

INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen diferentes técnicas que permiten la simulación de circuitos mediante ordenadores. Este proceso de simulación permite estudiar cuál va a ser el comportamiento de un dispositivo o conjunto de ellos bajo ciertas condiciones de funcionamiento. De esta manera, obtenemos información muy útil sin tener que implementar físicamente ese circuito, consiguiendo un ahorro económico importante, ya que de esta manera se puede llevar a cabo una depuración del diseño del circuito sin tener que hacer físicamente varios circuitos de prueba.

Por tanto, se puede decir que el proceso de simulación se ha convertido en una etapa fundamental a la hora de la construcción de circuitos, que se realiza previamente a la implementación física. Sin embargo, es muy complicado que las condiciones en las que se simula la respuesta del circuito ante los impulsos de entrada sean exactamente iguales a las reales, aunque cada vez las técnicas mejoren para corregir esta diferencia. En definitiva, el comportamiento obtenido mediante el estudio por simulación no se corresponderá con exactitud al obtenido al hacer las pruebas en los laboratorios. En parte esta desigualdad también se ve afectada por los equipos necesarios para medir las características del circuito en el laboratorio, que modifican, aunque en pequeña medida, las respuestas del montaje.

2.1. TÉCNICAS DE SIMULACIÓN

Muchas técnicas en el dominio de la frecuencia para analizar circuitos de microondas han llegado a ser bastante populares en los últimos años. Las dos más extendidas son el análisis mediante balance armónico y las series de Volterra (o análisis de función de transferencia no lineal) [19].

El análisis por balance armónico es aplicable principalmente a circuitos fuertemente no lineales que son excitados por una única fuente de gran señal. Puede ser aplicado a circuitos como amplificadores de potencia, mezcladores y multiplicadores de frecuencia, que usan tanto diodos como transistores.

El análisis mediante las series de Volterra es más ventajoso al problema opuesto: circuitos débilmente no lineales que tienen múltiples excitaciones de pequeña señal a frecuencias inconmensuradas. Por eso, es más útil para evaluar las características de intermodulación y otros fenómenos no lineales en circuitos receptores de pequeña señal, como amplificadores.

Con algunas variaciones, las Series de Volterra pueden usarse incluso para determinar las propiedades de intermodulación de circuitos variantes en el tiempo, como mezcladores. De la misma manera, el balance armónico puede ser extendido a ciertas situaciones en las que están implicadas señales conmensuradas.

2.1.1. BALANCE ARMÓNICO

Una propiedad beneficiosa del análisis mediante balance armónico es funciona particularmente bien en circuitos que tienen una mezcla de constantes de tiempo de valores altos y bajos. De hecho, fue originariamente propuesto para resolver problemas de ese tipo.

Muchos componentes de microondas no lineales pueden describirse como un dispositivo de estado sólido no lineal que está conectado a una carga y a una excitación de gran señal mediante redes de adaptación. Esas redes, con elementos lineales, se usan para optimizar el comportamiento, acoplar los voltajes de polarización del dispositivo y filtrar y terminar varios armónicos de forma apropiada. El dispositivo de estado sólido, generalmente un transistor o diodo, será descrito por un circuito equivalente que incluye elementos lineales y no lineales.

Estos elementos pueden ser reagrupados de manera que formen un subcircuito lineal y un número de elementos no lineales (el conjunto de ellos se llamará subcircuito no lineal). El subcircuito lineal será tratado como un elemento multipuerto y puede describirse con sus parámetros S ó Y . Los elementos no lineales son modelados por sus características globales I/V ó Q/V y deben ser analizados en el dominio del tiempo. De esta manera el circuito queda reducido a la red de $N+2$ puertos de la figura 1, con N elementos no lineales conectados a sus puertos y las fuentes de tensión conectadas a los otros dos puertos (esos puertos son los de entrada y salida).

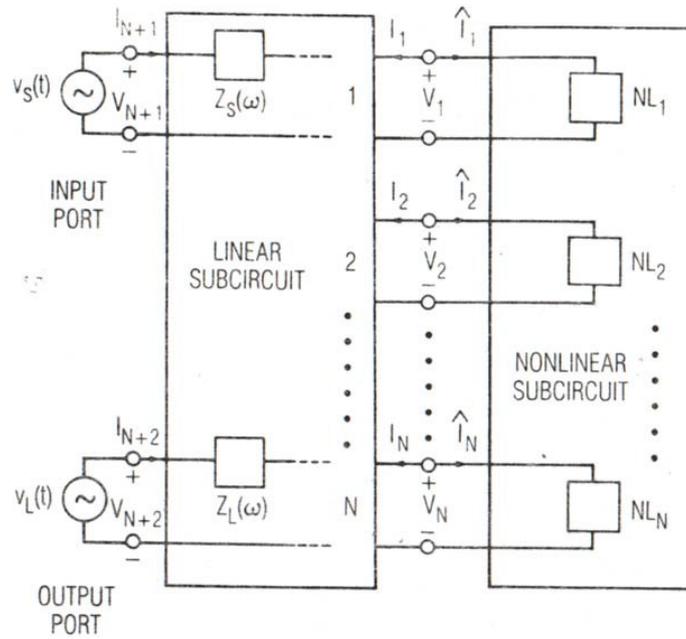


Figura 1: Circuito de microondas no lineal dividido en subcircuitos lineal y no lineal

Las impedancias de fuente y de carga están incluidas en el circuito lineal, permaneciendo en serie con los puertos de entrada y de salida. Debido a los elementos no lineales, las corrientes y tensiones de los puertos deben tener componentes frecuenciales a los armónicos de la excitación (el número de armónicos se limitará al valor K).

El principio del balance armónico consiste en encontrar un conjunto de formas de onda de tensión que den las mismas corrientes en las ecuaciones de la red lineal y de la no lineal. Cuando ese conjunto es encontrado, la solución está determinada.

Si expresamos las componentes de frecuencia (sólo las de las frecuencias positivas) de las corrientes de los puertos como vectores, las leyes de Kirchhoff se expresan como:

$$\begin{bmatrix} I_{1,0} \\ \vdots \\ I_{1,K} \\ I_{2,0} \\ \vdots \\ I_{2,K} \\ \vdots \\ I_{N,K} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{I}_{1,0} \\ \vdots \\ \hat{I}_{1,K} \\ \hat{I}_{2,0} \\ \vdots \\ \hat{I}_{2,K} \\ \vdots \\ \hat{I}_{N,K} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

donde $I_{n,k}$ es un fasor que representa la componente del armónico k -ésimo de la corriente del puerto n , calculado a través de las tensiones de los puertos y de la matriz Y del subcircuito lineal; $\hat{I}_{n,k}$ es la componente de corriente calculada con las mismas tensiones de puertos y los elementos no lineales.

