



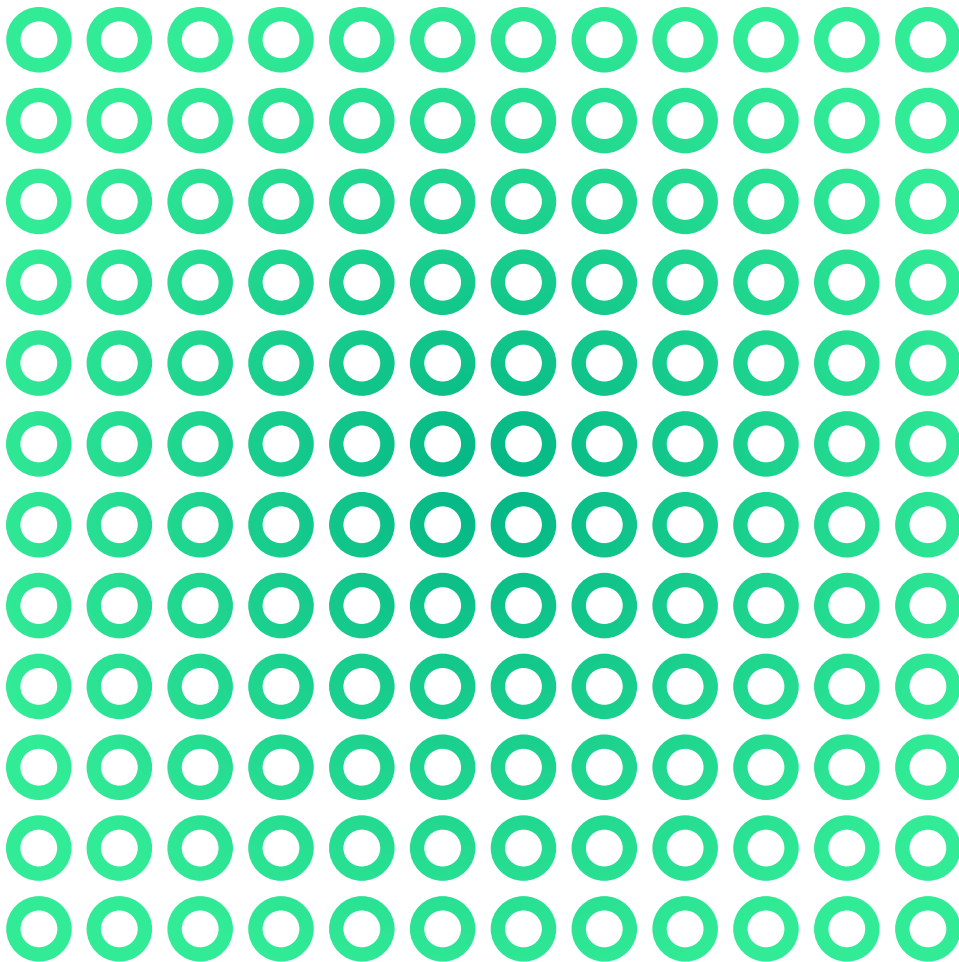
NI is now part of Emerson.



EMERSON™

어플리케이션 노트

벡터 신호 트랜시버를 사용한 하모닉 측정





목차

03 서문

03 하모닉 측정 시 VST의 장점

주파수 범위 및 대역폭

긴밀한 모듈 동기화

작은 폼 팩터 및 비용 효율성

05 기존 VSA 대비 VST의 성능

평균 노이즈 밀도

분석기 입력 스퓨리어스 방사 및 하모닉

08 VST로 DUT 하모닉 측정하기

테스트 장비 설정

측정 설정

측정 결과

11 결론

서문

하모닉 신호는 신호의 기본 주파수의 정수 배수에서 비선형 디바이스에 의해 생성됩니다. RF 테스트 및 검증 영역의 경우, 하모닉 신호는 작동 주파수 밖에서 간섭을 일으킬 수 있으므로 불필요합니다. 따라서 하모닉 신호의 정확한 측정은 디바이스 검증의 핵심입니다.

일반적으로 하모닉 측정은 고성능 벡터 신호 분석기(VSA) 또는 전용 하모닉 측정 장치(HMU)를 통해 진행합니다. 벡터 신호 트랜시버(VST)는 제한된 주파수 범위, 분석기 노이즈 성능, 그리고 경우에 따라서는 순간 대역폭 때문에 하모닉 측정 시 고려 대상이 아니었습니다. 최신 VST는 이러한 한계를 극복하며, 하모닉 테스트에 추가적인 이점을 제공합니다.

하모닉 측정 시 VST의 장점

벡터 신호 트랜시버(VST)는 RF 및 기저대역 벡터 신호 분석기(VSA)와 생성기를 단일 디바이스로 통합한 것입니다. 이 어플리케이션 노트에서 언급한 측정에 사용된 VST는 PXIe-5842입니다. 이 VST는 PXIe-5842 모듈과 우수한 위상 노이즈 성능으로 알려진 고성능 듀얼 로컬 오실레이터(LO) 합성기인 PXIe-5655로 구성됩니다. PXI 플랫폼을 기반으로 제작된 이 제품은 측정 기능이 크게 향상되었으며, 특히 하모닉 측정을 수행할 때 유용합니다.



