

신호 생성시 위상 잡음에 대한 요구 사항 및 선택 이해하기

서론

RF 또는 마이크로웨이브 신호 발생기는 위상 잡음 성능에 따라 응용 분야에 대한 적합성이 결정될 때가 많습니다. 예를 들어 도플러 레이더, 인지 무선(CR) 또는 소프트웨어 정의 라디오(SDR) 같은 고성능 시스템을 테스트할 때는 위상 잡음 성능이 무엇보다 중요합니다. 또한 오실레이터 대용으로 또는 아날로그-디지털 컨버터(ADC) 테스트 목적으로 신호 발생기를 사용할 때도 우수한 위상 잡음 성능이 필요합니다.

이러한 응용 분야에서 RF 또는 마이크로웨이브 신호 발생기의 사용 목적을 평가하려면 스퓨리어스, 고조파, 광대역 노이즈, AM 노이즈, 위상 잡음 같은 성능 요인을 고려해야 합니다. 특히 위상 잡음 성능을 고려할 때는 계측기의 내부 아키텍처를 비롯해 이러한 아키텍처를 기반으로 탑재되는 기능 및 기술의 영향을 많이 받습니다. 가장 많이 사용되는 아키텍처는 단일 루프와 이중 루프이며, 이번 어플리케이션 노트 후반에서 각 루프에 대해 자세히 살펴보겠습니다. 사용 가능한 기능으로는 디지털 변조, 펄스, 다중 유닛 동기화 등이 있으며, 이러한 기능들이 있으면 위상 잡음 성능에도 영향을 미칠 수 있습니다.

신호 발생기의 설계 및 평가에서 위상 잡음 성능은 비용, 스위칭 속도 및 캐리어 신호로부터 다양한 주파수 오프셋에서의 최적화와 같은 트레이드오프를 포함합니다. 이렇게 다양한 요건을 해결하기 위해 일부 신호 발생기는 위상 잡음 성능을 두 가지 이상의 레벨(표준 기능, 옵션 기능 등)로 나누어 제공하기도 합니다. 또는 위상 잡음 성능을 넓은 오프셋 범위나 좁은 오프셋 범위로 최적화할 수 있는 발생기도 있습니다. 그 밖에 사용자가 위상 잡음 성능을 선택적으로 떨어뜨려 DUT(Device Under Test)에 미치는 영향을 관측할 수 있는 발생기도 있습니다.

이번 어플리케이션 노트에서는 먼저 위상 잡음의 기초에 대해 알아본 후 아키텍처 선택, 여러 가지 기능적 대안의 영향에 대해 자세히 살펴보면서 각 상황에 대한 이해를 돕고자 합니다. 그런 다음 키사이트테크놀로지 신호 발생기에 대한 간략한 소개와 함께 기본적으로 제공되어 위상 잡음 성능을 높이거나 선택적으로 떨어뜨릴 수 있는 기능에 대해 알아보겠습니다.

성능의 기초: 안정성과 노이즈

위상 잡음을 얘기할 때는 신호의 주파수 안정성을 언급하는 경우가 많습니다. 오실레이터의 장기적 안정성은 시간, 일, 월, 또는 년 단위로 특성화할 수 있습니다. 이와 달리 단기적 안정성은 몇 초 이하에서 발생하는 주파수 변화를 말합니다. 신호에서 더욱 많은 정보를 추출할 목적으로 처리량을 극단적으로 높인 시스템이라면 이러한 단기적 변동에서 훨씬 큰 영향을 받게 됩니다. 이러한 이유로 단기적 안정성에 초점을 맞춰 설명하려고 합니다.

단기적 안정성은 여러 가지 방식으로 설명할 수 있지만 가장 많이 언급되는 것은 단측파대(SSB) 위상 잡음입니다. 미국 국립표준기술연구소(NIST)는 SSB 위상 잡음을 두 가지 전력량, 즉 캐리어에서 특정 주파수 오프셋일 때 전력 밀도와 총 주파수 신호 전력의 비율로 정의하고 있습니다. SSB 위상 잡음은 흔히 캐리어에서 주파수("f")가 벗어나는 지점의 1Hz 대역폭으로 측정되며, 단위는 dBc/Hz를 사용합니다. 여기에서 dBc/Hz란 "1Hz 대역폭일 때 캐리어 주파수 전력보다 낮은 데시벨"을 의미합니다.

위상 잡음 레벨은 캐리어 주파수와 직접적으로 관련이 있으며, 주파수가 2배로 늘어날 때마다 6dB씩 증가합니다. 따라서 첨단 레이더 통신 시스템에 결합되는 컴포넌트의 성능을 특성화하면 1GHz 캐리어에 대한 위상 잡음 측정값이 "캐리어에 가까운" 오프셋(1Hz 이하)일 때 약 -40dBc/Hz부터 "캐리어에서 먼" 오프셋(10kHz 이상)일 때 -150dBc/Hz까지 늘어날 수

있습니다. 이러한 측정값은 캐리어 주파수가 8GHz일 때 약 18dB 더 높습니다. 이렇게 레벨이 낮을 경우 측정 노이즈 플로어는 두 가지 미세 전자 효과에서 영향을 받습니다. 하나는 수동 소자에서 광범위하고 일정하게 발생하는 열 노이즈(백색 노이즈)이고, 나머지 하나는 능동 소자에서 발생하는 플리커 노이즈입니다. 플리커 노이즈는 1/f 패턴(핑크 노이즈)을 가지며, 비교적 오프셋이 낮을 때 열 노이즈에서 발생합니다. 이 두 가지 요인은 신호 체인을 따라, 즉 계측기에서, SUT(Signal Under Test)를 발생시키는 기기에서, 그리고 계측기와 기기를 연결하는 케이블에서도 존재하기 때문에 피할 수 없습니다.