Consideremos primero el subcircuito lineal. Agrupando las corrientes armónicas del puerto n en vectores columna $I_n = [I_{n,0} \ I_{n,1} \ \dots \ I_{n,k}]^t$ y equivalentemente con las tensiones, cada uno de los elementos de la matriz de admitancia será una submatriz diagonal cuyos elementos son los valores $Y_{m,n}$ en cada armónico de la frecuencia fundamental ω_p :

$$Y_{m,n} = \begin{bmatrix} Y_{m,n}(0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Y_{m,n}(\omega_p) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & Y_{m,n}(k\omega_p) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Dividiendo la matriz de admitancia en dos partes podemos obtener una expresión para I , el vector de corrientes de los puertos 1 a N :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{1,N+1} & Y_{1,N+2} \\ Y_{2,N+1} & Y_{2,N+2} \\ \vdots & \vdots \\ Y_{N,N+1} & Y_{N,N+2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{N+1} \\ V_{N+2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{1,1} & Y_{1,2} & \dots & Y_{1,N} \\ Y_{2,1} & Y_{2,2} & \dots & Y_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N,1} & Y_{N,2} & \dots & Y_{N,N} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

donde

$$\begin{bmatrix} V_{N+1} \\ V_{N+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{b1} \\ V_s \\ 0 \\ \vdots \\ V_{b2} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

siendo V_{b1} y V_{b2} las tensiones en DC en los puertos $N+1$ y $N+2$; V_s el voltaje de excitación de del puerto $N+1$. Equivalentemente el vector de corriente se escribiría como:

$$I = I_s + Y_{N \times N} V \quad (2.5)$$

I_s representa un conjunto de fuentes de corriente en paralelo con los N primeros puertos, ya que las tensiones de excitación de los puertos $N+1$ y $N+2$ han sido convertidas a corrientes en los puertos 1 a N .

Los elementos no lineales de corriente, que incluyen capacidades y conductancias no lineales, estaban representados por \hat{I} . Comenzando con las capacidades, la carga se puede expresar como una función de los voltajes de los puertos. Realizando la transformada de Fourier y considerando que la corriente es la derivada de la carga con respecto al tiempo (o multiplicación por $j\omega$ en el dominio de la frecuencia), podemos expresar la corriente de las capacidades como:

$$I_c = j\Omega Q = j \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \omega_p & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & & & & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & k\omega_p & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_p & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & k\omega_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1,0} \\ \vdots \\ \vdots \\ Q_{1,k} \\ Q_{2,0} \\ \vdots \\ \vdots \\ Q_{N,k} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Similarmente, la corriente de una conductancia no lineal es función de las tensiones de los puertos, y haciendo la transformada de Fourier obtenemos:

$$I_G = \begin{bmatrix} I_{G,1} \\ \vdots \\ I_{G,N} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Juntando todos estos términos, el conjunto de corrientes será válido si cumple la llamada Ecuación de Balance Armónico, que representa la diferencia entre las corrientes calculadas de los subcircuitos lineales y no lineales en cada puerto y en cada armónico, para el vector de soluciones V :

$$F(V) = I_s + Y_{N \times N} V + j\Omega Q + I_G = 0 \quad (2.8)$$

Nótese que el problema se reduce a determinar los ceros de un sistema no lineal de ecuaciones. Hay que destacar que el número de incógnitas de V es muy elevado, al tener $K+1$ componentes de frecuencia por cada puerto, teniendo éstas parte real e imaginaria. En total son $2N(K+1)$ variables a determinar. Existen diversos métodos numéricos para obtener V , como el de optimización, los de división, de reflexión y de Newton

El método de Newton es uno de los más usados, al existir rutinas informáticas que facilitan este proceso. Además, es un método bastante rápido para problemas simples, y más lento pero muy robusto para circuitos más complejos. Es un algoritmo muy potente para encontrar los ceros de funciones multivariables, usando el vector de tensión V y sus derivadas con respecto a los componentes de V en cada iteración para estimar un nuevo vector de tensión. Encuentra el cero de una función utilizando la primera derivada para extrapolar en el eje de la variable independiente, repitiendo el proceso hasta que encuentra el cero con la deseada precisión.

Para comprender mejor el método, se aplica a una función de una variable, $f(x)$. Si $f(x_0)$ y su derivada son conocidas, se puede obtener Δx de:

$$f(x_0) - \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} \Delta x = 0 \quad (2.9)$$

y la nueva estimación del cero estará en $x_0 - \Delta x$. La función y su derivada es evaluada de nuevo en ese punto y se repite el proceso. Para nuestra función multidimensional, de forma análoga:

$$F(V^p) - \left. \frac{\partial F(V)}{\partial V} \right|_{V=V^p} \Delta V = 0 \Rightarrow V^{p+1} = V^p - \left. \frac{\partial F(V)}{\partial V} \right|_{V=V^p}^{-1} F(V^p) \quad (2.10)$$

donde V^i es la estimación i -ésima del vector solución. La clave de este algoritmo está en generar la derivada de $F(V)$, que es llamado Jacobiano de F :

$$J_F = \frac{\partial F(V)}{\partial V} = Y_{N \times N} + \frac{\partial I_G}{\partial V} + j\Omega \frac{\partial Q}{\partial V} \quad (2.11)$$

donde los dos últimos términos se pueden obtener como los coeficientes de las series de Fourier de las formas de ondas derivadas de los elementos no lineales. El hecho de tener que calcular el Jacobiano es lo que hace necesario una gran cantidad de memoria computacional y tiempo de cálculo. Autores como Camacho o Kundent han desarrollado métodos en los que se facilita la representación del Jacobiano.

Por lo tanto, las técnicas de simulación mediante balance armónico tienen como ventaja que se pueden aplicar a circuitos con linealidades fuertes y que se basa en la resolución de un sistema de ecuaciones. Por otra parte, es complicado obtener unas expresiones cerradas para el Jacobiano y se necesita elevada potencia computacional para aplicar este método.

