+00	8.2927E-01	-145.07
2.5117E+01	-3.7231E+00	4.9932E-01	-135.40
3.1623E+01	-1.5733E+01	2.9730E-01	-124.99
3.9911E+01	-1.5125E+01	1.7528E-01	-114.04
5.0117E+01	-1.0735E+01	1.0339E-01	-102.61
6.3095E+01	-4.4275E+00	6.1173E-02	-91.53
7.9433E+01	-2.8501E+00	3.6937E-02	-80.37
1.0000E+02	-3.2735E+00	2.2439E-02	-69.35
1.2557E+02	-3.6553E+00	1.4635E-02	-55.39
1.5947E+02	-7.7271E+00	9.6635E-03	-47.29
1.9953E+02	-4.3735E+00	6.4933E-03	-35.59
2.5117E+02	-8.7235E+00	4.4237E-03	-24.12
3.1623E+02	-5.7335E+00	3.0413E-03	-17.08
3.9811E+02	-2.3217E+01	2.1074E-03	0.05
5.0117E+02	-5.5771E+00	1.4037E-03	12.00
6.3095E+02	-3.0523E+00	1.0534E-03	23.46
7.9433E+02	-6.2457E+00	7.6854E-04	34.14
1.0000E+03	-6.4975E+00	5.7091E-04	43.76

DIAGRAMA DE BCDE DE MAGNITUD

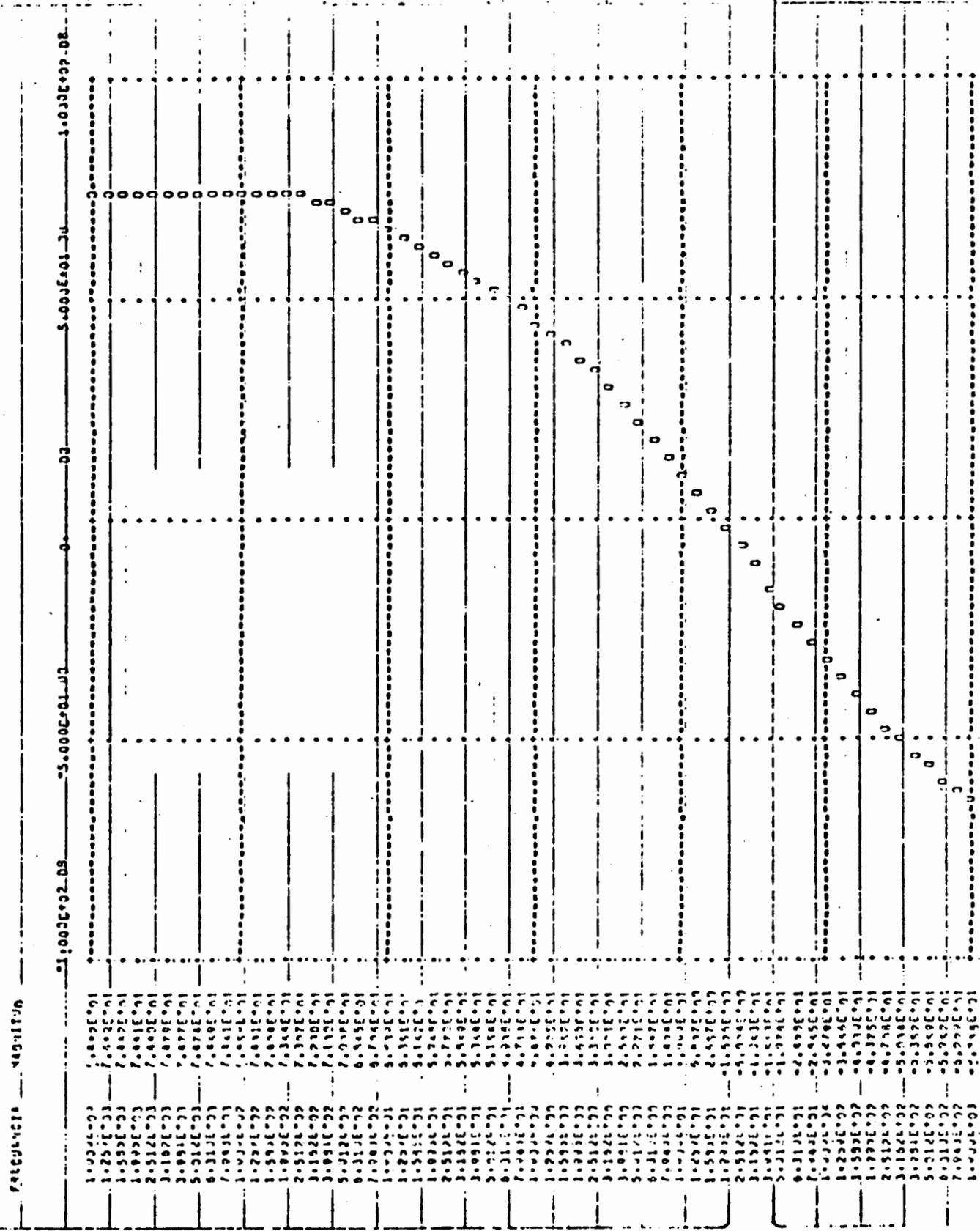
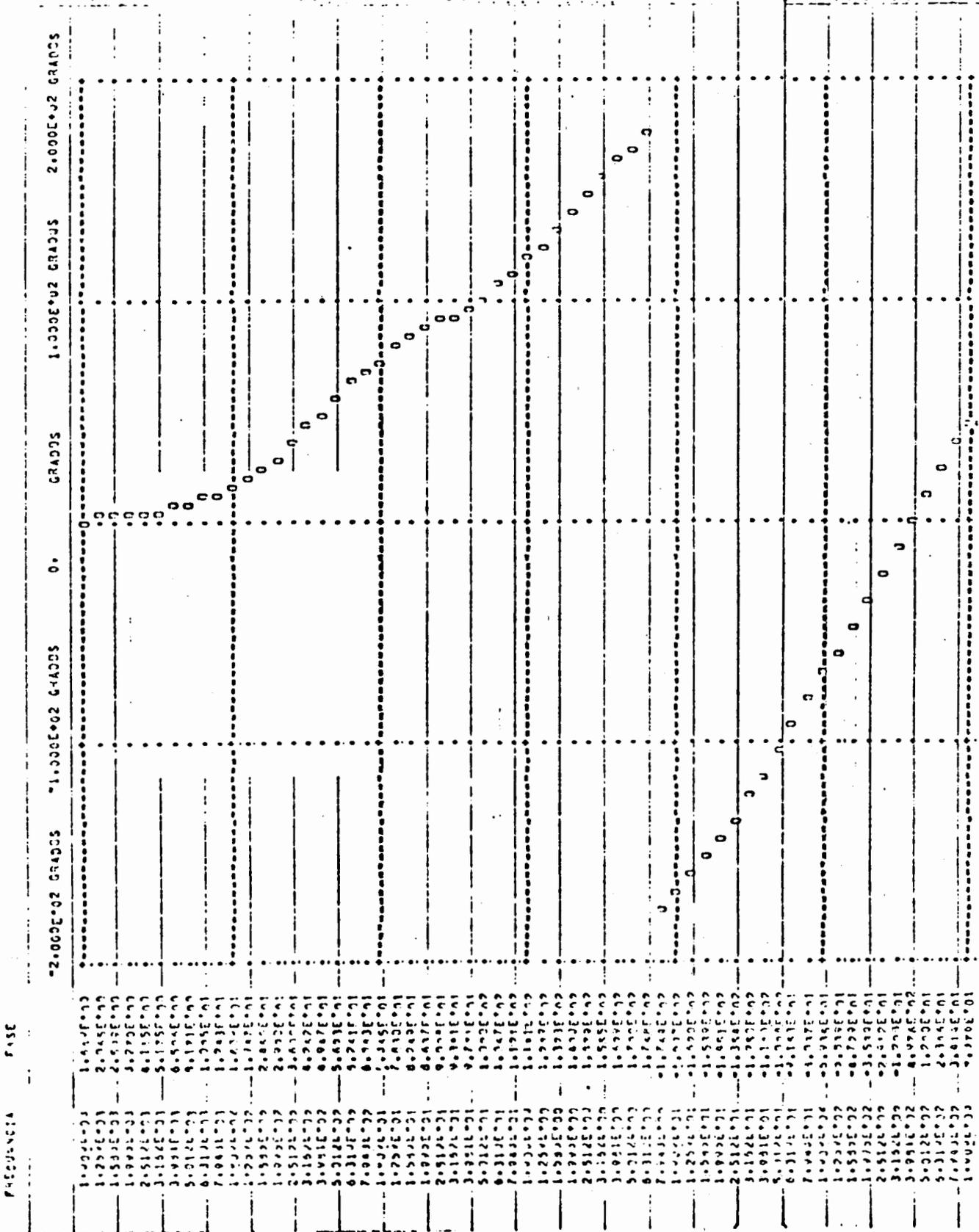


DIAGRAMA DE BODE DE FASE



TIEMPO DE EJECUCION = 5.367 SEGUNDOS

CAPITULO 3: BIASN: Manual del usuario y ejemplo

3.1 Manual del usuario

Descripción general del programa

BIASN es un simulador de circuitos electrónicos lineales, diseñado para determinar la respuesta a corriente directa, polarización de circuitos que contengan resistores, transistores bipolares de juntura (TBJ), transistores de efecto de campo (FET), fuentes de corriente y fuentes de voltaje conectadas a tierra.

El modelo no lineal usado para transistores bipolares de juntura es el Ebers-Moll modificado.

BIASN calcula los voltajes de nodos, referidos a tierra y los puntos de operación de cada uno de los transistores del circuito. Si se requiere, calcula la resistencia incremental de entrada para pequeña señal y la ganancia de voltaje de pequeña señal, entre un puesto de entrada y uno de salida, especificados por el usuario. Además, si es requerido, puede efectuar un análisis de ruido blanco.

Estos análisis pueden ser repetidos para varios valores de fuentes de corriente directa y a distintas temperaturas.

Limitaciones del programa.

60 resistores

30 transistores bipolares de juntura (NPN o PNP)

20 transistores de efecto de campo

20 fuentes de corriente

20 fuentes de voltaje conectadas a tierra.

El circuito puede contener un máximo de 90 nodos y el nodo de tierra o de referencia debe ser numerado nodo 0 (cero).

Nota; El número total de elementos no debe ser mayor de 100

Convergencia.

El modelo del transistor no incluye las resistencias óhmicas de extensión de base y de colector, ni los efectos de modulación del ancho de la base. En algunos circuitos en que existan lazos de transistores o transistores conectados como diodos, se puede mejorar la convergencia del programa incluyendo las resistencias de base y de colector.

Efecto de temperatura.

Con el propósito de analizar la sensibilidad del punto de operación con respecto a variaciones de temperatura, para corriente directa, BIASN considera automáticamente las variaciones de los valores de la resistencia, betas de directa y reversa, y corriente de saturación con la temperatura. Esto se efectúa permitiendo al usuario especificar valores de dichos parámetros a una temperatura nominal (TN) la cual debe ser especificada, y coeficientes de temperatura de 1° y 2° orden para las betas de los transistores. Los valores nominales de los parámetros son afectados por el factor:

$$1+TC1*(T-TN)+TC2*(T-TN)**2$$

donde T es la temperatura de interés, y TC1 y TC2 son los coeficientes de primero y segundo orden respectivamente.

El valor nominal de la corriente de saturación (I_S) está relacionado con las corrientes de saturación de corto circuito del modelo de Ebers-Moll por las ecuaciones:

$$I_S = \alpha_F I_{ES} \quad I_S = \alpha_R I_{CS}$$

se supone que las corrientes de saturación I_{ES} e I_{CS} varían con la temperatura de acuerdo con la ecuación

$$I_0 * (T^{**3}) * EXP(-T_0/T)$$

donde I_0 y T_0 son constantes, BIASN utiliza las variaciones de las betas de directa y de reversa del transistor y una ecuación deriva de la expresión anterior para calcular una corriente de saturación efectiva a temperaturas distintas de la nominal.

Formatos de las tarjetas de entrada:

a) Tarjeta de título.

Es una tarjeta no compilable y cuyo contenido es impreso tal cual en el listado de salida.

Columnas 1-4:

Debe contener las letras UNAM

Columnas 5-80:

Puede contener cualquier tipo de comentario, como el nombre del circuito, nombre del usuario, etc.

Ejemplo:

UNAM Amplificador operacional de prueba.

b) Tarjeta de comentario.

Es una tarjeta opcional que también se imprime tal cual en el listado de salida

Columna 1

Debe contener un asterisco (*).

Columnas 2-80

Cualquier tipo de comentario.

c) Tarjeta de especificación de ganancia.

Es una tarjeta opcional que se deberá incluir si se requiere calcular la ganancia incremental de voltaje de pequeña señal; además, se calcula la asistencia de entrada de pequeña señal. Si se omite, se efectúa exclusivamente el análisis en CD.

Columnas 1-4

Deberá contener la palabra GAIN

Columnas 6-7 y 9-10

Una por dos dígitos enteros, identificando los nodos asociados con las terminales positiva y de referencia del puerto de entrada.

Columnas 12-13 y 15-16

Un par de dos dígitos enteros, identificando los nodos asociados con las terminales positiva y de referencia del puerto de salida.

GAIN 08 00 29 00

d) Tarjeta de análisis de ruido.

Tarjeta opcional que ordena la ejecución de un análisis de ruido.

Columnas 1-4

Deben contener la palabra NOIS

Columnas 6-7 : 9-10

Un par de dos dígitos enteros en estas columnas identificando los nodos de las terminales positiva y negativa del puerto de salida para análisis de ruido.

Columna 12

Un dígito entero que indica el número de resistores AC que serán seguidos. Un máximo de cinco resistores AC se pueden especificar del mismo modo que los otros resistores del circuito; estos resistores AC no son usados para el análisis en DC.

Las tarjetas que especifican los resistores AC deben seguir inmediatamente a la tarjeta de ruido. Si la columna 12 se deja en blanco, se tomará como 0 (cero).

1 4 67 910 12

NOIS 05 00 1

RAC 05 06

e) Tarjeta de temperatura.

Tarjeta opcional que especifica la temperatura nominal y hasta cuatro temperaturas adicionales a los cuales el circuito va a ser analizado. Si se omite el análisis especializado a una temperatura de 300 grados Kelvin.

Columnas 1-4

Deben contener las letras TEMP

Columnas 24-30; 34-40; 41-50; 51-60; 01-70.

Cada campo de 10 columnas puede contener el valor de una temperatura en grados Kelvin a la cual el circuito va a ser analizado. Cada valor debe ser escrito como una serie de dígitos conteniendo un punto decimal.

f) Resistores

Tarjetas que describen los resistores del circuito.

Columnas 1-4

Deben contener el nombre del resistor de uno a cuatro caracteres, el primero de los cuales (columna 1) debe ser una letra R columnas 6-7 y 9-10.

Un par de números enteros de dos dígitos en estas columnas, identificando los números de los nodos a los cuales se encuentra el resistor.

Columnas 21-30

Estas columnas contienen el valor nominal del resistor, medido como una serie de dígitos conteniendo un punto decimal.

Columnas 31-40 y 41-50

Estos dos campos de 10 columnas, contienen los valores de los coeficientes de temperatura de primer y segundo orden respectivamente, para el resistor descrito. Si esta columna se deja en blanco, el programa les asigna como valor un cero.

```
RDG    10    04    27300    0.000001
```

g) Tarjetas de transistores.

Tarjetas que describen los transistores en el circuito.

Columnas 1-4

Deben contener el nombre del transistor de uno a cuatro caracteres el primero de los cuales debe ser la letra Q.

Columnas 6-7, 9-10, 12-13.

Deben contener tres números enteros de dos dígitos identificando los números de los nodos colector, base y emisor del transistor respectivamente.

Columnas 15-17

En estas columnas se especifica el tipo de transistor usando las letras PNP o NPN que indiquen que el transistor es del tipo PNP o NPN respectivamente. Si se dejan en blanco, el programa supone al transistor del tipo NPN. Si en la columna 15-18 aparece el nombre de otro transistor especificado anteriormente, esto indicará que los valores de los parámetros del transistor que se está especificando serán los mismos que los del transistor especificado anteriormente. Si esto último ocurre, el resto de la tarjeta deberá estar en blanco.

Columnas 21-30

Estas columnas contienen el valor de la corriente de saturación a la temperatura nominal. Se especifica como una serie de dígitos conteniendo un punto decimal. Si se dejan en blanco, el programa pone un valor de 1.0×10^{-14} . Se puede usar notación exponencial 1.E-14 con tal que la parte exponencial quede justificada a la derecha del campo, columnas 27-30.

Columnas 31-40 y 41-50

Estos campos de 10 columnas cada uno contienen los valores nominales de las betas de derecha y reversa respectivamente, especificadas como una serie de dígitos conteniendo un punto decimal.

Si se dejan en blanco el programa, supone de 100 y 1 respectivamente.

Columnas 51-60 y 61-70.

Estos dos campos de 10 columnas, contienen los valores de los coeficientes de temperatura de primer y segundo orden respectivamente para ambas betas del transistor, directa y reversa. Si se omiten, en el programa se pone un valor de 0.0 cero para ambas coeficientes.

