

---

## CONCEPTOS BASICOS DE ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES

---

### Principio de funcionamiento del Analizador de Red Vectorial

Un [Analizador de Redes Vectoriales \(VNA\) USB](#) produce una señal de estímulo de RF que abarca desde 9 kHz hasta 330 GHz con los VNAs de Copper Mountain Technologies. Luego, la señal se aplica a un Dispositivo Bajo Prueba (DUT) y la salida del DUT se puede aplicar a un segundo puerto para su análisis. También se pueden analizar las reflexiones desde la entrada del dispositivo bajo prueba que se envían de vuelta al puerto fuente. La capacidad de separar las señales que viajan en direcciones opuestas en una línea de transmisión y realizar una medición es una de las principales diferencias entre un VNA y otros dispositivos de prueba electrónicos como analizadores de espectro o analizadores de señales.

Para una medición completa de 2 puertos, el estímulo se alterna entre los Puertos 1 y 2. Cuando está en el Puerto 1, se miden los receptores A, R1 y B. El valor A/R1 producirá una medición VNA S11 en bruto y B/R1 producirá una medición VNA S21 en bruto. Luego, el estímulo se cambia al Puerto 2, donde se miden B, R2 y A. B/R2 será S22 en bruto y A/R2 será S12 en bruto. La normalización se realiza en una FPGA después de que se realizan las tres mediciones del receptor en cada dirección. En la FPGA, se aplica el filtrado de ancho de banda IF utilizando DSP y luego los datos se reducen significativamente.

Los datos brutos decimados de baja velocidad de datos, S11, S12, S21 y S22 se envían a través de una conexión USB al software de los Analizadores de Red Vectorial (VNAs) de Copper Mountain Technologies (CMT) que se ejecuta en la computadora host para que se pueda aplicar la calibración y los resultados se muestren en el formato deseado.

### ¿Cuáles son los componentes de un VNA?

Para producir un VNA con especificaciones sobresalientes, es necesario elegir y optimizar cuidadosamente muchos elementos individuales. A continuación, veremos algunos de los componentes más críticos.

#### 1.- Puente Direccional

El Puente es responsable de separar la señal saliente de cualquier señal entrante, posiblemente una reflexión o una señal directa que proviene del otro puerto. Estas señales entrantes, A y B, se relacionan con la señal saliente R1 o R2. Un Puente bien construido y estable también puede mantener sus características a lo largo de la temperatura, lo que permite a los usuarios realizar calibraciones con menos frecuencia mientras mantienen la precisión del resultado calibrado.

#### 2. Mezclador

El mezclador es otro componente muy importante dentro del VNA. Las señales de microondas de A, B y R1 o R2 se mezclan hacia abajo a una constante y baja frecuencia de FI (frecuencia intermedia) mediante un Oscilador Local (LO) que sigue el desplazamiento de la señal de



---

## CONCEPTOS BASICOS DE ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES

---

estímulo por la frecuencia de FI. Un buen mezclador con una baja pérdida de conversión contribuye a un piso de ruido bajo y minimiza tanto las respuestas espurias no deseadas como el ruido en las trazas.

### 3. Fuentes de Estímulo y LO (Oscilador Local)

Las fuentes del VNA no solo son módulos esenciales, sino también contribuyentes principales al costo total del instrumento. La fuente puede crearse a partir de un circuito integrado con Osciladores Controlados por Voltaje (VCO) internos que están sincronizados con la base de tiempo interna de 10 MHz mediante un Bucle de Bloqueo de Fase (PLL) fraccional-N. Este enfoque tiene el menor costo de material, pero sufre de respuestas espurias que deben ser mitigadas si caen dentro del ancho de banda de FI de la medición. La velocidad para cambiar de una frecuencia a la siguiente dependerá de la elección de componentes, y los componentes de mayor velocidad a menudo cuestan más. Un circuito de Síntesis Directa Digital (DDS) puede cambiar las frecuencias muy rápidamente y podría utilizarse para mejorar la velocidad general de cambio de fuente. Claramente, habrá compromisos entre el costo y el cambio de fuente. En anchos de banda de FI altos, la velocidad de las dos fuentes afecta directamente el tiempo de medición por punto y la velocidad de barrido consiguiente, ya que las frecuencias deben cambiar a una nueva frecuencia y luego estabilizarse antes de que se pueda realizar una medición. En anchos de banda de FI más bajos, la latencia del filtro DSP domina la velocidad de la medición en cada frecuencia.

