

**Tektronix**<sup>®</sup>

# 벡터 네트워크 분석기 기초(VNA)

PRIMER



Vector 네트워크 분석기 또는 VNA는 수많은 최신 무선 기술을 가능하게 하는 중요한 테스트 장비입니다.

오늘날 VNA는 광범위한 RF 및 고주파 애플리케이션에 사용됩니다. 설계 애플리케이션에서 시뮬레이션은 물리적 프로토타입 반복을 줄임으로써 출시 시간을 단축하는 데 사용됩니다.

VNA는 이러한 설계 시뮬레이션을 검증하는 데 사용됩니다.

제조 응용 분야에서 RF 구성 요소 또는 장치는 특정 사양 세트를 기반으로 조립 및 테스트됩니다.

VNA는 이러한 RF 구성 요소 및 장치의 성능을 빠르고 정확하게 검증하는 데 사용됩니다.

이 백서에서는 VNA가 사용되는 이유와 다른 RF 테스트 장비에 비해 VNA가 고유한 방법에 대해 설명합니다.

우리는 S-Parameters, 기본 VNA 측정 및 Device-Under-Test 또는 DUT를 평가할 때이를 사용하는 가장 좋은 방법을 정의합니다. 다양한 VNA 교정 기술을 검토하고 VNA 사용자 교정이 가능한 최고의 정확도를 달성하는 방법을 보여줍니다.

마지막으로, 스윙 주파수 측정, 시간 도메인 측정 및 스윙 전력 측정과 같은 일반적인 VNA 측정과 사용 방법 및 중요한 이유를 검토합니다.

## 내용

<b>벡터네트워크분석기개요</b> .....	3	<b>일반적인VNA측정</b> .....	15
VNA가 필요한 사람 .....	4	스윙 주파수 측정 .....	15
기본VNA작동.....	6	시간 영역 측정 .....	16
주요 사양 .....	6	스윙 전력 측정 .....	16
VNA와 스펙트럼 분석기 .....	8	멀티 포트 구성 요소 테스트 .....	17
<b>S-파라미터이해</b> .....	9	<b>요약</b> .....	18
측정 오류 유형 .....	11		
<b>교정기법</b> .....	12		
사용자 교정이란 .....	12		
VNA교정방법.....	13		
교정표준.....	14		

## WiFi 네트워크 측정용이 아님



## 휴대 전화 네트워크 드라이브 테스트 용이 아님



## 컴퓨터 네트워크 또는 클라우드 용이 아님



그림 1. 오늘날 자체 네트워크 분석기가 있는 다양한 네트워크가 있습니다. 이 문서에서 설명하는 벡터 네트워크 분석기는 다른 종류의 네트워크에 사용되며 이러한 네트워크가 존재하기 오래 전에 정의되었습니다.

## 벡터 네트워크 분석기 개요

오늘날 "네트워크 분석기"라는 용어는 다양한 "네트워크"를 위한 도구를 설명하는 데 사용됩니다 (그림 1).

예를 들어 오늘날 대부분의 사람들은 3G 또는 4G "네트워크"에서 실행되는 셀룰러 또는 휴대폰을 가지고 있습니다. 또한 대부분의 가정, 사무실 및 상업용 장소에는 Wi-Fi 또는 무선 LAN "네트워크"가 있습니다.

또한 많은 컴퓨터와 서버가 모두 "네트워크"에 설정되어 있으며 모두 클라우드에 연결되어 있습니다. 이러한 각 "네트워크"에는 성능을 확인하고 적용 범위 영역을 매핑하며 문제 영역을 식별하는 데 사용되는 특정 네트워크 분석기 도구가 있습니다. 그러나 이 백서에서 관심있는 네트워크 분석기는 다른 종류의 네트워크에 사용되며 이러한 네트워크가 존재하기 오래 전에 정의되었습니다.

첫 번째 VNA는 1950 년경에 발명되었으며 전기 네트워크의 네트워크 매개 변수를 측정하는 도구로 정의되었습니다 (그림 2). 실제로, VNA는 위에서 언급 한 모든 네트워크를 가능하게 하기 위해 수년에 걸쳐 사용되었다고 말할 수 있습니다. 휴대 전화 네트워크, Wi-Fi 네트워크, 컴퓨터 네트워크 및 클라우드에 이르기까지 오늘날 가장 일반적인 기술 네트워크는 60 년 전에 처음 개발 된 VNA를 사용하여 가능했습니다.

## Tektronix 2016



그림 2. 벡터 네트워크 분석기 또는 VNA는 1950 년대에 발명되었으며 오늘날 전 세계적으로 활발하게 사용되고 있습니다.

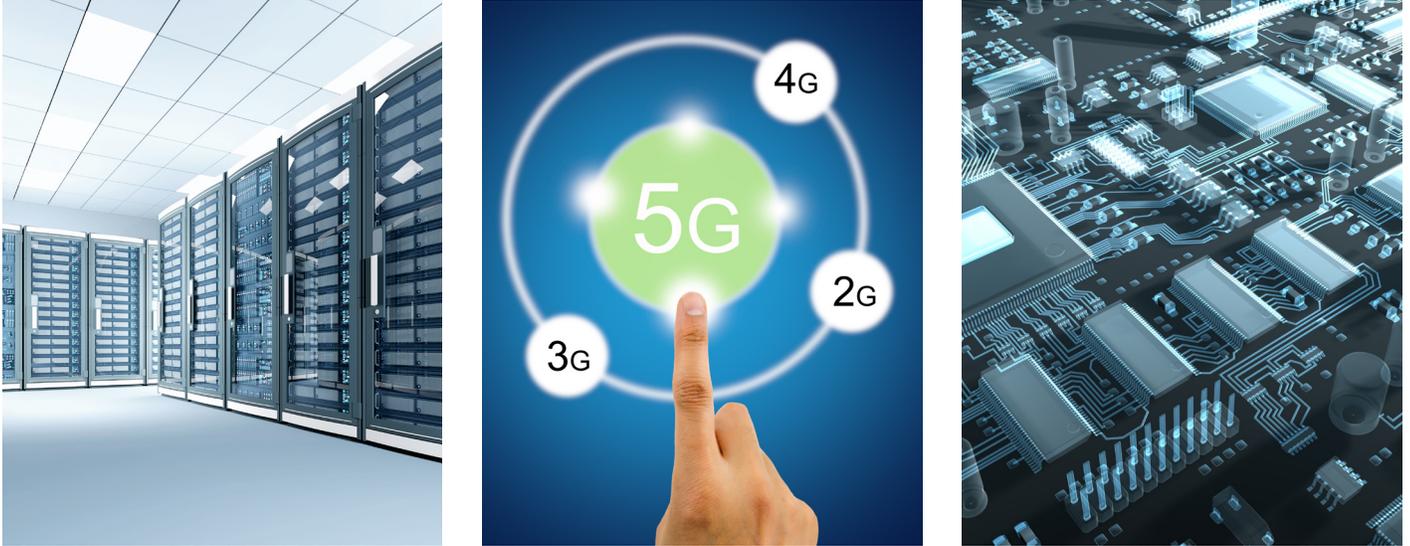


그림 3. VNA는 대부분의 최신 기술을 가능하게 하는 데 사용됩니다.

### VNA가 필요한 사람

모든 무선 솔루션에는 송신기와 수신기가 있으며 각 RF 및 마이크로파 구성 요소가 포함되어 있습니다.

여기에는 스마트 폰 및 WiFi 네트워크뿐만 아니라 연결된 자동차 및 IoT (Internet of Things) 장치도 포함됩니다. 또한 오늘날 컴퓨터 네트워크는 RF 및 마이크로파 주파수로 신호를 전달하는 고주파에서 작동합니다.

그림 3은 VNA의 도움으로 오늘날 존재하는 다양한 예제 애플리케이션을 보여줍니다.

VNA는 구성 요소 사양을 테스트하고 설계 시뮬레이션을 확인하여 시스템과 해당 구성 요소가 올바르게 작동하는지 확인하는 데 사용됩니다.

R & D 엔지니어와 제조 테스트 엔지니어는 일반적으로 다양한 제품 개발 단계에서 VNA를 사용합니다.

컴포넌트 설계자는 증폭기, 필터, 안테나, 케이블, 믹서 등과 같은 컴포넌트의 성능을 검증해야 합니다.

시스템 설계자는 자신이 믿고있는 시스템 성능이 서버 시스템 및 시스템 사양을 충족하는지 확인하기 위해 구성 요소 사양을 확인해야 합니다.

제조 라인에서는 VNA를 사용하여 모든 제품이 고객이 사용할 수 있도록 배송되기 전에 사양을 충족하는지 확인합니다.

경우에 따라 VNA는 현장 작업에도 사용되어 배포된 RF 및 마이크로파 시스템을 확인하고 문제를 해결합니다.

