

## Drei wichtige Überlegungen für HF- und Mikrowellentests

Welche Eigenschaften sind beim Testen eines Geräts bzw. Bauteils von Interesse? Was muss gemessen werden? Und welche Ergebnisse oder Grenzwerte erhoffen sich die Entwickler?



Beim Testen eines HF- oder Mikrowellen-Geräts werden mehrere Merkmale ermittelt, um sicherzustellen, dass das Gerät wie vorgesehen funktioniert und die Spezifikationen erfüllt.

### Entwickler und Techniker interessieren sich für:

- **Leistung**  
Messung der Ausgangsleistung des HF/MW-Geräts, um sicherzustellen, dass es die angegebenen Leistungspegel einhält.
- **Frequenz**  
Sicherstellen, ob das Gerät innerhalb des angegebenen Frequenzbereichs arbeitet. Dies umfasst die Überprüfung der Frequenzabdeckung, des Abstimmbereichs und der Bandbreitenanforderungen.
- **Phasenrauschen**  
Bewertung der Signalreinheit von Geräten wie Oszillatoren oder Frequenzsynthesizern
- **Empfindlichkeit**  
Die Empfindlichkeit des Geräts bestimmen, die bei Empfängeranwendungen entscheidend

ist, und die Fähigkeit bewerten, schwache Signale zu erkennen.

### • Intermodulationsverzerrung (IMD)

Die Anfälligkeit des Geräts für Intermodulationsverzerrungen bewerten, die auftreten können, wenn mehrere Signale innerhalb des Geräts interagieren.

### • Rauschzahl

Die Rauschzahl des Geräts bestimmen, die angibt, wie viel Rauschen es zu einem Signal hinzufügt. Niedrigere Rauschzahlen sind wünschenswert, insbesondere bei empfindlichen Empfängeranwendungen.

### • Störende Emissionen

Prüfen, ob unerwünschte Oberwellen- oder Störaussendungen außerhalb des vorgesehenen Frequenzbereichs auftreten, und sicherstellen, dass das Gerät die

gesetzlichen Emissionsgrenzwerte einhält.

Wir können auch S-Parameter (Streuparameter) untersuchen, eine Reihe von standardisierten Messungen im Bereich der HF/MW-Technik, um das Verhalten linearer, zeitinvarianter elektrischer Netzwerke, Komponenten und Geräte zu charakterisieren. S-Parameter werden hauptsächlich in der Netzwerkanalyse verwendet und beschreiben, wie elektrische Signale mit einem Gerät oder Netzwerk interagieren. Dies macht sie zu einem grundlegenden Werkzeug für den Entwurf und die Analyse von HF- und MW-Schaltungen. Diese Parameter sind besonders nützlich für die Modellierung und das Verständnis der Leistungsfähigkeit von komplexen Netzwerken wie Verstärkern, Filtern und Übertragungsleitungen.

Autor:  
Dean Gooroochurn  
Field Application Engineer  
Anritsu EMEA  
www.anritsu.com

## Es gibt zwei Hauptarten von S-Parametern:

### • Übertragungs-S-Parameter (S<sub>21</sub>, S<sub>12</sub>)

**S<sub>21</sub>** (Übertragungskoeffizient): Stellt das Verhältnis zwischen dem Ausgangssignal und dem Eingangssignal dar, wenn das Signal von Port 1 zu Port 2 des Geräts oder Netzwerks übertragen wird. Der Wert gibt an, wie viel des Eingangssignals an den Ausgang übertragen wird.

**S<sub>12</sub>** (Rückwärtsübertragungskoeffizient): Steht für die umgekehrte Übertragung von Port 2 zu Port 1 dar. Der Wert gibt an, wie viel des Signals an Port 2 an Port 1 zurückgekoppelt wird.

### • Anpassungs-S-Parameter (S<sub>11</sub>, S<sub>22</sub>)

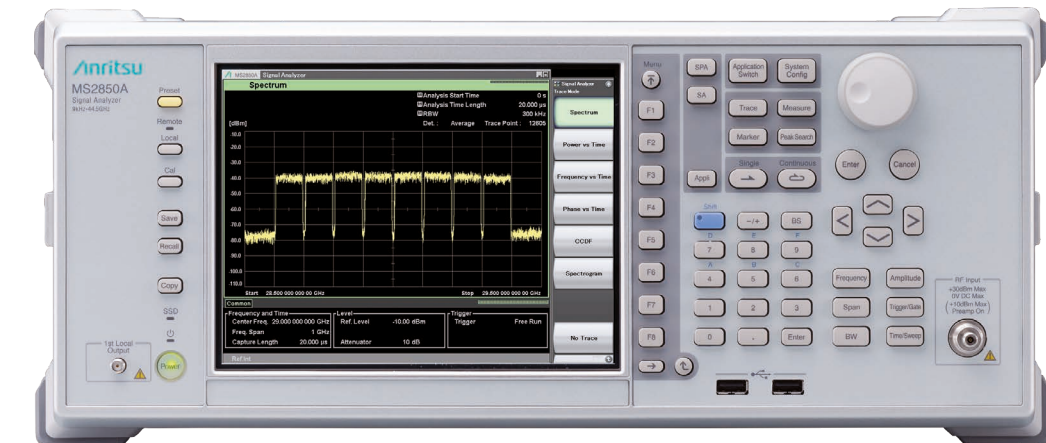
**S<sub>11</sub>** (Reflexionskoeffizient an Port 1): Zeigt, wie viel des Eingangssignals reflektiert wird, wenn es den Eingangsport erreicht.