### 4. Atenuadores

El nivel de salida del estímulo del VNA debe tener un amplio rango para poder medir tanto amplificadores como DUT de baja pérdida. Es común reducir la potencia del estímulo a -30 dBm al medir un amplificador de 30 dB. Dependiendo del modelo del VNA, las señales por encima de 0 dBm en el segundo puerto pueden comprimirse en el mezclador, lo que resulta en un error de medición. Se utilizan atenuadores internos para reducir el nivel de salida del estímulo a un mínimo de -50 o -60 dBm. El nivel de entrada aceptable para el funcionamiento del VNA se indicará en su hoja de datos.

### 5. Procesamiento Digital

Las señales de FI provenientes de los puentes son digitalizadas por un Convertidor Analógico a Digital (ADC), y la señal digital resultante se aplica al circuito DSP. Bandas de FI más amplias permiten una velocidad de medición más rápida, hasta el tiempo de estabilización del Estímulo y el LO, pero las bandas de FI más amplias requieren una frecuencia de FI más alta, lo que a su vez requiere un ADC que pueda funcionar a una velocidad más rápida y un circuito DSP que pueda manejar una velocidad de datos más alta. Por lo tanto, una velocidad de medición más rápida conlleva un mayor costo de componentes.

El DSP toma la señal de FI digitalizada y la mezcla hasta una frecuencia de FI cero utilizando Osciladores Controlados Numéricamente (NCO). La FI, ahora centrada en cero, se aplica a un conjunto de filtro DSP configurado a la Banda de FI de la medición. Existe un retraso o latencia a través del filtro digital que es aproximadamente de 1.3 dividido por la Banda de FI. Por ejemplo, una Banda de FI de 1 kHz podría tener una latencia de 1.3 ms. La medición del VNA

---

## CONCEPTOS BASICOS DE ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES

---

en cada frecuencia no puede ocurrir más rápido que esto. Este límite está determinado por la física del filtrado. Después de que se ha aplicado el filtro de Banda de FI, es posible "decimar" los datos. Si la velocidad de datos original en el filtro DSP era de 10 Mbits, entonces después de filtrar a 1 kHz, solo se conservaría 1 de cada 500 puntos y la velocidad de datos se reduciría considerablemente para el transporte a través de USB hacia la computadora anfitriona para la aplicación de calibración y el formato para la visualización.

Después de la desimianación, la velocidad de datos enviada a través del bus USB no representa un desafío y no supone un cuello de botella para la velocidad de medición en general.

### 6. Software e Interfaces

Los VNAs heredados solían contener sistemas operativos Windows integrados para el procesamiento posterior de los datos crudos medidos y una pantalla incorporada para mostrar los resultados. Este diseño tenía sentido hace unos quince años y era una evolución natural de los diseños de microprocesadores dedicados que lo precedieron. Sin embargo, los sistemas operativos actuales tienden a volverse obsoletos en uno o dos años y se vuelven vulnerables a ataques de piratas informáticos. En el mejor de los casos, el sistema operativo obsoleto representa un desafío para el grupo de tecnología de la información, y en el peor de los casos, en algunas industrias relacionadas con la defensa, es posible que se requiera una actualización a la última versión, lo que generalmente rompe la conexión con el software de medición del VNA, lo que implica cambios costosos y que consumen mucho tiempo en la programación del sistema operativo de bajo nivel.