간혹 신호 체인에서 간과하는 또 한 가지 노이즈 소스로 증폭기도 있습니다. 증폭기는 약한 캐리어 신호의 출력 레벨을 높이는 데 가장 큰 목적이 있지만 자체에서 노이즈가 추가로 발생할 뿐만 아니라 입력 노이즈까지 높이는 원인이 됩니다. 결과적으로 증폭기, 열 노이즈, 플리커 노이즈가 종합적으로 작용하여 위상 잡음을 발생시키면서 특정 형태로 그래프에 나타나며, 무엇보다 위상 잡음에 대한 이론적 측정 하한값이 감소한다는 것이 중요합니다(그림 1).

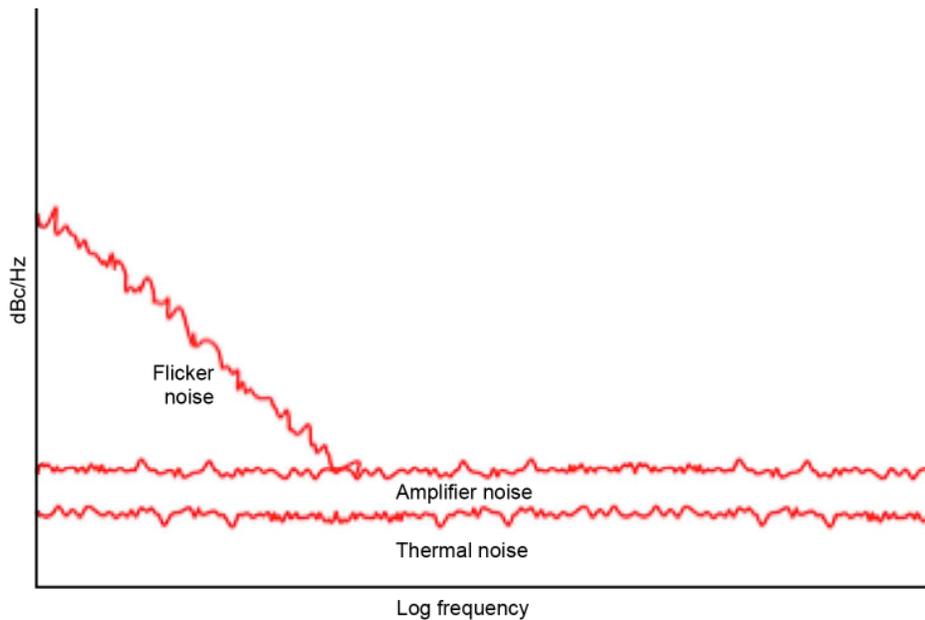


그림 1. 세 가지 주요 노이즈 요인에 따라 위상 잡음 측정 시 이론적 하한값이 결정됩니다.

이러한 효과는 고성능 신호 발생기의 위상 잡음 특성에서 모두 나타납니다. 예를 들어 근본적인 노이즈 소스를 따라가다 보면 계측 블록 다이어그램에 있는 주요 구간까지 추적할 수 있습니다(그림 2). 오프셋이 1kHz 미만일 때는 노이즈가 레퍼런스 오실레이터 성능의 영향을 가장 많이 받으면서 캐리어 주파수까지 곱셈으로 증가합니다. 나머지 주요 요인은 오프셋이 1~100kHz인 합성기, 오프셋이 100kHz~2MHz인 YIG(yttrium-iron-garnet) 오실레이터, 오프셋이 2MHz 이상인 출력 증폭기입니다. 이러한 효과를 정확하게 파악한다면 시스템 설계 내에서 최소화하고 최적화하여 성능을 극대화할 수 있습니다.

위상 잡음과 주파수의 관계를 살펴보면 위상 잡음은 주파수가 커질수록 확정적으로 증가합니다. 특히 신호 발생기의 내부 또는 외부에서 주파수 체배 기법을 사용할 때 더욱 그렇습니다. 실제 관계는 주파수 또는 대역이 조금만 바뀌어도 영향을 받는 경우가 많습니다.