Ejemplo:

1	6-7	9-10	12-13	15-17	21	27-30	31	41	51	61
Q127	14	02	03	PNP		1.10E-14	75	0.8	0.5	0.0066

h) Tarjetas de especificación de FETS

Tarjetas que describen los FETS en el circuito.

Columnas 1-4

Estas columnas contienen el nombre de FET de uno a cuatro caracteres de los cuales el primero debe ser una letra F.

Deben contener tres enteros de dos dígitos cada uno, identificando los nodos DRAIN, GATE y SOURCE respectivamente del FET.

Columnas 15-17

Estas columnas deben contener el tipo de FET según el código siguiente:

CODIGO PARA EL TIPO DE FET

Canal N	Canal P	Dispositivo
JFN	JFP	JFET
MHN	MHP	MOSFET Modo enriquecimiento
MDN	MDP	MOSFET Modo vaciamiento

Si en las columnas 15-18 aparece el nombre de otro FET especificado anteriormente, los valores de los parámetros y del tipo del FET que se está especificando, serán los mismos que los del FET que se especificó antes.

Columnas 21-30

Estas columnas contienen el valor de la corriente de saturación GATE-SOURCE de un JFET a la temperatura nominal como una serie de dígitos con un punto decimal. Si se omite, el programa supone un valor de 1.0×10^{-14} . Se puede usar notación científica 1.0E-14, si la parte exponencial se coloca en las columnas 27-30. Para 16 FETS, en esta columna se deben dejar en blanco.

Columnas 31-40

Estas columnas contienen el valor absoluto de la corriente DRAIN - SOURCE en el PINCH -OFF para un voltaje GATE-SOURCE de cero para dispositivos de modo vaciamiento, de dos veces el voltaje umbral para dispositivos de modo enriquecimiento, se especifica como una serie de dígitos con un punto decimal. Si se omite en el programa se pone un valor de 1.0E-3.

Columnas 41-50

Estas columnas contienen el valor absoluta del voltaje umbral como una serie de dígitos con un punto decimal; si se omite, un valor de 1.0 volts es supuesto.

Ejemplo:

FA21	03	08	09	N+P	0.0045	2.25
F2	04	05	08	FA21		

i) Tarjetas de fuentes de corriente.

Tarjeta que describen la fuente de corriente en el circuito.

Columnas 1-4

Estas columnas contienen el nombre de la fuente de corriente de los cuatro caracteres, el primero de los cuales debe ser la letra I.

Columnas 6-7 y 9-10

Contienen un par de enteros de dos dígitos cada uno que identifican los números de los nodos a los cuales la fuente de corriente está conectada. Una corriente positiva fluye partiendo del primer nodo, para dar la fuente y llega al segundo nodo.

Columnas 21-30

Estas columnas contienen el valor nominal de la fuente de corriente de una serie de dígitos con un punto decimal.

Columnas 31-40, 41-50, 51-60, 61-70

Para una única fuente de corriente (o fuente de voltaje aterrizada) cada campo de 10 columnas puede contener valores adicionales, series de dígitos con un punto decimal, de la fuente para los canales el circuito será analizado a cada temperatura. Una fuente puede tener hasta 20 valores.

Esto se logra metiendo a continuación otras tarjetas que en las columnas 1-4 tengan el nombre de la fuente que se está especificando, y hasta cinco valores en las columnas 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70.

Ejemplo:

ICOR	04	09	0.010	0.020	0.40
------	----	----	-------	-------	------

j) Tarjetas de fuentes de voltaje aterrizadas

Son tarjetas que describen la fuente de voltaje aterrizadas en el circuito.

Columnas 1-4

Estas columnas contienen el nombre de la fuente de voltaje aterrizada de uno a cuatro caracteres, el primero de los cuales debe ser la letra V.

Columnas 6-7 y 9-10

Esta columna contiene un par de dos números enteros de dos dígitos cada uno identificando los números de los nodos asociados con el nodo positivo y el dato (tierra), respectivamente, de la fuente de voltaje. El nodo dato debe ser numerado 00 cero o dejar en blanco la columna 9-10.

Columnas 21-30

Estas columnas contienen el valor nominal (positivo o negativo) de la fuente de voltaje aterrizada como una serie de dígitos con un punto decimal.

Columnas 31-40, 41-50, 51-60, 61-70.

Para una única fuente de voltaje aterrizada (o fuente de corriente) cada campo de 10 columnas puede contener valores adicionales de la fuente en la manera descrita para fuentes de corriente.

VEN 34 00 10.0 12.0 6.0 0.0

i) Tarjeta final

Tarjeta que indica que se ha terminado la especificación del circuito.

Columnas 1-3

Deben contener la palabra END.

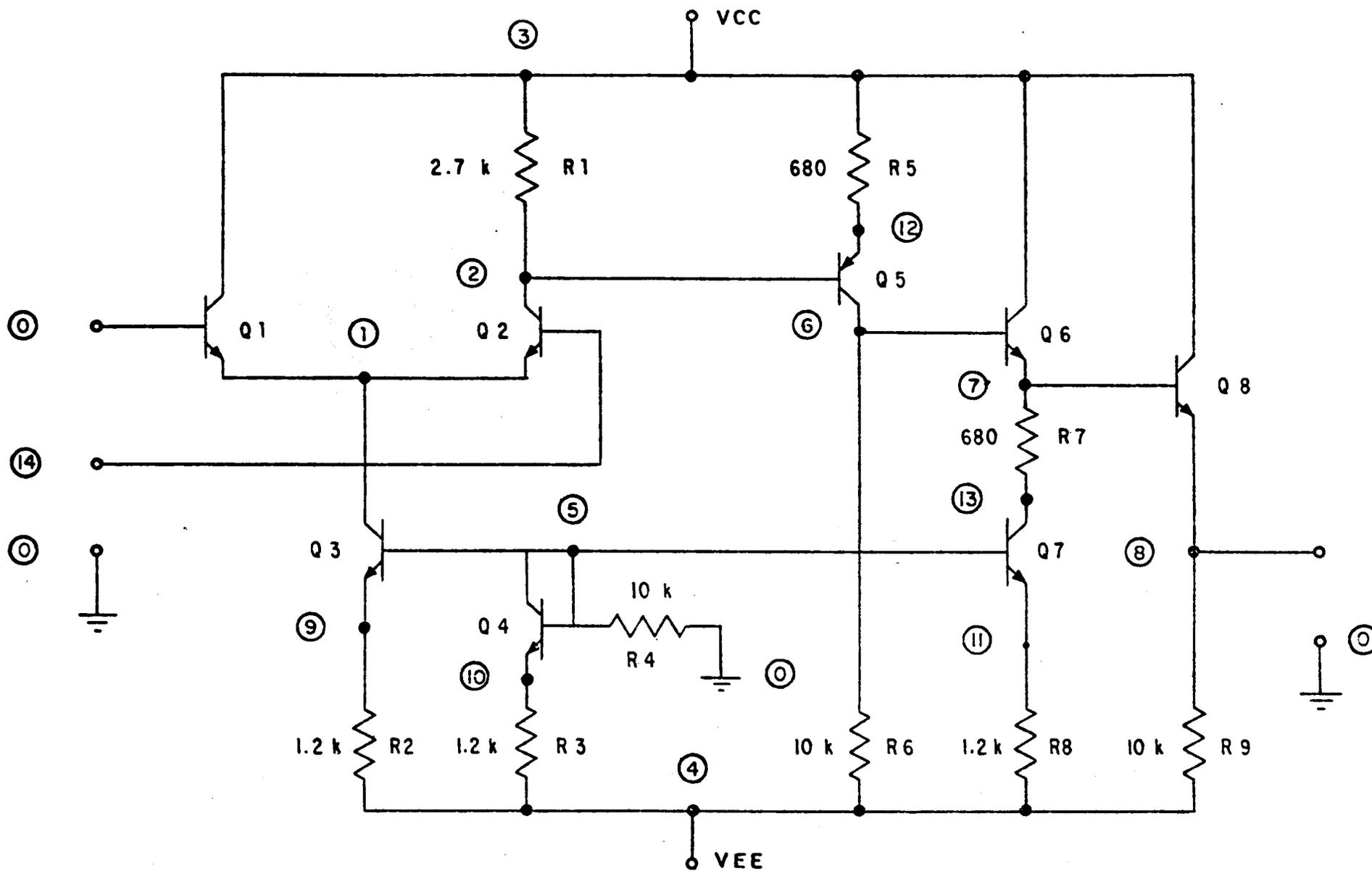
NOTAS

Comentarios generales en relación a las características y limitaciones del programa.

- 1) Los trabajos pueden ser colocados secuencialmente, una tarjeta de título para cada uno siguiendo la tarjeta END del anterior y el programa los resuelve todos.
- 2) Las tarjetas de comentarios serán impresas antes de la lista de los datos del circuito.
- 3) Todos los nombres de los elementos deben ser únicos. La repetición del nombre causará que su aparición previa sea borrada o reemplazada.
- 4) El nodo de referencia o nodo dato (tierra) debe ser numerado 00.

3.2 Ejemplo BIASN:

En la figura siguiente, se muestra un amplificador operacional diseñado por Eduardo Cristo, con elementos discretos. A continuación, se incluye el conjunto de tarjetas con los datos e instrucciones para el programa y el listado de BIASN con las respuestas de polarización, los parámetros de señal pequeña de los transistores y el análisis de ruido.



AMPLIFICADOR OPERACIONAL DISCRETO : EDUARDO CRISTO .

RD 4 11 1200.000 0.0 0.0
 RV 4 6 1000.000 0.0 0.0

TRANSISTORES

ELEMENTO	CANTIDAD	TIPO	CURRIENTE DE SATURACION	U DIRECTA	U REVERSA	IER	JORDEN	200	ORDEN	CJEFES TEMP.
NUMERO	C	A	B	U	U					
J1	3	0	1	VPB	1.000E-14	100.000	1.000	0.0	0.0	0.0
J2	2	14	1	VPB	1.000E-14	100.000	1.000	0.0	0.0	0.0
J3	1	5	7	VPB	1.000E-14	100.000	1.000	0.0	0.0	0.0
J4	5	5	11	VPB	1.000E-14	100.000	1.000	0.0	0.0	0.0
J5	6	2	12	VPB	1.000E-14	100.000	1.000	0.0	0.0	0.0
J6	3	6	7	VPB	1.000E-14	100.000	1.000	0.0	0.0	0.0
J7	13	5	11	VPB	1.000E-14	100.000	1.000	0.0	0.0	0.0
J8	1	7	8	VPB	1.000E-14	100.000	1.000	0.0	0.0	0.0

FUENTES DE VOLTAJE

NUMERO DEL ELEMENTO	CANTIDAD	VALOR
VCC1	3	0
VCC2	4	0
VEN	14	0

END

TIEMPO DE EJECUCION = 0.071 SEGUNDOS

• • • RESPUESTA DEL CIRCUITO • • •

UNAN AMPLIFICACION OPERACIONAL CON ELEMENTOS DISCRETOS

DIAS 1981

TEMPERATURA = 300.0

VL = 15.0 V1 = 15.0 DC CMT = 31

NUMERO DE ITERACIONES PARA EL ANALISIS DE CD = 5

VOLTAJES EN LOS NODOS

NODO	VOLTAGE
(1)	00.000000
(2)	12.000000
(3)	10.000000
(4)	00.000000
(5)	00.000000
(6)	00.000000
(7)	00.000000
(8)	00.000000
(9)	00.000000
(10)	00.000000
(11)	00.000000
(12)	00.000000
(13)	00.000000
(14)	00.000000
(0)	00.000000
(1)	00.000000

PUNTO DE OPERACION DE LOS TRANSISTORES

TRANSISTOR	VB	VBE	IC	VCE	BETA	GM	RPI
Q1	8.72715E-06	0.03617	4.8791E-04	12.03617	100.00	1.8375E-02	5.2940E+03
Q2	4.9242E-06	0.03617	4.8791E-04	11.34390	100.00	1.8975E-02	5.2949E+03
Q3	4.7851E-06	0.05434	9.8556E-04	10.16933	100.00	3.0127E-02	2.6229E+03
Q4	9.7858E-06	0.05434	9.8556E-04	0.05434	100.00	3.0127E-02	2.6229E+03
Q5	-9.7868E-06	-0.05217	-9.8098E-04	-14.14881	100.00	3.0016E-02	2.7765E+03
Q6	9.9906E-06	0.05429	9.8358E-04	15.44250	100.00	3.0049E-02	2.6242E+03
Q7	9.8906E-06	0.05434	9.8358E-04	6.87261	100.00	3.0127E-02	2.6228E+03
Q8	7.0153E-06	0.04040	7.0308E-04	16.09090	100.00	3.0294E-02	3.3010E+03

• ANALISIS DE SEÑAL PUEBVA •
•••••

VL = 20, VU = 20, DP CHIT = 35

RESISTENCIA DE ENTRADA = 1.05929E+06 OHMS

GANANCIA DE VOLTAJE = 3.42435E+02

RESISTENCIA DE TRANSFERENCIA = 3.62741E+06 OHMS

TIEMPO DE EJECUCION = 1.437 SEGUNDOS

TIEMPO DE EJECUCION = 1.441 SEGUNDOS

CAPITULO: 4: SLIC: Manual del usuario y ejemplos

4.1 Manual del usuario:

Descripción general del programa.

SLIC es un simulador desarrollado para calcular la respuesta a corriente directa y a señales sinusoidales de circuitos electrónicos lineales.

Dado un circuito descrito por un conjunto de nodos y por sus elementos, SLIC calcula los voltaje de los nodos y los puntos de operación de los transistores; además, y en forma optativa, calcula la curva de transferencia de voltajes en CD, los parámetros de señal pequeña de los transistores, la respuesta de frecuencia, ubicación de polos y ceros, ruido y sensibilidad.

Los circuitos aceptados por SLIC pueden tener resistores, capacitores, inductores, inductores acoplados, fuentes de corriente controladas por voltaje, TBJ, JFET, MOSFET, fuentes de corriente y fuentes de voltaje aterrizadas.

El usuario tiene la libertad de escoger uno o una combinación de los tipos de análisis descritos anteriormente; estos pueden ser repetidos para diferentes valores de temperatura y/o para diferentes valores en las fuentes de CD. El modelo no lineal para TBJ utilizado por SLIC es el de Ebers-Moll, con modificaciones para incluir algunos efectos de segundo orden, tales como modulación del ancho de la base y dependencia de beta de variaciones de corriente. El modelo de señal pequeña empleado, es el de pi-híbrido extrínsecq. Los modelos para JFET y MOSFET están basados en el modelo de Hodges y Shichman para IGFET.

Limitaciones del programa:

El circuito puede tener un máximo de 100 nodos y un máximo de:

40 Resistores

20 Capacitores

20 Inductores

10 Inductores acoplados

20 Fuentes de corriente controladas por voltaje

10 Modelos de TBJ

10 Modelos de JFET

20 Transistores, que pueden ser:

a) TBJ (NPN ó PNP)

b) JFET (canal N ó P)

c) MOSFET (canal N ó P)

10 Fuentes de corriente

10 Fuentes de voltaje aterrizadas

Observaciones:

A continuación, se hacen algunos comentarios generales respecto a las características y limitaciones del programa.

- a) Se pueden ejecutar varios trabajos en "Batch", si se ponen en forma secuencial. Para esto es necesario que cada trabajo tenga una tarjeta de TITULO, a continuación de la tarjeta END del trabajo anterior.
- b) No se pueden repetir nombres asignados a elementos. La repetición de un nombre causará que el elemento anterior con el mismo nombre sea borrado o ignorado. Además, los nombres de los elementos no deben contener espacios en blanco, comas, signo de igual o paréntesis.
- c) El nodo de tierra debe tener asignado el número cero.

d) Al especificar resistencias óhmicas de extensión de base, colector, drenaje y fuente en transistores, se crea un nodo extra en el circuito.

Convergencia

Como se dijo anteriormente, en los modelos de los transistores, se pueden incluir las resistencias óhmicas de base, colector, drenaje y fuente. En aquellas ocasiones en que aparezcan transistores en cascada o formando lazos o conectados como diodos, se puede mejorar la convergencia del programa al incluir dichas resistencias.

Variaciones en el punto de operación del TBJ

Para efectos del análisis no lineal en CD, SLIC modela las variaciones de la conductancia de salida y de beta, con variaciones en la corriente del colector. Se supone que beta disminuye con la raíz cuadrada de la corriente a bajos niveles y, linealmente, para altos niveles de corriente. La conductancia de salida se supone que varía linealmente con la corriente del colector. Para el análisis lineal en señal pequeña, se pueden modelar las variaciones de la beta de señal pequeña con variaciones de la corriente del colector.

El tiempo de tránsito y las capacitancias de juntura son modeladas con respecto a los voltajes de juntura.

Análisis de temperatura

La sensibilidad de los puntos de operación en CD, con respecto a la temperatura y el comportamiento en señal pequeña, se puede analizar mediante variaciones automáticas con la temperatura, de los valores de los resistores, capacitores, inductores, fuentes de corriente controladas por voltaje, inductores mutuos y parámetros de los transistores. El usuario

puede especificar los valores a una temperatura nominal TNOM, y especificar coeficientes de temperatura de primer y segundo orden: TC1 y TC2, para los elementos arriba mencionados, las betas de directa y de reversa y las resistencias de base y de colector de los TBJ. Los valores nominales de los elementos son afectados por el factor:

$$1 + TC1 * (T - TNOM) + TC2 * (T - TNOM)**2$$

donde T es la temperatura de interés, y TC1 y TC2 son el primer y segundo coeficientes de temperatura respectivamente. La corriente de saturación, conductancia de salida, tiempo de tránsito y capacitancias de junta varían en el análisis de señal grande y señal pequeña según relaciones teóricas derivadas para transistores de silicio.