Con la llegada de la transferencia de datos de alta velocidad a través de USB, la evolución natural de los VNAs es trasladar la funcionalidad de control, procesamiento posterior y visualización fuera del VNA y hacia un software personalizado que se ejecuta en una computadora anfitriona. Esta evolución respecto a los diseños antiguos permite al usuario operar el VNA con una computadora portátil o de escritorio que se puede actualizar según sea necesario. Las computadoras personales actuales tienen toda la potencia necesaria para la tarea. Además, si la seguridad es una preocupación, después de apagar la energía, el VNA no contiene ninguna información de configuración o medición. Toda la información sensible reside en la PC del usuario, que ya está sujeta a protocolos de seguridad. El VNA en sí puede trasladarse de manera segura de un laboratorio seguro a otro.es.

### Diagrama de Bloques del Analizador de Red

El diagrama de bloque típico de un analizador de red se muestra en la Figura 1. La señal de estímulo se dirige hacia el Puerto 1 o el Puerto 2 y atraviesa un puente direccional en cada lado. Los puentes son capaces de separar las señales por la dirección de viaje, por lo que los dos puertos de salida de los puentes son una muestra de la cantidad de señal que sale del puerto y la cantidad que entra en el puerto. En cada puerto de cada uno de los puentes, un mezclador reduce la alta frecuencia del estímulo a una frecuencia de FI (frecuencia intermedia)



## CONCEPTOS BASICOS DE ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES

mucho más baja, generalmente por debajo de 20 MHz. La FI de frecuencia constante se digitaliza y se utiliza un filtro DSP de baja latencia para aplicar el Ancho de Banda de FI (IFBW). Solo se realiza una conversión, no dos o más como en un Analizador de Espectro (SA).

Un diagrama de bloque como el que se muestra arriba es susceptible a la ambigüedad de la imagen del mezclador. Por ejemplo, si el LO está 10 MHz por encima del estímulo para crear una FI de 10 MHz, entonces la respuesta deseada es causada por una señal 10 MHz por debajo del LO, pero una señal 10 MHz por encima también creará exactamente la misma señal de FI. Sin embargo, así no es como opera un VNA. Solo hay una señal, el estímulo, y está completamente controlada por el analizador de red vectorial USB y siempre se encuentra a una distancia de LO-IF en frecuencia. La imagen no es un problema para una medición normal de VNA, por lo que una arquitectura de conversión única (homodina) es aceptable.

Los receptores en el VNA también son receptores de seguimiento, al igual que en un SA, y se puede utilizar un VNA como un SA rudimentario al apagar la señal de estímulo y observar la potencia de la señal medida por uno de los receptores (A o B) que responden a las señales que entran en los puertos uno o dos del VNA, respectivamente.