2.1.2. SERIES DE VOLTERRA

Este método es usado para circuitos que son débilmente no lineales y que tienen múltiples excitaciones de pequeña señal a frecuencias que no se corresponden entre ellas. Las no linealidades en estos circuitos son tan débiles que muchas veces puede despreciarse el efecto que tienen sobre las respuestas lineales. En este método, los elementos no lineales pueden ser resistivos o reactivos, y vienen caracterizados por una serie de potencias.

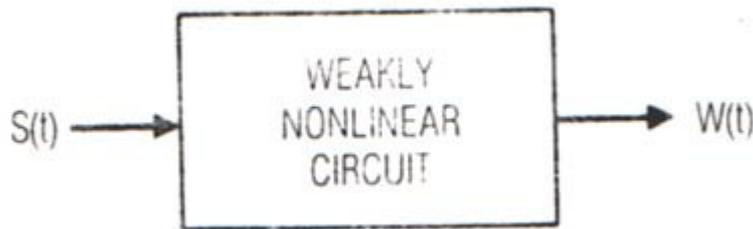


Figura 2: Modelo de un circuito para el análisis de Volterra

La excitación contiene un número de componentes sinusoidales individuales que tienen frecuencias inconmensuradas, siendo en pequeña señal un voltaje que se incrementa:

$$s(t) = \frac{1}{2} \sum_{q=-Q}^Q V_{s,q} \exp(j\omega_q t) \quad (2.12)$$

La respuesta a esa excitación se puede representar por la siguiente expresión:

$$w(t) = \sum_{n=1}^N w_n = \sum_{n=1}^N \frac{1}{2^n} \sum_{q_1=-Q}^Q \sum_{q_2=-Q}^Q \cdots \sum_{q_n=-Q}^Q V_{s,q_1} V_{s,q_2} \cdots V_{s,q_n} H_n(\omega_{q_1}, \omega_{q_2}, \dots, \omega_{q_n}) \exp[(\omega_{q_1} + \dots + \omega_{q_n})t] \quad (2.13)$$

La función $H_n(\omega_1, \dots, \omega_n)$ es llamada la función de transferencia no lineal de orden n . Esta función de transferencia no lineal puede ser calculada usando la técnica llamada "entrada-armónica". Este método no es muy diferente en concepto del proceso de encontrar la función de transferencia en el dominio de la frecuencia $H(\omega)$ de un circuito lineal: asumimos que el circuito tiene la excitación más simple posible, encontramos la respuesta, sustituimos ambas en la ecuación de entrada-salida $w_n(t)$ y finalmente resolver algebraicamente $H_n(\omega_1 \dots \omega_n)$. De este modo, para un circuito lineal, se puede encontrar la función de transferencia asumiendo que la tensión de entrada es $1 \cdot \exp(j\omega t)$ y manipulando la salida de forma que quede como $H(\omega) \exp(j\omega t)$. La relación entre estas ecuaciones es la función de transferencia lineal.

En el caso de un circuito no lineal, la situación es algo más complicada pero los conceptos son similares. Para encontrar la componente de orden n de la respuesta, asumimos que la excitación es la suma de n fasores de frecuencia positiva de magnitud unidad:

$$s(t) = \exp(j\omega_1 t) + \exp(j\omega_2 t) + \dots + \exp(j\omega_n t) \quad (2.14)$$

Los componentes negativos de la frecuencia no están incluidos en la excitación. Esta señal $s(t)$ no es una función de tiempo real; esta excitación es usada únicamente para determinar las funciones de transferencia. La componente de la respuesta de orden n a $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n$ tiene la forma:

$$w_n(t) \Big|_{\omega=\omega_1+\omega_2+\dots+\omega_n} = n! H_n(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \exp[j(\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n)t] \quad (2.15)$$

Esta expresión para $w_n(t)$ es sustituida en las ecuaciones del circuito; sólo se dejan los términos de orden n (los términos que no son de orden n no contribuyen a la respuesta de orden n , así que pueden ser ignorados) y la función de transferencia no lineal $H_n(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ es calculada algebraicamente.

En todos los casos, la función de transferencia de orden n resulta ser función de las funciones de transferencia de orden menor que n . De esta manera, en primer lugar es necesario usar la excitación $s(t) = \exp(j\omega_1 t)$ para encontrar $H_1(\omega_1)$. Luego, se usa $s(t) = \exp(j\omega_1 t) + \exp(j\omega_2 t)$ para encontrar la función de transferencia de segundo orden, $H_2(\omega_1, \omega_2)$ como función de $H_1(\omega_1)$ y $H_2(\omega_2)$, y continuar así hasta que las funciones de transferencia de todos los órdenes deseados hayan sido encontradas. Una vez conseguidas, mediante la expresión de $w(t)$ se pueden calcular los niveles de las componentes de frecuencia de interés de la respuesta total, sin ser necesario calcular los niveles de todos los posibles componentes, sólo de los que interesan.

En resumen, la simulación mediante las series de Volterra ofrece como ventaja la recursividad y el empleo de expresiones cerradas. En el lado opuesto, sólo es conveniente usarlo cuando las no linealidades son débiles, ya que si superan el tercer orden ya no ofrece una solución ajustada.

2.2. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

Existen bastantes aplicaciones para la simulación de circuitos. Aunque la mayoría de las herramientas para el tratamiento de circuitos son simuladores SPICE, basados en la integración directa, éstos no ofrecen buen comportamiento cuando se incluyen elementos de parámetros distribuidos. Como en los circuitos de microondas son frecuentes la aparición de estos componentes, se han desarrollado herramientas

de simulación de circuitos de microondas. Cabe destacar por su importancia tres de ellas, que se comentan con detenimiento: Microwave Office de AWR, APLAC de la Universidad Politécnica de Helsinki y Advanced Design System (en adelante, “ADS”) de Agilent Technologies. Éste último será el utilizado para efectuar todos los estudios con el transistor de Excelics, dada su gran potencia y a la vez facilidad de uso para el usuario.

2.2.1. MICROWAVE OFFICE

Este producto fue desarrollado por la empresa Applied Wave Research (AWR), y es su más importante exponente en cuanto al diseño asistido por ordenador de circuitos de microondas. Esta solución integrada no sólo facilita ayuda en la simulación, sino que también ofrece la posibilidad de directamente usar dicha simulación para la implementación física.