**S<sub>22</sub>** (Reflexionskoeffizient an Port 2): dto. für Port 2

Jeder S-Parameter ist in der Regel eine komplexe Zahl, die Informationen über den Betrag (Amplitude) als auch über die Phase enthält. Die Amplitude gibt Aufschluss über die Dämpfung oder Verstärkung des Signals, während die Phase die durch das Gerät verursachte Phasenverschiebung beschreibt.

Neben den grundlegenden S-Parametern können auch S-Parameter höherer Ordnung (z. B. S<sub>31</sub>, S<sub>41</sub> usw.) oder differentielle Parameter für Geräte mit mehreren Ports definiert werden, aber die am häufigsten verwendeten S-Parameter sind für Geräte mit zwei Ports.

S-Parameter-Messungen sind für verschiedene Aufgaben bei der Entwicklung von HF/MW-Designs unerlässlich, wobei die Charakterisierung und Modellierung von Komponenten am wichtigsten ist. Entwickler verwenden S-Parameter, um zu verstehen, wie sich Komponenten wie Verstärker, Filter und Antennen innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs verhalten.



## Welche Messgeräte werden benötigt?

Die Durchführung von Hochfrequenzmessungen erfordert spezielle Prüfgeräte, um Signale in diesen Frequenzbereichen genau zu analysieren und zu charakterisieren. Die Testausrüstung kann je nach Anforderungen variieren, aber zu den üblichen Testgeräten gehören:

### • Signalgenerator

Erzeugt präzise HF- und MW-Signale bei bestimmten Frequenzen und Leistungspegeln und liefert Stimulus-Signale für Tests und Kalibrierung. Signalgeneratoren können entweder Vektorsignalgeneratoren für komplexere Modulationsschemata oder Analogsignalgeneratoren für einfachere modulierte Signale sein.

### • Spektrumanalysator

Für die Analyse des Frequenzbereichs von HF- und MW-Signalen unerlässlich. Sie zeigen die Signalamplituden in Abhängigkeit von der Frequenz an und ermöglichen die Messung von Signalmerkmalen wie Frequenz, Leistung, Oberwellen und Störaussendungen. Moderne Spektrumanalysatoren können auch zusätzliche Messungen durchführen, z.B. RTSA (Real Time Spectrum Analysis), Phasenrauschmessung oder Vektorsignalanalyse (VSA), was das Gerät vielseitiger macht.

### • Vektor-Netzwerkanalysator (VNA)

Entscheidend für die Charakterisierung der S-Parameter von

Geräten, die Messung von Reflexions- und Transmissionskoeffizienten und die Bestimmung der Impedanzanpassung. Je nach DUT können VNAs Eigenschaften wie Verstärkung, Einfügungsdämpfung, Kopplung und Isolation messen. Herkömmliche VNAs können auch erweiterte Messungen wie Zeitbereichsmessungen, Rauschzahlmessungen und Differenzmessungen durchführen.

### • Leistungsmesser

Messen den Leistungspegel von HF-Signalen genau. Sie können mit verschiedenen Leistungssensoren und -detektoren verwendet werden, um CW-, Durchschnitts-, Echtheffektivwert-, Spitzen- oder sehr hohe Leistungspegel zu messen. Heutzutage spricht man immer häufiger von USB-Leistungssensoren anstelle von Leistungsmessern. Diese verwenden einen PC als Messgerät, was die Lösung leichter, billiger und transportabler ist als herkömmliche Leistungsmessgeräte macht. USB-Leistungssensoren eignen sich auch für Messungen vor Ort, bei denen der externe PC den Sensor versorgt.

## Welche Funktionen und Leistungsmerkmale sind erforderlich?

### • Signalgenerator

**Frequenzbereich:** Die Branche wünscht sich eine größere Bandbreite, um mehr Messanwendungen zu ermöglichen.

**Anzahl der Ports:** Die meisten Signalgeneratoren verfügen über einen einzigen Ausgang, einige bieten jedoch acht oder mehr. Dies ist besonders bei mehrkanaligen Anwendungen nützlich: Intermodulation, Phasenkohärenz, frequenzumsetzende Messungen etc.