Keysight E8257D SSB 위상 잡음(10GHz일 때)

Keysight E5500 위상 잡음 측정 시스템으로 측정(스푸리어스 없음)

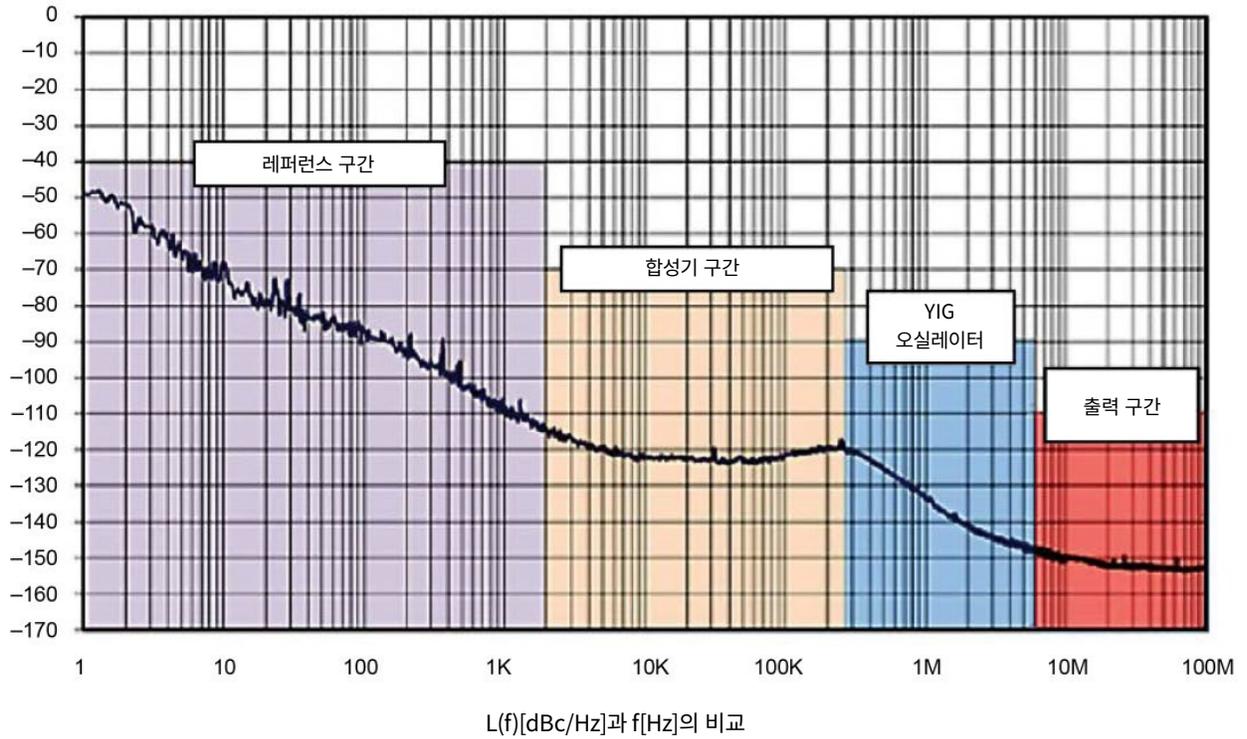


그림 2. 신호 발생기의 위상 잡음 성능에 미치는 요인을 내부 아키텍처의 주요 구간까지 추적할 수 있습니다.

신호 발생기 아키텍처

가장 많이 사용되는 두 가지 아키텍처는 단일 루프 PLL과 다중 루프 PLL(Phase locked loop)입니다. 단일 루프 방식은 비교적 복잡하지 않아서 설계와 최적화가 더욱 용이합니다. 이에 따라 가격도 저렴할 수 있지만 가격이 저렴한 만큼 상쇄되는 부분도 있습니다. 다시 말해서 단일 루프 합성기의 위상 잡음 성능은 일반적인 수준에서 그칠 때가 많습니다(하지만 인접 채널 전력비, 즉 ACPR은 매우 우수합니다).

다중 루프 설계는 더욱 복잡하기 때문에 일반적으로 가격도 높습니다. 여기에 추가되는 요소로는 미세 루프, 오프셋 또는 스텝 루프, 합산 루프가 있으며, 모두 스퍼리어스 레벨을 낮춰 위상 잡음 성능을 개선하는 데 영향을 미칩니다(그림 3). 또한 루프 조정 컨트롤에 대한 사용자 접근이 가능하다면 다중 루프 합성기의 유연성을 높여 각 응용 분야에 따라 위상 잡음 성능을 최적화할 수 있습니다.