Microwave Office incluye lo esencial de la tecnología: simuladores de circuitos lineales, no lineales, herramientas de análisis electromagnético (EM), pruebas de layout y esquemático, posibilidad para diseño estadístico y librerías de celdas paramétricas con comprobación de reglas de diseño. Los simuladores EM son fundamentales en microondas para el análisis de estructuras pasivas, pero no son objeto de estudio del presente proyecto.

Este programa ofrece un simulador de balance armónico y un motor en el dominio del tiempo, así como herramientas de análisis de layout y simulaciones mediante series de Volterra. Incluye además un asistente para la síntesis de filtros y un asistente para amplificadores de potencia.

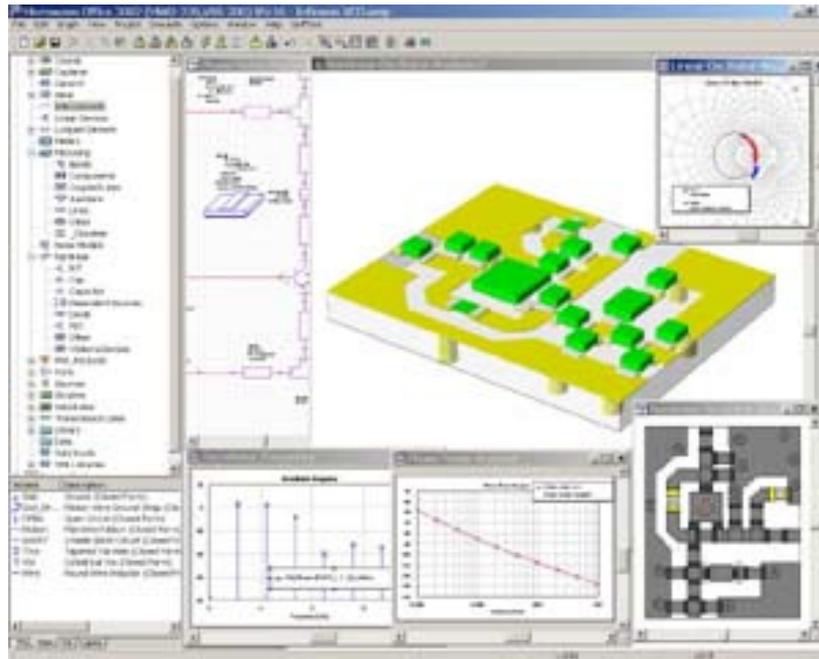


Figura 3: Pantalla de Microwave Office

La arquitectura de Microwave Office fue diseñada alrededor de una base de datos orientada a objetos que está inherentemente sincronizada con el esquemático, con la simulación y los datos del layout. La herramienta para el layout o diseño de máscaras conduce directamente al motor de la simulación; la comprobación layout/esquemático es correcta gracias a que se elimina la necesidad de anotaciones para posteriores etapas de análisis mediante una estructura de datos organizada.

A pesar de que las técnicas en el dominio de la frecuencia se consideran las partes más importantes en el diseño de microondas, se puede considerar la simulación en el dominio del tiempo como un buen complemento que puede resolver algunos problemas. Por ese motivo, este programa incluye opcionalmente un motor para el dominio del tiempo que puede añadirse a los simuladores de balance armónico, Volterra y EM: se trata del simulador HSPICE.

Para la creación de circuitos se dispone de dos asistentes: uno para el diseño de filtros y otro para el diseño de amplificadores de potencia. El primero permite diseñar filtros de una gran variedad, pudiéndose generar mediante elementos concentrados o distribuidos. Una vez que la red está sintetizada, el usuario puede empezar a trabajar con los resultados, combinándolo con otras redes.

El asistente para diseño de amplificadores de potencia, llamado Load-Pull Wizard, recorre la impedancia de carga o de fuente a la frecuencia fundamental en un rango de valores, generando los contornos Load-Pull, como se verá más adelante.

2.2.2. APLAC

Este programa de simulación viene siendo desarrollado desde 1972 por la Universidad de Politécnica de Helsinki. El principal objetivo durante todo este largo periodo se ha mantenido en el intento de dar al usuario completa libertad para abordar el diseño de circuitos sin las restricciones de otros simuladores convencionales. La última versión disponible, que puede adquirirse comercialmente, es APLAC 7.62.

Hoy en día el desarrollo de este programa se realiza junto con Nokia Corporation. Las últimas versiones tienen buena convergencia en algoritmos para análisis no lineales, acciones guiadas por menú en el editor de esquemáticos y un lenguaje de descripción de alto nivel para la definición y modelado del problema. El objetivo está ahora en aumentar la velocidad de los resultados, utilizando menos memoria en análisis complejos, incluyendo efectos electro térmicos y extendiendo la selección de los elementos circuitales.

No se trata únicamente de en entorno de simulación para el diseño de circuitos de microondas, sino que puede utilizarse para cualquier tipo de circuitos.