주파수 범위 및 대역폭

PXIe-5842 VST는 30MHz~26.5GHz의 연속 주파수 범위를 제공합니다. 이러한 넓은 주파수 범위로 인해 이전 세대의 VST에 비해 고차 하모닉 주파수를 측정할 수 있으며, 낮은 주파수에서 기본 신호를 수용합니다.

PXIe-5842 VST의 순시 대역폭은 2GHz입니다. 변조된 신호의 하모닉 측정을 수행할 경우, 필요한 측정 대역폭은 기본 신호 대역폭의 배수로 증가합니다.

$$n\text{차 하모닉 BW} = n \times \text{기본 BW}$$

이 어플리케이션 노트에서 예시로 사용된 DUT(Device Under Test)는 100MHz 대역폭의 기본 신호에 대해 2차~5차 하모닉 측정을 지정합니다. 이렇게 하려면 5차 하모닉 측정을 위해 분석기에서 500MHz 이상의 순간 측정 대역폭이 필요합니다. 새로운 표준과 통신 기술이 등장하면서, 고차 하모닉 주파수에서 더 높은 대역폭 측정을 해야 하는 필요성이 계속 증가할 것으로 예상됩니다.

긴밀한 모듈 동기화

PXIe-5842는 단일 PXI 새시 내에서 여러 측정 모듈을 통합할 수 있도록 지원하는 NI PXI 플랫폼의 구성요소입니다. 이러한 모듈은 서로 원활하게 통신하고 동기화할 수 있습니다. 신호 생성기, 신호 분석기 및 기타 인스트루먼트 간의 공유 주파수 참조 및 트리거 버스를 사용하면 이러한 디바이스를 쉽게 동기화할 수 있습니다. 이러한 동기화는 변조된 신호의 하모닉을 버스트 웨이브폼으로 측정할 때 특히 유용합니다. 신호 생성기는 분석기에 버스트가 시작되도록 할 수 있으며, 그런 다음에는 하모닉 신호가 있을 때만 해당 신호를 측정합니다.

작은 폼 팩터 및 비용 효율성

하모닉 측정에 VST를 사용하면 전용 VSA 또는 HMU가 필요하지 않으므로, 벤치 공간과 추가 비용을 절약할 수 있습니다.

[PXIe-5842 및 기타 NI PXI VST에 대해 자세히 알아보십시오.](#)

기존 VSA 대비 VST의 성능

하모닉을 측정할 인스트루먼트를 선택할 경우, 주요 성능 메트릭에는 평균 노이즈 밀도와 분석기가 생성한 하모닉 및 스퍼가 포함됩니다. 이 섹션에서는 PXIe-5842 VST와 NI의 기존 고성능 VSA PXIe-5668(전치 증폭기 PXIe-5698 옵션 포함)의 이러한 메트릭 성능을 비교합니다.

평균 노이즈 밀도

하모닉 신호는 일반적으로 전력이 매우 낮기 때문에 정확한 측정을 위해서는 고감도 신호 분석기가 필요합니다. 평균 노이즈 밀도는 분석기 노이즈의 양을 dBm/Hz 단위로 지정합니다. 그림 1은 PXIe-5842 VST와 PXIe-5668 VSA의 평균 노이즈 밀도를 비교한 것입니다. 감도를 더욱 향상하기 위해 PXIe-5668 VSA는 PXIe-5698 전치 증폭기(옵션)와 페어링된 상태입니다.