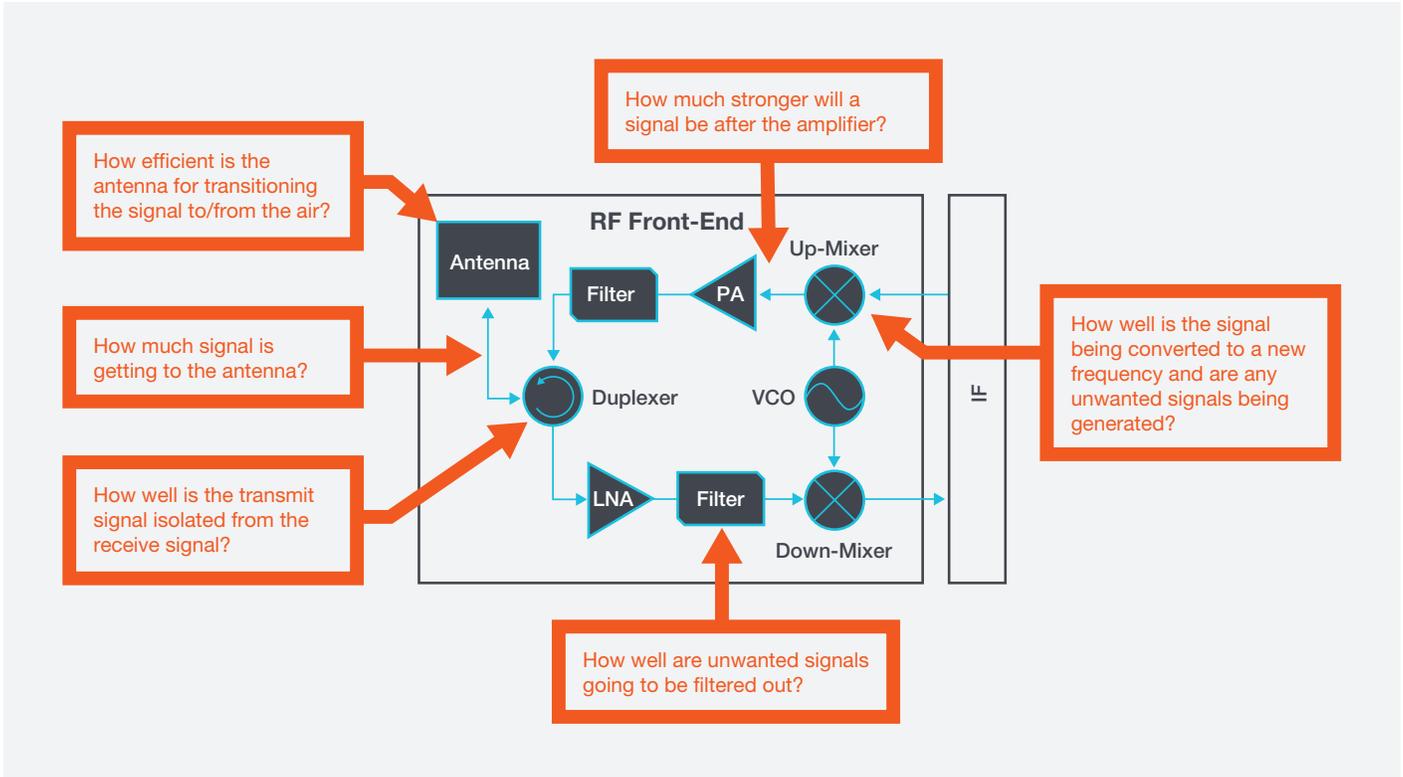


그림 4. VNA를 사용하여 구성 요소, 서브 시스템 및 시스템 레벨 성능을 검증 할 수 있습니다.

예를 들어, 그림 4는 RF 시스템 프론트 엔드와 시스템의 다른 구성 요소 및 부품이 VNA로 테스트되는 방법을 보여줍니다.

안테나의 경우, 안테나가 신호를 공중으로 주고받는 데 얼마나 효율적인지 이해하는 것이 중요합니다. 나중에 설명 하겠지만 이것은 안테나의 반사 손실 또는 VSWR을 측정하기 위해 VNA를 사용하여 결정됩니다.

그림 4의 오른쪽을 보면 업 믹서는 IF 신호를 취해 이를 오실레이터 (VCO)와 혼합하여 RF 신호를 생성합니다. 신호가 새로운 주파수로 얼마나 잘 변환되고 있습니까? 원치 않는 신호가 생성되고 있습니까? 믹서를 구동 할 때 어떤 전력 레벨이 가장 효율적입니까? VNA는 이러한 질문에 답하는데 사용됩니다.

시스템 설계 관점에서 볼 때 RF 보드와 안테나를 통과하는 신호의 양은 얼마입니까? 수신 측에서 듀플렉서는 송신 신호와 수신 신호를 분리하는데 얼마나 효과적입니까? 이러한 모든 질문은 VNA를 사용하여 답변 할 수 있습니다.

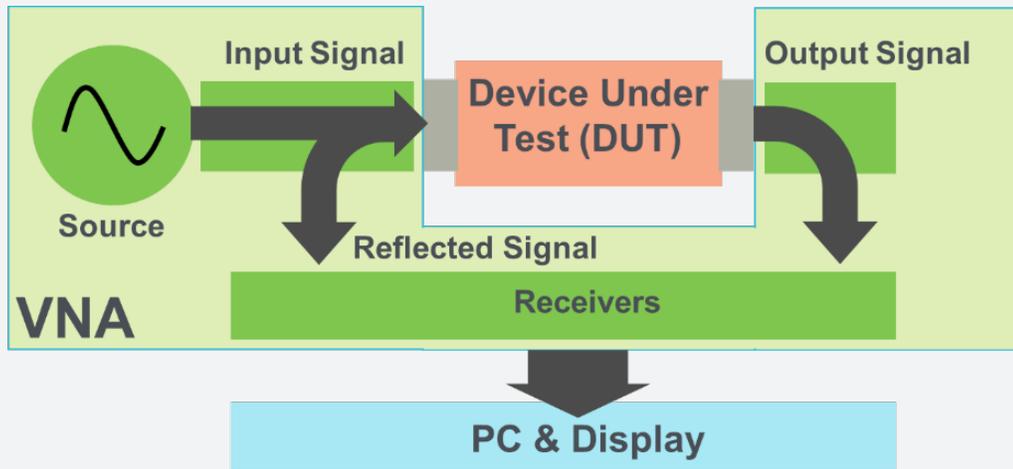


그림 5. VNA에는 자극 소스와 수신기가 모두 포함되어있어 DUT 평가를 위한 매우 정확한 폐쇄 루프를 제공합니다.

## 기본 VNA 작동

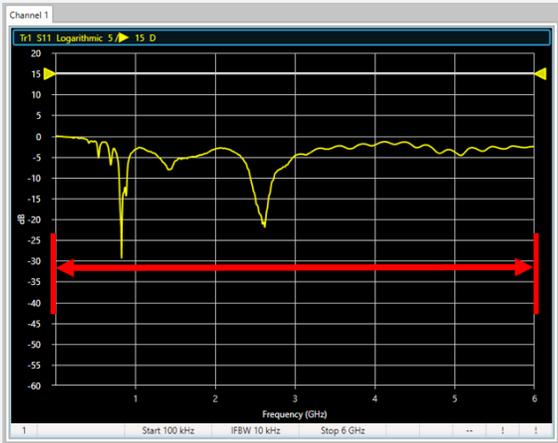
VNA의 고유 한 기능 중 하나는 알려진 자극 신호를 생성하는 데 사용되는 소스와 테스트 대상 장치 또는 DUT로 인한 자극의 변화를 결정하는 데 사용되는 수신기 세트를 모두 포함한다는 것입니다. 그림 5는 VNA의 기본 작동을 보여줍니다. 간단하게 하기 위해 포트 1에서 나오는 소스를 보여 주지만 오늘날 대부분의 VNA는 다중 경로 계측기이며 자극 신호를 두 포트에 제공 할 수 있습니다.

자극 신호가 DUT에 주입되고 VNA는 입력 측에서 반사 된 신호와 DUT의 출력 측으로 통과하는 신호를 모두 측정합니다. VNA 수신기는 결과 신호를 측정하여 알려진 자극 신호와 비교합니다. 측정 된 결과는 내부 또는 외부 PC에 의해 처리되어 디스플레이로 전송됩니다.

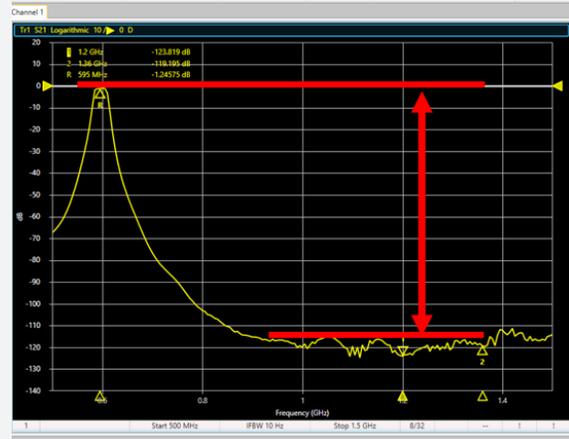
자극 신호가 흐르는 포트와 경로가 서로 다른 다양한 VNA가 시중에 나와 있습니다. 1 포트 VNA의 경우 DUT는 그림 5의 입력 측에 연결되며 반사 된 신호만 측정 할 수 있습니다. 2- 포트 1- 경로 VNA의 경우, 반사 및 전송 된 신호 (S11 및 S21)를 모두 측정 할 수 있지만 역방향 매개 변수를 측정하려면 DUT를 물리적으로 반전시켜야 합니다 (S22 및 S12). 2- 포트 2-path VNA와 관련하여 계측기는 신호 흐름을 역전시킬 수 있으므로 두 포트 (S11 및 S22)뿐만 아니라 순방향 및 역방향 전송 (S21 및 S12)을 측정 할 수 있습니다.