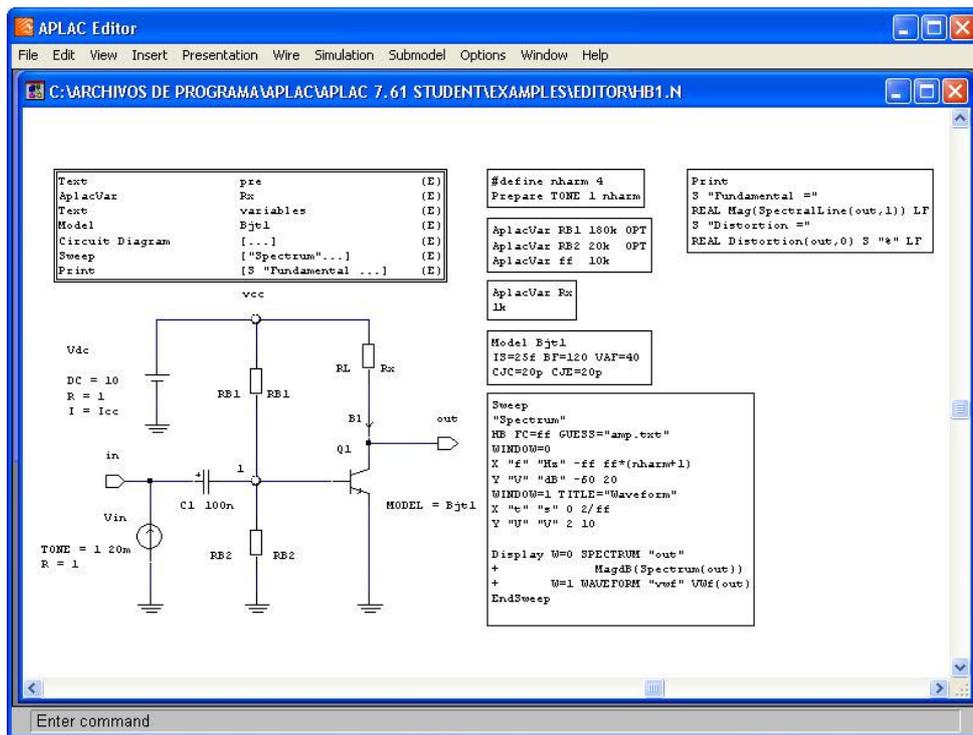


Figura 4: Pantalla de APLAC

Este programa, al ser orientado a objetos, permite una sencilla actualización e inclusión de nuevos algoritmos y modelos. De esta forma se facilita el desarrollo continuo de la aplicación, tal y como se realiza con otros paquetes extensos de software. Por ejemplo, para la inclusión de un nuevo modelo, se deben introducir los

parámetros y ecuaciones en el espacio de trabajo que ofrece el lenguaje de modelado; el usuario no tiene que preocuparse por otros detalles como el modo de análisis o el algoritmo.

Las simulaciones de APLAC se realizan utilizando dos componentes informáticos: el simulador y el editor. El circuito realizado en el editor de APLAC genera automáticamente un fichero de entrada en lenguaje APLAC para el simulador. Éste será ejecutado en ese programa, sin que sea necesario realizar el circuito en el esquemático para simularlo.

Los principales métodos de análisis que posee son el análisis DC, AC, transitorio y de parámetros S. Pero un simulador requiere, además de algoritmos eficientes, modelos precisos. Por ello, además de los modelos básicos analógicos, se incluye una extensa colección de modelos de microstrip, stripline, transistores, etc. Los parámetros del modelo pueden tener cualquier dependencia funcional de frecuencia, tiempo, temperatura u otro parámetro. Definiendo las características estáticas o dinámicas, el usuario puede crear sus propios modelos.

2.2.3. ADS

Advanced Design System de Agilent Technologies es un entorno de diseño y simulación usado para la creación de productos como teléfonos móviles, redes de banda ancha y sistemas de comunicaciones por radar y por satélite a diferentes escalas de fabricación, desde nivel de sistema a nivel de circuito. Ofrece simulaciones con una elevada cantidad de opciones y posibilidad para el diseño de layouts para circuitos de RF y circuitos integrados de microondas. Actualmente está disponible la versión ADS 2003C, aunque será la versión ADS 2003A la que se utilice para realizar las simulaciones de este Proyecto Fin de Carrera.

Este producto ayuda al diseño de dispositivos de comunicaciones realizando complejas simulaciones con gran exactitud sobre circuitos en condiciones del mundo real. Además, para aumentar la velocidad de simulación que se ha visto afectada por el aumento de transistores en los circuitos, ADS implementa algoritmos de simulación y rutinas de convergencia que reducen los tiempos de simulación.

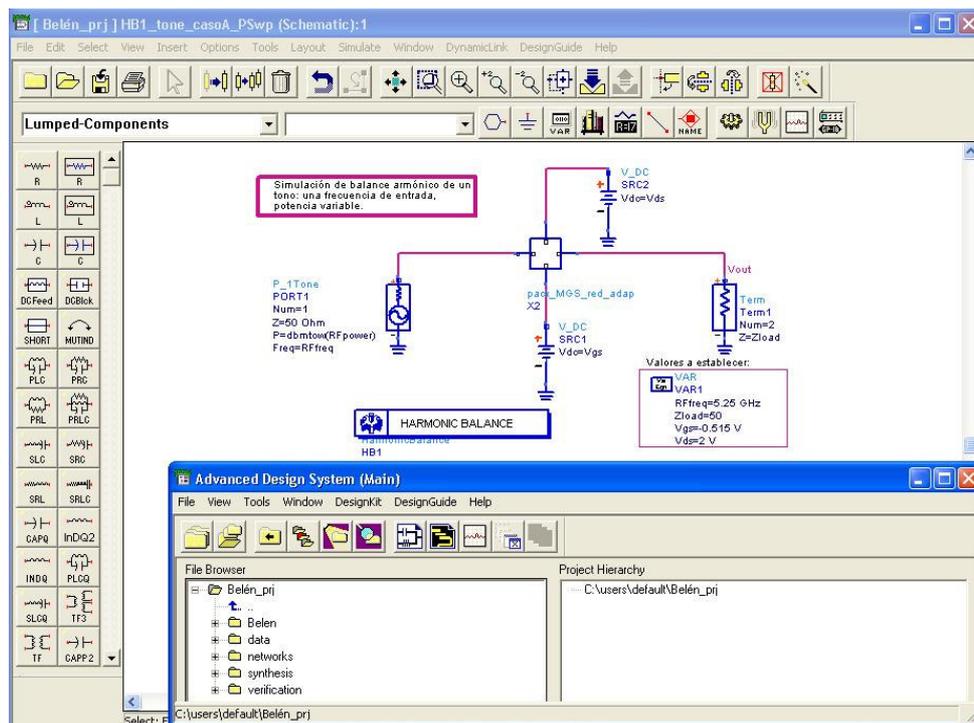


Figura 5: Pantalla de ADS

Una gran ventaja es que proporciona guías de diseño para orientar al usuario en los pasos a seguir para la creación del circuito de forma óptima. Como ejemplo, pueden comentarse las guías para amplificadores, osciladores y mezcladores.