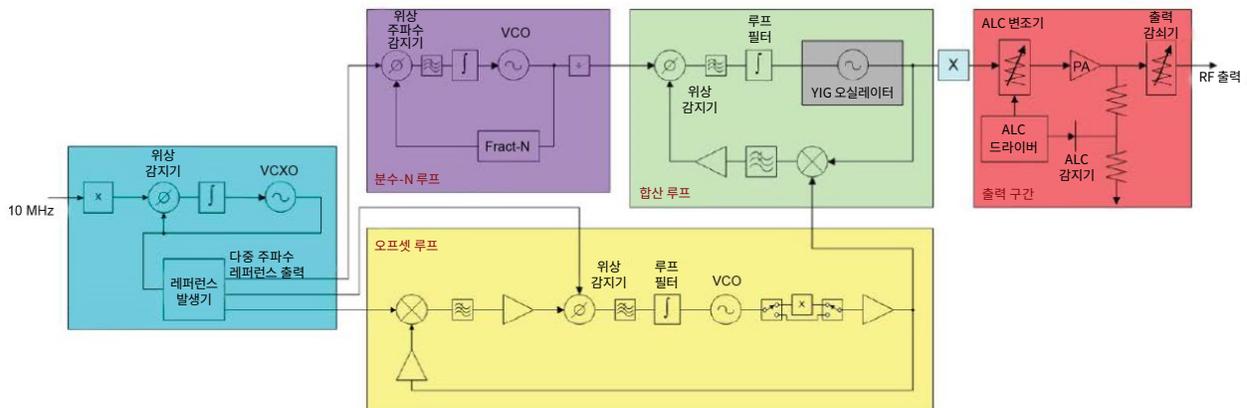


그림 3. Keysight PSG 및 MXG 신호 발생기에도 구현된 이 삼중 루프 아키텍처는 위상 잡음 성능을 크게 개선할 수 있습니다.

그림 4는 세 가지 Keysight X-시리즈 신호 발생기인 EXG, 표준 MXG, “향상된 저위상 잡음” 옵션(UNY)이 추가된 MXG의 위상 잡음을 그래프로 나타낸 것입니다. 단일 루프 EXG, 저위상 잡음 옵션이 없는 다중 루프 MXG, 그리고 저위상 잡음 옵션이 추가된 다중 루프 MXG 사이에서 분명한 성능 차이가 보입니다.

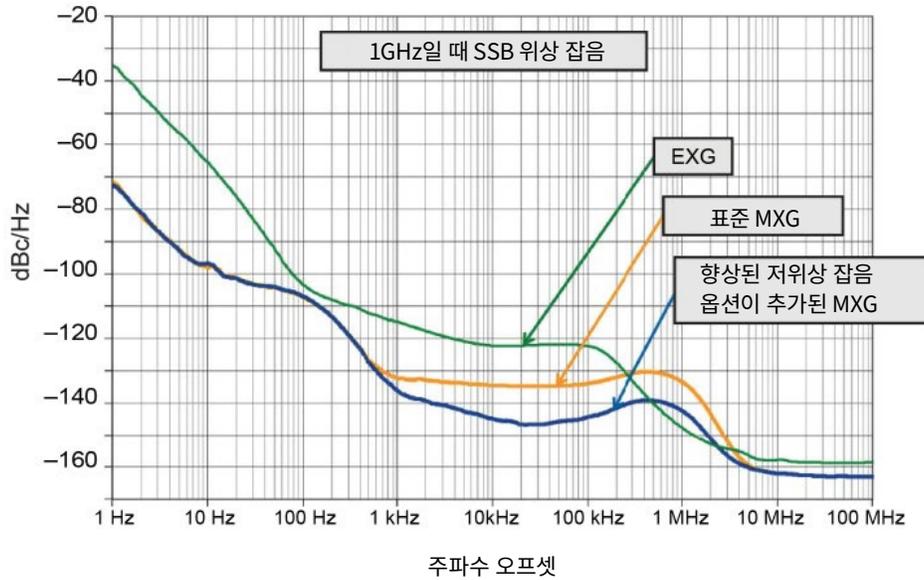


그림 4. 단일 루프 ESG는 대부분 상황에 적합한 반면 다중 루프 MXG는 높은 성능이 필요한 응용 분야에서 성능을 크게 높이는 효과가 있습니다.

어떤 아키텍처든지 좀 더 세부적으로 들어가면 오실레이터 유형에 따라 위상 잡음 성능이 달라지기도 합니다. 예를 들어 전압 제어 오실레이터(VCO)를 사용하는 신호 발생기는 합성기 구간에서 YIG 오실레이터를 사용하는 신호 발생기와 비교하여 위상 잡음 성능이 떨어집니다(그림 5). 한편 YIG 기반 신호 발생기는 VCO 기반 설계와 비교하여 스위칭 속도가 느립니다.