Formato de entrada

SLIC tiene formato libre de entrada con el objeto de facilitar su uso. Los campos de una tarjeta de datos están separados por uno o más de los siguientes delimitadores: espacios en blanco, comas, signos de igual, paréntesis izquierdo o derecho.

Todas las tarjetas deben comenzar en la columna 1, con excepción de las tarjetas de título, de comentarios y de continuación.

Los campos de nombres pueden contener de uno a cuatro caracteres, cualquier carácter extra será ignorado. El primer carácter de un campo de nombres debe ser una letra de las que se especificarán posteriormente; los tres restantes pueden ser cualquier combinación de caracteres alfanuméricos, con excepción de los delimitadores mencionados.

Un campo numérico puede ser:

- 1) un campo entero (p. ej. 12, -44),

- 2) un campo de punto flotante (p. ej. 2.14, 3.14154),
- 3) un campo exponencial (p. ej. 1E-14, -2,65E2),
- 4) un campo entero o de punto flotante seguido por alguno de los siguientes factores de escala:

G	1.0E+9
MEG	1.0E+6
K	1.0E+3
M	1.0E-3
U	1.0E-6
N	1.0E-9
P	1.0E-12

Cualquier letra que siga a continuación de un número y que no sea un factor de escala será ignorada; cualquier letra que siga a continuación de un factor de escala, también será ignorada. Así por ejemplo, 10, 10V, 10VOLTS y 10HZ representan el mismo número y M, MA, MSEC, MMHOS, representan el factor de escala M. Obsérvese que 1000, 1000.0 1000HZ, 1E3, 1.0E3, 1KHZ y 1K representan el mismo número. Los valores de los campos numéricos se pueden omitir mediante una diagonal: "/", y no es necesario emplear delimitadores entre diagonales sucesivas. Por ejemplo, los siguientes campos numéricos: (10K//9.6U), (10K,//,9.6U) y 10K 0.0 0.0 9.6U) son equivalentes.

Las tarjetas de continuación deben contener el signo de ampersand(&) en la columna uno y se deben usar para describir modelos de transistores, fuentes de corriente variables y fuentes de voltaje aterrizadas variables.

La primera tarjeta de un conjunto de datos debe ser una tarjeta de "TITULO" y la última debe ser una tarjeta "END". El orden de las demás tarjetas es arbitrario.

I. Tarjetas de Control

a) Tarjeta de título:

Es una tarjeta cuyo contenido se imprime literalmente al comienzo de cada sección de impresión de resultados.

Ejemplo:

DESFI CIRCUITOS ELECTRONICOS ANALOGICOS-PROBLEMA 3.

b) Tarjeta de comentarios:

Es una tarjeta cuyo contenido se imprime literalmente al ser leída. En la columna 1 debe contener un asterisco "*"; el resto de la tarjeta puede contener cualquier comentario.

Ejemplo:

* CIRCUITO EN MALLA ABIERTA - SIN REALIMENTACION

c) Tarjeta PRINT:

Es una tarjeta que especifica el tipo de análisis deseado, ya sea de CD o de señal pequeña.

Forma general:

PRINT DCANA ACANA VAR(PTS, FMIN, FMAX) SALIDA (NO+,NO-) ENTRADA(NI+,NI-)

El campo DCANA debe contener las letras DC si se desea un análisis de corriente directa; en caso contrario se deja en blanco.

El campo ACANA debe contener las letras PZ si se desea un análisis de polos y ceros (con o sin respuesta de frecuencia). Si sólo se desea respuesta de frecuencia, debe contener las letras AC y en caso que no se desee ninguno de los dos tipos de análisis, se deja en blanco. Si el campo ACANA contiene las letras PZ, le pueden seguir inmediatamente dos campos numéricos opcionales: el primero es el límite superior de frecuencia para polos, y el segundo el límite superior de

frecuencia para ceros. Ambos límites se deben especificar en Hertz. Si sólo se desean los polos, se debe poner un cero en el campo numérico de los ceros; si sólo se desean los ceros, éste se debe poner en el campo numérico de los polos. La especificación de una diagonal: "/", instruirá al programa para que calcule todos los polos y ceros del circuito.

El campo VAR(PTS, FMIN, FMAX) contiene una instrucción al programa para que varíe la frecuencia dentro de cierto rango, cuando se desee la respuesta de frecuencia del circuito. Debe estar presente cuando el campo ACANA contiene la instrucción AC, o cuando contiene la instrucción PZ y se desea la respuesta de frecuencia, además del cálculo de polos y ceros. Al utilizar el campo VAR, el usuario tiene la elección de dos formas de variación de frecuencia:

- 1) Logarítmica: para una variación logarítmica de la frecuencia el campo VAR debe contener la instrucción FLOG; el campo PTS debe contener el número de puntos de frecuencia por década; FMIN contendrá la frecuencia inicial del análisis y FMAX, la frecuencia límite del mismo.
- 2) Lineal: para una variación lineal de la frecuencia, el campo VAR debe contener la instrucción FLIN; el campo PTS debe contener el número total de puntos de frecuencia, comenzando en FMIN y terminando en FMAX. Los delimitadores indicados en este campo no son obligatorios y se proveen para facilitar al usuario la lectura de las respuestas impresas.

Los campos SALIDA y ENTRADA contienen instrucciones que especifican los puertos de la función de red (entrada o transferencia) de la cual

se desean conocer polos y/o ceros y/o respuesta de frecuencia. El campo SALIDA debe contener las letras VOUT si se desea salida de voltaje, o IOUT si se desea salida de corriente. NO+ y NO- indican los nodos positivo y negativo del puerto de salida, respectivamente. El campo ENTRADA debe contener las letras VIN si la entrada es un voltaje o IIN si es una corriente. NI+ y NI- son los nodos positivo y negativo del puerto de entrada.

Si el usuario especifica un análisis de frecuencia, ya sea del tipo PZ o AC, el programa automáticamente imprimirá un diagrama de Bode de magnitud y otro de fase.

Ejemplos:

```
PRINT DC AC FLOG (10,1HZ,100MEGHZ) VOUT(7.0) IIN(1.0)
PRINT AC FLIN 10 95KHZ 105KHZ VOUT 11 0 VIN 2 0
PRINT DC PZ FLOG 10 1K 1G VOUT 15 0 VIN 2 0
PRINT DC
```

d) Tarjeta DC

Tarjeta opcional que instruye el programa para que calcule la curva de transferencia entrada-salida en CD. El voltaje de salida especificado en la tarjeta DC es graficado cuando se varía el valor de una sola fuente de voltaje o de corriente.

Forma general:

```
DC FNOMBRE START STOP STEP SNOMBRE N1 N2
```

El campo FNOMBRE contiene el nombre de la fuente de voltaje o corriente que se varía. Esta fuente debe ser especificada además en una tarjeta de "FUENTE DE CORRIENTE O VOLTAJE". El campo START contiene el valor inicial de la fuente; STOP, el valor final de la misma; y STEP, el incremento constante de variación. El campo SNOMBRE contie

ne el nombre del voltaje de salida que aparece entre los nodos N1 y N2.

e) Tarjeta de temperatura

Tarjeta opcional que especifica la temperatura nominal y otras cinco temperaturas a las cuales se desea analizar el circuito. Las temperaturas se especifican en grados Kelvin. Si no se incluye esta tarjeta, el programa realiza un solo análisis, a una temperatura nominal supuesta de 300°K. Si se especifica la temperatura nominal solamente, el programa realiza un solo análisis a dicha temperatura. Esta tarjeta no tiene efecto sobre los transistores a los cuales se les debe especificar una temperatura en la tarjeta de "TRANSISTORES".

Forma general:

```
TEMP TNOM T1 T2 T3 T4 T5
```

Ejemplos:

```
TEMP 300 300 305 310
TEMP 298
```

El campo TNOM contiene la temperatura nominal. T1, T2, T3, T4 y T5 contienen las cinco temperaturas opcionales a las cuales se desea analizar el circuito. En el primer ejemplo, TNOM es 300°K y el circicuito es analizado a 300°K, 305°K y 310°K. En el segundo ejemplo, se realiza un solo análisis a 298°K.

f) Tarjeta de ruido

Es una tarjeta opcional que especifica hasta un máximo de cinco frecuencias, a las cuales se desea un análisis de ruido. El programa calcula e imprime las fuentes equivalentes de ruido térmico y de agitación para el circuito en CD. Para cada valor de frecuencia especifi

ficada, el programa calcula e imprime la contribución de ruido, RMS, de cada una de las fuentes equivalentes de ruido al puerto de salida. Además, imprime el ruido RMS total, en el puerto de salida y referido al puerto de entrada. En el cálculo de ruido, se supone un ancho de banda de 1 Hz.

Forma general:

```
NOISE F1 F2 F3 F4 F5
```

F1, F2, F3, F4 y F5 contienen los cinco valores de frecuencia a los cuales se desea obtener un análisis de ruido.

Ejemplo:

```
NOISE 1KHZ 10KHZ 100KHZ 1MEGHZ
```

g) Tarjeta de sensibilidad

Es una tarjeta opcional que especifica hasta un máximo de cinco frecuencias a las cuales se desea un análisis de sensibilidad (derivadas parciales). Sólo se puede calcular sensibilidad con respecto a elementos pasivos (R, L, C y G). Para esto, las tarjetas de los elementos pasivos de interés deben contener la letra V en el campo siguiente al coeficiente de temperatura de segundo orden. Obsérvese que para resistores e inductores, las sensibilidades se calculan con respecto a sus recíprocos, es decir, con respecto a $1/R$ y a $1/L$.

Forma general:

```
SENS F1 F2 F3 F4 F5
```

F1, F2, F3, F4 y F5 contienen los cinco valores de frecuencia a las cuales se desea obtener un análisis de sensibilidad.

Ejemplo:

```
SENS 1MEGHZ 10MEGHZ
```

h) Tarjeta ALTER

Es una tarjeta opcional que indica al programa que, una vez completado el análisis en ejecución incluyendo todas las fuentes de valor variable y a cada una de las temperaturas especificadas, alterará el circuito y/o las tarjetas de control de respuestas. Dos observaciones importantes respecto a esta tarjeta:

a) Después de la tarjeta ALTER puede seguir otro tipo de tarjeta.

El programa considera tales tarjetas como una continuación de la descripción del circuito o de las instrucciones de respuesta.

Por tanto;

- i) Se pueden introducir, cambiar o eliminar especificaciones para análisis en CD o de señal pequeña, incluyendo después de la tarjeta ALTER una tarjeta PRINT con nuevas especificaciones de análisis.
- ii) Se pueden introducir, cambiar o eliminar: variaciones de temperatura, agregando una tarjeta de TEMPERATURA con las nuevas especificaciones; frecuencias de ruido y frecuencias de sensibilidad, agregando tarjetas de RUIDO y de SENSITIVIDAD respectivamente con las nuevas frecuencias a las cuales se de sean efectuar los nuevos análisis.
- iii) Se pueden agregar, cambiar o eliminar elementos, incluyendo un nuevo nombre de elementos y su descripción, el nombre de un elemento especificado originalmente con su nueva descripción o el nombre de un elemento especificado originalmente sin descripción.
- iv) Se pueden agregar, cambiar o eliminar parámetros de los mode los de transistores, incluyendo una tarjeta con el nombre ori

ginal del modelo del transistor, conteniendo una nueva "clave" y campos numéricos, una "clave" especificada originalmente con nuevos campos numéricos, o una "clave" especificada originalmente sin campos numéricos.

b) Se permite cualquier número de ciclos con la tarjeta ALTER.

Forma general:

ALTER

La palabra ALTER debe ir entre las columnas 1 y 5.

i) Tarjeta END

Es una tarjeta que indica al programa que, completado el análisis presente, se especificará un nuevo trabajo. Esta tarjeta debe estar presente al final de cada trabajo y se debe perforar en las columnas 1 a 3.

Forma general:

END

II. Tarjetas de elementos:

a) Tarjetas de resistores, capacitores e inductores

Forma general:

RXXX N1 N2 VALOR TC1 TC2 VAR

CXXX N1 N2 VALOR TC1 TC2 VAR

LXXX N1 N2 VALOR TC1 TC2 VAR

El primer campo debe contener el nombre de un elemento, que debe empezar con la letra R para un resistor, C para un capacitor y L para un inductor. Los campos N1 y N2 contienen los nodos a los cuales está conectado el elemento. El campo VALOR contiene el valor nominal del resistor en ohms, el valor nominal del capacitor en Farads o

el valor nominal del inductor en Henris, respectivamente. Dichos valores no pueden ser negativos o cero.

Los campos TC1 y TC2 contienen los coeficientes de temperatura de primer y segundo orden respectivamente. Si no se especifican TC1 y TC2, el programa les asigna el valor cero. El campo VAR es un campo opcional usado para indicar que tal elemento será variable para un análisis de sensibilidad.

Si VAR contiene la letra V, y en el conjunto de datos se incluye una tarjeta de SENSITIVIDAD, el programa calculará la sensibilidad con respecto a dicho elemento.

Ejemplos:

```
R1 01 21 300K 2.0E-3
C1 01 00 12.OP // V
LZRO 02 10 0.0001
```

b) Tarjeta de fuentes de corriente controladas por voltaje

Forma general:

```
GXXX N+ N- NC+ NC- VALOR TC1 TC2 VAR
```

El campo GXXX contiene el nombre de la fuente de corriente controlada por voltaje, el cual debe comenzar con la letra G. N+ y N- son los nodos positivo y negativo de la fuente. Si la corriente es positiva, entra por el nodo N+ y sale por el nodo N-. NC+ y NC- son los nodos positivo y negativo que controlan la fuente. El campo VALOR contiene el valor nominal de la transconductancia en mhos. TC1 y TC2 son los coeficientes de temperatura de primer y segundo órdenes respectivamente. Si son omitidos, el programa les asigna el valor cero. VAR es un campo opcional usado para indicar que la fuente de corriente será variable para una análisis de sensibilidad.

Ejemplos:

```
GM2 7 0 3 0 3M 2E-3
GMV3 4 2 9 2.5M 2E-3 2E-4 V
```

c) Tarjeta de Inductores mutuos

Forma general:

```
MXXX N1 N2 N3 N4 VALOR1 VALOR2 VALOR3 TC1 TC2
```

El campo MXXX contiene el nombre del inductor mutuo, el que debe comenzar con la letra M. N1 y N2 son del primario, y N3 y N4 son los nodos del secundario. El campo VALOR1 contiene el valor nominal de la inductancia propia del primario; VALOR2 es el valor nominal de la inductancia mutua entre el primario y el secundario; y VALOR3, el valor nominal de la inductancia propia del secundario.

Todas las inductancias se deben especificar en Henris. TC1 y TC2 son los coeficientes de temperatura de primer y segundo órdenes respectivamente; si se omiten, se les asigna el valor cero.

Ejemplo:

```
ML1 2 3 5 6 10U 10U 5U
```

d) Tarjetas de fuentes de corriente

Forma general:

```
IXXX N+ N- VALOR VALORES
```

El campo IXXX contiene el nombre de la fuente de corriente, el cual debe comenzar con la letra I. N+ y N- son los nodos positivo y negativo de la fuente. Si la corriente es positiva, entra por el nodo N+ y sale por el nodo N-.

El campo VALOR contiene el valor nominal de la fuente de corriente en amperes.

Se permite especificar hasta 20 valores de corriente (o de voltaje) para una fuente de corriente (o fuente de voltaje aterrizada) a los cuales se desea analizar el circuito. Estos datos se perforan en el campo VALORES y, si es necesario, se pueden usar tarjetas adicionales que deberán seguir a continuación de la tarjeta donde aparece el nombre de la fuente. Las tarjetas adicionales deben tener un signo de & (ampersand) en la primera columna.

Ejemplos:

IS 02 03 0.003

ICOR 07 14 0.001 0.002 0.003 0.004 0.005
& 0.006 0.007 0.008 0.009 0.010

e) Tarjeta de fuentes de voltaje aterrizadas

Forma general:

VXXX N+ N- VALOR VALORES

El campo VXXX contiene el nombre de la fuente de voltaje aterrizada, el cual debe empezar con la letra V. N+ es el nodo positivo y N- el nodo negativo, el que siempre debe tener asignado el número cero.

El campo VALOR contiene el valor nominal de la fuente de voltaje en volts. Se pueden incluir hasta 20 valores de voltaje para cada fuente de voltaje aterrizada, en la misma forma que en la tarjeta de FUENTES DE CORRIENTE.