## 주요 사양

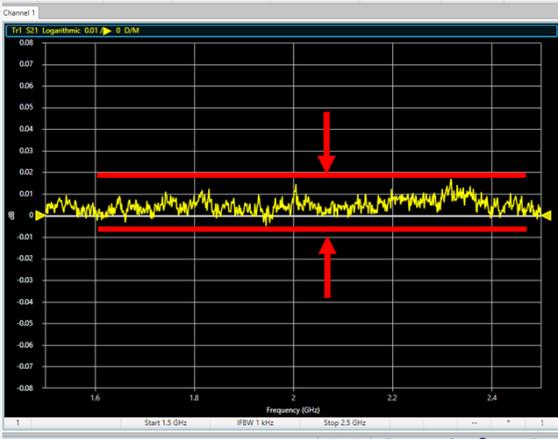
VNA에 대한 요구 사항을 결정할 때 고려해야 할 몇 가지 주요 사양이 있습니다. VNA 사양은 많지만 선택 프로세스를 안내하는 데 사용할 수 있는 4 가지 최상위 사양 (주파수 범위, 동적 범위, 추적 노이즈 및 측정 속도)이 있습니다. 주파수 범위는 가장 먼저 고려해야 할 가장 중요한 사양입니다 (그림 6a). 이를 위해서는 즉각적인 요구뿐만 아니라 미래의 잠재적 요구도 고려하는 것이 좋습니다. 또한 모든 DUT에 지정된 작동 주파수가 있지만 일부 DUT의 경우 고조파 주파수도 고려해야 합니다. 앰프, 컨버터 및 믹서와 같은 능동 부품은 작동 주파수의 2 ~ 5 배인 고조파 주파수에서 테스트해야 할 수도 있습니다. 필터와 듀플렉서는 통과 대역의 고조파에서 테스트해야 할 수도 있습니다. 더 높은 주파수 범위가 필요할 수 있지만 최대 주파수 범위는 VNA의 주요 비용 동인이 될 수 있습니다.



(a) Frequency Range



(b) Dynamic Range



(c) Trace Noise



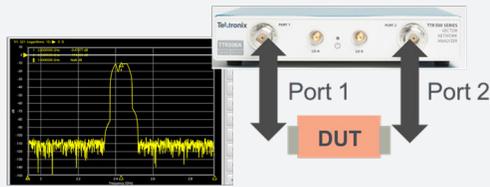
(d) Measurement speed

그림 6. 최상위 레벨 VNA 사양을 사용하여 애플리케이션에 필요한 계측기 클래스를 신속하게 결정할 수 있습니다.

동적 범위는 지정된 주파수 범위에 대해 측정 가능한 감쇠 범위입니다 (그림 6b). 원하는 DUT 성능에 따라 최대 DUT 감쇠 사양의 크기가 VNA 다이내믹 레인지 사양보다 최소 3 ~ 6dB 작아야 합니다. 오늘날 대부분의 VNA는 매우 우수한 동적 범위 (~ 120dB)를 제공하므로 많은 응용 분야에 충분합니다. 일부 고성능 구성 요소에는 더 비싼 VNA 솔루션이 필요할 수 있습니다.

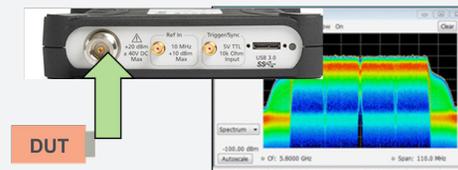
트레이스 노이즈는 VNA에 의해 생성된 랜덤 노이즈의 양을 측정하여 측정에 전달합니다. 일반적으로 밀리 dB (0.001 dB) 단위로 측정됩니다. 트레이스 노이즈는 특정 구성 요소의 정확도를 결정하는 핵심 요소가 될 수 있습니다 (그림 6c). 필터의 통과 대역에서 허용 가능한 리플 레벨이 한 예일 수 있습니다. 필터를 통한 신호의 정확성을 결정하기 위해 특정 수준의 성능이 필요한 경우 추가된 VNA 추적 노이즈 기여가 요인이 될 수 있습니다. 마지막으로 고려해야 할 다른 사양 중 하나는 측정 속도입니다 (그림 6d). 측정 속도는 단일 스위프 또는 측정을 수행하는 데 걸리는 시간입니다. 이는 대량 제조 응용 분야에서 가장 중요한 요구 사항이 될 수 있습니다. 스마트폰에 사용되는 구성 요소를 고려하면 매년 수십억 개의 구성 요소가 만들어 질 수 있습니다. 매우 높은 볼륨에서 테스트 시간을 줄이는 것은 해당 구성 요소의 성공에 중요합니다. 그러나 많은 R&D 및 소량 생산 응용 분야의 경우 VNA 측정 속도는 문제가 되지 않습니다.

## Network Analyzer



- Contains a source and receiver(s)
- Uses known stimulus
- 2 channels or more
- Ratioed measurements
- Offers advanced calibration, more accurate
- Limited to analog and pulsed signals

## Spectrum Analyzer



- Contains a receiver
- Measures unknown signals
- Single channel
- No ratioed measurements
- Limited calibration capability, less accuracy
- Works well with digitally modulated signals

표 1. VNA와 스펙트럼 분석기 비교

## VNA VS. 스펙트럼 분석기

일부 설계 엔지니어는 VNA 또는 스펙트럼 분석기에 대한 사전 경험이 있을 수 있습니다. 다른 사람들은 RF 테스트를 처음 접했을 수도 있고 익숙하지 않을 수도 있습니다. VNA 및 스펙트럼 분석기는 가장 일반적으로 사용되는 RF 테스트 장비 중 하나입니다.

그러나 네트워크 분석기와 스펙트럼 분석기의 차이점은 무엇입니까? 언제 하나 또는 두 개의 기기가 필요합니까? 표 1은 각 기기의 비교를 제공합니다.

첫째, 어떤 유형의 신호를 측정해야 하는지 고려해야 합니다. 스펙트럼 분석기는 디지털 변조 신호를 측정 할 때 선택하는 기기입니다. 예를 들어 Wi-Fi 및 LTE 신호의 성능을 측정하는 것이 목표라면 스펙트럼 분석기 만 이러한 측정을 수행 할 수 있습니다.

앞에서 언급했듯이 VNA에는 소스와 수신기가 모두 포함되어 있습니다. 이를 통해 알려진 자극을 사용하여 DUT를 자극하고 여러 수신기가 응답을 측정 할 수 있습니다. VNA에는 여러 채널과 포트가 있어 수신기가 DUT의 입력과 출력을 동시에 측정 할 수 있습니다.

스펙트럼 분석기는 일반적으로 알 수 없는 신호를 측정하는 데 사용되며, 이는 안테나 또는 구성 요소의 출력을 통해 무선으로 전송 될 수 있습니다. 또한 단일 채널 계측기인 경향이 있어 한 번에 하나의 DUT 출력 만 측정 할 수 있습니다. 반면에 VNA는 신호를 측정하지 않습니다. 수동 또는 능동 장치의 고유 한 RF 특성을 측정합니다.

알려진 자극 및 다중 수신기를 통해 VNA는 DUT의 크기 및 위상 특성을 정확하게 측정 할 수 있습니다. 이 벡터 정보는 완전한 장치 특성화를 가능하게 합니다. 벡터 오류 수정을 사용하여 더 높은 정확도와 동적 범위를 얻을 수도 있습니다. 나중에 설명 할 이 고유 한 사용자 교정 기능을 통해 VNA는 케이블, 어댑터 및 고정 장치의 영향을 제거 할 수 있습니다.

일부 스펙트럼 분석기는 내장 추적 생성기 (SA w / TG)를 제공하므로 VNA와 동일한 기능을 제공합니다. 기본적으로 VNA는 TG가있는 SA와 거의 같은 방식으로 작동합니다. 그러나 두 계측기 솔루션의 주요 차이점은 여러 수신기를 사용하여 비율 측정을 측정 할 수 있는 VNA의 기능입니다. SA w / TG는 1 포트 반사 측정에 적합하며 오류 수정도 수행 할 수 있습니다. 그러나 SA w / TG를 사용한 전송 측정의 경우 VNA의 정확도로는 측정 할 수 없지만 측정 할 수 있습니다. 이 중 대부분은 나중에 설명 하겠지만 전체 2 포트 오류 수정은 VNA에서만 가능하기 때문입니다. 또한 대부분의 SA w / TG는 위상 데이터를 표시하지 않으므로 많은 RF 테스트 애플리케이션에 필수적입니다.