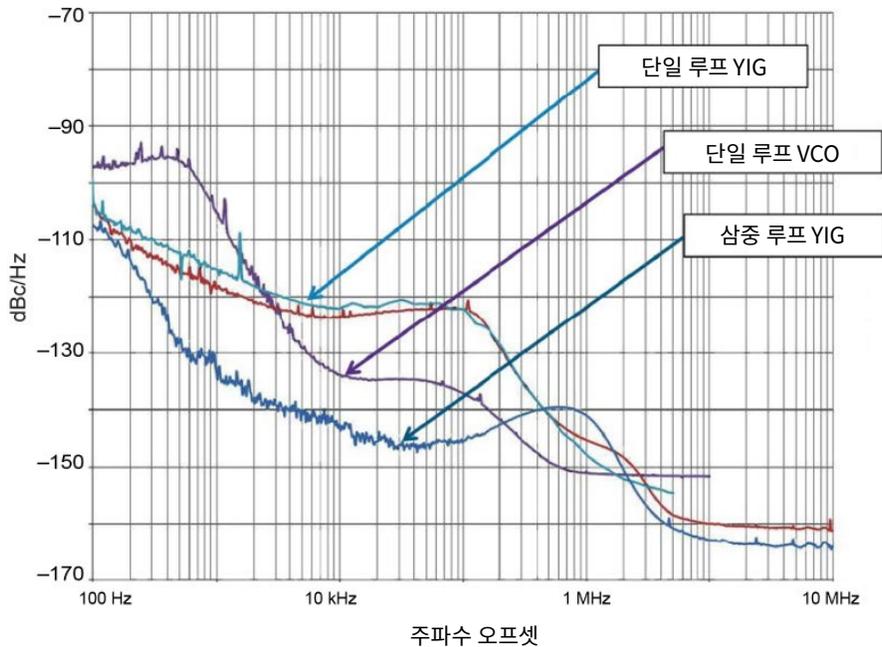


그림 5. 신호 발생기 내부에서 아키텍처와 오실레이터의 조합에 따라 전반적인 위상 잡음 크기와 오프셋 및 주파수에 따른 위상 잡음 분포도 달라집니다.

한 가지 아키텍처 요소를 더 언급하자면 내부 또는 외부의 레퍼런스 소스가 있습니다. 신호 발생기 아키텍처 내부에서는 주파수 레퍼런스의 노이즈 성능이 위상 성능에 가장 커다란 영향을 미칩니다. “설계자의 선택”이라는 시각에서 대부분 RF 및 마이크로웨이브 신호 발생기에 고품질 내부 10MHz 레퍼런스가 기본적으로 제공되며, 여기에 성능이 더욱 높은 10MHz 레퍼런스가 옵션으로 추가됩니다. 또한 “사용자의 선택”이라는 관점에서 대부분 신호 발생기에 고성능 10MHz 레퍼런스를 연결할 수 있는 외부 입력이 있습니다.

한 걸음 더 들어가보면, Keysight PSG 신호 발생기는 1GHz 외부 주파수 레퍼런스(옵션 H1S)까지 연결할 수 있는 입력을 추가한 구성도 가능합니다. 이러한 구성 모드에서는 PSG가 내부 레퍼런스 어셈블리를 우회하여 10MHz 레퍼런스(내부 또는 외부) 사용 시 추가로 발생하는 위상 잡음을 무효화합니다.

신호 발생기 기능

현재 출시된 여러 가지 RF 및 마이크로웨이브 신호 발생기들은 다양한 기능을 제공하고 있습니다. 기초 단계에서는 연속파(CW) 또는 아날로그 신호 발생기(아날로그-변조 방식 지원)와 벡터 신호 발생기(VSG, 아날로그 및 벡터 변조 방식 지원) 사이에서 우선적으로 선택을 고려합니다. 실험실 환경에서 “특별한 소스”를 원하는 사용자라면 고성능 CW 또는 아날로그 신호 발생기를 기본적으로 선택할 때가 많습니다. 하지만 더 많은 기능을 원한다면 VSG에 벡터, 즉 디지털 변조 기능(예: I/Q 변조 입력)이 추가되며, 간혹 도플러 레이더 신호 시뮬레이션에 유용한 펄스 변조 기능까지 제공하는 경우도 있습니다.

심층적인 내부 파형 메모리와 함께 기저대역 임의 파형 발생기(AWG) 기능을 기본적으로 제공하는 VSG도 있습니다. MXG 벡터 신호 발생기(N5182B) 같은 VSG는 복잡한 실제 신호를 실시간으로 시뮬레이션하는 기능도 지원합니다. 이 기능은 일반적으로 Keysight Signal Studio 같은 신호 생성 소프트웨어를 함께 사용하며, 다음과 같이 다양한 응용 분야에서 활용됩니다.

- 셀룰러 통신(5G NR, LTE/LTE-A-FDD/TDD 포함)
- GPS 및 GLONASS 가시선(Line of Sight) 위성을 최대 32개까지 배치한 GNSS
- 연속적인 PN23을 사용하거나, 비디오 재생 시간이 최대 2시간인 DVB-T/H
- AWGN 또는 1024QAM 같은 맞춤 변조
- AWGN 및 위상-노이즈 손상

다양한 디지털 기능이 신호 발생기에 새롭게 추가되면서 위상 잡음 성능에도 영향을 미칠 가능성이 높습니다. 가능한 상호작용은 세부적으로 다룰 뿐만 아니라 매우 복잡할 수 있습니다. 따라서 신호 발생기마다 자세한 사양을 찾아본 후 성능 수준을 응용 분야에서 요구하는 조건과 철저히 비교하는 것이 중요합니다.

키사이트 신호 발생기

키사이트의 X-시리즈 신호 발생기는 위상 잡음, 출력 파워, ACPR, 오류 벡터 진폭(EVM), 대역폭과 관련하여 우수한 성능을 자랑합니다. Keysight AP5001A/AP5002A 휴대용 아날로그 신호 발생기, EXG N5171B 아날로그 신호 발생기, N5172B 벡터 신호 발생기는 가성비가 뛰어난 단일 루프 합성기를 잘 보여주는 예입니다. Keysight N5181B 아날로그 신호 발생기와 N5182B 벡터 신호 발생기는 그림 3 같은 삼중 루프 PLL 아키텍처를 이용해 우수한 스퓨리어스 및 위상 잡음 성능을 제공합니다.