Ejemplo:

VIN 1 0 15.0 10.0

f) Tarjeta de transistores (TBJ, JFET y MOSFET)

Forma general:

QXXX N1 N2 N3 N4 MODELO AREA CORR VOLT TEMP

El campo QXXX contiene el nombre del transistor, el cual debe comenzar

con la letra Q. Para transistores bipolares, N1 es el nodo de colector, N2 el de base y N4 no se especifica. Para JFET, N1 es el nodo de drenaje, N2 el de compuerta, N3 el de fuente y N4 no se especifica. Para MOSFET, N1 es el nodo de drenaje, N2 el de compuerta, N3 el de fuente y N4 el de substrato. El campo MODELO contiene el nombre del transistor, el cual debe comenzar con la letra B para TBJ y F para FET; el nombre del transistor puede tener de uno a cuatro caracteres. El campo AREA, es el factor de área que se va a usar con el modelo del transistor; si se omite, el programa le asigna el valor 1.0. Por ejemplo, un factor de área de 2.0, indica que se conectarán en paralelo dos transistores con el modelo indicado. Por tanto, para un TBJ, implica que las resistencias de base y de colector, RB y RC se dividirán entre dos y que, ISS, CJE y CJC, se multiplicarán por dos. Para transistores bipolares de juntura, los campos CORR y VOLT contienen los valores de la corriente de colector y el voltaje de la juntura colector-emisor respectivamente. Si se omite el análisis en CD, dichos valores serán usados como punto de operación para calcular los parámetros de señal pequeña. Si no se especifican valores en CORR y VOLT, el programa les asignará los valores 0.1 mA y 1.0 V respectivamente. Para JFET y MOSFET no se especifican dichos campos. El campo TEMP contiene la temperatura, en grados Kelvin, a la cual va a operar el transistor. Si se omite, el programa asigna la temperatura especificada en la tarjeta de TEMPERATURA.

Ejemplos:

Q5 7 6 3 BNS

Q10 7 3 4 FJUN

Q25 11 1 0 0 FMOS

A continuación se describen las tarjetas de modelo para TBJ, JFET y MOSFET.

I. Tarjeta de modelo para transistores bipolares

Esta tarjeta describe los modelos de los TBJ usados en el circuito. Los parámetros del modelo se especifican en forma de grupos de campos numéricos, precedidos por palabras claves específicas que se describirán a continuación. El orden en que se especifiquen los campos numéricos es arbitrario, y se puede omitir cualquier grupo, en cuyo caso el programa asigna valores típicos. Dentro de cada grupo, se pueden emplear diagonales "/" para indicar la omisión del valor de alguno o algunos de los parámetros, en cuyo caso el programa asignará a dicho parámetro un valor típico. Para la especificación completa del modelo, se pueden usar tantas tarjetas de continuación como sea necesario; cada tarjeta de continuación debe llevar un signo de & (ampersand) en la primera columna.

Forma general:

```
BXXX TIPO BF-BFMAX, ICMAX, BFLOW, ICLOW, VCE,
&TC1, TC2 BR = VALOR RO = VALOR, IC, VBE, VCE,
&RB = VALOR, TC1, TC2 RC = VALOR, TC1, TC2 FT - VALOR,
&IC, VCE, LE/WB, ICO TSAT = VALOR CJE = VALOR, VBE,
&PHIE, NE CSUB = VALOR CJC = VALOR, VBC, PHIC, NC,
&RATIO TEMP = VALOR ISS = VALOR TF = VALOR
& VA = VALOR.
```

a) Nombre

El campo BXXX contiene el nombre del modelo del TBJ, el cual debe comenzar con la letra B.

✓ Ejemplo:

b) Tipo: Clave: NPN ó PNP

El campo TIPO contiene la clave NPN ó PNP, dependiendo del tipo de transistor que describe el modelo. Si se omite, el programa supone un transistor NPN.

c) Beta de directa: Clave: BF

Forma general:

BF = BFMAX, ICMAX, BFLOW, ICLOW, VCE, TC1, TC2.

BF es la clave que describe la beta de directa. El campo BFMAX contiene el valor nominal de la beta de directa.

Para una beta de directa dependiente de la corriente, BFMAX contiene el valor máximo de la beta de directa; ICMAX, el valor de la corriente de colector a la cual se midió BFMAX, BFLOW, contiene un valor de la beta de directa, medida a una corriente de colector menor que ICMAX; ICLOW es la corriente de colector a la cual se midió BFLOW. VCE es el valor constante del voltaje colector emisor al cual se midieron BFMAX y BFLOW. TC1 y TC2 son los coeficientes de temperatura de primer y segundo órdenes para la beta de directa y la beta de reversa.

d) Beta de reversa: Clave: BR

Forma general:

BR = VALOR

BR es la clave para especificar la beta de reversa. El campo VALOR contiene el valor nominal de la beta de reversa. La beta de reversa no es dependiente de la corriente del colector.

e) Resistencia de salida: Clave: RO

Forma general:

RO = VALOR, IC, VBE, VCE

RO es la clave para especificar la resistencia de salida. Los campos IC, VBE y VCE contienen los valores de la corriente de colector, del voltaje base-emisor y del voltaje colector-emisor a los cuales se midió la resistencia de emisor. Si no se especifica el voltaje Early (v. descripción de voltaje Early), se calcula a partir de RO.

Los voltajes VBE y VCE son opcionales; si se especifican, son usados para calcular la corriente de saturación de reversa (v. descripción de corriente de saturación); si se omiten, el programa asigna un valor típico a la corriente de saturación o el que se defina explícitamente en el campo numérico correspondiente.

f) Resistencia de Base: Clave: RB

Forma general:

RB = VALOR, TC1, TC2

RB es la clave para especificar la resistencia de base.

El campo VALOR contiene el valor nominal de la resistencia óhmica; y TC1 y TC2, los coeficientes de temperatura de primer y segundo órdenes.

g) Resistencia de colector: Clave: RC

Forma general:

RC = VALOR, TC1, TC2

RC es la clave para especificar la resistencia de colector.

El campo VALOR contiene el valor nominal de la resistencia óhmica; y TC1 y TC2, los coeficientes de temperatura de primer y segundo órdenes.

h) Frecuencia de transición: Clave: FT

Forma general:

FT = VALOR, IC, VCE, LE/WB, ICO

FT es la clave para especificar la frecuencia de transición. El campo VALOR contiene la frecuencia a la cual la ganancia de corto circuito, en emisor común, para señal pequeña, es unitaria. Los campos IC y VCE contienen la corriente de colector y el voltaje colector-emisor a las cuales se midió FT. Los valores de FT, IC y VCE son usados para calcular el tiempo de tránsito de directa, TF. El campo LE/WB contiene la razón entre la dimensión lateral del emisor y el ancho de la base; y el campo ICO contiene el valor de la corriente a la cual FT comienza a decaer. Para considerar la disminución de FT a niveles altos de corriente, se multiplica el valor calculado para TF, por el factor:

$$(1+0.25(LE/WB)^2(IC/ICO-1)^2)$$

i) Constante de tiempo de saturación: Clave: TSAT

Forma general:

TSAT = VALOR

TSAT es la clave para especificar la constante de tiempo de saturación. El campo VALOR contiene el valor nominal de la constante de tiempo de saturación. Este valor no es usado por SLIC

j) Capacidad de juntura de emisor: Clave: CJE

Forma general:

CJE = VALOR, VBE, PHIE, NE

CJE es la clave para especificar la capacidad de juntura de emisor.

El campo VALOR contiene el valor de la capacidad de juntura de emisor, VBE contiene el valor del voltaje base-emisor al cual se midió dicha capacidad; PHIE contiene el valor del potencial de contacto, y NE es el factor de gradiente. La capacidad de juntura de emisor, a un voltaje VBE dado, está descrita por la siguiente ecuación:

$$CJE(VBE) = CJE(VBE = 0)/(1 - VBE/PHIE)^{NE}$$

Tanto para transistores NPN como PNP, el voltaje VBE debe ser positivo para una juntura polarizada en directa y negativo para una juntura polarizada en reversa.

k) Capacidad de juntura de colector: Clave: CJC

Forma general:

$$CJC = VALOR, VBC, PHIC, NC, FRACCION$$

CJC es la clave para especificar la capacidad de juntura de colector. El campo VALOR contiene el valor de la capacidad de juntura de colector; VBC contiene el valor del voltaje base-colector al cual se midió dicha capacidad; PHIC contiene el valor del potencial de contacto; y NC es el factor de gradiente. La capacidad de juntura de colector, a un voltaje VBC dado, está descrita por la siguiente ecuación:

$$CJC(VBC) = CJC(VBC = 0)/(1 - VBC/PHIC)^{NC}$$

El campo FRACCION contiene la fracción de la capacidad CJC que se traslapa con la resistencia óhmica de base. Por tanto, el producto FRACCION * CJC es la capacidad que existe entre los contactos de colector y emisor, y el producto (1.0 - FRACCION) * CJC es la capacidad que existe entre el colector y la región activa de la base. Tanto para transistores NPN como PNP, el voltaje VBE debe ser positivo para una juntura polarizada en directa y negativo para una juntura polarizada en reversa.

l) Capacidad de Substrato: Clave: CSUB

Forma general:

$$CSUB = VALOR$$

CSUB es la clave para especificar la capacidad de substrato. El campo VALOR contiene el valor de dicha capacidad. Para un transistor NPN, se supone que dicha capacidad existe entre el contacto externo del colector y tierra. Para un transistor PNP, se supone que existe entre el nodo interno de la base y tierra.

m) Temperatura: Clave: TEMP

Forma general:

$$TEMP = VALOR$$

TEMP es la clave para especificar la temperatura a la cual se midieron los parámetros del dispositivo. El campo VALOR contiene dicho valor de temperatura.

n) Corriente de saturación: Clave: ISS

Forma general:

$$ISS = VALOR$$

ISS es la clave para especificar la corriente de saturación de reversa. El campo VALOR es el valor nominal de la corriente de saturación y está relacionado con las corrientes de saturación de corto circuito del modelo de Ebers-Moll, a través de la siguiente ecuación:

$$ISS = ALFAF * IES = ALFAR * ICS$$

Si no se especifican ISS ni VBE y VCE para RO, el programa asigna a ISS el valor $1.0E - 14$. Si no se especifica ISS, pero se especifican VBC y VCE para RO, el programa calcula ISS a partir de dichos datos mediante la siguiente ecuación:

$$ISS = IC / ((1 + VCB/VA) * EXP(VBE/VT))$$

donde VA es el voltaje de Early y VT, el voltaje térmico.

o) Tiempo de tránsito de directa: Clave: TF

Forma general:

$$TF = VALOR$$

TF es la clave para especificar el valor del tiempo de tránsito en directa. El campo VALOR contiene el valor nominal del tiempo de tránsito de directa. Si no se especifica TF, el programa lo calcula a partir de los datos especificados para FT, y si FT tampoco se especifica, el programa le asigna el valor 0.0. En el caso en que se especifique TF, dicho valor reemplaza a cualquier otro derivado de FT.

p) Voltaje de Early: Clave: VA

Forma general:

$$VA = VALOR$$

VA es la clave para especificar el valor del tiempo de tránsito en directa. El campo VALOR contiene el valor nominal del voltaje de Early. Si no se especifica VA, el programa lo calcula a partir de los datos para RO, mediante la ecuación:

$$VA = RO * VA$$

Si no se especifica RO, el programa hace infinito a VA. Si se especifica VA, su valor reemplaza a cualquier otro derivado a partir de RO.

Valores asignados en ausencia

Cuando no se especifica alguno de los parámetros descritos anteriormente, el programa le asigna un valor típico, que llamamos "valor asignado en ausencia" y que a continuación se lista:

<u>PARAMETRO</u>	<u>VALOR ASIGNADO EN AUSENCIA</u>
TIPO	NPN
BF = BFMAX	100.0
ICMAX	Se ignora
BFLOW	Se ignora
VCE	0.0
TC1	0.0
TC2	0.0
BR = VALOR	1.0
RO = VALOR	Infinito
IC	Se ignora
VBE	Se ignora
VCE	Se ignora
RB = VALOR	0.0
TC1	0.0
TC2	0.0
RC = VALOR	0.0
TC1	0.0
TC2	0.0
FT = VALOR	Infinito
IC	Se ignora
VCE	Se ignora
LE/WB	Se ignora
ICO	Se ignora
TST = VALOR	0.0
CJE = VALOR	0.0
VBE	0.0

<u>PARA METRO</u>	<u>VALOR ASIGNADO EN AUSENCIA</u>
PHIE	0.7 Volts (NPN)
	0.5 Volts (PNP)
NE	0.33333
CJC = VALOR	0.0
VBC	0.0
PHIC	0.5 Volts
NC	0.33333
FRACCION	0.0
CSUB = VALOR	0.0
TEMP = VALOR	300°K
ISS = VALOR	Ver descripción anterior
TF = VALOR	Ver descripción anterior
VA = VALOR	Ver descripción anterior

Ejemplos:

BNPN = PNP BF = 100, 1.0MA(40,10UA,3.0V,6.667M,-36.0U)

&BR = 1 ISS = 2.0E-14 RB = 150,(2,0M,9.6U) RC = 100.0

&(1.5M,7.0U) RO = 50K, 2MA CJE = 3.0PF, 0.65V CJC = 1.0PF,

& -5.0V CSUB = 2.0PF FT = 600 MEGHZ (1.0MA, 5.0V)

BNS NPN BF 290 BR 1 ISS 1.26E-15 RB 60 RC 300 RO 180K

&1M FT 703 MEG 1M CJE .65P CJC .36P CSUB 3.2P VA 50.0V

II. Tarjeta de modelo para transistores de efecto de campo.

Estas tarjetas describen los modelos de los transistores de efecto de campo usados en el circuito. Los parámetros del modelo se especifican

en forma de grupos de campos numéricos, precedidos por palabras claves específicas que se describirán a continuación. El orden en que se especifican los campos numéricos es arbitrario y se pueden omitir cualquier grupo, en cuyo caso el programa asigna valores típicos. Para la especificación completa del modelo, se pueden usar tantas tarjetas de continuación como sea necesario; cada tarjeta de continuación debe llevar un signo de ampersand "&" en la primera columna.

Forma general:

```
FXXX TIPO VTO = VAL1  PHI = VAL2  BETA = VAL3  GAMMA = VAL4
&LAMBDA = VAL5  RD = VAL6  RS = VAL7  CGS = VAL8  CGD = VAL9
&CGB = VAL10  CBD = VAL11  CBS = VAL12  PB = VAL13  IS = VAL14
```

a) Nombre:

El campo FXXX contiene el nombre del modelo del TBJ, el cual debe comenzar con la letra F.

b) Tipo: CLAVE: NJUN, PJUN, NMOS, PMOS.

El campo TIPO contiene la clave NJUN, PJUN, NMOS ó PMOS dependiendo del tipo de transistor que describe el modelo. Para JFET, el campo TIPO debe contener NJUN o PJUN, dependiendo de si el modelo describe a un JFET canal N o canal P respectivamente. Para MOSFET, el campo TIPO debe contener NMOS ó PMOS, dependiendo de si el modelo describe a un MOSFET canal N ó canal P respectivamente.

c) Voltaje de Umbral: clave: VTO = V_p (signo - para JFET).

Forma general:

VTO = VAL1

VTO es la clave para especificar el voltaje de umbral. El campo VAL1 debe contener el valor del voltaje umbral. VTO debe ser positivo para el modo de "enriquecimiento" y negativo para el modo de "empobrecimiento", en ambos tipos de transistores canal N y canal P.

d) Potencial de superficie: Clave: PHI

Forma general:

$$PHI = VAL2$$

Este parámetro se especifica solamente para MOSFETS. PHI es la clave para especificar el potencial de superficie. El campo VAL1 debe contener el valor del potencial de superficie de canal.

e) Parámetro de transconductancia: Clave: BETA

Forma general:

$$BETA = VAL3$$

BETA es la clave para especificar la transconductancia. El campo VAL3 debe contener el valor de la transconductancia. Con la transconductancia y el voltaje de umbral, se determina la variación de la corriente de drenaje con el voltaje de compuerta.

f) Parámetro de umbral de sustrato: Clave: GAMMA

Forma general:

$$GAMMA = VAL4$$

Este parámetro se especifica solamente para MOSFETS.

GAMMA es la clave para especificar el parámetro de umbral del sustrato. El campo VAL4 debe contener el valor del umbral de sustrato.

Con el potencial de superficie, PHI, y el umbral de sustrato, se determina la variación del voltaje de umbral con el voltaje de sustrato.

g) Modulación de la longitud del canal: Clave: LAMBDA

Forma general:

LAMBDA = VAL5

LAMBDA es la clave para especificar el parámetro de modulación de la longitud del canal. El campo VAL5 debe contener el valor de dicho parámetro.

h) Resistencia de drenaje: Clave: RD

Forma general:

RD = VAL6

RD es la clave para especificar la resistencia de drenaje. El campo VAL6 debe contener el valor óhmico de dicha resistencia.

i) Resistencia de la fuente: Clave: RS

Forma general:

RS = VAL7

RS es la clave para especificar la resistencia de la fuente y el campo VAL7 debe contener el valor óhmico de dicha resistencia.

j) Capacidad compuerta-fuente: Clave: CGS

Forma general:

CGS = VAL8

CGS es la clave para especificar la capacidad compuerta-fuente. Para modelos de JFETS, el campo VAL8 debe contener el valor de la capacidad de juntura compuerta-fuente sin polarización, la que varía con el inverso de la raíz cuadrada del voltaje compuerta-fuente. Para modelos de MOSFETS, el campo VAL8 debe contener el valor de la capacidad lineal de compuerta-fuente.

k) Capacidad compuerta-drenaje: Clave: CGD

Forma general:

CGD = VAL9

CGD es la clave para especificar la capacidad compuerta-drenaje. Para modelos de JFETS, el campo VAL9 debe contener el valor de la capacidad de la juntura compuerta-drenaje sin polarización, la que varía con el inverso de la raíz cuadrada del voltaje compuerta-drenaje.