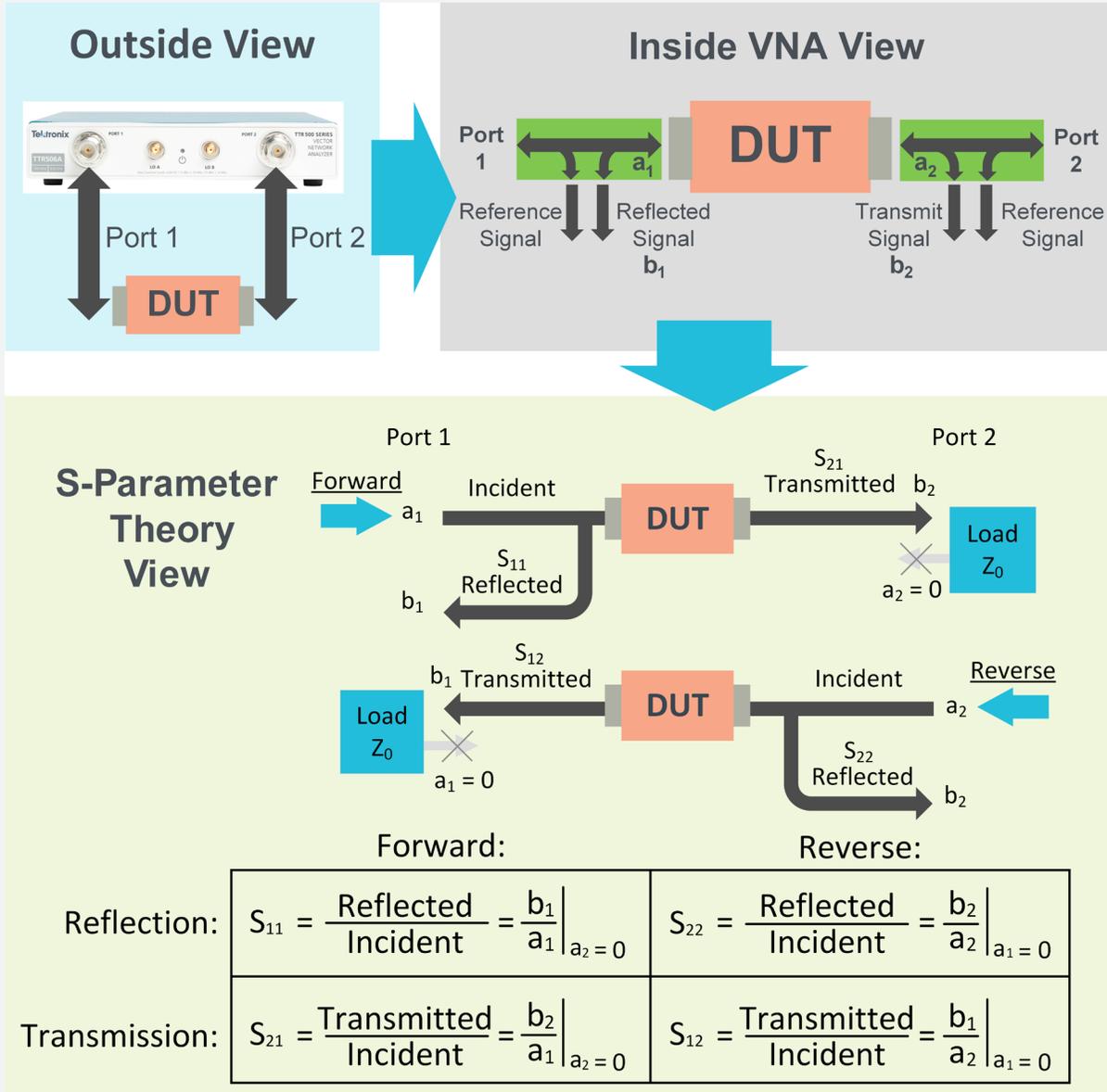


그림 7. S- 파라미터 이해

## S- 파라미터 이해

고주파에서 전류 또는 전압을 측정하는 것은 일반적으로 어렵기 때문에 산란 파라미터 또는 S- 파라미터가 대신 측정됩니다.

RF 구성 요소 또는 구성 요소 네트워크의 전기적 특성 또는 성능을 특성화하는 데 사용되며 게인, 손실 및 반사 계수와 같은 익숙한 측정과 관련이 있습니다. VNA를 사용하여 DUT를 특성화하는 방법을 이해하려면 S- 파라미터의 기본 사항을 이해하는 것이 중요합니다. 그림 7은 S- 파라미터를 설명하는 간단한 과정을 보여줍니다.

외부보기로 시작하면 VNA에는 일반적으로 직접 또는 케이블 및 어댑터를 사용하여 DUT에 간단히 연결하는 두 개 이상의 포트가 있습니다. 이 포트는 이 경우 포트 1 및 포트 2로 표시됩니다.

다음은 내부도를 살펴 보겠습니다. 다중 포트 네트워크의 동작을 평가하는 데 사용되는 일반적인 관행은 각 포트에서 입사 파를 여기로 사용하고 전원이 공급되거나 포트를 통해 장치를 통해 나머지로 전송되는 포트에서 반사되는 결과적인 종료 파를 측정하는 것입니다. 일반적으로 말하자면, 네트워크 또는 DUT에 들어가는 파를 입사 파라고 하고, 네트워크 나 DUT를 나가는 파를 반사파라고 합니다. 각 파는 다른 포트로부터의 반사와 전송의 조합으로 구성 될 수 있습니다.

입사 파는  $a_n$ 으로 지정되고 반사파는  $b_n$ 로 지정되며 여기서  $n$ 은 포트 번호입니다.  $a$  및  $b$  파는 모두 위상이며, 네트워크 포트의 지정된 터미널에서 크기와 위상이 모두 있습니다.

두 개의 VNA 포트 커넥터 뒤에는 방향성 결합기 (그림 7의 녹색 상자)가 있습니다. 이 방향성 결합기는 알려진 자극 신호를 DUT의 한쪽 ( $a_1$  또는  $a_2$ )으로 전달합니다. 먼저, 자극 신호의 일부가 기준 신호로 취해진다. S-파라미터는 이 기준에 대한 다양한 포트에서 나오는 신호의 비율로 정의됩니다. 동시에 일부 자극 신호는 DUT ( $b_1$ )에 들어갈 때 반영됩니다. 반사되는 입력 신호 부분은 VNA 내부의 포트 1에 연결된 수신기로 측정됩니다. DUT에 들어가는 입력 신호 부분은 일반적으로 통과 할 때 크기와 위상의 변화를 경험합니다. 포트 2에서 방출되는 부분은 포트 2 ( $b_2$ )의 VNA 수신기로 측정됩니다.

VNA는 양방향 계측기이므로 포트 2는 알려진 자극이 방출되는 곳일 수 있으며 (이 경우  $a_2$ ) 측정 프로세스는 반대 방향으로 진행됩니다.

이제 VNA의 작동 방식에 대해 더 자세히 알았으므로 Inside View를 S-parameter Theory View로 변환 해 보겠습니다. (사고) 및  $b$  (반사) 파를 사용함으로써, 선형 네트워크 또는 DUT는 모든 포트에서 입사 파로 각 포트로부터의 반사파를 설명하는 일련의 방정식으로 특징 지어 질 수 있습니다. 이러한 조건에서 네트워크 특성을 나타내는 상수를 S-파라미터 라고 합니다.

도 7에 도시 된 순방향 경우에, 포트 1은  $a_1$  신호를 전송하고 매칭 된 부하가 포트 2에 적용되어, 부하에서 신호 반사가 0이된다 ( $a_2 = 0$ ).  $S_{11}$ 은 포트 1의 반사 계수 또는  $a_1$ 에 대한  $b_1$ 의 비율에 해당합니다.  $S_{21}$ 은 DUT를 통한 순방향 전송 계수이며  $a_1$ 에 대한  $b_2$ 의 비율입니다.

반대의 경우, 포트 2는  $a_2$  신호를 전송하고 일치하는 로드가 포트 1에 적용됩니다 ( $a_1 = 0$ ).  $S_{22}$ 는 포트 2의 반사 계수 또는  $a_2$ 에 대한  $b_2$ 의 비율에 해당합니다.  $S_{12}$ 는 DUT를 통한 역 전송 계수이며  $a_2$ 에 대한  $b_1$ 의 비율입니다. S-파라미터 명명법  $S_{yx}$ 에서 두 번째 숫자 ( $x$ )는 원래 포트를 나타내고 첫 번째 숫자는 대상 포트 ( $y$ )입니다.

이론적으로 말하면, S-파라미터 이론은 무한한 포트를 가진 네트워크에 적용될 수 있습니다. 예를 들어, 4 포트 VNA는 16 개의 S-파라미터 ( $S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{21}, \dots$ )를 갖습니다. 이 S-파라미터는 동일한 이론을 따르며 지정된 각 포트 간의 비율 측정입니다.