MXG에서 위상 잡음을 개선할 수 있는 한 가지 방법은 삼중 루프 토폴로지에 최적화된 주파수 플랜입니다. 주파수 플랜은 합성기 합산 및 오프셋 루프에서 선택할 수 있는 오실레이터와 레퍼런스 주파수, 관련된 주파수 변환(믹서 및 멀티플라이어), 필터링 등 몇 가지 속성에 대해서 다루고 있습니다.

삼중 루프 방식은 주파수 간격 최적화를 통해 비선형 아티팩트(이미지 등)를 합성기 회로의 대역폭 밖으로 보내 효과적인 필터링이 보장됩니다. MXG에서는 주파수 플랜에 따라 주파수 레퍼런스 및 변환을 처리하여 최대한 많은 비선형 아티팩트를 목표 주파수에서 멀리 떨어뜨리기 때문에 간단한 필터링만으로도 남은 스퓨리어스 신호를 크게 감소할 수 있습니다. 또한 비선형 아티팩트들이 멀어지면 내부 신호 레벨을 더욱 높게 설정할 수 있어서 광대역 노이즈가 비교적 감소하고 동적 범위도 개선됩니다.

이러한 기능들 덕분에 MXG는 필요한 컴포넌트와 리시버를 개발하여 상업용 무선 통신, 군용 통신, 레이더 같은 응용 분야에서 간섭, 데이터 처리량, 신호 품질 문제를 해결하는 데도 효과적입니다.

예를 들어 오늘날 항공우주/방위 산업의 경우 멀리 떨어진 거리에서 약한 신호를 감지하려면 향상된 레이더 성능이 필요합니다. MXG는 이러한 설계 테스트에 필요한 신호를 깨끗하고 정밀하게 제공하기 위해 1GHz에서 -146dBc/Hz의 위상 잡음 성능과 20kHz 오프셋을 구현할 뿐만 아니라 UNY 옵션으로 향상된 저위상 잡음 기능까지 제공합니다(그림 6). UNY 옵션은 LO를 대체해야 하는 신호 생성 응용 분야에, 혹은 스펙트럼이 깨끗한 신호 또는 우수한 변조 정확도를 요구하는 신호를 차단하는 데 적합합니다. 또한 MXG는 1GHz에서 -96dBc의 스퓨리어스 성능을 제공하는 점도 믹서, 아날로그-디지털 컨버터 같은 레이더 컴포넌트 개발자에게 매우 매력적입니다.

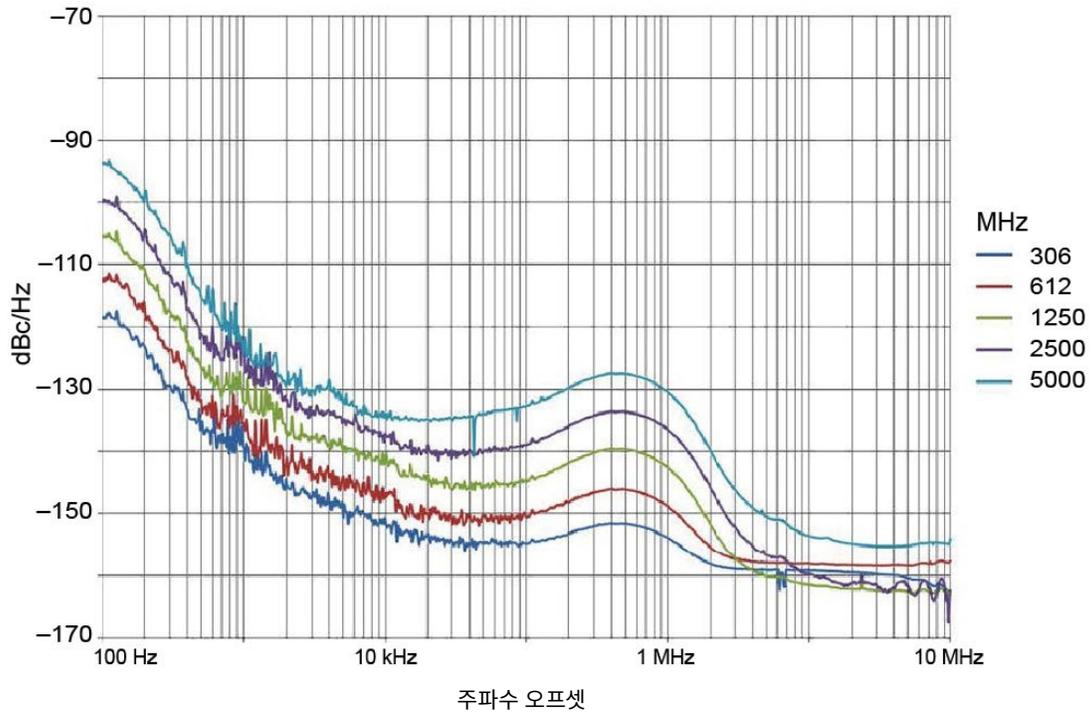


그림 6. MXG의 UNY 옵션은 노이즈가 낮은 내부 주파수 레퍼런스에 더하여 우수한 위상 고정 루프까지 추가로 제공하기 때문에 근접 및 페데스탈(pedestal) 위상 안정성을 개선할 뿐만 아니라 뛰어난 위상 잡음 성능을 구현합니다.