PXIe-5842와 PXIe-5668(PXIe-5698 전치 증폭기 포함)의 평균 노이즈 밀도

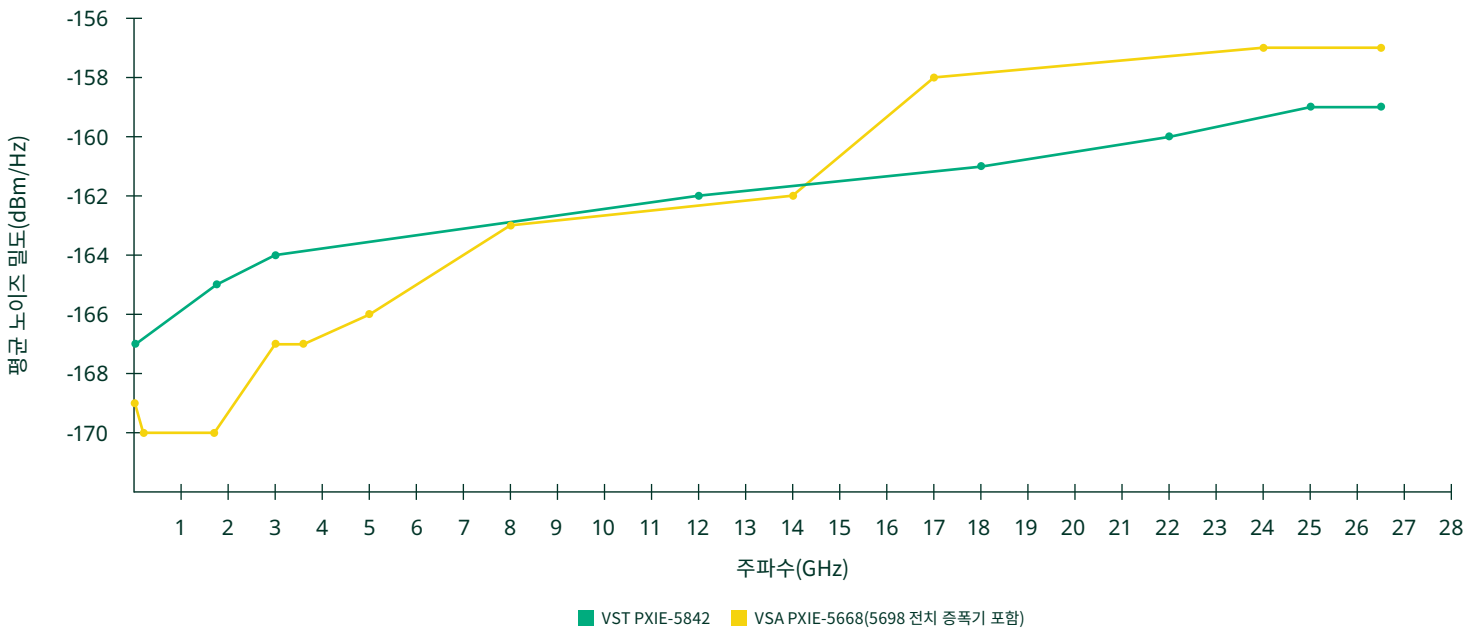


그림 1

PXIe-5842 VST와 PXIe-5668 VSA의 평균 노이즈 밀도

신호 분석기 사양은 DANL(Displayed Average Noise Level, 표시된 평균 노이즈 레벨)로 제공되는 경우가 많습니다. 평균 노이즈 밀도를 DANL로 변환하려면 2.51dB을 뺍니다. DANL은 제공된 측정 샘플 평균의 로그가 아닌, 측정 샘플 로그의 평균을 사용하여 계산되기 때문에 더 낮습니다.

결과로 PXIe-5842 VST와 PXIe-5668 VSA의 평균 노이즈 밀도가 비슷하다는 것이 드러납니다. VSA는 8GHz 미만의 주파수에서 평균 노이즈 밀도가 더 개선되는 반면, VST는 14GHz 이상의 주파수에서 평균 노이즈 밀도가 더 개선됩니다.

분석기 입력 스퓨리어스 방사 및 하모닉

신호 분석기에는 증폭기 및 기타 비선형 구성요소가 포함되어 있기 때문에 자체적인 하모닉 왜곡 및 그 밖의 스퓨리어스 신호를 생성합니다. 이러한 왜곡을 특성화하여 특정 DUT의 하모닉 왜곡 측정에 영향을 미치지 확인해야 합니다.

PXIe-5842 VST와 PXIe-5668 VSA는 데이터시트의 상이한 테스트 조건에서 왜곡을 다르게 지정합니다. 이로 인해 하모닉 측정 성능을 직접 비교하기가 어렵습니다. 직접적인 비교를 위해, VST와 VSA 양쪽 모두에 동일한 입력 테스트 신호를 제공하고 분석기 왜곡을 동시에 측정했습니다.

일반적인 하모닉 측정의 경우, 기본 신호는 필터 또는 다이플렉서에 의해 제거되므로 분석기가 저전력 하모닉 신호에 더 가깝게 참조 레벨을 낮추고 다이내믹 범위를 향상할 수 있습니다. 일반적인 다이플렉서 제거량은 50dB이므로, -50dBm의 지속파(CW) 신호를 사용하여 분석기 입력에서 기본 누출을 시뮬레이션했습니다.

생성기의 비선형 효과를 방지하기 위해, 생성기에서 생성된 하모닉을 필터링할 수 있는 다이플렉서를 사용했습니다. 그림 2의 테스트 설정에는 VST 생성기가 어떻게 신호 생성기로 사용되었고, VST 분석기와 VSA 간에 생성기가 어떻게 교체되었는지 나와 있습니다.