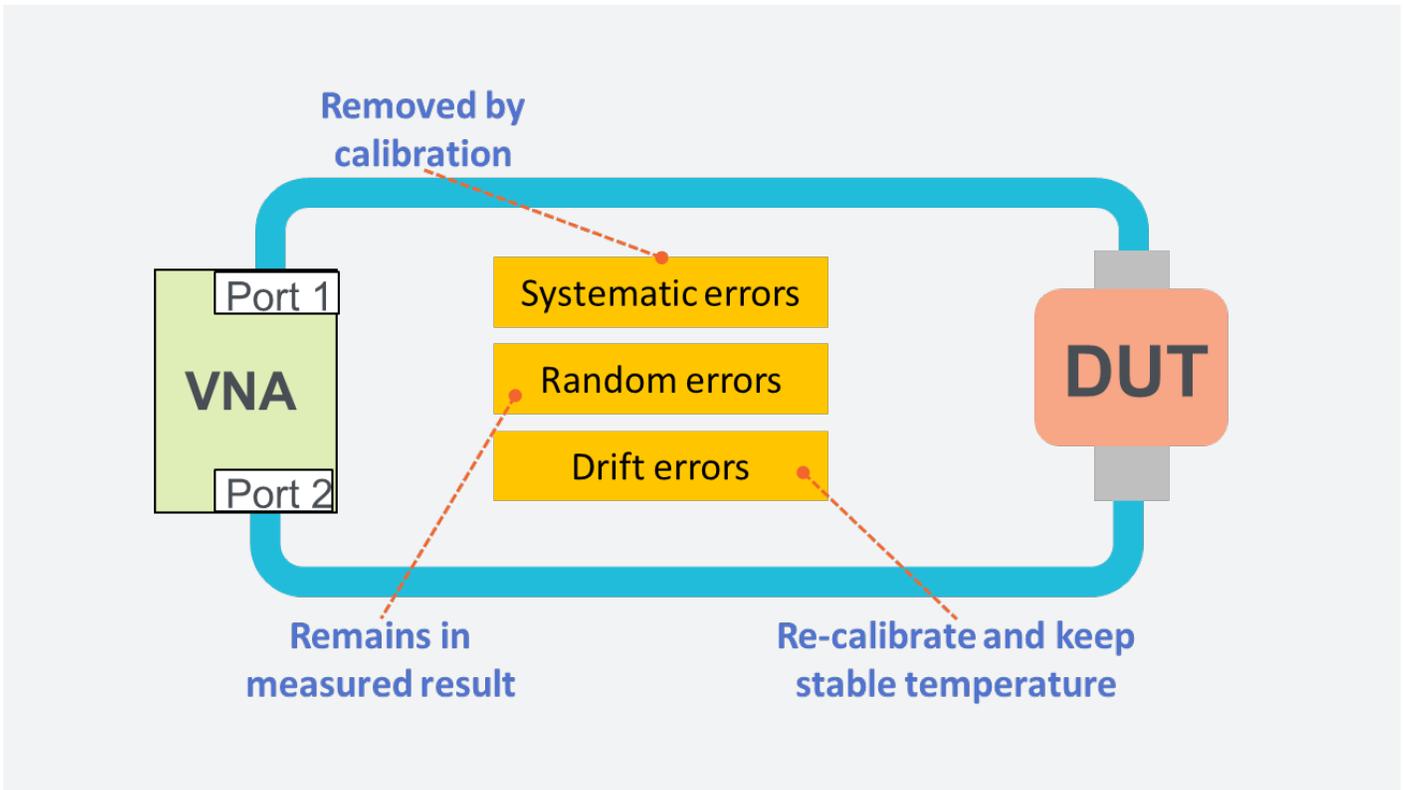


그림 8. VNA 측정 오류 유형

## 측정 오류의 종류

VNA로 측정을 수행하기 전에 측정에 영향을 줄 수 있는 오류를 줄 이도록 교정해야 합니다. 모든 방법으로 오류를 최소화 할 수 있는 것은 아니기 때문에 VNA를 보정하기 전에 측정 오류를 이해하면 유용합니다.

측정 오류에는 세 가지 주요 유형이 있습니다 (그림 8). 측정 오류 유형에는 시스템 오류, 임의의 오류 및 드리프트 오류가 있습니다. 체계적인 오류는 테스트 장비 또는 테스트 설정의 결함이며 일반적으로 예측 가능합니다. 일부 예에는 VNA 수신기의 주파수 범위에서 출력 전력 변동 또는 리플이 포함됩니다. 주파수와 함께 증가하는 DUT를 VNA에 연결하는 RF 케이블의 전력 손실도 중요합니다. 이러한 오차는 예측 가능하고 장비에 결함이 있기 때문에 사용자 교정으로 쉽게 분해 할 수 있습니다.

두 번째 측정 오류 소스는 임의의 오류로 인해 발생합니다. 테스트 장비에서 발생하는 소음이나 시간에 따라 달라지는 테스트 설정에서 발생하는 오류입니다. 이 오 차량은 사용자 보정이 수행 된 후에도 측정 결과에 남아 있고 측정에서 달성 할 수 있는 정확도의 정도를 결정하므로 중요합니다. 앞에서 설명한 추적 노이즈는 임의의 오류의 예입니다.

세 번째 오류 원인은 시간에 따른 측정 드리프트와 관련된 드리프트 오류입니다. 이는 사용자 교정이 수행 된 후 테스트 장비 및 테스트 설정에서 발생하는 차이입니다. 예는 온도 변동, 습도 변동 및 설정의 기계적 움직임입니다. 온도 및 습도 제어실은 때때로 시간에 따른 드리프트 오류를 줄이기 위해 사용됩니다. 테스트 설정이 시간이 지남에 따라 표류하는 정도에 따라 테스트 설정을 다시 교정해야 하는 빈도가 결정됩니다.

## 교정 기법

### 사용자 교정이란 무엇입니까

RF 및 마이크로파 테스트 장비 중에서 VNA에는 고유 한 보정 기술이 있습니다. VNA는 다른 RF 및 마이크로 웨이브 테스트 장비와 유사하지만 공장에서 교정되고 종종 제대로 작동하는지 확인하기 위해 매년 점검이 필요하지만 VNA는 추가 "사용자 교정"이 있다는 점에서 다릅니다. 측정하기 전에 사용자가 수행해야 합니다. 그림 9는 공장 및 사용자 교정에 대한 다양한 기준면을 보여줍니다.

공장 교정은 테스트 포트 커넥터에서 VNA의 성능을 다룹니다. 계측기 성능은 정의 된 파라미터 세트 (주파수, 전력 등)를 충족하는 입력 신호를 기반으로 합니다. VNA의 경우, 수신기의 관점에서 정확하게 측정하도록 교정 될 뿐만 아니라 VNA의 알려진 자극이 지정되고 올바르게 작동하는지 확인하기 위해 공장 교정이 있습니다.

기본적으로 출력 신호가 사양을 충족하고 입력 신호가 정확하게 표현 되도록 합니다. 이 공장 교정은 추적 생성기를 사용하여 스펙트럼 분석기에서 수행 한 공장 교정과 유사합니다.

동일한 기기 내에 알려진 자극 및 수신기가 내장되어있어 VNA는 추가적인 "사용자 교정"을 수행 할 수 있는 고유 한 기능을 제공합니다. 앞에서 설명한 것처럼 VNA는 크기와 위상을 모두 측정하므로 사용자 교정은 벡터 오류 수정을 수행합니다. 이것이 VNA를 가장 정확한 RF 테스트 기기 중 하나로 만드는 이유입니다. 사용자 교정을 통해 VNA는 케이블, 어댑터 및 DUT 연결에 사용되는 대부분의 효과를 제거 할 수 있습니다. 액세스리의 영향을 제거함으로써 사용자 교정으로 DUT 성능 만 정확하게 측정 할 수 있습니다. 이를 통해 설계자는 DUT가 서브 시스템에 배치 될 때 DUT 성능을 더 잘 이해할 수 있습니다.