Para modelos de MOSFETS, el campo VAL9 debe contener el valor de la capacidad lineal de compuerta-drenaje.

l) Capacidad compuerta-substrato: Clave: CGB

Forma general:

CGB = VAL10

Este parámetro se especifica solamente para MOSFETS. CGB es la clave para especificar la capacidad de la juntura compuerta-substrato, y el campo VAL10 contiene el valor de dicha capacidad lineal.

m) Capacidad substrato-drenaje: Clave: CBD

Forma general:

CBD = VAL11

Este parámetro se especifica solamente para MOSFETS. CBD es la clave para especificar la capacidad de la juntura substrato-drenaje, y el campo VAL11 contiene el valor de dicha capacidad lineal.

n) Capacidad substrato-fuente: Clave: CBS

Forma general:

CBS = VAL12

Este parámetro se especifica solamente para MOSFETS. CBS es la clave para especificar la capacidad de la juntura substrato-fuente y el cam

po VAL12 contiene el valor de dicha capacidad, la que varía con el inverso de la raíz cuadrada del voltaje substrato-fuente.

o) Potencial de juntura: Clave: PB

Forma general:

$$PB = VAL13$$

PB es la clave para especificar el potencial de juntura. Para JFETS, el campo VAL13 debe contener el valor del potencial de la juntura de compuerta. Para MOSFETS, el campo VAL13 debe contener el valor del potencial de la juntura de substrato. Este parámetro es usado para calcular las capacidades de juntura.

p) Corriente de saturación: Clave: IS

Forma general:

$$IS = VAL14$$

IS es la clave para especificar la corriente de saturación. El campo VAL14 contiene el valor de la corriente de saturación de la juntura de la compuerta para JFETS, o la corriente de saturación de la juntura del substrato para MOSFETS.

NOTA: Cada una de las capacidades anteriores, para un voltaje de juntura dado (VJUN), son descritas por la siguiente ecuación:

$$CJUN = CJUN(VJUN = 0) / (1 - VJUN/PB)^{**0.5}$$

Valores asignados en ausencia:

Cuando no se especifica alguno de los parámetros descritos anteriormente, el programa le asigna un valor típico que llamamos "valor asignado en ausencia" y que, a continuación se listan:

<u>P A R A M E T R O</u>	<u>VALOR ASIGNADO EN AUSENCIA</u>
VTO	-2.0 Volts (JFET, CANAL N Y P) +2.0 Volts (MOSFET, CANAL N Y P)
PHI (sólo MOSFET)	0.5 Volts
BETA	1.0E-4
GAMMA (sólo MOSFET)	0.0
LAMBDA	0.0
RD	0.0
RS	0.0
CGS	0.0
CGD	0.0
CGB (sólo MOSFET)	0.0
CBD (sólo MOSFET)	0.0
CBS (sólo MOSFET)	0.0
PB	1.0 Volt
IS	1.0E-14 AMPS

Ejemplos:

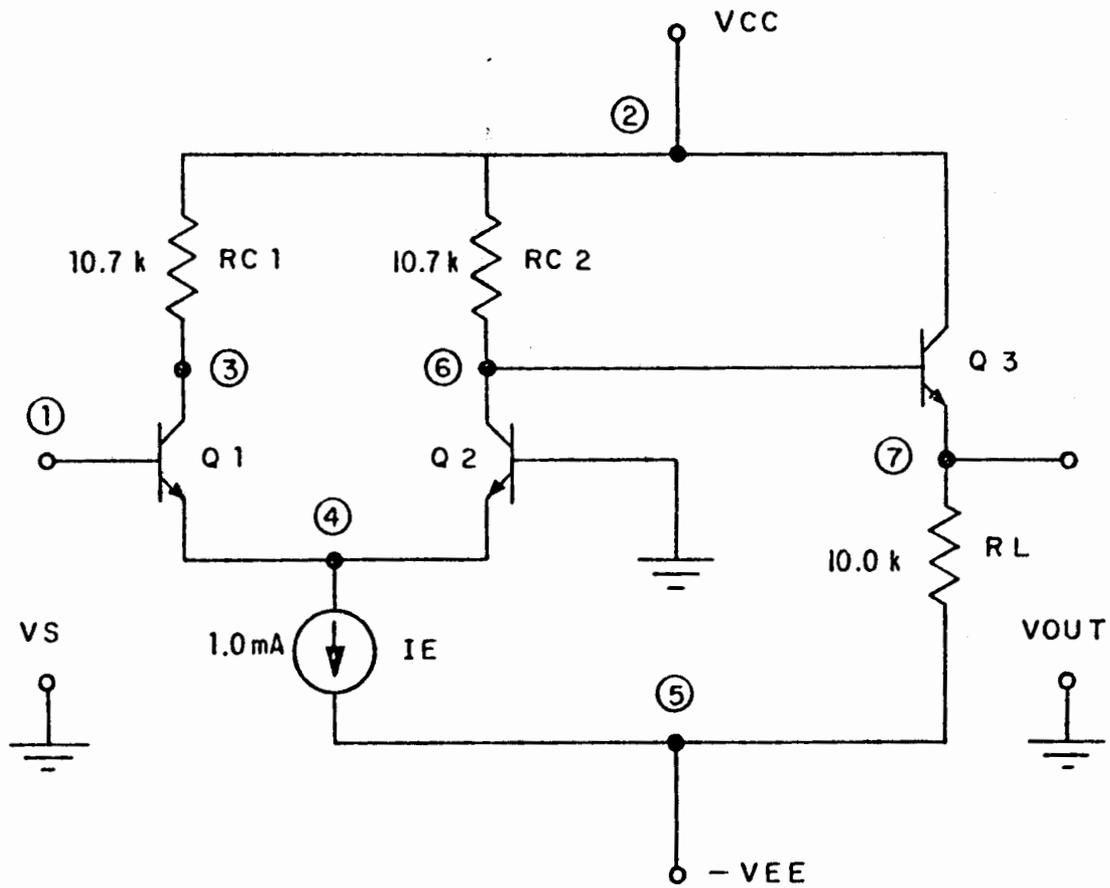
FJ1 NJUN VTO = 3 BETA = 0.001 LAMBDA = 0.05 RD = 500 RS = 500

&CJS = 100F CGD = 10PF

FM4 NMOS VT- = 1.0 BETA = 1.250 GAMMA = 0.5 CGB = 0.32PF CBD =
&0.2PF

4.2 Ejemplo SLIC

En la figura siguiente, se muestra un par diferencial ideal y, a continuación, se incluye el conjunto de tarjetas con los datos e instrucciones para el programa y el listado de SLIC con las distintas respuestas.



Amplificador diferencial simple .

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

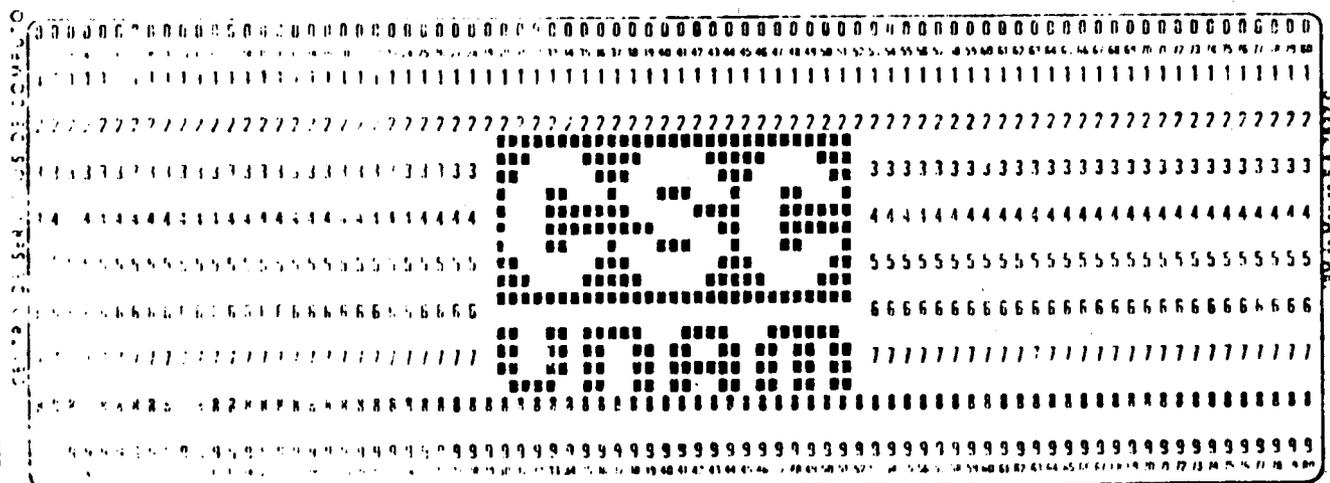
* EL SIGUIENTE CONJUNTO DE DATOS DESCRIBE UN AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

* E ILUSTR EL FORMATO DE ENTRADA DE SLIC Y EL USO DE LA TARJETA ALTER

```

PRINT DC AC FLOG(5, 1KHZ, 10MEGHZ) VOUT 7 C VIN 1 0
IC VS -0.1 +0.22 10MV VOUT 7 0
RPN NPN RB=50 FT=500MEG(1MA, 3) CJE=2PF, 0.65 CJC=0.3PF, -3.C
CSUB=2.0PF
VS(1, 0)=0.0
VCC(2, 0)=+6.0VDC IS
VLE(5, 0)=-6.0VDC IS
IE(4, 5)=1.0MA
RC1(2, 3)=10.7K
RC2(2, 6)=10.7K
RL(7, 5)=10K
I1(3, 1, 4)=BNPN
U2(6, 0, 4)=BNPN
Q1(2, 6, 7)=BNPN
ALTER
PRINT PZ FLOG 5 1KHZ 10MEGHZ VOUT 7 0 VIN 5 0
END

```



EJEMPLO slic/sic

```

*****
*                                     *
*           U      N      A      M      *
*                                     *
*   F A C U L T A D   D E   I N G E N I E R I A
*                                     *
*   D I V I S I O N   D E   E S T U D I O S   S U P E R I O R E S
*                                     *
*   S E C C I O N   D E   I N G E N I E R I A   E L E C T R O N I C A
*                                     *
*           S           L           I           C
*                                     *
*****

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX ** S L I C ** XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

HORA = 17,01,30,5

VERSION = 3

FECHA 03/23/76

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

DATOS DE ENTRADA

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

*
 * EL SIGUIENTE CONJUNTO DE DATOS DESCRIBE UN AMPLIFICADOR DIFERENCIAL
 * E ILUSTRAS EL FORMATO DE ENTRADA DE SLIC Y EL USO DE LA TARJETA ALTER.