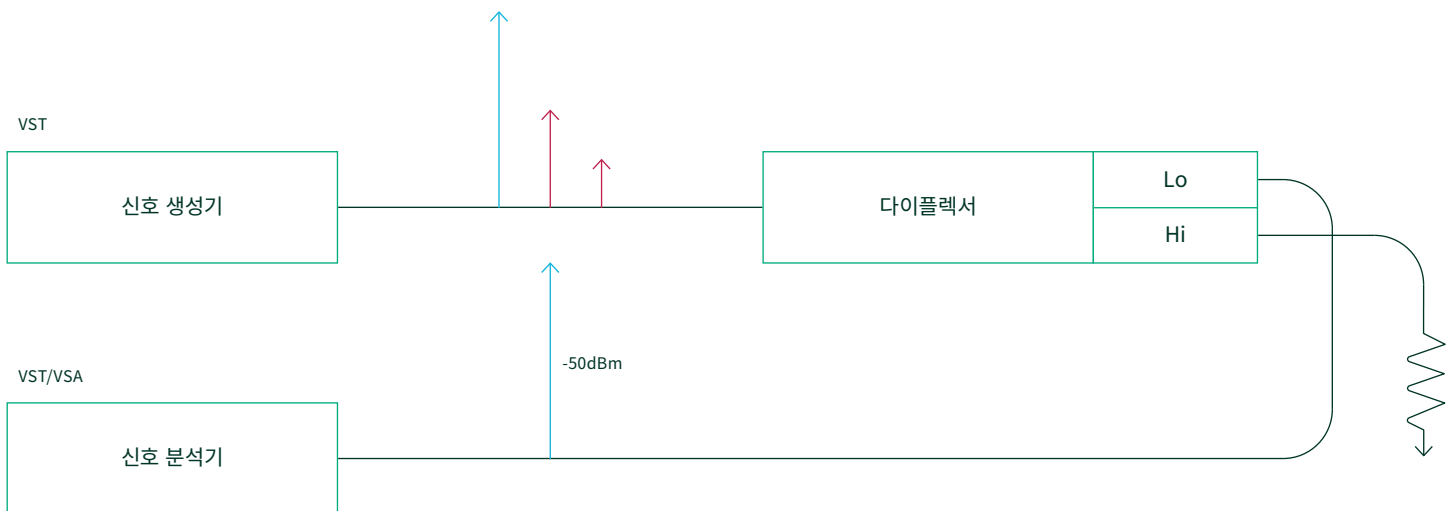


그림 2

분석기 입력 스퓨리어스 방사 및 하모닉 테스트를 위한 테스트 설정

측정은 800MHz~5.8GHz 범위의 CW 주파수에서 캡처했습니다. 그림 3은 3.5GHz의 CW 주파수에 대한 결과 비교를 보여줍니다. 다이플렉서는 6.5GHz의 교차 주파수를 가지므로, 6.5GHz 미만의 스퓨리어스 신호는 생성기에 기인한 것일 수 있습니다. 전반적으로, 스퓨리어스 방사는 VST와 VSA 간에 비슷하며, VSA는 10GHz 근처에서 한 가지 일관된 스퍼가 있습니다. 2차 하모닉은 7GHz에서 볼 수 있으며, VSA 2차 하모닉은 VST 하모닉보다 약 10dB 더 낮습니다. 3차 하모닉 이상은 VST와 VSA 양쪽 모두에서 노이즈 플로어보다 낮습니다. 이 결과 비교는 테스트를 수행한 다른 CW 주파수에서도 일관되게 나타났습니다.