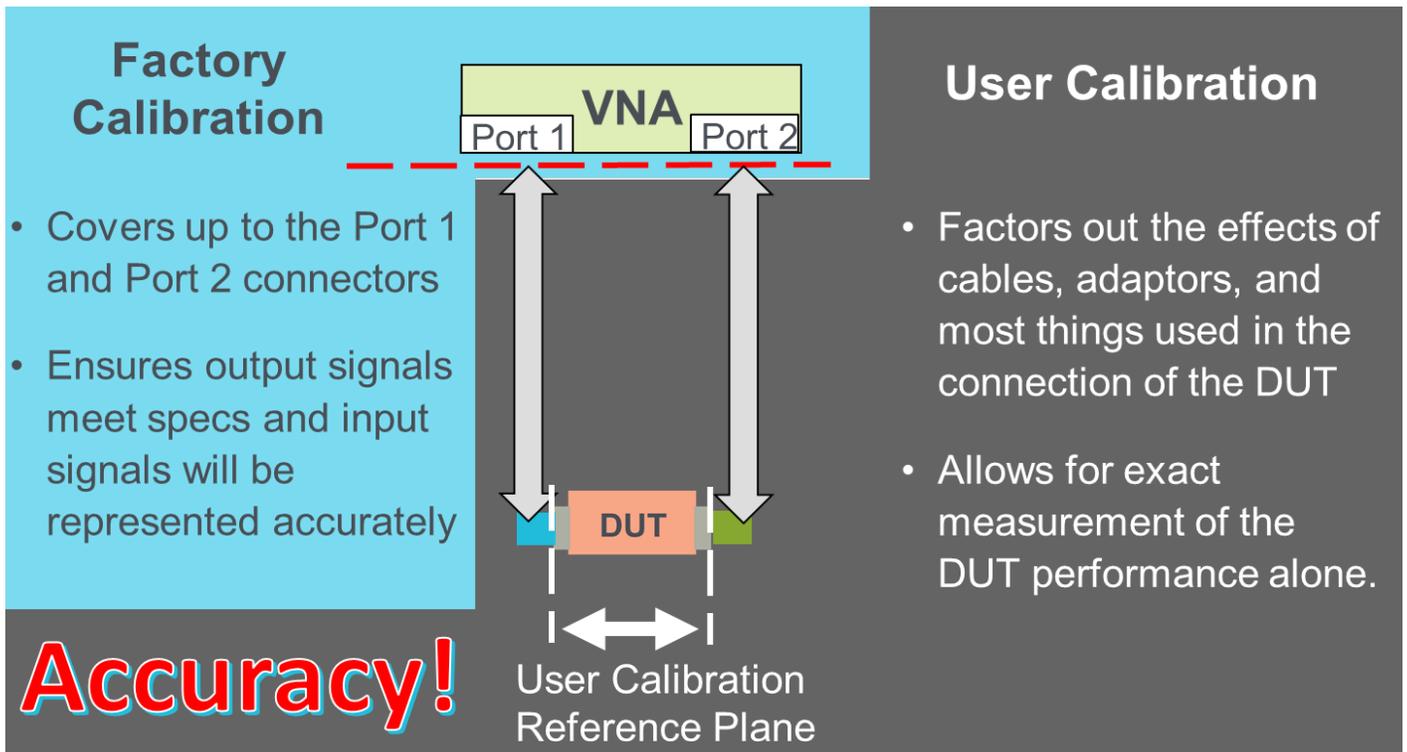


그림 9. VNA는 공장 및 사용자 교정을 모두 제공합니다.

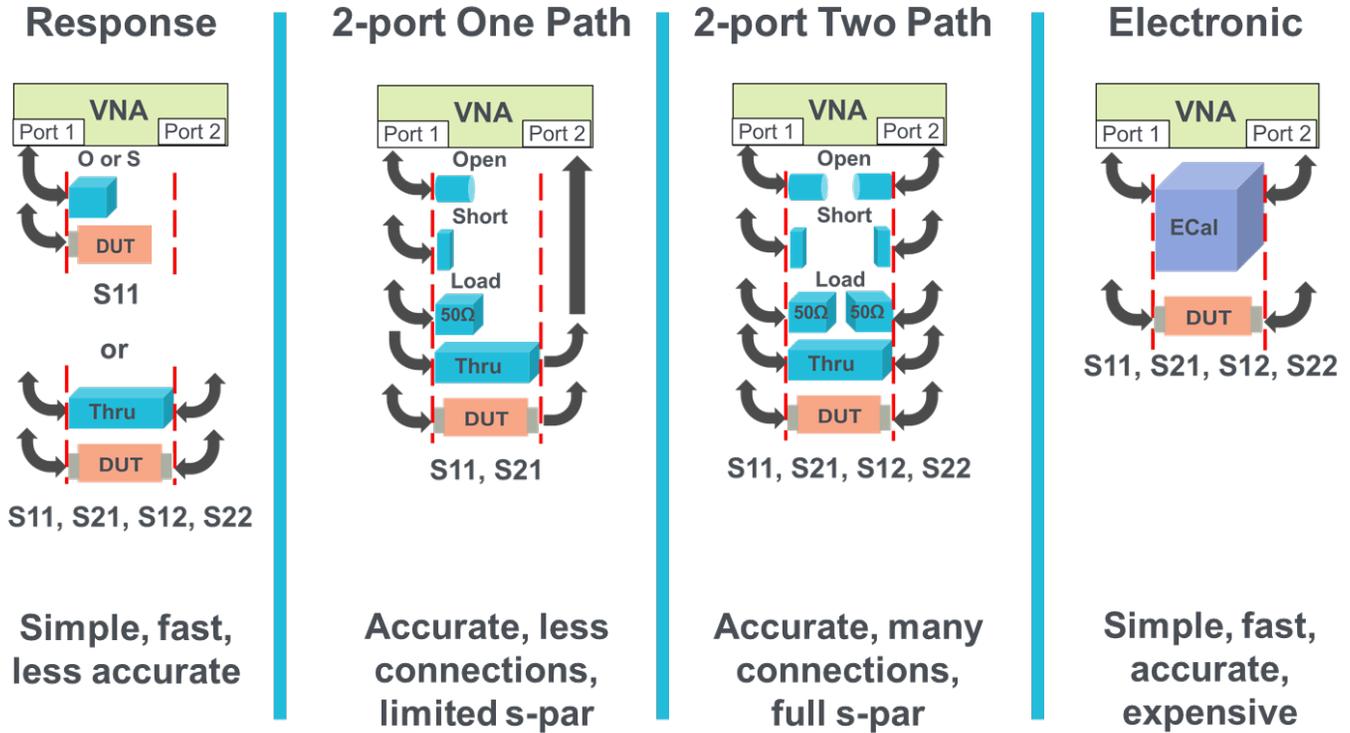


그림 10. VNA 교정 방법

### VNA 캘리브레이션 방법

이제 측정 오류를 고려할 때 "사용자 교정"의 중요성을 이해 했으므로 다양한 사용자 교정 방법에 대해 논의 할 수 있습니다. VNA 교정에는 여러 가지 방법이 있으며 필요한 복잡성은 필요한 정확도와 예산에 따라 다릅니다 (그림 10). 이 섹션에서는 더 일반적인 방법 중 일부를 검토합니다.

가장 간단한 방법은 응답 교정입니다. 빠르고 쉬운 방법이지만 다른 방법보다 정확도가 떨어집니다. 예를 들어 S 또는 반사 측정 만 필요한 경우 개방 또는 단락을 사용하여 테스트 설정 응답을 측정 할 수 있습니다. S12 또는 전송 측정 만 필요한 경우 스루 표준 만 사용할 수 있습니다. 응답 보정은 수행하기 쉽고 필요한 정확도에 따라 충분할 수 있습니다.

다음으로,보다 정확하지만 전체 2 포트 2 경로 교정보다 연결 수가 적은 2 포트 1 경로 방법이 있습니다. 이 방법은 관심이 있을 때 잘 작동합니다. 제한된 S-파라미터 세트 (예 : S11, S21, a2 = 0). 이 경우 VNA는 포트 1에서만 전송합니다. 보정하는 동안 연결 수가 줄어 듭니다.

2 포트 2 경로 교정 방법은 2 포트 1 경로 교정과 본질적으로 동일하지만 포트 2 측에서 개방형 짧은 부하 측정이 추가되었습니다. 이 방법은 정확한 전체 S-파라미터 측정 기능을 제공합니다. 단점은 많은 연결이 필요하다는 것입니다. 추가 단계를 수행하면 표준을 여러 번 측정하고 교체해야 하므로 잠재적인 프로세스 오류가 발생할 수 있습니다.

마지막으로 전자 교정 방법이 있습니다. 전자 교정 표준을 연결하기 만하면 VNA는 단일 연결 세트 S11, S21, S12 및 S22에 대해 간단하고 빠르고 정확한 교정을 수행합니다. 이 단일 연결은 교정 과정에서 잘못된 표준을 삽입 할 가능성을 줄이므로 유용합니다. 일반적으로 전자 교정 표준은 가장 비싼 교정 방법입니다. 그러나 교정 프로세스를 크게 단순화하면서 매우 정확한 결과를 제공함으로써 엄청난 가치를 제공합니다.

### 교정 표준

교정 방법의 유형에 따라 사용자 교정에 사용되는 여러 유형의 VNA 교정 표준이 있습니다. 가장 일반적인 보정 표준 세트를 Short, Open, Load 및 Thru (SOLT)라고 합니다.

VNA 사용자 교정은 단락, 개방 회로, 정밀 부하 (일반적으로 50 옴) 및 스루 연결로 알려진 표준을 사용하여 수행됩니다.

교정 표준이 DUT와 동일한 커넥터 유형 및 성별을 갖는 것이 가장 좋습니다. 이를 통해 DUT 또는 교정 표준이 교정과 측정 사이의 유일한 변경이 될 수 있습니다.

불행히도 완벽한 교정 표준을 만들 수는 없습니다. 단락에는 항상 인덕턴스가 있습니다. 개방 회로는 항상 약간의 프리징 용량을 갖습니다. VNA는 특정 보정 키트에 대한 데이터를 저장하고 이러한 결함을 자동으로 수정합니다.

특정 교정 키트의 표준 정의는 VNA의 주파수 범위에 따라 다릅니다. 일부 교정 키트에서 수 커넥터의 데이터는 암 커넥터와 다르므로 사용자는 교정하기 전에 VNA의 사용자 인터페이스 내에서 커넥터의 성별을 지정해야 할 수 있습니다.