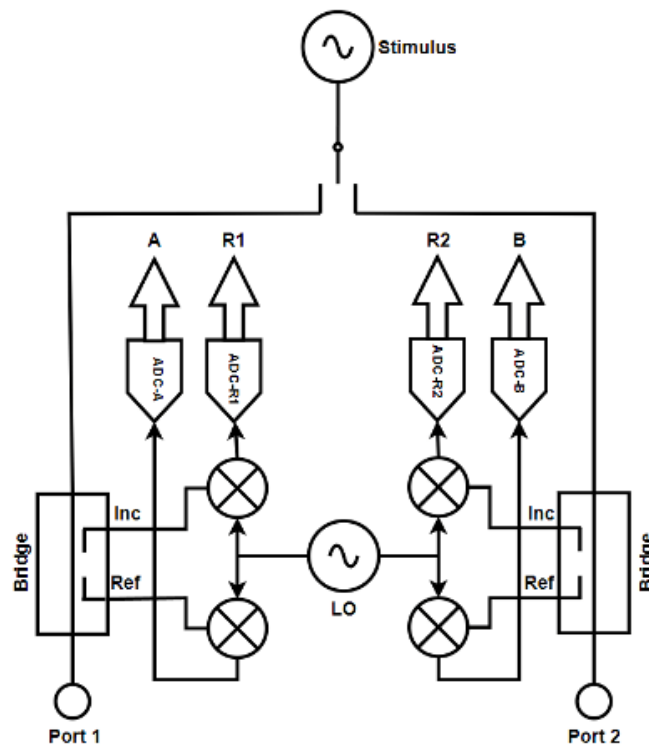


Figura 1

---

## CONCEPTOS BASICOS DE ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES

---

### ¿Cuáles son los diferentes tipos de Analizadores de Red Vectorial?

Los analizadores de red se pueden dividir en dos categorías basadas en su factor de forma: los VNAs tradicionales, que cuentan con una PC incorporada, y los VNAs USB, que se utilizan con una PC externa. Copper Mountain Technologies fue pionero en los VNAs USB de grado metrológico para ofrecer una alternativa a los instrumentos tradicionales. Posteriormente, los VNAs USB se han adoptado gradualmente en la industria de RF y ahora son producidos por varios proveedores de equipos de prueba.

Los VNAs USB separan el módulo de medición del módulo de procesamiento, lo que permite llevar los resultados de la medición a cualquier PC externa utilizando el software del VNA. El usuario puede aprovechar la potencia de procesamiento del sistema operativo más reciente, una pantalla más grande y un rendimiento más confiable de una PC externa al mismo tiempo que simplifica el mantenimiento del analizador. Los VNAs USB son flexibles y se pueden adaptar fácilmente a múltiples usuarios, siendo adecuados para entornos de laboratorio, producción, campo y pruebas seguras.

La mayor ventaja de un VNA USB es que no encierra al usuario en una computadora incorporada que ya está desactualizada. A diferencia de los VNAs convencionales, con los instrumentos USB, el usuario puede actualizar fácilmente la PC externa según sea necesario, y un VNA USB tiene muchos menos posibles puntos de fallo. La parte que más comúnmente falla en un VNA convencional es el módulo de procesamiento incorporado (computadora a bordo) y sus periféricos: pantalla, perillas de control y botones. Este problema se elimina al externalizar el procesamiento de la señal en una PC externa, que puede ser reemplazada fácil y económicamente por los usuarios según sus necesidades.

Una característica definitoria de un VNA USB es el almacenamiento externo de datos. El módulo de medición se puede compartir fácilmente e independientemente entre múltiples usuarios. Debido a que generalmente los VNAs pesan menos de 20 libras, se pueden mover fácilmente entre diferentes entornos. Los instrumentos USB son mucho más adecuados para la personalización que los instrumentos convencionales, ya que facilitan el cambio del tipo de conector, la posición, las dimensiones y las proporciones de la carcasa para satisfacer necesidades específicas de la aplicación. Con su factor de forma portátil, los VNAs USB también se pueden integrar en sistemas de prueba más grandes.

### ¿Qué se puede hacer con un VNA?

Un VNA se puede utilizar para evaluar un amplificador utilizado en un sistema de RF. Los amplificadores de RF pueden caracterizarse en cuanto a ganancia, pérdida de retorno, P1dB, coincidencia de salida y estabilidad. Estas características son importantes para verificar al diseñar un amplificador en un sistema. Los VNAs suelen utilizarse para evaluar las propiedades de un filtro de RF, como la pérdida de inserción y la pérdida de retorno, que son aspectos importantes en la mayoría de los sistemas de RF.



## CONCEPTOS BASICOS DE ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES

También se pueden evaluar antenas con un VNA. Una antena debería convertir una señal en su línea de alimentación en energía de RF irradiada si la frecuencia se encuentra dentro de su ancho de banda de funcionamiento. Una medición de reflexión es suficiente para evaluar la idoneidad y el estado de una antena.

Es muy común utilizar un VNA para medir cables y guías de ondas, lo cual es útil en la producción de cables de RF. Los [VNAs portátiles de 1 puerto](#) de Copper Mountain Technologies se utilizan de manera conveniente para verificar el rendimiento adecuado de los cables mientras aún están en la máquina de producción.