분석기 입력 스퓨리어스 방사 및 하모닉

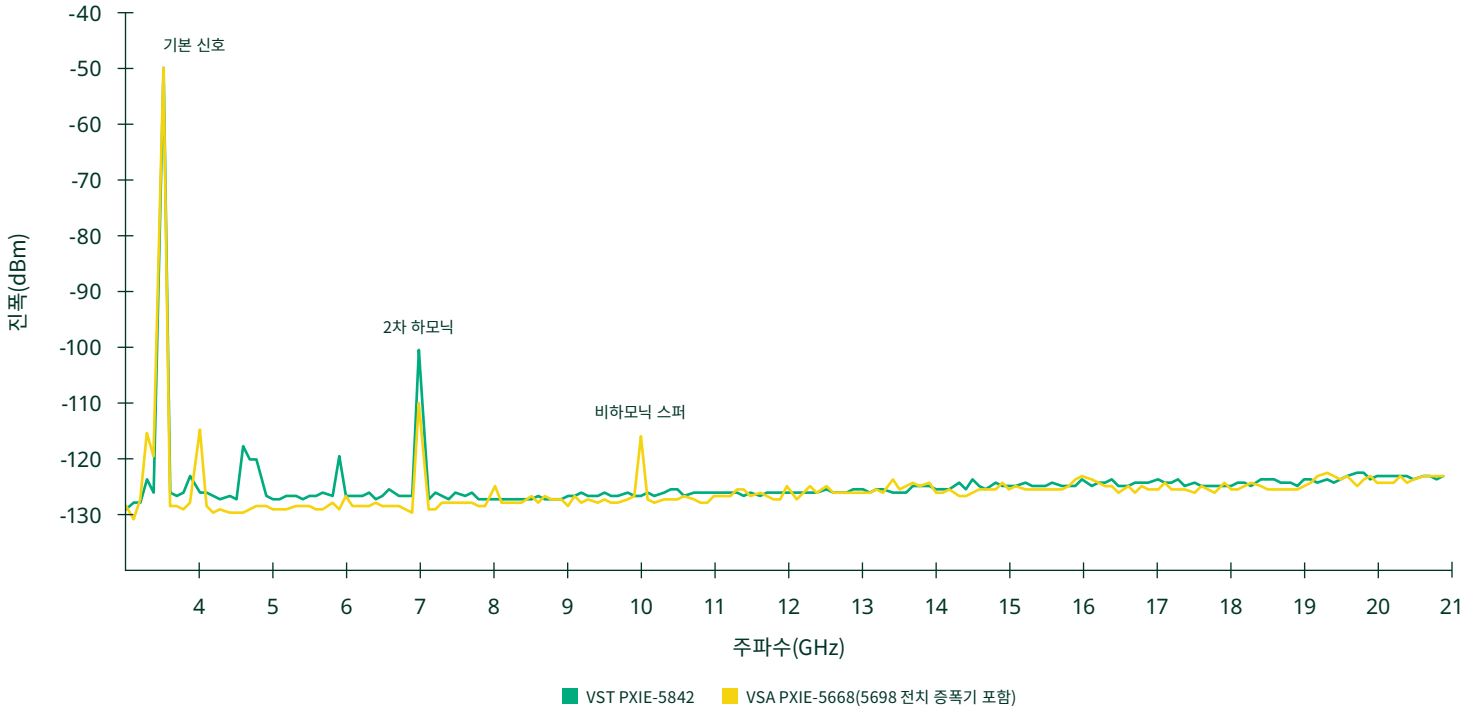


그림 3

3.5GHz에서 CW에 대한 분석기 입력 스퓨리어스 방사 및 하모닉 결과 비교. 테스트 조건: 분해능 대역폭(RBW) = 1kHz, 범위 = 1MHz, 참조 레벨 = -50dBm.

분석기 참조 레벨 셋팅은 2차 하모닉의 진폭에 영향을 미칩니다. 2차 하모닉의 진폭은 분석기 참조 레벨을 높여서 줄일 수 있으나, 그 대가로 노이즈 플로어가 증가한다는 단점이 있습니다. 그림 4는 참조 레벨이 -50dBm에서 -30dBm로 증가했을 때 PXIe-5842의 2차 하모닉 진폭과 노이즈 플로어 간의 차이를 보여줍니다. 2차 하모닉 진폭은 8dB만큼 감소하지만, 노이즈 플로어가 눈에 띄게 증가하지는 않습니다. 분석기가 DUT 측정에 영향을 미치지 확인하려면 분석기 입력 하모닉 왜곡의 레벨을 예상되는 DUT 왜곡 레벨과 비교해야 합니다.