Según el tipo de diseño a ser simulado y el tipo de análisis deseado, se puede utilizar uno de los distintos controladores de simulación de los que dispone este programa[20]:

- **Data Flow controller:** se usa para controlar el flujo de señales numéricas y de tiempo mezcladas para todas las simulaciones de procesamiento digital de señal. Este controlador trabaja con los componentes sumideros para proporcionar al usuario flexibilidad para controlar la duración de la simulación local o globalmente.
- **DC:** fundamental en todas las simulaciones RF/analógicas, realiza una comprobación de la topología y un análisis del punto de operación en DC. Permite simulaciones tanto en un único punto como en un rango de variación. Este controlador es útil para verificar las características de operación en DC apropiadas del diseño bajo estudio, determinar el consumo de la potencia del circuito, verificar los parámetros del modelo comparando las características de transferencia (curvas I-V) con las medidas reales y para representar las tensiones y las corrientes tras la simulación. Además este análisis es el primero que se hace en la mayoría de los análisis restantes. Usa un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales para encontrar el punto de equilibrio.

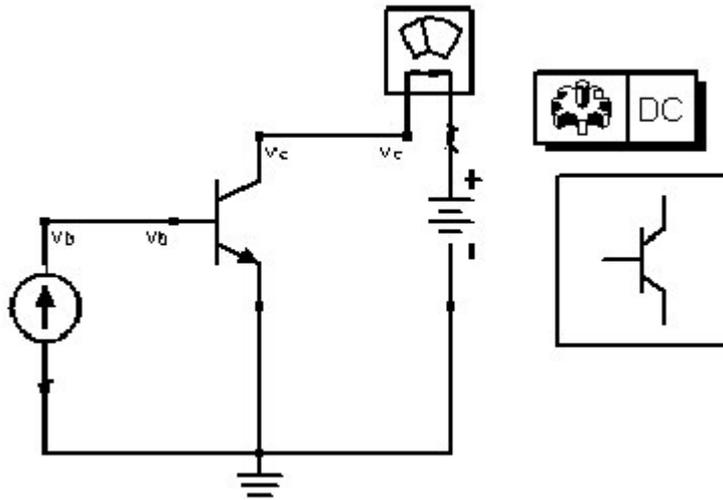


Figura 6: Ejemplo de simulación DC

- AC:** Un análisis lineal AC es un análisis de pequeña señal. En primer lugar se realiza un análisis DC para encontrar el punto de operación DC, y luego los dispositivos no lineales son linealizados en torno al punto de operación. Con esta simulación se obtienen parámetros de transferencia de pequeña señal como ganancia de tensión, ganancia de corriente y corrientes y tensiones lineales de ruido. También ofrece una simulación de ruido en la que se incluyen el ruido térmico dependiente de la temperatura de elementos pasivos con pérdidas, el de dispositivos no lineales dependiente de la temperatura y de la corriente, ruido de dispositivos activos lineales de dos puertos especificados por los archivos de datos y el ruido de las propias componentes fuentes de ruido.

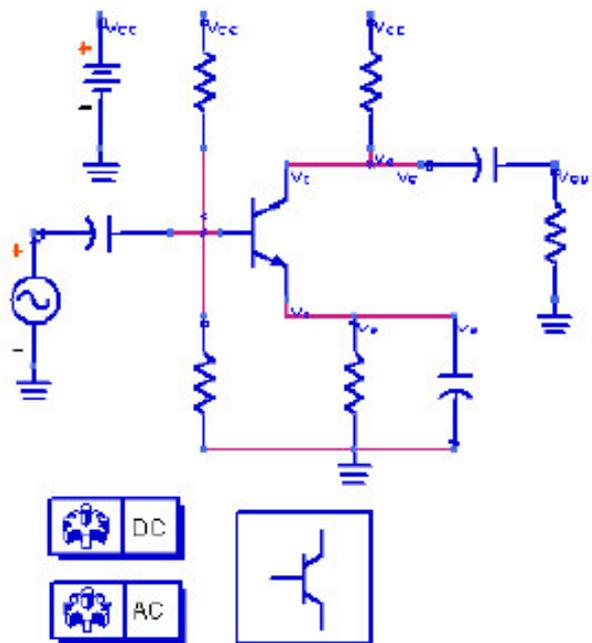


Figura 7: Ejemplo de simulación AC

- **S-parameter:** Se usa para definir la señal de respuesta de un elemento eléctrico de n puertos a una frecuencia dada. Es un tipo de simulación de pequeña señal que es usada más frecuentemente para caracterizar un componente pasivo de RF y establecer las características de pequeña señal de un dispositivo bajo unas específicas condiciones de polarización y temperatura. Con este controlador se pueden obtener los parámetros S de un componente o circuito y transformarlos en parámetros de impedancia o de admitancia; simular el retraso de grupo y el ruido lineal; y simular los efectos de la conversión de frecuencia en un circuito que utilice un mezclador.

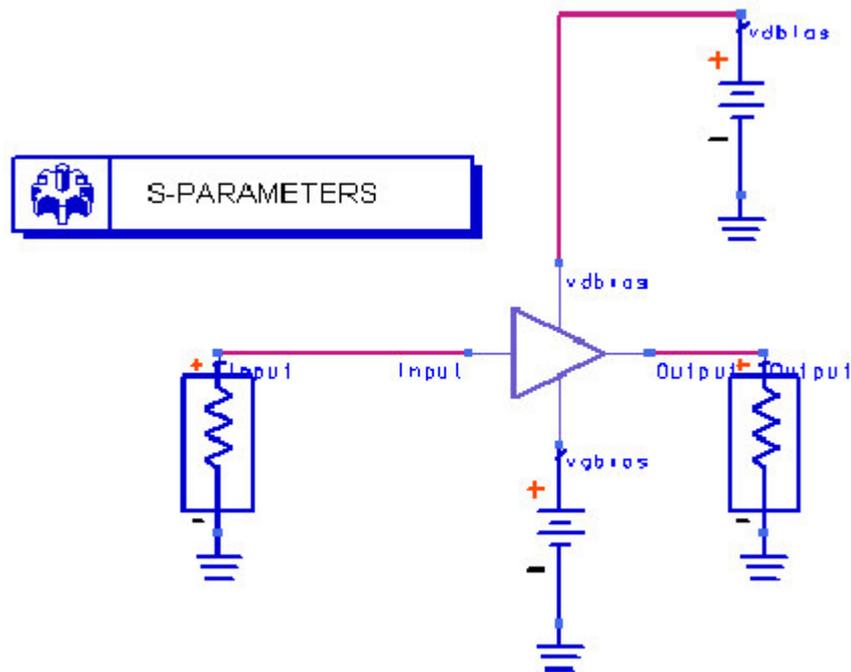


Figura 8: Ejemplo de simulación de parámetros S

- **Balance armónico:** es el controlador que más se adecua a la simulación de circuitos de RF y de microondas. Como se comentó en el apartado 2.1.1., es un análisis en el dominio de la frecuencia para simular la distorsión en circuitos y sistemas no lineales. El balance armónico ofrece ventajas con respecto al análisis transitorio en el dominio del tiempo, como que captura el estado permanente directamente. Mediante el uso de este controlador se puede estudiar el contenido espectral de corrientes o tensiones, calcular puntos de interceptos, distorsión de intermodulación y distorsión armónica total, desarrollar los contornos de load-pull de un amplificador o hacer análisis no lineales de ruido. Otro punto interesante es que permite la simulación con varios tonos que produce conversión de frecuencia por la intermodulación.