**Ausgangsleistung:** Eine hohe Ausgangsleistung kann einen Leistungsverstärker überflüssig machen, die übertragene Leistung erhöhen und den Messaufbau vereinfachen.

**Stufen-Dämpfungsglied:** Damit wird die erzeugte Signalleistung bei jeder Frequenz gedämpft. Dadurch erhält der Benutzer die Kontrolle über die abgegebene Signalleistung, was die Signalaufbereitung, die Kontrolle des Signal/Rausch-Verhältnisses sowie Swept- und Stepped-Messungen ermöglicht.

**Signalreinheit und Stabilität:** Die Signalreinheit bezieht sich auf das Phasenrauschen, das so gering wie möglich sein sollte. Die Stabilität bezieht sich auf die geräteinterne Referenzalterung, bei der die langsamsten Werte zu erwarten sind, insbesondere bei Anwendungen in der Verteidigungs- und Messtechnik

: Diese können analog oder digital sein. Radar-Anwendungen verwenden eine gepulste Modulation, während Mobilfunkanwendungen digitale Modulationsstandards (GSM/3G/LTE/5G usw.) nutzen und eine digitale Demodulation zum Abrufen der Daten benötigen.



Geräteformat: Signalgeneratoren sind in der Regel stationär und für Hochleistungsanwendungen geeignet. Einige Hersteller von Test- und Messgeräten bieten Handheld-Versionen an, die sich ideal für den Einsatz vor Ort eignen. In der Regel weisen Handheld-Geräte nur Standardfunktionen auf, bieten jedoch starke Vorteile bei Formfaktor und Gewicht.

#### • Spektrumanalysator:

Frequenzbereich: Die Branche strebt nach einer größeren Bandbreite, um mehr Messanwendungen abzudecken.

**Mitlauf/Tracking-Generator:** Ist für Spektrumanalysatoren ist

eine zusätzliche Funktion oder ein Modul. Er liefert ein kontrolliertes und bekanntes Ausgangssignal, das zusammen mit dem Spektrumanalysator verwendet wird, um Messungen und Tests an HF-Komponenten und -Schaltungen durchzuführen. Dies spart Kosten, da kein externer Generator/Synthesizer erforderlich ist und zwei Geräte in einem Gehäuse untergebracht werden können. Ein herkömmlicher Spektrumanalysator ist ein reiner Empfänger, der kein Signal erzeugen kann. Der Begriff „Mitlauf“ in Mitlaufgenerator bedeutet, dass dessen Ausgangsfrequenz der Frequenzspanne folgt, die vom Spektrumanaly-

sator analysiert wird. Dadurch wird sichergestellt, dass der Ausgang des Mitlaufgenerators immer die gleiche Frequenz wie die Mittenfrequenz des Analysators hat, was die Messungen vereinfacht und genaue Vergleiche ermöglicht. Ein Mitlaufgenerator macht einen Spektrumanalysator zu einem vielseitigen Werkzeug für die HF-Prüfung, Charakterisierung und Messung verschiedener Komponenten und Schaltungen. Er ist besonders wertvoll für Anwendungen, die eine präzise Steuerung des Prüfsignals und die Kenntnis seiner Eigenschaften erfordern. Diese Konfiguration kann als SNA (Skalarer Netzwerkanalysator)

fungieren, wobei die Phase aufgrund der internen Schaltung des Spektrumanalysators nicht gemessen werden kann.

#### • DANL (Displayed Average Noise Level):

Diese kritische Spezifikation charakterisiert die Fähigkeit des Analysators, schwache Signale zu messen oder Signale mit niedrigem Pegel in Gegenwart von Rauschen zu erkennen. Der DANL-Wert (in dBm) stellt den minimalen erkennbaren Signalpegel dar, den der Spektrumanalysator auf seinem Bildschirm anzeigen kann, ohne dass eine bestimmte Genauigkeit beeinträchtigt wird. Er gibt also an, wie empfindlich der Analysator auf schwache Signale reagiert. Ein niedrigerer DANL-Wert bedeutet eine höhere Empfindlichkeit, da der Analysator schwächere Signale effektiv erkennen und anzeigen kann.

#### • Erweiterte Funktionen:

Moderne Spektrumanalysatoren verfügen über fortschrittliche Hardware- und Software-Architekturen, die erweiterte und komplexe Messfunktionen bieten, die das Gerät mit vielen weiteren Messanwendungen kompatibel machen: Millimeterwellen/Digitale Demodulation/Rauschfaktor

#### • Gerätetyp:

Die ersten Spektrumanalysatoren waren Tischgeräte. Heute sind tragbare Versionen auf dem Vormarsch, die ebenso leistungsfähig sind wie Tischgeräte und im Labor als auch im Feld eingesetzt werden können. Der Hauptunterschied zwischen ihnen ist der Formfaktor des Geräts, wobei ein tragbares Gerät kompakter und leichter ist. ◀