하모닉 및 노이즈 플로어에 대한 참조 레벨 효과

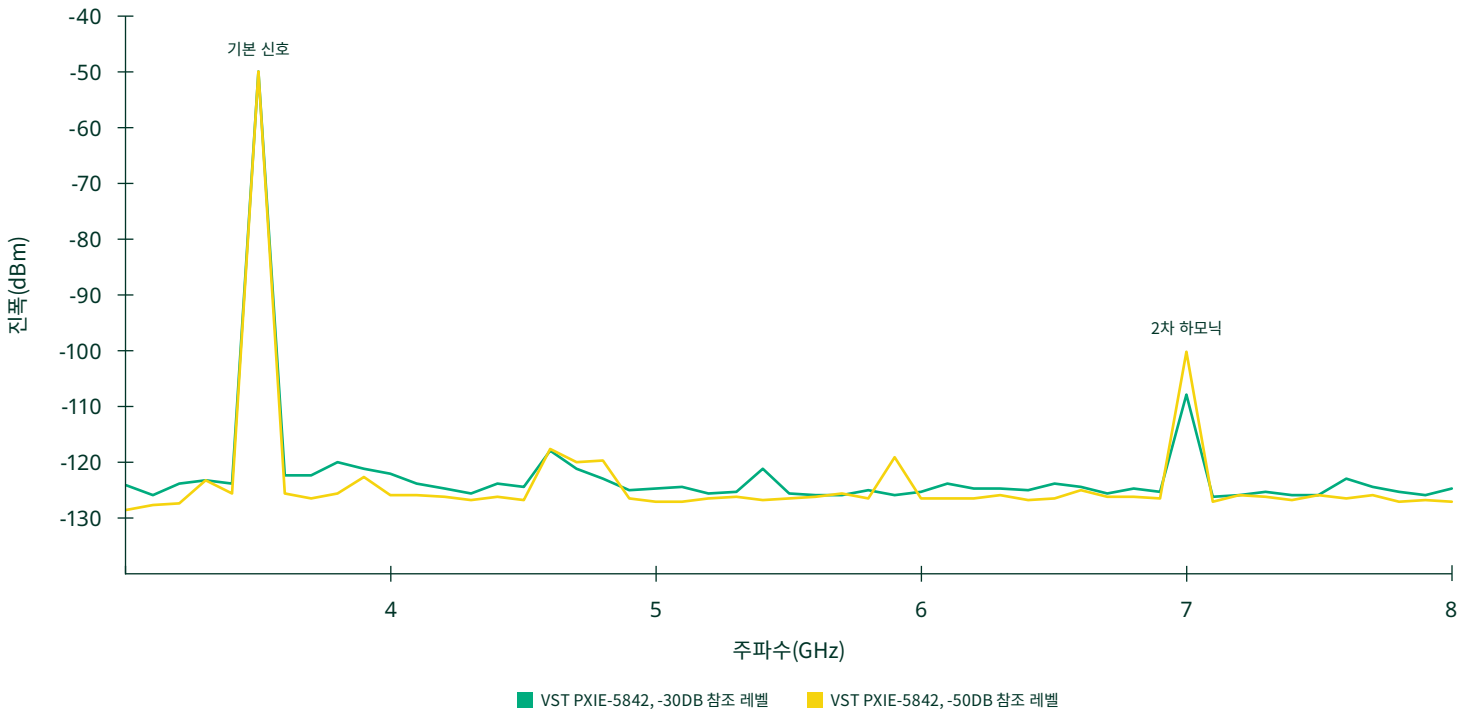


그림 4

참조 레벨 셋팅이 -50dBm 및 -30dBm인 VST 2차 하모닉 및 노이즈 플로어 레벨

VST로 DUT 하모닉 측정하기

어플리케이션 노트의 이 섹션에서는 PXIe-5842 VST를 사용한 증폭기 DUT의 하모닉 측정에 대해 간략하게 설명합니다. 이 측정에 사용된 DUT는 3.7GHz 근처에서 작동하는 5G NR(New Radio) 전력 증폭기(PA)입니다. DUT 데이터시트는 +27dBm DUT 출력 전력에서 100MHz 대역폭의 5G 변조된 테스트 웨이브폼을 사용하여 하모닉 성능을 지정합니다. DUT 하모닉 성능은 5차 하모닉을 통해 지정됩니다.

테스트 장비 설정

VST는 비선형 디바이스를 포함하므로 자체 하모닉을 생성합니다. 이상적인 경우, DUT 하모닉만 측정됩니다. 최적의 결과를 얻기 위해 외부 필터링을 사용하여 VST에서 생성된 하모닉을 제거합니다. 이 경우, 다이플렉서는 저역 통과 또는 고역 통과 필터로 사용됩니다. 기존의 필터는 다이플렉서보다 롤오프가 더 가파르지만, 다이플렉서는 일반적으로 통과 대역 밖에서 제거가 더 많이 되기 때문에 하모닉 측정에 유리합니다. 가장 중요한 건 다이플렉서는 신호 생성기에 브로드밴드 일치 로드를 제공하므로, 정지 대역에서 반환 손실이 좋지 않은 일반 필터와 달리 생성기로 되돌아오는 반사가 줄어든다는 점입니다.

그림 5는 하모닉 측정의 테스트 설정을 보여줍니다. 신호 생성기 뒤에 있는 다이플렉서는 생성기의 하모닉을 필터링하고 기본 신호를 전달하는 데 사용됩니다. DUT 뒤에 있는 또 다른 다이플렉서는 기본 신호를 필터링하고, 그 신호의 하모닉만 분석기로 전달하는 데 사용됩니다. 이렇게 설정하면 신호 분석기가 훨씬 낮은 참조 레벨에서 작동하므로 저전력 하모닉 신호를 측정할 수 있습니다. 또한 분석기가 생성하는 왜곡의 양도 줄어듭니다. 다이플렉서 교차 주파수는 기본 주파수와 DUT의 2차 하모닉 사이에 있어야 합니다. DUT는 3.7GHz에서 작동하므로 2차 하모닉은 7.4GHz에서 발생합니다. 따라서 이 측정에서는 교차 주파수가 6.5GHz인 다이플렉서가 사용되었습니다.