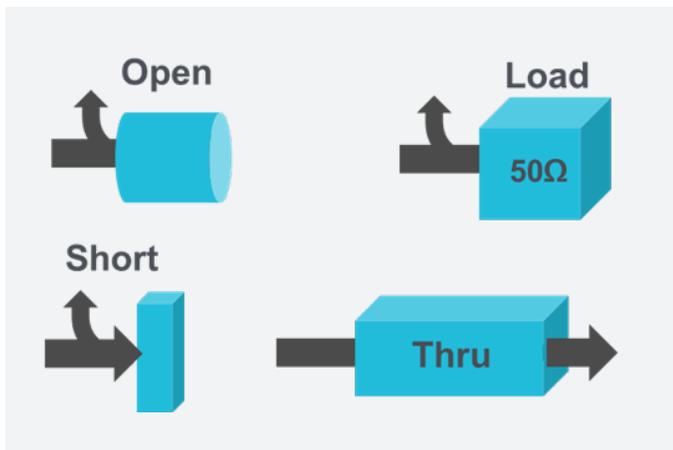


그림 11. 캘리브레이션 표준에는 종종 짧고 개방된 로드 및 스루가 포함됩니다.

교정 표준은 여러 가지 방법으로 물리적으로 실현 될 수 있습니다 (그림 12). 개별 기계적 표준이 먼저 도입되었으며 각 표준은 개별적으로 제조 및 특성화되었습니다. 개별 표준은 뛰어난 정확도와 다양한 테스트 설정을 위한 유연성을 제공합니다.



개별 기계 표준

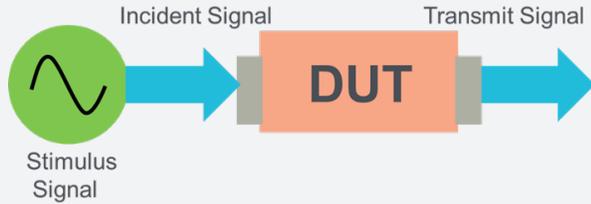


4-in-1 기계적 표준

그림 12. VNA 교정 표준의 유형

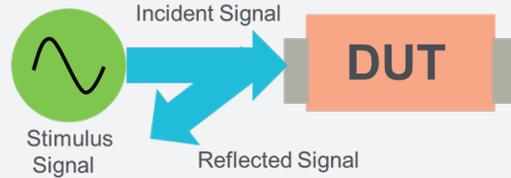
오늘날, 4-in-1 기계식 교정 키트는 개방형 짧은 부하로 단일 기계 장치에 통합되어 제공됩니다. 앞에서 설명한 것처럼 컴퓨터와 USB에 의해 구동되는 자동 전자 교정 표준도 있습니다. 이는 단일 연결 세트로 교정을 줄임으로써 매우 정확하고 인적 오류가 적은 자동 교정을 제공합니다.

### Transmission Measurements



- Transmission Coefficients ( $S_{21}$ ,  $S_{12}$ )
- Gain
- Insertion Loss/Phase
- Electrical Length/Delay
- Group Delay

### Reflection Measurements



- Reflection Coefficients ( $S_{11}$ ,  $S_{22}$ )
- Return Loss
- VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)
- Impedance ( $R+jX$ )

그림 13. VNA는 투과 및 반사 측정을 수행합니다.

### 일반적인 VNA 측정

VNA는 투과와 반사의 두 가지 유형의 측정을 수행합니다 (그림 13). 전송 측정은 DNA를 통해 VNA의 자극 신호를 통과 한 다음 다른 쪽의 VNA 수신기에 의해 측정됩니다. 가장 일반적인 전송 S-파라미터 측정 값은  $S_{21}$  및  $S_{12}$ 입니다 (2 포트 이상인 경우  $S_{xy}$ ). 스위프 전력 측정은 전송 측정의 한 형태입니다.

전송 측정의 다른 예로는 이득, 삽입 손실 / 위상, 전기적 길이 / 지연 및 그룹 지연이 있습니다. 비교적 반사 측정은 DUT에 입사하지만 통과하지 않는 VNA 자극 신호의 일부를 측정합니다. 대신, 반사 측정은 반사로 인해 소스 쪽으로 다시 이동하는 신호를 측정합니다. 가장 일반적인 반사 S-파라미터 측정 값은  $S_{11}$  및  $S_{22}$ 입니다 (2 포트 이상인 경우  $S_{xx}$ ).

### 스윙 주파수 측정

스윙 주파수 측정은 사용자 정의 주파수 세트와 스텝 포인트에서 내부 소스를 스위프하기 때문에 특히 유용합니다. S-파라미터, 개별 입사 및 반사파 (예 :  $a_1$ ,  $b_2$ ), 크기, 위상 등을 포함하여 다양한 측정을 수행 할 수 있습니다. 그림 14는 수동 필터의 스위프 주파수 전송 측정의 예를 보여줍니다.

이 유형의 필터 측정은 신호가 구성 요소를 통과 할 때 발생하는 상황을 보여줍니다.  $S_{21}$  측정은 6dB 응답으로 정의 된 통과 대역 대역폭 성능을 나타냅니다. 저지 대역 성능은 60dB 감소 사양과 비교하여 표시됩니다. 그런 다음 측정 결과를 필터 설계 목표 또는 시스템 설계자의 관점에서 필터 제조업체의 사양과 비교할 수 있습니다.

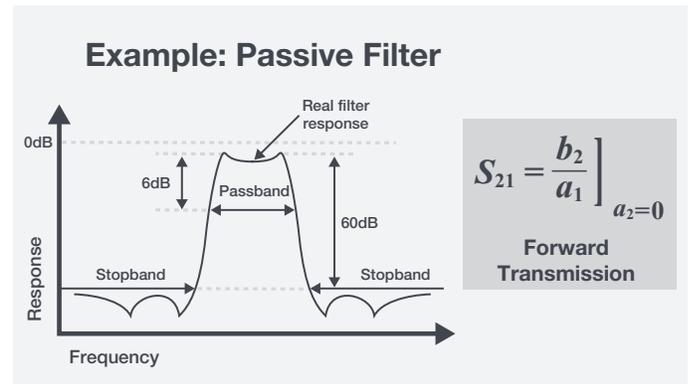


그림 14. 수동 필터의 스위프 주파수 전송 측정 예

스윙 주파수 측정은 또한 DUT에 입사하지만 DUT를 통해 전송되는 것과 달리 반사되는 자극 신호의 반사를 측정 할 수 있습니다. 이 S11 (또는 Sxx) 측정을 통해 사용자는 DUT의 성능을 사양과 확인하고 비교할 수 있습니다. 예시적인 DUT는 안테나, 필터 및 듀플렉서를 포함 합니다. 그림 15는 안테나 반사 손실 측정의 예를 보여줍니다. 안테나 통과 대역에서 대부분의 신호가 전송되고 있으므로 반사 측정 결과에 널이 표시됩니다.

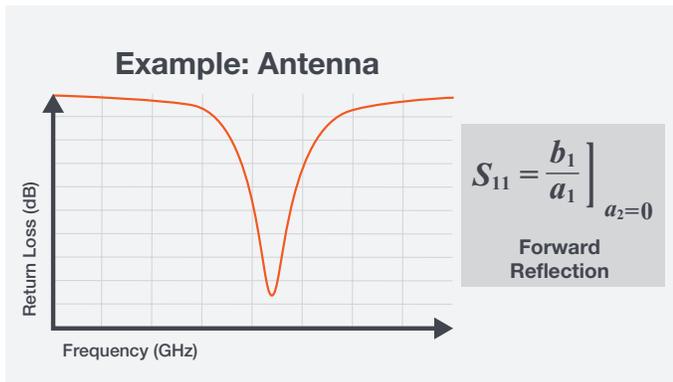


그림 15. 안테나의 스윙 된 주파수 반사 측정 예

### 시간 도메인 측정

일부 VNA는 스위프 주파수 측정을 시간 영역으로 변환하기 위해 역 푸리에 변환을 사용할 수 있습니다. 이러한 방식으로 시간 영역에 표시되는 데이터를 통해 신호가 DUT를 통과 할 때 임피던스 불일치 또는 불연속 위치를 감지하여 VNA를 사용하여 케이블 및 연결에서 문제를 찾을 수 있습니다.

시간 영역 측정의 경우 두 신호를 분석하는 기능은 측정 된 주파수 범위에 반비례합니다. 따라서 주파수 범위가 넓을수록 VNA가 밀접하게 이격된 불연속을 구분할 수 있는 능력이 커집니다. 최대 주파수 범위는 사용자가 설정하며 VNA의 주파수 범위 또는 DUT의 실행 가능한 대역폭에 의해 정의 될 수 있습니다.

주파수 영역에서 수집 된 데이터는 연속적이지 않지만 유한 한 수의 개별 주파수 포인트입니다. 이것은 주파수 샘플 간격의 역수 이후에 시간 도메인 데이터가 반복되게 합니다. 이 현상을 앨리어싱 이라고 합니다. 앨리어싱이 발생하기 전에 DUT의 성능을 평가하기 위해 필요한 거리를 정확하게 측정하려면 주파수 샘플 간격을 올바르게 설정 하는 것이 중요합니다.

그림 16은 여러 어댑터가 있는 케이블의 VNA 측정을 보여줍니다. 이것은 베이스 스테이션 서버 시스템에서 해당 안테나로 실행되는 베이스 스테이션 케이블 일 수 있습니다. 시간 영역 측정은 케이블의 다른 어댑터 또는 잠재적 불연속 점까지의 물리적 거리를 찾아 문제 영역이 나 결함을 찾는 데 도움이 됩니다.