무선 통신 분야에서는 더욱 많은 데이터와 광범위한 커버리지를 요구하는 목소리가 커지면서 소비자 기기 및 네트워크 인프라 장비의 성능을 끌어올리고 있습니다. 802.11ac 이상을 지원하는 기기에서 더욱 빠른 데이터 스트리밍 기술을 개발하는 설계자들에게 MXG는 공장 출하 시 이퀄라이제이션된 160MHz RF 대역폭과 함께 실시간 편평도를 $\pm 0.2\text{dB}$ 까지 제공하는 유일한 솔루션입니다. 또한 MXG와 EXG는 범위를 늘리고, 간섭을 줄이고, 컴포넌트 성능을 강화하려는 설계자들을 대상으로 낮은 EVM, 최대 +26dBm에 이르는 출력 파워, 최대 -73dBc에 이르는 ACPR(W-CDMA 테스트 모델 1, 64 DPCH)을 제공합니다.

위상 잡음 성능 최적화

신호 발생기의 위상 잡음 성능을 최적화하려면 여러 가지 방법들이 있습니다. 앞서서도 언급했지만 계측기 설계자들이 선택하는 아키텍처도 여기에 해당합니다. 하지만 이렇게 선택되는 아키텍처들이 어떤 영향을 미치는지 알아야 각 응용 분야에 적합한 신호 발생기를 선택할 수 있습니다. 그 밖의 방법들, 즉 운영 기법, 계측기 설정, 외부 레퍼런스, 테스트 시스템 구성은 설계자의 몫입니다.

또 한 가지 최적화 수단으로 사용자 접근이 가능한 조정 기능을 신호 발생기에 탑재하는 방법도 있습니다. 예를 들어 현재 UNY(앞에서 언급함) 또는 UNIX 옵션인 저위상 잡음 기능이 탑재된 키사이트 계측기에는 레퍼런스-오실레이터 대역폭(루프 대역폭으로도 불림)을 조정할 수 있는 기능도 포함되어 있습니다. 이 기능을 사용하면 내부 또는 외부 10MHz 레퍼런스에 대해 25, 55, 125, 300, 650Hz 스텝으로 고정하여 대역폭을 조정할 수 있습니다. 일반적으로 대역폭이 넓을수록 근접 위상 잡음이 낮습니다. 특히 오프셋이 100Hz 미만일 때 더욱 그렇습니다.

특정 응용 분야에서 이러한 조정 기능을 사용해 위상 잡음 성능을 최적화할 때는 다양한 캐리어 오프셋에 따라 외부 또는 내부 주파수 레퍼런스와 합성기 하드웨어의 안정성과 위상 잡음을 비교하여 평가하는 기준은 고객의 신뢰도입니다. 주파수 오프셋이 약 1kHz보다 낮을 때는 내부 또는 외부 레퍼런스가 안정성과 위상 잡음을 결정하는 반면 오프셋이 1kHz보다 높을 때는 합성기 하드웨어가 안정성과 위상 잡음을 결정합니다.

UNY 옵션에도 통합 주파수 분할기가 포함되어 있어서 250MHz보다 낮은 출력 캐리어 주파수를 생성할 때 분할 기법을 사용할 수 있습니다. 그러면 위상 잡음이 이러한 모든 주파수 오프셋에서 20dB/decade 또는 6dB/octave의 계수로 감소합니다. 하지만 최대 FM 및 PM 편차는 분할기 값과 동일한 계수로 줄어듭니다.

분할기를 사용할 수 없게 되면 신호 발생기가 표준 모드로 돌아와 헤테로다이닝(heterodyning) 기법으로 저주파수를 생성합니다. 헤테로다이닝 믹싱은 주파수를 정밀하게 조정하는 동시에 FM 또는 PM을 사용해 전체 대역폭을 유지합니다. 다만 낮은 주파수로 믹싱할 경우 위상 잡음은 감소하지 않습니다.

정밀한 성능 하향 조정

MXG의 위상 잡음을 매우 낮은 상태로 계속 유지할 필요는 없기 때문에 위상 잡음 주입이라고 불리는 프로세스에서 필요에 따라 선택적으로 정밀하게 성능을 낮출 수 있습니다. 신호 발생기는 복잡하게 변조된 RF 신호를 생성하거나, 설계 프로세스에서 다양한 오실레이터 또는 합성기를 대신하여 사용될 때가 많습니다.

실제 설계 과정에서 주파수 안정성을 개선하려면 비용, 전력, 공간 소비가 만만치 않습니다. 결과적으로 엔지니어들은 적당한 성능을 갖춘 어셈블리를 설계하는 데 초점을 맞추게 됩니다. 이때 테스트 소스의 위상 잡음을 정밀하게 조정할 수 있다면 더욱 빠르고 쉽게 적정 성능에 도달할 수 있습니다.