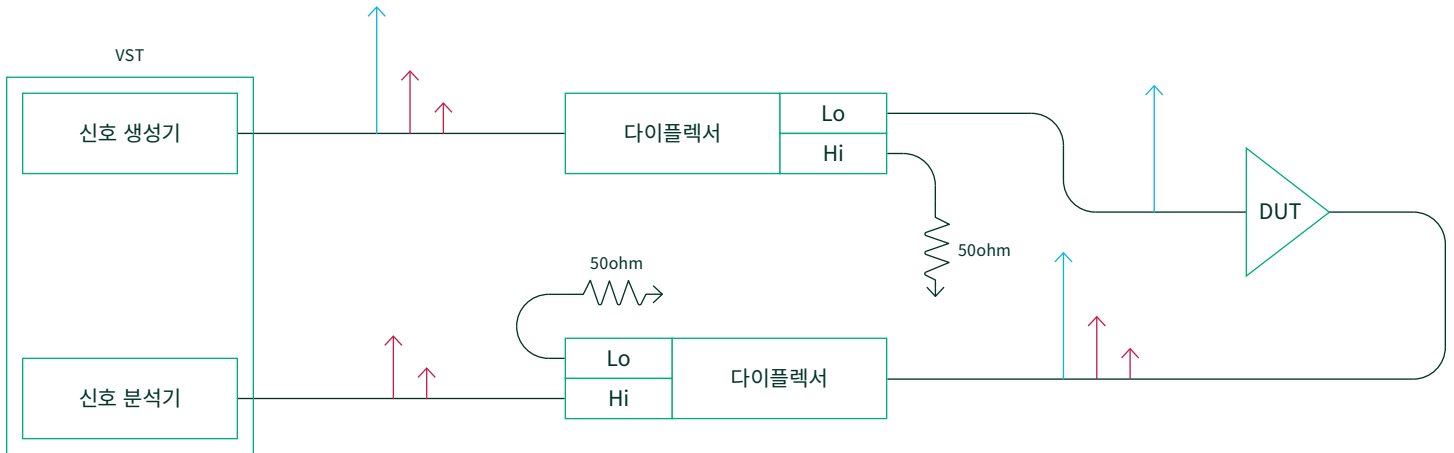


그림 5
DUT 하모닉 측정의 테스트 설정

측정 설정

다음 단계는 하모닉 측정을 수행하기 위해 구현된 것입니다. NI의 상호 운용 가능한 소프트웨어 어플리케이션 세트인 RFmx와 PXIe-5842 VST 및 기타 여러 계측기와 연동되는 NI의 프론트패널 소프트웨어인 InstrumentStudio™를 사용했기 때문에, 언뜻 까다롭고 복잡해 보이는 목록이 간소화되었습니다.

1. 벡터 네트워크 분석기로 테스트 케이블, 커넥터, 다이플렉서를 스위핑하여 디임베딩했습니다. 적절한 디임베딩 파일(일반적으로 .S2P)을 측정에 적용합니다.
2. 각 하모닉 주파수에서 시간 영역, 제로 구간 전송 전력(TxP) 측정을 위해 분석기를 설정합니다. 시간 영역 측정은 신호를 주파수 영역으로 변환할 필요가 없기 때문에 채널 전력(ChP) 측정보다 훨씬 더 빠릅니다. 신호가 변조되기 때문에 다음과 같은 식이 사용됩니다.

$$\begin{aligned}
 n\text{차 하모닉 주파수} &= n \times \text{기본 주파수} \\
 n\text{차 하모닉 RBW} &= n \times \text{기본 RBW} \\
 n\text{차 하모닉 측정 간격} &= \frac{\text{기본 측정 간격}}{n}
 \end{aligned}$$

- a. 기본 중심 주파수는 3.75GHz이며, 측정에는 최대 5차까지 각 하모닉($3.75\text{GHz} \times 5 = 18.75\text{GHz}$)이 포함됩니다.
 - b. 기본 신호의 대역폭은 100MHz이므로, 각 후속 하모닉은 대역폭이 100MHz씩 증가하여 최대 500MHz($100\text{MHz} \times 5$)까지 증가합니다.
 - c. 테스트 웨이브폼에 지속기간이 6ms인 반복 버스트가 있습니다. VST는 신호 생성기에서 분석기로 트리거를 보내 각 버스트의 시작을 측정합니다. 측정 간격은 6ms로 설정되어 유휴 시간(즉, 신호가 꺼져 있는 순간) 없이 버스트가 측정되도록 합니다.
3. 분석기의 ADC에 과부하를 주지 않으면서 기본 신호의 피크 전력에 가까워질 때까지 분석기 참조 레벨을 낮춥니다. 이렇게 하면 ADC가 대부분의 다이내믹 범위를 활용할 수 있습니다. 신호 분석기가 왜곡에 관여하는지 확인하려면 RF 입력 감쇠기 셋팅을 변경하십시오. 측정된 왜곡 진폭이 변화하는 RF 감쇠에서 변하지 않을 경우, 왜곡은 전적으로 DUT 때문입니다. 그러나 왜곡 진폭이 변경되면 신호 분석기 또한 왜곡에 관여하는 것입니다. 이 경우, 분석기가 더 이상 왜곡에 관여하지 않을 때까지 참조 레벨을 올려 보십시오.

하모닉 측정에 사용된 셋팅은 표 1에 요약되어 있습니다.