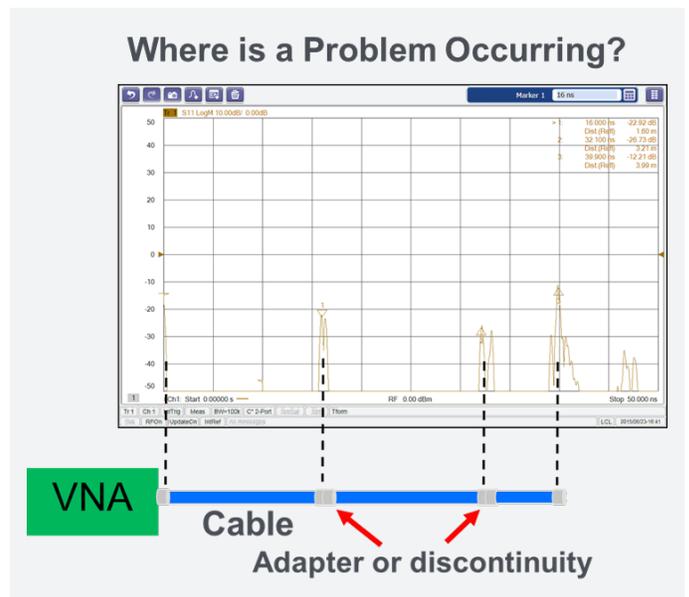


그림 16. VNA는 스윙 주파수 측정을 수학적으로 시간 영역으로 변환합니다. 측정은 라인에서 임피던스 불일치 또는 결함을 찾는 데 유용 할 수 있습니다.

### 스윙 전력 측정

스윙 주파수 대신 VNA가 자극 신호의 출력 전력 레벨을 스위핑 할 수도 있습니다. 이러한 측정의 경우 주파수는 일정하게 유지되고 출력 전력은 정의 된 전력 범위에서 점차적으로 증가합니다. 이는 낮은 전력 레벨에서 시작하여 분수 dB 단계로 전력을 증가시키는 증폭기의 일반적인 측정입니다.

증폭기의 선형 영역에서 입력 전력이 증가함에 따라 출력 전력은 비례적으로 증가합니다. 증폭기 출력이 선형 기대치에서 1dB만큼 벗어나는 지점을 1dB 압축 지점이라고 합니다 (그림 17). 앰프가 압축점에 도달하면 더 이상 이전과 같이 출력을 증가시킬 수 없습니다. 증폭기의 선형 성능이 필요한 어플리케이션의 경우 이 측정은 해당 사양을 정의하는 데 도움이 됩니다.

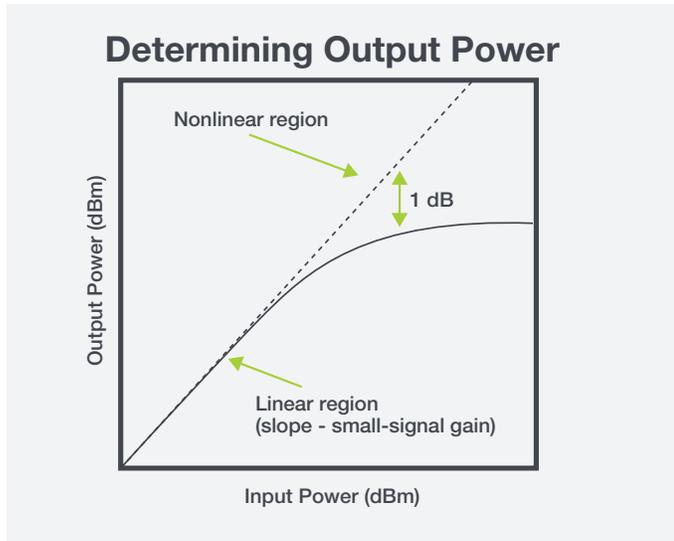


그림 17. 스위치 전력 측정은 일반적으로 증폭기에서 수행됩니다.

## 테스트 멀티 포트 구성 요소

오늘날 많은 구성 요소에는 두 개 이상의 포트가 있습니다 (그림 18). 그것들은 하나의 입력과 여러 개의 출력을 가질 수 있습니다. 더 복잡한 구성 요소는 여러 입력과 여러 출력을 가질 수 있습니다. 포트 간의 상호 작용이 중요하지 않은 경우 이러한 구성 요소 중 일부는 일련의 2- 포트 측정으로 테스트 될 수 있습니다.

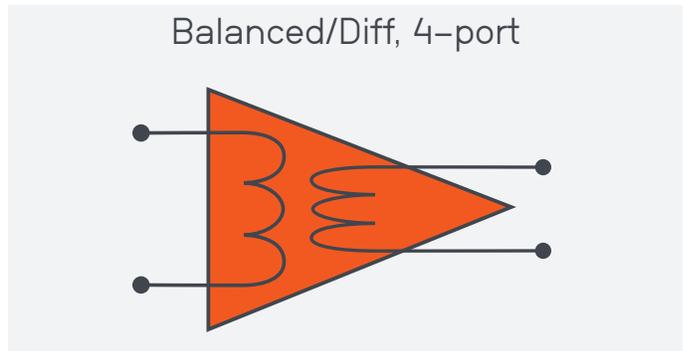


그림 18. 오늘날 많은 구성 요소에는 2 개 이상의 포트가 있습니다.

여러 포트 간의 상호 작용을 측정해야 할 경우 멀티 포트 VNA가 필요할 수 있습니다. 실제 다중 포트 측정은 N2 S-파라미터를 측정하며 N-포트가 있는 VNA가 필요합니다. 여기서 N은 DUT 포트 수와 같습니다.

S-파라미터는 예를 들어 S11, S21, S12 및 S22 대신 S41 또는 S43 또는 S10 11도 포함합니다.

진정한 멀티 포트 VNA는 각 포트에 자극 신호를 제공 할 수 있습니다. 멀티 포트 오류 수정은 측정에 대한 체계적인 오류를 제거하지만 가능한 모든 포트 조합에 교정 표준을 연결해야 하는 복잡한 교정 프로세스가 필요합니다.

## 요약

이제 VNA가 많은 현대 기술을 가능하게 하는 이유를 쉽게 이해할 수 있습니다. VNA는 알려진 자극 신호를 테스트 대상 장치 또는 DUT에 제공하고 여러 수신기가 응답을 측정함으로써 폐쇄 루프를 형성하여 구성 요소의 전기적 크기와 위상 응답을 매우 정확하게 측정 할 수 있습니다. 또한 고유 한 사용자 교정으로 인해 VNA는 가장 정확한 RF 테스트 기기 중 하나입니다. 케이블, 어댑터 및 기타 테스트 보조 장치의 영향을 줄임으로써 DUT 성능을 신중하게 격리 할 수 있습니다.

VNA는 구성 요소 사양을 테스트하고 설계 시뮬레이션을 검증합니다. 이 정확한 수준의 특성화를 통해 시스템 엔지니어는 회로 또는 시스템 수준의 설계를 연구하고 설계 단계에서 제조 단계에 이르기까지 예상대로 작동 할 것입니다.

**Contact Information:**

**Australia\*** 1 800 709 465  
**Austria** 00800 2255 4835  
**Balkans, Israel, South Africa and other ISE Countries** +41 52 675 3777  
**Belgium\*** 00800 2255 4835  
**Brazil** +55 (11) 3759 7627  
**Canada** 1 800 833 9200  
**Central East Europe / Baltics** +41 52 675 3777  
**Central Europe / Greece** +41 52 675 3777  
**Denmark** +45 80 88 1401  
**Finland** +41 52 675 3777  
**France\*** 00800 2255 4835  
**Germany\*** 00800 2255 4835  
**Hong Kong** 400 820 5835  
**India** 000 800 650 1835  
**Indonesia** 007 803 601 5249  
**Italy** 00800 2255 4835  
**Japan** 81 (3) 6714 3010  
**Luxembourg** +41 52 675 3777  
**Malaysia** 1 800 22 55835  
**Mexico, Central/South America and Caribbean** 52 (55) 56 04 50 90  
**Middle East, Asia, and North Africa** +41 52 675 3777  
**The Netherlands\*** 00800 2255 4835  
**New Zealand** 0800 800 238  
**Norway** 800 16098  
**People's Republic of China** 400 820 5835  
**Philippines** 1 800 1601 0077  
**Poland** +41 52 675 3777  
**Portugal** 80 08 12370  
**Republic of Korea** +82 2 6917 5000  
**Russia / CIS** +7 (495) 6647564  
**Singapore** 800 6011 473  
**South Africa** +41 52 675 3777  
**Spain\*** 00800 2255 4835  
**Sweden\*** 00800 2255 4835  
**Switzerland\*** 00800 2255 4835  
**Taiwan** 886 (2) 2656 6688  
**Thailand** 1 800 011 931  
**United Kingdom / Ireland\*** 00800 2255 4835  
**USA** 1 800 833 9200  
**Vietnam** 12060128

\* European toll-free number. If not accessible, call: +41 52 675 3777