MXG에서는 실시간 신호 처리 ASIC가 CW 및 변조 신호에 따라 위상 잡음 레벨을 조정합니다. 위상 잡음을 가파른 근접 노이즈 기울기, 편평한 합성기 페데스탈 노이즈 기울기, 완만한 와이드-오프셋 노이즈 기울기를 포함해 다양한 오프셋에 따라 여러 가지 레벨로 조정하는 기능은 가히 혁신이라고 할 수 있습니다.

이렇게 정밀한 조정 기능은 오실레이터 및 합성기의 성능이 지나치게 높거나 낮아지지 않도록 방지하는 데 효과적입니다. 지나치게 높은 성능은 설계 비용 상승과 긴 설계 주기로 이어져 제품 경쟁력을 잃는 원인이 될 수 있습니다. 반대로 부족한 성능은 재설계와 제품 지연, 그리고 엔지니어들의 불편을 초래할 수 있습니다.

OFDM 신호가 좋은 예입니다. 이 신호는 서브 캐리어 간격이 매우 좁기 때문에 서브 캐리어의 직교성이 줄어들고 변조 오차가 커지는 등 위상 잡음에 민감하게 반응합니다. 결과적으로 OFDM 트랜스미터와 리시버는 우수한 위상 잡음 성능이 필요합니다. 제품 개발 과정에서 MXG의 주입 기능을 사용하면 캐리어 오프셋에 따라 위상 잡음을 선택적으로 추가할 수 있기 때문에 합성기를 비롯한 OFDM 트랜스미터를 대체하는 데 손색이 없을 뿐만 아니라 실제 트랜스미터 성능과 비교하여 리시버 오차를 확실하게 평가하는 데도 효과적입니다. 따라서 설계 비용과 성능을 빠르게, 안정적으로 최적화할 수 있습니다.

결론

위상 잡음 성능은 까다로운 응용 분야에서 신호 발생기의 적합성을 평가하는 주요 척도로 사용되는 경우가 많습니다. 위상 잡음 성능을 최적화할 때는 내부 아키텍처, 오실레이터 유형, 내부/외부 주파수 레퍼런스, 추가로 제공되는 기능의 효과 등 다양한 요인들이 작용합니다. 또한 스위칭 속도, 근접 또는 원거리 오프셋 최적화, 비용 등을 통해 이러한 요인들을 서로 상쇄할 수도 있습니다.

결과적으로 다양한 경로로 기기 동작을 이해할 수 있는 것처럼 위상 잡음 성능을 최적화하는 방법도 많습니다. 이러한 개념은 키사이트 신호 발생기를 뒷받침하고 있는 주요 아이디어 중 하나입니다. 키사이트 신호 발생기는 고객 기기의 한계 내에서 혹은 한계를 넘어 테스트할 수 있도록 단순한 신호부터 복잡한 신호까지, 깨끗한 신호부터 손상된 신호까지 다양한 신호 생성을 목적으로 설계되었습니다. 또한 최적화를 통해 고성능 설계를 정밀하게 테스트할 수 있도록 다양한 기능을 옵션으로 제공합니다.

관련 정보

데이터 시트: VXG X-시리즈 신호 발생기, M9484C 벡터, publication 3122-1445EN

데이터 시트: MXG X-시리즈 신호 발생기, N5186A 벡터, publication 3123-1690EN

데이터 시트: MXG X-시리즈 신호 발생기, N5181B 아날로그 및 N5182B 벡터, publication 5991-0038EN

데이터 시트: EXG X-시리즈 신호 발생기, N5171B 아날로그 및 N5172B 벡터, publication 5991-0039EN

데이터 시트: CXG X-시리즈 신호 발생기, N5166B 벡터, publication 5992-3959EN

데이터 시트: 컴팩트 신호 발생기, AP5001A 아날로그, publication 3124-1566EN

데이터 시트: 컴팩트 신호 발생기, AP5002A 아날로그, publication 3124-1576EN

데이터 시트: E8257D PSG 마이크로웨이브 아날로그 신호 발생기, publication 5989-0698EN

데이터 시트: E8267D PSG 벡터 신호 발생기, publication 5989-0697EN

데이터 시트: E8663D PSG RF 아날로그 신호 발생기, publication 5989-4136EN

추가 리소스

[Keysight UXG X-시리즈 애자일 신호 발생기](#)

[Keysight VXG 벡터 신호 발생기](#)

[Keysight X-시리즈 MXG/EXG/CXG 벡터 신호 발생기](#)

[Keysight 컴팩트 신호 발생기](#)

키사이트는 혁신 기업들이 설계, 에뮬레이션 및 테스트 과제를 빠르게 해결해 엔지니어링의 한계를 극복하여 최고의 제품 경험을 만들어낼 수 있도록 지원하고 있습니다. 지금 www.keysight.com에서 혁신 여정을 시작하십시오.



이 정보는 사전 통지 없이 변경될 수 있습니다. © 키사이트테크놀로지스, 2017 - 2024, 미국에서 발행, 2024년 8월 27일, 5991-1744EN