```

PRINT DC AC FLOG(5,1KHZ,10MEGHZ) VOUT 7 0 VIN 1 0
DC VS =0.1 +0.22 10MV VOUT 7 0
BNPN NPN RB=50 FT=500MEG(1MA,3) CJE=2PF,0.65 CJC=0.3PF,-3.0
+ CSUB=2.0PF
VS(1,0)=0.0
VCC(2,0)=+6.0VOLTS
VEE(5,0)=-6.0VOLTS
IE(4,5)=1.0MA
RC1(2,3)=10.7K
RC2(2,6)=10.7K
RL(7,5)=10K
Q1(3,1,4)=RPN
Q2(6,0,4)=RPN
Q3(2,6,7)=BNPN
ALTER

```

 * N U M E R O S D E L O S T R A N S I S T O R E S *

UNAM-AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

TRANSISTORES - T N U

PARAMETROS DE ENTRADA

MODELO	GNPN
TYPE	4PN
RB	5.000E+01
BF	1.000E+02
BR	1.000E+00
FT	5.000E+08
IC	1.000E-03
VEE	3.000E+00
CJE	2.000E-12
VBE	6.500E-01
PHIE	7.000E-01
NE	3.333E-01
CJC	3.000E-13
VBC	3.000E+00
PHIC	5.000E-01
NC	3.333E-01
RATIO	0.
CSS	2.000E-12
TEMP	3.000E+02

PARAMETROS DERIVADOS

MODELO	GNPN
ISS	1.000E-14
TAUF	2.751E-10
CJEO	8.298E-13
CJCO	5.739E-13

TIEMPO DE EJECUCION = 3.405 SEGUNDOS

BCC1	1.7126-02
BCC2	1.4565-05
BCC3	2.0985-01
ETA	5.4625-04
TAJF	2.4265-10
CJED	6.9985-13
CJED	5.7395-13

TIEMPO DE EJECUCION = 3.202 SEQUIDOS

 * C U P V A D E T R A N S F E R E N C I A C D *

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

TEMPERATURA = 300.0

ENTRADA SALIDA

VS VOUT

***** 2.000E+00 4.000E+00 6.000E+00 *****

1.000E-01	I	-1.277E+00	R						
9.000E-02	I	-1.275E+00	R						
8.000E-02	I	-1.272E+00	R						
7.000E-02	I	-1.267E+00	R						
6.000E-02	I	-1.262E+00	R						
5.000E-02	I	-1.254E+00	R						
4.000E-02	I	-1.245E+00	R						
3.000E-02	I	-1.231E+00	R						
2.000E-02	I	-1.219E+00	R						
1.000E-02	I	-9.405E-01	R						
5.604E-14	I	-2.118E-03	R						
1.000E-02	I	9.402E-01	R						
2.000E-02	I	1.621E+00	R						
3.000E-02	I	2.147E+00	R						
4.000E-02	I	2.652E+00	R						
5.000E-02	I	3.123E+00	R						
6.000E-02	I	3.550E+00	R						
7.000E-02	I	3.922E+00	R						
8.000E-02	I	4.235E+00	R						
9.000E-02	I	4.490E+00	R						
1.000E-01	I	4.689E+00	R						
1.100E-01	I	4.841E+00	R						
1.200E-01	I	4.953E+00	R						
1.300E-01	I	5.034E+00	R						
1.400E-01	I	5.092E+00	R						
1.500E-01	I	5.133E+00	R						
1.600E-01	I	5.161E+00	R						
1.700E-01	I	5.181E+00	R						
1.800E-01	I	5.194E+00	R						
1.900E-01	I	5.203E+00	R						
2.000E-01	I	5.210E+00	R						
2.100E-01	I	5.214E+00	R						

 * ANALISIS PARA CORRIENTE DIRECTA *

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

TEMPERATURA = 300.0

NUMERO DE ITERACIONES EN EL ANALISIS EN CD = 6

NUMERO DE OPERACIONES POR ITERACION = 61

VOLTAJES EN LOS NODOS

NODO	VOLTAJE
(1)	0.00000000
(2)	6.00000000
(3)	0.76297630
(4)	-0.63679283
(5)	-6.00000000
(6)	0.63942837
(7)	-0.00211759

PUNTO DE OPERACION DE LOS TBJ

TBJ	IB	VBE	VBE _X	IC	VCE	VCE _X	IC>ID
Q1	0.00000495	0.636545	0.636793	0.00049505	1.339763	1.339763	100.000
Q2	0.00000495	0.636545	0.636793	0.00049505	1.276221	1.276221	100.000
Q3	0.00000594	0.641249	0.641546	0.00059385	6.002118	6.002118	100.000

POTENCIA DISIPADA = 0.019775 WATTS

TIEMPO DE EJECUCION = 17.606 SEGUNDOS

 *
 * PARANETROS DE SENAL PEQUENA *
 *

UNAM-AMPLIFICADOR-DIFERENCIAL-SIMPLE

TEMPERATURA = 300.0

TRANSISTORES TRJ

	Q1	Q2	Q3
RB	5.000E+01	5.000E+01	5.000E+01
RPI	5.222E+03	5.222E+03	4.353E+03
/REYAO	1.000E+02	1.000E+02	1.000E+02
CPI	6.600E-12	6.600E-12	7.650E-12
/CJE	1.331E-12	1.331E-12	1.336E-12
/TAUF	2.751E-10	2.751E-10	2.751E-10
CMU	4.282E-13	4.361E-13	2.526E-13
/CJC	4.282E-13	4.361E-13	2.526E-13
GM	1.915E-02	1.915E-02	2.297E-02
CSS	2.000E-12	2.000E-12	2.000E-12

TIEMPO DE EJECUCION = 14.188 SEGUNDOS

RES PUESTA EN FRECUENCIA

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

TEMPERATURA = 300.0

NUMERO DE OPERACIONES POR PUNTO DE FRECUENCIA = 39

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA = VSALIDA (7, 0)
VENTRADA (1, 0)

FREC (HZ)	GAIN/C DB	GAIN/C MAG	FASE	PARTE REAL	PARTE IMAG
1.0000E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.207E-02	9.9990E+01	-2.1069E-02
1.5849E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.913E-02	9.9990E+01	-3.3392E-02
2.5119E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-3.033E-02	9.9990E+01	-5.2922E-02
3.9811E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-4.806E-02	9.9990E+01	-8.3876E-02
6.3096E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-7.617E-02	9.9990E+01	-1.3293E-01
1.0000E+04	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.207E-01	9.9990E+01	-2.1069E-01
1.5849E+04	3.0000E+01	9.9989E+01	-1.913E-01	9.9989E+01	-3.3391E-01
2.5119E+04	3.0000E+01	9.9989E+01	-3.033E-01	9.9987E+01	-5.2921E-01
3.9811E+04	3.0000E+01	9.9987E+01	-4.806E-01	9.9983E+01	-8.3871E-01
6.3096E+04	3.0000E+01	9.9981E+01	-7.617E-01	9.9973E+01	-1.3291E+00
1.0000E+05	3.0000E+01	9.9969E+01	-1.207E+00	9.9946E+01	-2.1060E+00
1.5849E+05	3.0000E+01	9.9936E+01	-1.913E+00	9.9880E+01	-3.3356E+00
2.5119E+05	3.0000E+01	9.9854E+01	-3.030E+00	9.9715E+01	-5.2779E+00
3.9811E+05	3.0000E+01	9.9650E+01	-4.796E+00	9.9301E+01	-8.3310E+00
6.3096E+05	3.0000E+01	9.9143E+01	-7.574E+00	9.8277E+01	-1.3070E+01
1.0000E+06	3.0000E+01	9.7900E+01	-1.191E+01	9.5793E+01	-2.0201E+01
1.5849E+06	3.9552E+01	9.4971E+01	-1.850E+01	9.0063E+01	-3.0137E+01
2.5119E+06	3.8951E+01	8.8620E+01	-2.801E+01	7.8242E+01	-4.1613E+01
3.9811E+06	3.7724E+01	7.6945E+01	-4.031E+01	5.8678E+01	-4.9774E+01
6.3096E+06	3.5622E+01	6.0407E+01	-5.372E+01	3.5745E+01	-4.8696E+01
1.0000E+07	3.2679E+01	4.3047E+01	-6.576E+01	1.7673E+01	-3.9252E+01

* D I A G R A M A D E F O R M E D E M A G N I T U D *

FRECUENCIA	MAGNITUD	3.200E+01 DB	3.400E+01 DB	3.600E+01 DB	3.800E+01 DB	4.000E+01 DB
1.000E+03	4.000E+01					
1.545E+03	4.000E+01					
2.512E+03	4.000E+01					
3.981E+03	4.000E+01					
6.310E+03	4.000E+01					
1.000E+04	4.000E+01					
1.545E+04	4.000E+01					
2.512E+04	4.000E+01					
3.981E+04	4.000E+01					
6.310E+04	4.000E+01					
1.000E+05	4.000E+01					
1.545E+05	3.970E+01					
2.512E+05	3.970E+01					
3.981E+05	3.970E+01					
6.310E+05	3.993E+01					
1.000E+06	3.982E+01					
1.545E+06	3.954E+01					
2.512E+06	3.892E+01					
3.981E+06	3.772E+01					
6.310E+06	3.562E+01					
1.000E+07	3.260E+01					



DIAGRAMA DE RONDE DE FASE

FRECUENCIA FASE

FRECUENCIA	FASE	-1.000E+02 GRADOS	-6.000E+01 GRADOS	-2.000E+01 GRADOS	2.000E+01 GRADOS	6.000E+01 GRADOS
1.000E+03	-1.207E-02	I	I	I	R	I
1.585E+03	-1.913E-02	I	I	I	R	I
2.512E+03	-3.031E-02	I	I	I	R	I
3.981E+03	-4.806E-02	I	I	I	R	I
6.310E+03	-7.617E-02	I	I	I	R	I
1.000E+04	-1.207E-01	I	I	I	R	I
1.585E+04	-1.913E-01	I	I	I	R	I
2.512E+04	-3.031E-01	I	I	I	R	I
3.981E+04	-4.806E-01	I	I	I	R	I
6.310E+04	-7.617E-01	I	I	I	R	I
1.000E+05	-1.207E+00	I	I	I	R	I
1.585E+05	-1.913E+00	I	I	I	R	I
2.512E+05	-3.030E+00	I	I	I	R	I
3.981E+05	-4.796E+00	I	I	I	R	I
6.310E+05	-7.575E+00	I	I	I	R	I
1.000E+06	-1.191E+01	I	I	I	R	I
1.585E+06	-1.450E+01	I	I	IR	I	I
2.512E+06	-2.801E+01	I	I	R	I	I
3.981E+06	-4.031E+01	I	I	R	I	I
6.310E+06	-5.372E+01	I	I	R	I	I
1.000E+07	-6.576E+01	I	I	R	I	I

TIEMPO DE EJECUCION = 20.801 SEGUNDOS

UNAM-AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

DATOS DE ENTRADA

ALTER
PRINT PZ FLOG 5 1KHZ 10MEGZ VOUT 7 0 VIN 1 0
DC
END

MODELOS DE LOS TRANSISTORES

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

TRANSISTORES TBJ

PARAMETROS DE ENTRADA

MODELO	BMPN
TYPE	UNIT
RB	5.000E+01
BF	1.000E+02
BR	1.000E+00
FT	5.000E+08
IC	1.000E+03
VCE	3.000E+00
CJE	2.000E-12
VBE	6.500E-01
PHIE	7.000E-01
NE	3.333E-01
CJC	3.000E-13
VBC	3.000E+00
PHIC	5.000E-01
NC	3.333E-01
RATIO	0
CSS	2.000E-12
TEMP	3.000E+02

PARAMETROS DERIVADOS

MODELO	BMPN
ISS	1.000E-14
TAUF	2.751E-10
CJEO	8.298E-13
CJCO	5.739E-13

TIEMPO DE EJECUCION = 21,452 SEGUNDOS

PARAMETROS DE SENAL PEQUENA

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

TEMPERATURA = 300.0

TRANSISTORES TRJ

	Q1	Q2	Q3
RB	5.000E+01	5.000E+01	5.000E+01
RPI	5.222E+03	5.222E+03	4.353E+03
/BETA0	1.000E+02	1.000E+02	1.000E+02
CPI	6.600E-12	6.600E-12	7.650E-12
/CJE	1.331E-12	1.331E-12	1.336E-12
/TAUF	2.751E-10	2.751E-10	2.751E-10
EMU	4.282E-13	4.361E-13	2.526E-13
/CJC	4.282E-13	4.361E-13	2.526E-13
GM	1.915E-02	1.915E-02	2.297E-02
GBB	2.000E-12	2.000E-12	2.000E-12

TIEMPO DE EJECUCION = 21.582 SEGUNDOS

ANALISIS DE POLOS Y CEROS

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

TEMPERATURA = 300.0

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA = VSALIDA (7, 0)
VENTRADA (1, 0)

NUMERO DE OPERACIONES POR ITERACION DE POLO = 20

NUMERO DE OPERACIONES POR ITERACION DE ZERO = 32

P O L O S (RAD/SEG)

C E R O S (RAD/SEG)

REAL	IMAG	ITER
-3.10235E+07	0.	8
-3.70600E+07	0.	3
-2.93075E+09	0.	2
-3.03896E+09	0.	4
-3.40105E+09	0.	14
-5.48034E+10	0.	4
-9.02095E+10	0.	2

REAL	IMAG	ITER
-3.84882E+07	0.	6
-1.46537E+09	1.14429E+10	3
-1.46537E+09	-1.14429E+10	0
-2.93075E+09	0.	8
-3.03062E+09	0.	3

P O L O S (HERTZ)

C E R O S (HERTZ)

REAL	IMAG	ITER
-4.93755E+06	0.	8
-5.89829E+06	0.	3
-4.66443E+08	0.	2
-4.83666E+08	0.	4
-5.41293E+08	0.	14
-6.72223E+09	0.	4
-1.43573E+10	0.	2

REAL	IMAG	ITER
-6.12559E+06	0.	6
-2.33222E+08	1.82120E+09	3
-2.33222E+08	-1.82120E+09	0
-4.66443E+08	0.	8
-4.82339E+08	0.	3

TIEMPO DE EJECUCION = 25.956 SEGUNDOS

RESPUESTA EN FRECUENCIA

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

TEMPERATURA = 300.0

FUNCION DE TRANSFERENCIA VSALIDA (7, 0)
VENTRADA (1, 0)

FREQ (Hz)	GAMMA DB	GAMMA MAG	FASE	PARTE REAL	PARTE IMAG
1.0000E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.207E-02	9.9990E+01	-2.1069E+02
1.5849E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.913E-02	9.9990E+01	-3.3391E+02
2.5119E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-3.037E-02	9.9990E+01	-5.2922E+02
3.9811E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-4.806E-02	9.9990E+01	-8.3877E+02
6.3096E+03	3.0000E+01	9.9990E+01	-7.617E-02	9.9990E+01	-1.3203E+03
1.0000E+04	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.207E-01	9.9990E+01	-2.1069E+03
1.5849E+04	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.913E-01	9.9990E+01	-3.3391E+03
2.5119E+04	3.0000E+01	9.9990E+01	-3.037E-01	9.9990E+01	-5.2922E+03
3.9811E+04	3.0000E+01	9.9990E+01	-4.806E-01	9.9990E+01	-8.3877E+03
6.3096E+04	3.0000E+01	9.9990E+01	-7.617E-01	9.9990E+01	-1.3203E+04
1.0000E+05	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.207E+00	9.9990E+01	-2.1069E+04
1.5849E+05	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.913E+00	9.9990E+01	-3.3391E+04
2.5119E+05	3.0000E+01	9.9990E+01	-3.030E+00	9.9990E+01	-5.2779E+04
3.9811E+05	3.0000E+01	9.9990E+01	-4.796E+00	9.9990E+01	-8.3310E+04
6.3096E+05	3.0000E+01	9.9990E+01	-7.575E+00	9.9990E+01	-1.3070E+05
1.0000E+06	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.191E+01	9.9990E+01	-2.0201E+05
1.5849E+06	3.0000E+01	9.9990E+01	-1.850E+01	9.9990E+01	-3.0137E+05
2.5119E+06	3.0000E+01	9.9990E+01	-2.801E+01	9.9990E+01	-4.4613E+05
3.9811E+06	3.0000E+01	9.9990E+01	-4.031E+01	9.9990E+01	-6.4778E+05
6.3096E+06	3.0000E+01	9.9990E+01	-5.372E+01	9.9990E+01	-8.6965E+05
1.0000E+07	3.0000E+01	9.9990E+01	-6.576E+01	9.9990E+01	-1.1767E+06

DIAGRAMA DE MODE DE MAGNITUD

FRECUENCIA MAGNITUD

FRECUENCIA	MAGNITUD	3.200E+01 DB	3.400E+01 DB	3.600E+01 DB	3.800E+01 DB	4.000E+01 DB
1.000E+03	4.000E+01	I	I	I	I	I
1.585E+03	4.000E+01	I	I	I	I	R
2.512E+03	4.000E+01	I	I	I	I	R
3.981E+03	4.000E+01	I	I	I	I	R
6.310E+03	4.000E+01	I	I	I	I	R
1.000E+04	4.000E+01	I	I	I	I	R
1.585E+04	4.000E+01	I	I	I	I	R
2.512E+04	4.000E+01	I	I	I	I	R
3.981E+04	4.000E+01	I	I	I	I	R
6.310E+04	4.000E+01	I	I	I	I	R
1.000E+05	4.000E+01	I	I	I	I	R
1.585E+05	3.999E+01	I	I	I	I	R
2.512E+05	3.999E+01	I	I	I	I	R
3.981E+05	3.999E+01	I	I	I	I	R
6.310E+05	3.999E+01	I	I	I	I	R
1.000E+06	3.987E+01	I	I	I	I	R
1.585E+06	3.955E+01	I	I	I	I	R
2.512E+06	3.895E+01	I	I	I	I	R
3.981E+06	3.772E+01	I	I	I	I	R
6.310E+06	3.562E+01	I	I	I	I	R
1.000E+07	3.269E+01	I	I	I	I	R

DIAGRAMA DE RODE DE FASE

FRECUENCIA FASE

FRECUENCIA	FASE	-1.00E+02 GRADOS	-6.00E+01 GRADOS	-2.00E+01 GRADOS	2.00E+01 GRADOS	6.00E+01 GRADOS
1.00E+03	-1.20E+02	I	I	I	I	I
1.50E+03	-1.91E+02	I	I	I	I	I
2.51E+03	-3.03E+02	I	I	I	I	I
3.91E+03	-4.80E+02	I	I	I	I	I
6.310E+03	-7.61E+02	I	I	I	I	I
1.00E+04	-1.20E+03	I	I	I	I	I
1.50E+04	-1.91E+03	I	I	I	I	I
2.51E+04	-3.03E+03	I	I	I	I	I
3.91E+04	-4.80E+03	I	I	I	I	I
6.310E+04	-7.61E+03	I	I	I	I	I
1.00E+05	-1.20E+04	I	I	I	I	I
1.50E+05	-1.91E+04	I	I	I	I	I
2.51E+05	-3.03E+04	I	I	I	I	I
3.91E+05	-4.80E+04	I	I	I	I	I
6.310E+05	-7.61E+04	I	I	I	I	I
1.00E+06	-1.19E+05	I	I	I	I	I
1.50E+06	-1.45E+05	I	I	I	I	I
2.51E+06	-2.40E+05	I	I	I	I	I
3.91E+06	-4.03E+05	I	I	I	I	I
6.310E+06	-5.37E+05	I	I	I	I	I
1.00E+07	-6.57E+05	I	I	I	I	I

TIEMPO DE EJECUCION = 27.747 SEGUNDOS

***** LISTA DE USUARIOS *****

S L I C S L I C S L I C S L I C

03/23/76

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SIMPLE

CAPITULO 5: SICINOL: Manual del usuario

5.1 Descripción general del programa

SICINOL es un simulador que calcula el análisis de corriente directa y el análisis transitorio de circuitos electrónicos no lineales para excitaciones senoidales, piezolineales y/o constantes. También realiza el análisis de Fourier para alguna señal del circuito especificada por el usuario.

El circuito se simula especificando un conjunto de nodos y sus elementos interconectados. Los resultados los presenta en forma tabular y/o en forma gráfica.

SICINOL procesa circuitos que pueden contener capacitores, resistores, inductores, transistores TBJ, diodos, fuentes de corriente y fuentes de voltaje aterrizadas.

El usuario tiene facilidades en la especificación de los datos, ya que puede indicarlos en formato libre; además, puede omitir datos no esenciales, en cuyo caso SICINOL les asignará valores default.

Si el usuario lo requiere, todos los análisis anteriormente mencionados pueden repetirse para diferentes valores de temperatura.

El modelo de transistor usado por SICINOL es el de Ebers-Moll modificado, que incluye efectos de segundo orden tales como dependencia de la beta a variaciones de corriente, modulación de ancho de la base, etcétera.

El usuario debe especificar solamente las tres conexiones externas del transistor. Los elementos internos, tales como las resistencias parásitas y las capacitancias de juntura, se incluyen automáticamente al especificar se sus valores en los datos de entrada.

Por lo anterior, observamos que SICINOL proporciona una herramienta eficiente para analizar y diseñar circuitos electrónicos. SICINOL no procesa tran

sistores FET y MOSFET ni inductores acoplados; cabe aclarar que los diodos son simulados mediante transistores conectados como tales:

5.2 Capacidad del programa

SICINOL puede procesar circuitos que como máximo contengan:

10 fuentes de voltaje aterrizadas

10 fuentes de corriente

100 elementos tales como transistores

diodos (transistores conectados como diodos)

resistores

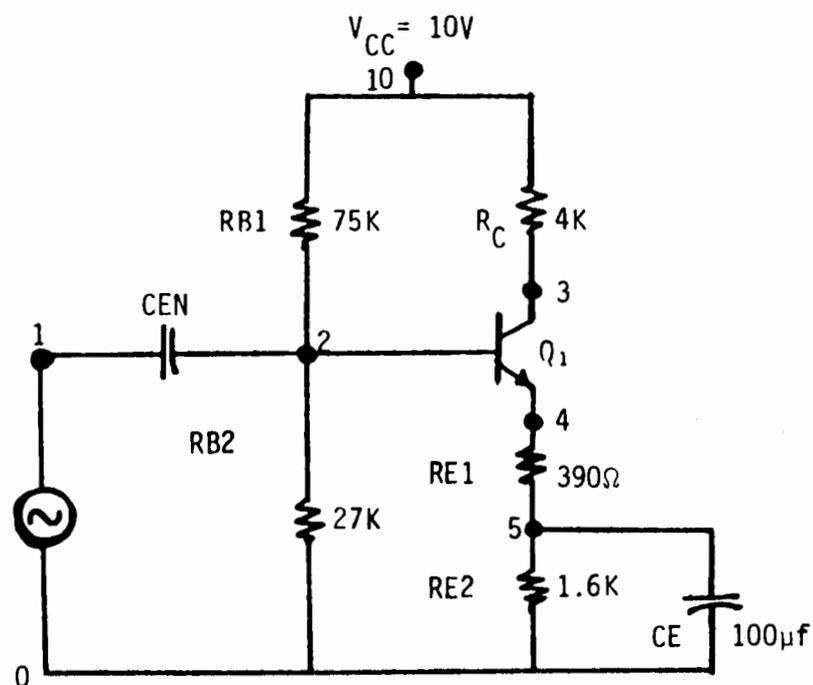
inductores

capacitores.

5.3 Método de aplicación

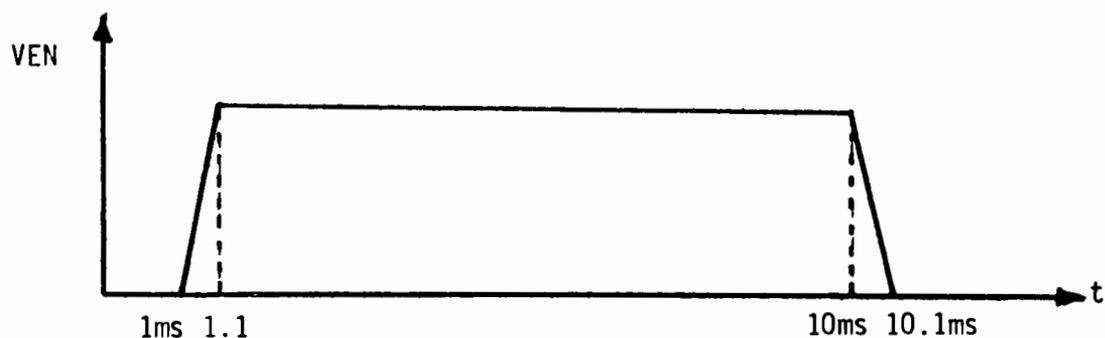
Para definir un circuito, el usuario asigna números arbitrarios a los nodos del mismo (entre 1 y 100) y define los elementos que conectan esos nodos.

Por ejemplo:



	Nodo 1	Nodo 2	Valor
RB1	10	2	75K
RB2	2	0	27K
VCC	10	0	10V
RC	10	3	4K
RE1	4	5	390
RE2	5	0	1.6K
CE	5	0	100
CEN	1	2	1
Q1	3	2	BXXX

Supongamos que la señal de entrada es piezolineal de la forma:



```
VEN 1 0 0 0SEG 0 IMS .3 1.1MS .3 10MS 0 10.1MS
```

Las especificaciones son un formato libre donde los espacios en blanco son ignorados excepto para limitar nombres de parámetros y valores. Los campos de los nombres pueden consistir hasta de cuatro caracteres máximo. Los factores de escalamiento se escriben con notación exponencial FORTRAN o mediante los siguientes factores de escala:

$$\begin{aligned}G &= 1 \times 10^9 \\ME &= 1 \times 10^6 \\K &= 1 \times 10^3 \\M &= 1 \times 10^{-3} \\U &= 1 \times 10^{-6} \\N &= 1 \times 10^{-9} \\P &= 1 \times 10^{-12}\end{aligned}$$

Cualquier otra notación o caracteres distintos de los anteriores son ignorados. Así, un capacitor de veinte picofarads se puede especificar de las siguientes maneras: 20P, 20E-12, 2E-11, 20 PFARADS, etcétera.

No debe usarse como comentario ningún caracter que esté definido como factor de escala. No es necesario el punto decimal para valores enteros.

Las tarjetas de continuación llevan un signo de más (+) en la primera columna. Se utilizan únicamente en la especificación de los datos del modelo del transistor.

La primera tarjeta de un conjunto de datos, debe ser una tarjeta de título del trabajo, y la última, una tarjeta FIN.

Todas las demás tarjetas pueden tener un orden arbitrario.

5.4 Observaciones generales

Los números de los nodos deben estar comprendidos entre 1 y 100. Los nodos se pueden numerar arbitrariamente.

El nodo tierra o nodo dato, debe numerarse cero.

Los nombres de los elementos son arbitrarios. De acuerdo con el tipo de elemento deben comenzar con una letra específica: resistor (R), capacitor (c), inductor(L), transistor (Q), fuente de corriente (I), fuente de voltaje (V), modelo (B). Los nombres no deben exceder de cuatro caracteres.

Cada nombre de elemento debe ser único, así como cada número de nodo.

Todas las fuentes de voltaje deben estar conectadas a tierra.

5.4 Tarjetas de componentes.

Mediante estas tarjetas, se especifican los nombres de los componentes, sus valores, los nodos a los que están conectados y los parámetros de los modelos de los transistores.

a) Resistores, capacitores e inductores.

Forma general:

YXXX N1 N2 VALOR TC1 TC2 donde (YXXX) contiene el nombre del elemento; (Y) será R, C ó L si se trata de un resistor, capacitor o inductor respectivamente. (XXX) es el nombre arbitrario del elemento (N1 y N2) los nodos a los que está conectado. (VALOR), el valor del elemento. (TC1 y TC2) los coeficientes de temperatura de primero y segundo orden respectivamente en grados KELVIN. Ejemplos:

R1 1 2 100K

CS 5 0 2.3P

RB 4 33 .2 5E-5 4U

b) Fuentes

Estas pueden ser por su forma: constantes, senoidales o piezolineales; o por su tipo, de voltaje o de corriente.

c) Fuentes piezolineales

Forma general

VXXX N+ N- V1 T1 V2 T2 VN TN

IXXX N+ N- I1 T1 I2 T2 IN TN

donde (XXX) es el nombre opcional de la fuente (N+ y N-) son los nodos

positivo y negativo a los que está conectada la fuente. (V_1, V_2, \dots, V_N e I_1, I_2, \dots, I_N) son los valores de voltaje y de corriente para cada punto de ruptura. (T_1, T_2, \dots, T_N) son los puntos de ruptura (en tiempo) de la señal.

Para las fuentes de voltaje, N^- debe ser cero. Para las fuentes de corriente, la corriente entra por el nodo N^+ . Se permite un máximo de nueve puntos de corte ($N=9$). Ejemplos:

VPOL	4	0	5	IM	6	2M	8	6M
ITEM	17	9	4	3	2	4	2.4	6

d) Fuentes constantes

Forma general

VXXX N+ N- VALOR

IXXX N+ N- VALOR

Ejemplos:

VCTE 5 0 10

IK 8 4 3MA

e) Fuentes senoidales

Forma general

V SEN N+ N- VM F FASE CD

I SEN N+ N- IM F FASE

donde (VM e IM) es la amplitud de la señal. (F) es la frecuencia. (FA SE), la fase. (CD), el nivel de corriente directa. El valor de la función está calculada de acuerdo con:

$$V(+)=VM * \text{SEN}(2*PI*(F*T + \text{FASE} / 360)) + CD$$

$$i(+)=IM * \text{SEN}(2*PI*(P*T + \text{FASE} / 360))$$

$$PI = 3.1459 \quad T - \text{TIEMPO}$$

Ejemplos:

VSEN 2 0 10M 100 KHZ 0 1.5 V

ISEN 3 5 1M 2 MEG 0

f) Transistores

Forma general

QXXX BXXX NC NB NE

donde (QXXX) es el nombre del transistor. (BXXX), el nombre del modelo que integra la estructura interna del transistor; (NC, NB y NE), los nodos del colector, la base y el emisor respectivamente.

Ejemplo:

QTIR BMA 4 36 18

g) Modelos

En esta tarjeta se especifican los parámetros del modelo interconstruido de SICINOL para los transistores del circuito. Los nombres de los modelos deben especificarse en las tarjetas de los transistores. Se pueden especificar, como máximo, treinta modelos diferentes.

Forma general:

BXXX TIPO BS = BFMAX, ICMAX, BF, IC, VCE, TC1, TC2

+ BR = VALOR ISS = VALOR RB = VALOR, TC1, TC2 RC = VALOR,

+ TC1, TC2 RO = VALOR, IC FT = VALOR, IC, VCE TST = VALOR

+ CJE = VALOR, VBE, PHIE, NE CJC = VALOR, VBC, PHIC, NC,

+ RAZON CSUB = VALOR TEMP = VALOR

Los parámetros aparecen en grupos. Los grupos de parámetros pueden aparecer en cualquier orden, separados por espacio. En cada grupo, los parámetros deben separarse mediante comas "," y deben aparecer en el

orden mencionado en la especificación de la forma general. Cualquier parámetro puede ser omitido, en cuyo caso, se le asignará un valor su puesto. Si el parámetro omitido se encuentra dentro de un grupo y an tecede a otro parámetro, su omisión se indica mediante una diagonal "/". Se pueden utilizar tarjetas de continuación. Estas tendrán un signo de más "+" en la primera columna, y un espacio en la segunda. Las tar jetas de continuación se utilizan únicamente en la especificación de modelos de transistor. A continuación, presentamos una lista de los parámetros, indicando su significado y valor supuestos:

<u>P A R A M E T R O</u>	<u>SIGNIFICADO</u>	<u>VALOR SUPUESTO</u>
TIPO	NPN ó PNP	NPN
BF =BFMAX	Máxima beta de directa	100.
ICMAX	IC para la cual BFMAX ocurre	Ignorado
BF	Algún valor de beta	Ignorado
IC	IC para el valor de beta anterior (BF)	Ignorado
VCE	VCE para el valor de beta anterior (BF)	Ignorado
TC1	Coficiente de temperatura de primer orden	0.
TC2	Coficiente de temperatura de segundo orden	0.
BR =VALOR	Beta de reversa	1.
ISS=VALOR	Corriente de saturación	1.E-14
RB = VALOR	Resistencia de base	0.
TC1	Coficiente de temperatura de primer orden	0.
TC2	Coficiente de temperatura de segundo orden	0.

<u>PARAMETRO</u>	<u>SIGNIFICADO</u>	<u>VALOR SUPUESTO</u>
RC = VALOR	Resistencia de colector	0.
RO = VALOR	Resistencia de salida en emisor común	0.
IC	IC para el valor anterior	1.E-3
FT = VALOR	Frecuencia para ganancia unitaria de señal pequeña.	
IC	IC para el valor anterior	Ignorado
VCE	VCE para el valor anterior	Ignorado
TSAT=VALOR	Constante de tiempo de saturación.	0.
CJE = VALOR	Capacitancia de juntura base-emisor.	0.
VBE	VBE para el valor anterior	0.
PHIE	Potencial de juntura base-emisor.	.7
NE	Factor gradiente	.33333
CJC= VALOR	Capacitancia de juntura base colector	0.
VBC	VBC para el valor anterior	0.
PHIC	Potencial de juntura base-colector	0.5
NC	Factor gradiente	0.33333
RAZON	Razón de ruptura	0.
CSUB=VALOR	Capacitancia de substrato	0.
TEMP=VALOR	Temperatura a la cual se definen los parámetros	300.

Ejemplo:

BS1 RB = 250 RO =300, IMA FT = 600 MEG, /, 10

+BF = 120, 1M, /, 1E - 6, 5 FT = 350 MEGHZ, 10MA, 3

+ISS = 1. E = 15 RC = 100 RB = 1K TEMP = 295

h) Tarjetas de control

Mediante estas tarjetas, el usuario proporciona directivas de proceso al simulador.

i) Tarjeta de título

Es la tarjeta que encabeza el conjunto de datos de un circuito. Como su nombre lo indica, contiene el título del circuito que se va a procesar. Esta tarjeta se imprime literalmente como encabezado de los resultados. De las columnas 1 a 4 debe contener la palabra UNAM. De las columnas 6 a la 72, puede contener el título del circuito.

Ejemplo:

UNAM CIRCUITO DIGITAL TAREA 3 JUAN PEREZ

j) Tarjetas de comentarios

Contienen cualquier comentario al circuito. En la primera columna deben llevar un asterisco (*), y el resto puede contener cualquier comentario. Se puede incluir cualquier número de tarjetas de comentarios.

Ejemplo:

La resistencia del colector tiene un valor muy alto. La entrada máxima permitida de voltaje es de 10 Volts.

i) Tarjeta de especificación de tiempo

Mediante esta tarjeta, el usuario especifica el tiempo en que se requiere para el análisis transitorio.

Forma general:

TIEM DELT TTA

donde DELT es el incremento de tiempo para el cual las salidas son impresas, y TTA es el tiempo total del análisis transitorio. Si no se incluye esta tarjeta, el programa no realiza el análisis transiente.

1) Tarjeta de especificación de salida

Mediante esta tarjeta, se especifican los voltajes y las corrientes que han de ser tabulados en los resultados del programa.

Forma general:

VSAL N+ 0

ISAL N + N-

donde (N+ y N-) son el nodo positivo y el negativo, respectivamente.

La corriente de salida debe ser especificada sólo a través de un elemento lineal; el nodo positivo designa el punto por donde la corriente entra.

Ejemplos:

VSAL 31 0

ISAL 4 6

VSAL 10 0

iii) Tarjeta de especificación de salidas

Esta tarjeta realiza la misma función que la anterior, con la ventaja de que en una sola tarjeta se pueden especificar hasta nueve salidas.

Forma general:

IMPR YXXX N+ N- YXXX N+ N- YXXX N+ N-

donde (YXXX) es el nombre de salida: Y será 1 para salida de corriente y V para salida de voltaje. (N+ y N-) son los nodos positivo y negativo en donde se solicita la salida. Si en una tarjeta IMPR no se pueden especificar las salidas requeridas, se puede utilizar otra tarjeta IMPR.

Ejemplos:

IMPR VSAL 30 VI 9 0

IMPR IFE 11 14 V43 7 0

n) Tarjeta de graficación

Con esta tarjeta, se especifican los voltajes o corrientes que han de ser graficados. La graficación se realizará para cada intervalo de tiempo especificado en la tarjeta TIEM. Se imprimirán los primeros doscientos puntos como máximo.

Forma general:

GRAF MIN MAX YXXX N+ N- YXXX N+ N-

donde (MIN y MAX) son los límites más negativo y más positivo de la gráfica en miliamperes para corrientes y en voltas para voltajes.

(YXXX) es el nombre de la salida. (N+ y N-) son los nodos entre los cuales se desea la salida.

Se pueden incluir dos salidas por tarjeta lo que implicará tener dos trazos en una sola gráfica. Se admiten seis tarjetas GRAF como máximo (seis gráficas)

Ejemplos:

GRAF -5 5 VC3 4 0

GRAF 0 1 IRS 10 3

GRAF -3 0 VR1 4 9 VR2 3 7

ñ) Tarjetas de análisis de Fourier

Esta tarjeta es opcional. Se usa cuando se desea el análisis de Fourier para alguna de las señales que aparecen en la tarjeta GRAF.

Forma general:

FOR TIN TFIN NHAR

donde (TIN Y TFIN) son el tiempo inicial y final del período de la onda; (NAHAR) es el número de armónicas deseadas, que no puede ser mayor de 49.

Ejemplo:

```
FOR .2E-5 .5E-6 5
```

o) Tarjeta de temperaturas

Esta tarjeta se emplea cuando se requiere efectuar el análisis del circuito a diferentes temperaturas.

Forma general:

```
TEMP T1 T2 T3 T4 T5
```

donde (T1, T2, ..., T5) son las temperatura en grados Kelvin. T1 es considerada como la tempertura nominal.

Ejemplo:

```
TEM 300 295 315
```

p) Tarjeta de tolerancia

Mediante esta tarjeta se especifica el porcentaje de tolerancia permitida en la obtención de los resultados.

Forma general:

```
TOL VALOR
```

donde (VALOR) es el porcentaje de tolerancia.

Ejemplo:

```
TOL 3
```

q) Tarjeta de fin de datos

Esta tarjeta se incluye al final de los datos e indica el final de un trabajo. A continuación de una tarjeta de fin de datos se puede incluir una tarjeta de título correspondiente a otro trabajo a procesar:

Forma general:

FIN x.....x

donde (x.....x) indica cualquier comentario incluido entre las co
lumnas 4 y 72.

Ejemplo:

FIN A CONTINUACION OTROCIRCUITO TTL

r) Tarjeta de alteración de los datos del circuito

Con esta tarjeta el usuario indica que alterará los datos del circuito para obtener otra respuesta del mismo. Después de esta tarjeta, se per
mite cualquier alteración del circuito mediante cualquier tipo de tarje
ta. Esta tarjeta debe ir situada al final de la descripción total del circuito y antes de la tarjeta FIN.

Forma general:

ALTER

Ejemplo:

Supongamos que se quiere alterar el valor de una resistencia R1 de un circuito cualquiera:

R1 3 0 10K

A L T E R

R1 3 9 100K

FIN

s) Composición general de un paquete de datos

Presentamos ahora la forma general en que se compondría un paquete de datos:

UNAM TRABAJO 1

.

.

.

TRABAJO 1

FIN

UNAM TRABAJO 2

.

.

CIRCUITO INICIAL

.

ALTER

.

TRABAJO 2

.

CAMBIOS CIRCUITO INICIAL

.

ALTER

.

.

NUEVOS CAMBIOS

.

FIN

UNAM TRABAJO 3

.

.

CIRCUITO INICIAL

.

ALTER

.

TRABAJO 3

.

CAMBIOS CIRCUITO INICIAL

.

FIN

FIN DEL PROCESO

CAPITULO 6 SLIC/REMOTO: Manual del usuario y ejemplo.

SLIC/REMOTO es una nueva versión de SLIC, que permite el uso interactivo de dicho programa desde una terminal remota, con la cual se logra agilizar el análisis de circuitos.

Este manual trata de ser autosuficiente, así como breve. Si el lector lo considera necesario deberá leer el capítulo que describe a SLIC, el cual trata con más detalle el funcionamiento del simulador.

DESCRIPCION GENERAL DEL PROGRAMA

SLIC es un simulador desarrollado para analizar la polarización y la respuesta de frecuencia de circuitos electrónicos lineales.

El circuito descrito por un conjunto de nodos y sus elementos es la entrada de datos para el programa SLIC, el cual puede realizar diferentes tipos de análisis, como calcular voltaje de los nodos, puntos de operación de los transistores y, en forma optativa, calcular la curva de transferencia de voltaje de CD, los parámetros de señal pequeña de los transistores, la respuesta de frecuencia, ubicación de polos y ceros, ruido y sensibilidad. Todos los tipos anteriores de análisis pueden ser repetidos a diferentes temperaturas. Los modelos utilizados por SLIC son para el TBJ, el modelo de Ebers Moll, con modificación para incluir efectos de segundo orden; el modelo de señal pequeña es el pi-híbrido extrínseco. Para el JFET, MOSFET, se emplea el modelo de Hodges y Shichman.

LIMITACIONES DEL PROGRAMA.

El circuito puede tener un máximo de 100 nodos y un máximo de:

- 40 resistores,
- 20 capacitores,
- 20 inductores,

- 10 inductores acoplados
- 20 fuentes de corriente controladas por voltaje
- 10 modelos de TBJ
- 10 modelos de JFET
- 30 transistores, que pueden ser:
 - a) TBJ (NPN ó PNP)
 - b) JFET (canal N ó P)
 - c) MOSFET (canal N ó P)
- 10 fuentes de corriente
- 10 fuentes de voltaje aterrizadas.

CARACTERISTICAS

Esta nueva versión conserva las características originales, que se comenta a continuación e incluye algunas innovaciones.

- 1) El programa puede ejecutar varios programas en "Batch" si estos son generados en el mismo archivo.
Para lo anterior, cada trabajo debe tener una tarjeta de título después de la tarjeta END del trabajo anterior.
 - 2) Los nombres asignados a los elementos no se pueden repetir para dos diferentes. El repetir un nombre causará que el elemento almacenado anteriormente sea borrado e ignorado.
 - 3) El nodo de tierra debe tener asignado el número cero.
 - 4) Al especificar resistencia óhmicas de extensión para los transistores, se crea un nodo extra en el circuito.
 - 5) El programa sólo puede ser ejecutado desde terminal: sus archivos de datos pueden ser generados por terminal o bien por tarjeta.
- Otras características, como convergencia, variaciones en el punto de operación del TBJ, análisis de temperatura, pueden ser consultadas en Capítulo 4.

MANEJO DE SLIC/REMOTO.

SLIC/REMOTO es manejado por medio de CANDE [1] que lo hace más flexible.

En los puntos siguientes se mostrará la manera de hacerlo:

- 1) Se enciende el DECWRITER, se digitaliza la tecla de Return y se espera que la B6700 conteste con el siguiente mensaje:

```
UNAM B67001126 CANDE 23.1 UNAMI |09011401|; YOU ARE TTYM16(24)
ENTER USERCODE PLEASE
```

- 2) Una vez terminado lo anterior, digitalizaremos la clave (AG84) y la tecla de Return.

```
UNAM B67001126 CANDE 23.1 UNAMI |09011401|; YOU ARE TTYM16(24)
ENTER USERCODE PLEASE
```

```
AG84
```

- 3) La B6700 contestará pidiendo el PASSWORD (o sea la clave asignada en forma privada a cada usuario de la B6700); se digitaliza ésta y la tecla Return.

- 4) Realizado lo anterior, la B6700 contestará de la manera siguiente:
UNAM B6700, etc., con lo cual hemos comenzado una sesión de trabajo en la B6700.

```
UNAM B67001126 CANDE 23.1 UNAMI |09011401|; YOU ARE TTYM16(24)
ENTER USERCODE PLEASE
```

```
AG84
```

```
ENTER PASSWORD PLEASE
```

```
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

```
SESSION 7122 12148120 04/26/78
```

- 5) Una vez comenzada la sesión en B6700, la instrucción siguiente será para generar el archivo, que contendrá los datos del circuito que SLIC/REMOTO procesa. Este archivo será generado con el formato usado para SLIC que se muestra en el capítulo 5.

La forma de generar el archivo es la siguiente:

- 5a) En primer lugar, para generar el archivo damos el comando MAKE con el siguiente formato [1]:

MAKE XXXX; SEQ 100 + 100 CR*

Donde XXXX es un identificador alfanumérico que puede contener hasta 7 caracteres, e identificará el archivo; SEQ 100 + 100 es la instrucción para secuenciar el archivo, lo cual sirve para corregir errores posteriormente.

Habiendo escrito lo anterior, se digitaliza la tecla de Return y se espera a que B6700 conteste posteriormente se escribe en la misma línea el primer registro (tarjeta de título) del archivo de datos. Una vez que se ha terminado de escribir el registro se digita la tecla de CR* y se espera a que B6700 conteste. Se escribe el segundo registro. Al terminar éste, se aplica la tecla Return y así sucesivamente hasta terminar el archivo (ejemplo 1).

Si se desea trabajar en "Batch", los datos del siguiente programa se escribirán en el mismo archivo después del registro de END que corresponde al primer programa (ver ejemplo 3).

- 5b) Para cerrar el archivo una vez que se ha tecleado el registro END del programa, se digitaliza la tecla de Return. B6700 escribirá la secuencia siguiente, y en esta línea se digitaliza otra vez la tecla de Return. Con esto, se ha cerrado el archivo y se procede a almacenarlo con el comando SAVE. El formato (ver ejemplo 1) es el siguiente:

SAVE

- 5c) Una vez que el archivo ha sido almacenado se procede a ejecutar el programa SLIC/REMOTO con la siguiente instrucción:

* Carriage Return

E (AG84)SLIC/REMOTO; FILE FILE 7 = XXXX CR*

Donde la palabra alfanumérica XXXX corresponde al nombre que le fue asignado al archivo generado en el paso (5a).

- 5d) El programa SLIC/REMOTO pedirá instrucciones al usuario, las cuales servirán para comandar el programa.

Estas instrucciones han sido generadas para que el usuario pueda decidir durante la ejecución del programa si desea que los resultados sean impresos con encabezado o no, así como también si requiere de alguno de los análisis de SLIC/REMOTO, para lo cual es necesario que se haya dado la información suficiente en el archivo de datos. En caso contrario, SLIC/REMOTO no lo realizará; o bien si ya no se desea el análisis anteriormente requerido en el archivo de datos.

La forma de informarle a la máquina el tipo de decisión, es indicar con 1 y (CR) en caso afirmativo, o bien, un cero y (CR) en caso contrario.

Enseguida mostraremos una lista de las preguntas formuladas por el programa:

- a) ¿Deseas que se imprima el encabezado?
 - b) ¿Deseas el análisis de AC?
 - c) ¿Deseas el análisis de polos?
 - d) ¿Deseas el análisis de sensibilidad?
 - e) ¿Deseas el análisis de ruido?
- 5e) En caso de que el archivo de datos tenga errores, o bien se deseen modificar los datos, será necesario realizar las instrucciones:

Se deberá digitalizar el comando G con el siguiente formato [1].

G XXXX ; L

Donde XXXX es el nombre del archivo de referencia en los párrafos 5a

* Carriage Return

y 5c; L es un listado del mismo (ejemplo 2). Con lo anterior, podemos sustituir las líneas completas o bien parcialmente, así como también suprimirlas totalmente.

Para sustituir las líneas parcialmente, se escribe la instrucción siguiente:

* No. secuencia/"lo que hay"/lo que se desea poner

En el formato anterior el No. secuencia corresponde al número de la línea donde se encuentra el error, "lo que hay" es el error que se desea modificar; "lo que se desea poner" es la corrección del error.

Para líneas que se deseen suprimir, el formato es el siguiente:

DEL <No. secuencia>

Donde el No. secuencia es el correspondiente a la línea que se desea suprimir y DEL es el comando [1].

Para sustituir líneas completa al formato es:

SEQ <No. secuencia>

Donde No. secuencia es el correspondiente a la línea que se desea sustituir. Al terminar de escribir la nueva línea, el usuario deberá teclear (CR), con lo cual B6700 contestará con la siguiente secuencia.

El usuario deberá volver a teclear (CR).

Nótese que el procedimiento anterior no afectó la secuencia siguiente a la de la línea sustituida.

El usuario podrá usar indistintamente cualquiera de los procedimientos anteriores para corregir errores. Una vez que ha terminado la corrección total del archivo, deberá digitalizar el comando SAVE y podrá repetir el procedimiento seguido en el párrafo (5c) o bien podrá dar por terminada la sesión: para lo cual deberá teclear el comando siguiente:

BYE

El comando anterior será necesario siempre que se desee terminar una sesión, dejando al usuario desconectado de B6700. Finalmente, se procede a apagar la terminal remota.

REFERENCIAS:

- [1] Command and Edit (CANDE) Language. Burroughs B6700/B7700, octubre, 1972.

EJEMPLO 1

```

#UNAM B6700:126 CANDE 28.1 UNAMI [09011401]# YOU ARE TTYM016(24)
#ENTER USERCODE PLEASE
AG84
#ENTER PASSWORD PLEASE.
#####
#SESSION 6506 12:36:10 05/02/79
MAKE JMMA;SEQ100+100
#WORKFILE JMMA; SEQ
100 UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL
200 *
300 *
400 * EL EJEMPLO SIGUIENTE SERA CORRIDO CON SLIC/REMOTO
500 *TAMBIEN MUESTRA LA MANERA DE GENERAR UN ARCHIVO.
600 *
700 *
800 PRINT DC AC FLOG(5,1KHZ,10MEGHZ)VOUT 7 0 VIN 1 0
900 BNPN NPN RB 50 BF 100 1MA 40 1UA 5V 30 5MA CJE 2PF 650MV 5V
1000 &RC 50 FT 500MEGHZ 1MA 5V 30 5MA CJE 2PF 650MV CJC 0.3PF
1100 &CSUB 2PF
1200 VS 1,0 0.0
1300 VCC 2,0 6.0V
1400 VEE 5,0 -6.0V
1500 IC 4,5 1MA
1600 RC1 2,3 10.7K
1700 RC2 2,6 10K
1800 RL 7,5 10K
1900 Q1 3,1,4 BNPN
2000 Q2 6,0,4 BNPN
2100 Q3 2,6,7 BNPN
2200 ALTERDEL
2200 END
2300
#
SAVE
#UPDATING
#WORKSOURCE JMMA SAVED
E SLIC/REMOTO;FILE FILE7=JMMA

```


&CSUB 2FF

VS 1,0 0.0

VCC 2,0 6.0V

VEE 5,0 -6.0V

IC 4,5 1MA

RC1 2,3 10.7K

RC2 2,6 10K

RL 7,5 10K

Q1 3,1,4 BPNP

Q2 6,0,4 BPNP

Q3 2,6,7 BPNP

END

```

*****
*
*           M O D E L O S   D E   L O S   T R A N S I S T O R E S
*
*****

```

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

T R A N S I S T O R E S T B J

PARAMETROS DE ENTRADA

MODELO	BNPN
TYPE	NPN
RB	5.000E+01
BF/BFMAX	1.000E+02
/ICM	1.000E-03
/BFLOW	4.000E+01
/ICL	1.000E-06
/VCE	5.000E+00
TC1	3.000E+01
TC2	5.000E-03
BR	1.000E+00
TC1	3.000E+01
TC2	5.000E-03
RC	5.000E+01
FT	5.000E+08
IC	1.000E-03
VCE	5.000E+00
LE/WB	3.000E+01
IC0	5.000E-03
CJE	2.000E-12
VBE	6.500E-01
PHIE	5.000E+00

NE	3.333E-01
CJC	3.000E-13
VBC	0.
PHIC	5.000E-01
NC	3.333E-01
RATIO	0.
CSS	2.000E-12
TEMP	3.000E+02

PARAMETROS DERIVADOS

MODELO	BNPN
ISS	1.000E-14
BCC1	9.253E-03
BCC2	1.575E-05
BCC3	2.490E-01
TAUF	2.559E-10
CJED	1.909E-12
CJCO	3.000E-13

TIEMPO DE EJECUCION = 4.167 SEGUNDOS

```

*****
*
*           A N A L I S I S   P A R A   C O R R I E N T E   D I R E C T A
*
*
*****

```

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

TEMPERATURA = 300.0

NUMERO DE ITERACIONES EN EL ANALISIS EN CD = 6

NUMERO DE OPERACIONES POR ITERACION = 80

V O L T A J E S E N L O S N O D O S

NODO	VOLTAJE
(1)	0.00000000
(2)	6.00000000
(3)	0.70341117
(4)	-0.63977433
(5)	-6.00000000
(6)	0.98690403
(7)	0.34054758

P U N T O D E O P E R A C I O N D E L O S T B J

TBJ	IB	VBE	VBEX	IC	VCE	VCEX	IC/IB
Q1	0.00000499	0.639525	0.639774	0.00049501	1.318435	1.343186	99.166
Q2	0.00000499	0.639525	0.639774	0.00049501	1.601928	1.626678	99.166
Q3	0.00000630	0.646041	0.646356	0.00062775	5.628065	5.659452	99.623

P O T E N C I A D I S I P A D A = 0.020189 WATTS

TIEMPO DE EJECUCION = 5.433 SEGUNDOS

DESEAS EL ANALISIS DE AC?
0

DESEAS EL ANALISIS DE POLOS ?
0

DESEAS EL ANALISIS DE RUIDO???
0

DESEAS EL ANALISIS DE SENSITIVIDAD
0

***** LISTA DE USUARIOS *****

S L I C S L I C S L I C S L I C

05/02/79

UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

#ET=3:27.2 PT=6.5 IO=3.2

```

MAKE JOSE
#WORKFILE JOSE: SEQ
SEQ 100 =100DEL
SEQ 100+100
100 PRINT DC AC FLOG(5,1KHZ,10MEGHZ VUOT7 0 VIN 1 0
200 DC RB 50 BF 100 BR 1 RO 50K FT 500MHZ
300 VS 1,0 0.0
400 VCC 2.0 6VOLTS
500 VEE 5,0 -6VOLTS
600 IE 4,5 1MA
700 RC1 2,3 10.7
800 RC2 2,6 10.7K
900 Q1 3,1,4 NPN
1000 Q2 6,0,4 BNP
1100 Q3 2,6,7 BNP
1200 ALTER FIT PZ
1300
#
*100/HZ VUOT7/HZ VOUT 7
#
L100
100 PRINT DC AC FLOG(5,1KHZ,10MEGHZ VOUT 7 0 VIN 1 0
#
*200/DC/BPNPDEL
*200/DC/BNPN
#
L200
200 BNP RB 50 BF 100 BR 1 RO 50K FT 500MHZ
#
*900/NPN/BNPN
#
L900
900 Q1 3,1,4 BNP
#
*1200FITDEL
*1200/FIT PZ/
#
L1200
1200 ALTER
#
L
100 PRINT DC AC FLOG(5,1KHZ,10MEGHZ VOUT 7 0 VIN 1 0
200 BNP RB 50 BF 100 BR 1 RO 50K FT 500MHZ
300 VS 1,0 0.0
400 VCC 2.0 6VOLTS
500 VEE 5,0 -6VOLTS
600 IE 4,5 1MA
700 RC1 2,3 10.7
800 RC2 2,6 10.7K
900 Q1 3,1,4 BNP
1000 Q2 6,0,4 BNP
1100 Q3 2,6,7 BNP
1200 ALTER
#

```

EJEMPLO 3

```

MAKE JMMA;SEQ100 + 100
100 UNAM AMPLIFICADOR DIFERENCIAL
200 *
300 *
400 * EL EJEMPLO SIGUIENTE SERA CORRIDO CON SLIC/REMOTO
500 *TAMBIEN MUESTRA LA MANERA DE GENERAR UN ARCHIVO.
600 *
700 *
800 PRINT DC AC FLOG(5,1KHZ,10MEGHZ)VOUT 7 0 VIN 1 0
900 BNPB NPN RB 50 BF 100 1MA 40 1UA 5V 30 5MA CJE 2PF 650MV 5V
1000 &RC 50 FT 50MEGHZ 1MA 5V 30 5MA CJE 2PF 650MV CJC 0.3PF
1100 &CSUB 2PF
1200 VS 1,0 0.0
1300 VCC 2,0 6.0V
1400 VEE 5,0 -6.0V
1500 IC 4,5 1MA
1600 RC1 2,3 10.7K
1700 RC2 2,6 10K
1800 RL 7,5 10K
1900 Q1 3,1,4 BNPB
2000 Q2 6,0,4 BNPB
2100 Q3 2,6,7 BNPB
2200 END
2300 UNAM AMPLIFICADOR 2
2400 *
2500 *
2600 * ESTE EJEMPLO SE PROCESA
2700 * EN BACHT JUNTO CON EL ANTERIOR
2800 PRINT DC AC (5,1KHZ,20KHZ) VOUT 4,0 VIN 1,0
2900 VCC 3,0 12V
3000 VS 1 0 0.0
3100 C1 1 2 1UF
3200 R1 2 3 10K
3300 R2 2 0 5K
3400 R3 3 4 2K
3500 R4 5 0 550
3500 RL 4 0 10K
3700 Q1 4 2 5 BNPB
3800 BNPB NPN BF 100 BR 1 CJE 2PF CJC 3PF FT 50MEGHZ RB 50
3900 END
4000
*
```

F-DEPFI/N.2/1979/Ej.6



720884