하모닉 수	5				
측정 방법	시간 영역				
RBW 필터 타입	플랫				
참조 레벨(dBm)	-10				
	기본	2차 하모닉	3차 하모닉	4차 하모닉	5차 하모닉
주파수(GHz)	3.75	7.5	11.25	15	18.75
RBW(MHz)	100	200	300	400	500
측정 간격(ms)	6	3	2	1.5	1.2

표 1. 하모닉 측정을 위한 측정 셋팅

[RFmx에 대해 자세히 알아보기.](#)

[InstrumentStudio에 대해 자세히 알아보기.](#)

측정 결과

그림 6은 하모닉 측정 결과를 보여줍니다. 전체 하모닉 왜곡과 평균 상대 전력 값은 기본 신호에서 파생되었습니다. 그러나 기본 신호가 다이플렉서로 필터링되는 것이기 때문에 이 값은 무시해야 합니다.

주요 값은 하모닉 주파수, 각 하모닉의 RBW, 측정 간격(대각합에서 볼 수 있음), 각 하모닉의 평균 절대 전력입니다.

벡터 신호 트랜시버를 사용한 하모닉 측정

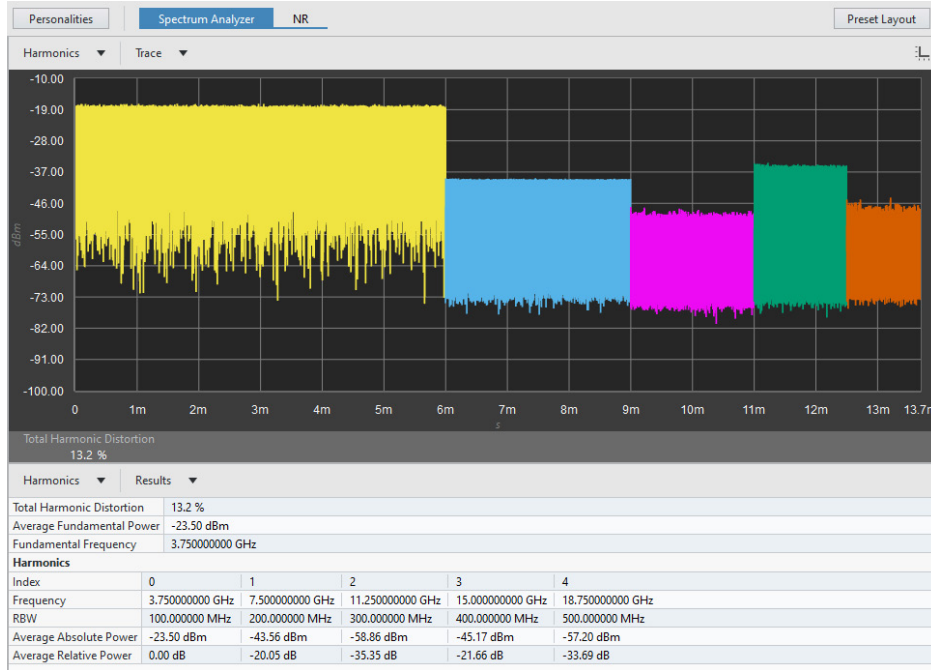


그림 6

하모닉 측정 결과

DUT는 2차~5차 하모닉의 리미트를 절대 전력(dBm) 단위로 지정합니다. 표 2에는 측정된 값에 대해 지정된 리미트가 나와 있으며, 이 리미트는 모두 여유 있게 통과합니다.

하모닉	DUT 지정(보통)	측정된 값	
2차 하모닉	-40	-43.56	dBm
3차 하모닉	-50	-58.86	
4차 하모닉	-35	-45.17	
5차 하모닉	-50	-57.2	

표 2. 지정된 하모닉 측정값 대 측정된 값

결론

최신 VST는 이전의 한계를 극복했으며, 하모닉 측정 상황에서 전통적인 고성능 VSA 및 HMU와 경쟁할 수 있습니다. 하모닉 측정에 VST를 사용하면 다른 전용 계측기에 필요한 비용과 벤치 공간을 줄일 수 있습니다.

Emerson, Emerson Automation Solutions 또는 그 계열사는 제품의 선택, 사용 또는 유지 보수에 대해 책임을 지지 않습니다. 제품의 적절한 선택, 사용 및 유지보수에 대한 책임은 전적으로 구매자와 최종 사용자에게 있습니다.

National Instruments 회사 로고, NI, National Instruments, ni.com은 Emerson Electric Co.의 테스트 및 측정 사업부에 소속된 회사가 소유한 상표입니다. Emerson 및 Emerson 로고는 Emerson Electric Co.의 상표이자 서비스표입니다.

이 출판물의 내용은 정보 제공의 목적으로만 제공되며, 모든 정보는 정확성을 최대한 보장할 수 있도록 쓰였지만 이 정보가 설명된 제품이나 서비스 또는 그 사용, 적용성에 대한 명시적, 묵시적 지불 보증 또는 판매 보증으로 해석되어서는 안 됩니다. 모든 판매에는 당사의 이용 약관이 적용되며, 요청 시 제공됩니다. 당사는 사전 통보 없이 언제든지 해당 제품의 설계 또는 사양을 수정하거나 개선할 권리가 있습니다.

NI
11500 N Mopac Expwy
Austin, TX 78759-3504