Las propiedades dieléctricas de los materiales también se pueden medir con un VNA (Figura 2). Con frecuencia, los [VNAs de ondas milimétricas](#) se utilizan para realizar mediciones de materiales. Una hoja de material que se va a medir se sostiene en un marco entre dos antenas conectadas a un VNA, como se muestra arriba. Dos lentes enfocan el haz para transformar los frentes de onda circulares en ondas planas. De esta manera, se pueden medir las propiedades dieléctricas de un material en hoja

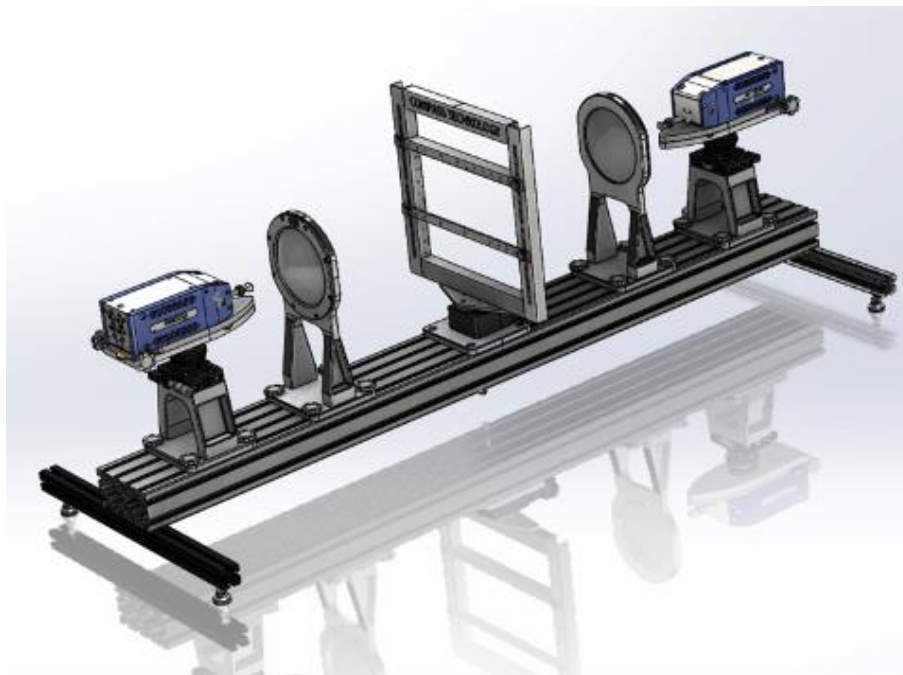


Figura 2

### ¿Qué tan costoso es un VNA?

El costo del analizador de red variará considerablemente según varios factores. El número de puertos en el instrumento y el rango de frecuencia de banda ancha del VNA son dos de los factores más importantes en cuanto al costo. Otro factor importante en el precio de un



---

## CONCEPTOS BASICOS DE ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES

---

analizador de red son las capacidades del software. Muchas características de software, como el dominio del tiempo y la conversión de compuerta, el modo de desplazamiento de frecuencia y la simulación de accesorios (incrustación/desincrustación), requieren licencias de software adicionales que pueden aumentar significativamente el costo del sistema. Afortunadamente, esas características y muchas otras características de software se incluyen sin costo adicional al comprar un VNA de CMT. Finalmente, dado que los VNAs USB se utilizan con una PC externa y no tienen una computadora incorporada, son un analizador de red de bajo costo.

### Más sobre los Fundamentos del Analizador de Red de Vectores

Los Analizadores de Red de Vectores (VNAs) son dispositivos de prueba complejos, pero hay varios recursos disponibles de CMT para aprender más sobre ellos. Puede acceder a un par de seminarios web sobre los fundamentos de los VNAs [aquí](#) y [aquí](#). También hay otro seminario web sobre algunos consejos y trucos para el software de los VNAs disponible [aquí](#)