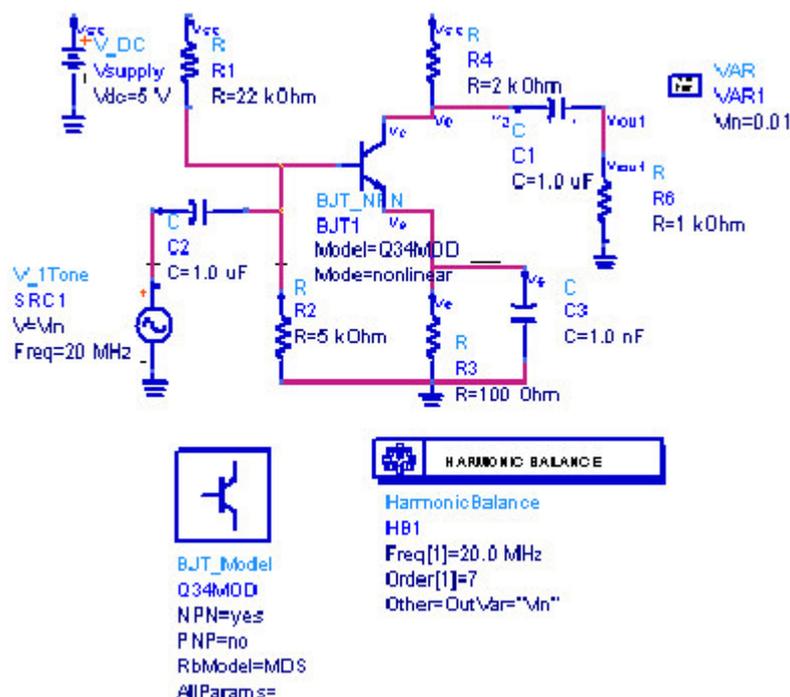


Figura 9: ejemplo de simulación de balance armónico

- **Circuit envelope:** este controlador es apropiado para realizar un análisis rápido y completo de señales complejas como señales RF moduladas digitalmente. Combina rasgos de representación en el dominio del tiempo y de la frecuencia permitiendo que las formas de onda de entrada sean representadas en el dominio de la frecuencia como portadoras de RF, con envolventes de modulación que son representadas en el dominio del tiempo.
- **LSSP:** mediante esta simulación se facilita el cálculo de los parámetros S de gran señal en los circuitos no lineales. Este análisis está basado en una simulación de balance armónico del circuito no lineal completo. A diferencia de los parámetros S, los parámetros S de gran señal pueden variar conforme se modifican los niveles de potencia porque la simulación de balance armónico incluye efectos no lineales como la compresión.

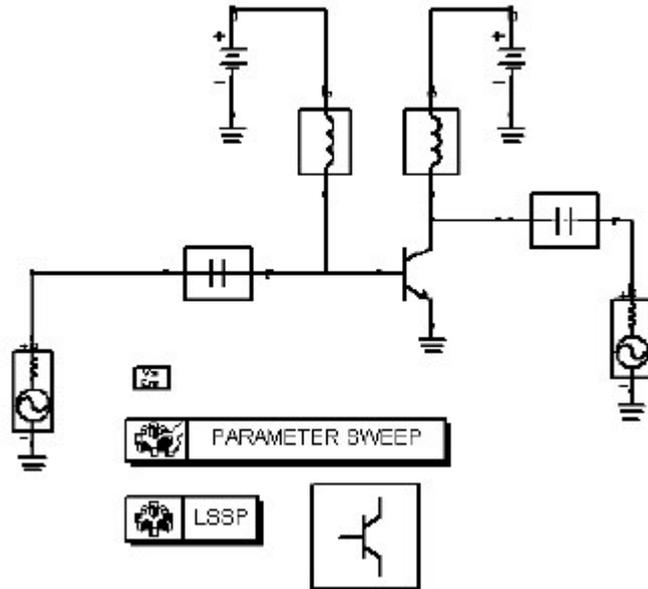


Figura 10: ejemplo de simulación LSSP

- Gain compression:** mediante el componente controlador de simulación XDB se calcula el punto de ganancia de compresión de un amplificador o un mezclador. Se va incrementando la potencia de entrada comenzando por un valor pequeño, parando cuando la cantidad de ganancia de potencia deseada se obtiene a la salida. Ese es el punto para el que la curva de potencia se desvía de la curva de potencia idealizada en la cantidad indicada.

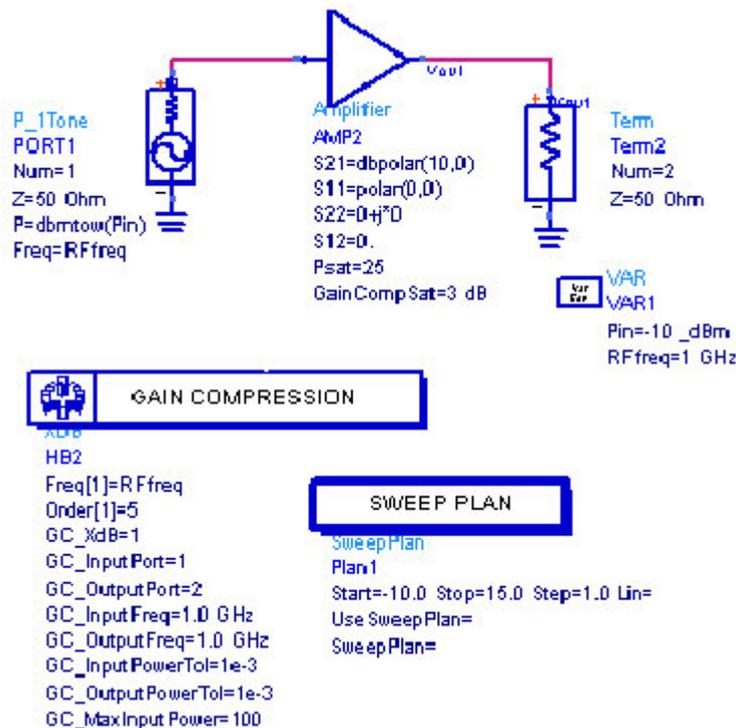


Figura 11: ejemplo de simulación de ganancia de compresión

- **Transient/convolution:** resuelve un circuito no lineal completamente en el dominio del tiempo usando modelos simplificados para caracterizar el comportamiento dependiente de la frecuencia de los elementos distribuidos. Este controlador del transitorio y de la convolución resuelve un conjunto de ecuaciones integro-diferenciales que expresan la dependencia del tiempo de las corrientes y tensiones del circuito. El resultado de este análisis será no lineal con respecto al tiempo. El análisis transitorio se realiza completamente en el dominio del tiempo, sin considerar el comportamiento dependiente de la frecuencia de los elementos. Por otra parte, el análisis de convolución representa los elementos distribuidos en el dominio frecuencial para considerar el comportamiento dependiente de la frecuencia.

Además de todos estos rasgos del programa Advanced Design System, existe una variedad de guías de diseño, como la de linealización o la de diseño de amplificadores, que van orientando en los pasos a seguir por parte del usuario. Para el trabajo a desarrollar en este proyecto es de especial interés la segunda de estas guías, que ofrece una serie de premisas a establecer en la configuración del circuito y también hojas predefinidas para la representación de los resultados. Las configuraciones de la simulación están clasificadas según la simulación que se desee realizar y el modelo empleado. Aunque la mayoría de las facilidades son para el análisis, también dispone de facilidades para la creación de redes de adaptación de impedancias. Aunque esta guía de diseño no proporciona la solución del diseño completo, sí es una gran ayuda para el diseñador al poner a su disposición unas herramientas muy útiles.

Tras realizar una simulación, los datos generados por ésta y los importados de otras fuentes se almacenan como bloques en archivos llamados "dataset", que pueden verse mediante el uso de las ventanas de representación. Además de ello pueden escribirse ecuaciones para realizar operaciones complejas tras la simulación, incluirse marcadores, representar los datos en varios formatos distintos y añadir texto para complementar las gráficas de resultados.

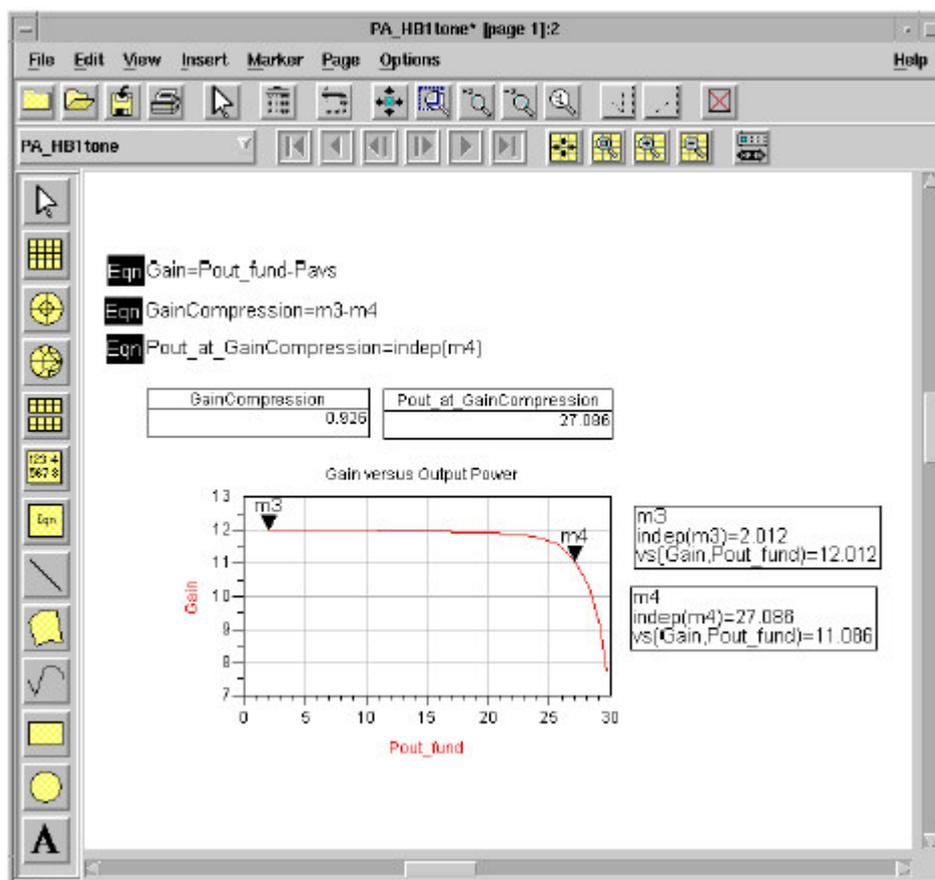


Figura 12: Ventana de representación de datos del ADS

Existen varios tipos de representaciones de los datos en ADS, como rectangular (que representa los datos en escala lineal o logarítmica), polar (representando las componentes reales e imaginarias), en Carta de Smith, apilados (representa una pila vertical de representaciones rectangulares, todas con el mismo eje x pero distinto eje y) y en lista (da una relación de los datos en una tabla).

2.2.4. COMPARATIVA DE SIMULADORES DE MICROONDAS

Hoy en día son las herramientas ADS y MWOOffice las más empleadas por los diseñadores de circuitos, existiendo una gran competencia entre ellas, al ser las más completas. Debido a este enfrentamiento directo en el mercado, las aplicaciones que presentan son prácticamente las mismas, ya que cada vez que una compañía lanza un nuevo complemento al poco tiempo su rival hace lo mismo.

La desventaja que presenta APLAC, y que posiblemente sea la causa de su menor uso, es que presenta una interfaz de usuario menos amigable. De forma opuesta, como ventaja, usa un lenguaje de modelado que le proporciona mayor versatilidad.