유연한 신호 발생기로 IQ 변조기 특성 부여

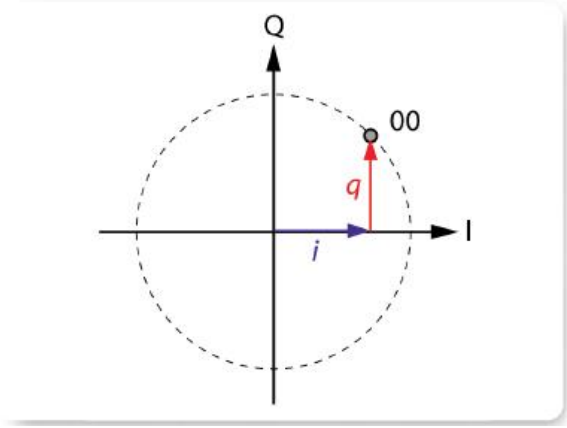
IQ 변조기는 현대 통신에서 핵심적인 역할을 한다. 전송 대역폭 및 신호 품질에 대한 수요가 점점 더 커지면서 IQ 변조기 공급업체들은 이러한 요건을 충족하기 위해 새로운 디자인을 연구하고 있다. 디자인 단계에서는 여러 가지 핵심 파라미터를 기준으로 새로운 장치의 성능을 측정해야만 한다.

본 애플리케이션 노트에서는 설계 엔지니어들이 IQ 변조기에 정기적으로 실시하는 몇 가지 중요한 측정을 설명한다. 현대 임의/파형 발생기가 어떻게 신호를 제공하여 고성능 IQ 변조기의 특징을 철저하게 규명함으로써 과거에 사용된 방법 대비 유연성을 개선하고 시간도 상당히 단축하는지 설명한다.

Tektronix®
Enabling Innovation

모바일 통신에서 IQ 변조기 역할

현대 모바일 통신에서는 RF 송신기에서 디지털 전송 데이터를 혼합하는데 직교진폭변조(QAM: Quadrature Amplitude Modulation)를 이용한다. QAM 에서 모든 논리적 상태는 특정 진폭 및 위상 값에 할당되어 있다. QAM 의 예 중 하나가 직교위상편이변조 (QPSK: Quadrature Phase-shift-Kyeing)인데, 이는 그림 1 에 나타난 대로, 4 개의 가능한 심벌 비트 페어를 ±45° 및 ±135° 사인파의 위상 편이로 암호화 한다. QAM 의 순위가 높으면 심벌 당 더 많은 수의 비트를 전송할 수 있다. 가장 일반적인 형태는 16-QAM, 64-QAM, 128QAM 및 256QAM 이다.



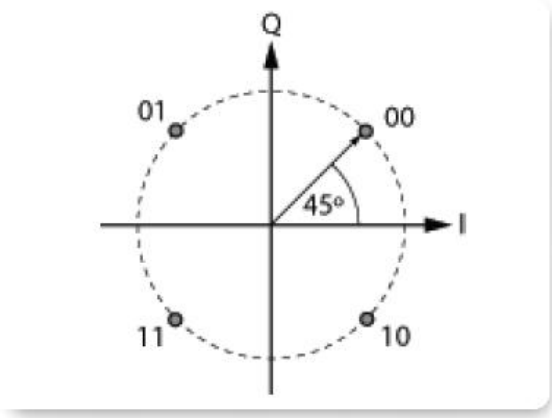
▶ 그림 1. Constellation diagram for QPSK

Logic state	Amplitude	Phase
00	1	45°
01	1	135°
10	1	315°
11	1	225°

▶ 표 1. QPSK 의 진폭 및 위상 값

특정 진폭 및 위상의 변조 (베이스밴드) 신호를 효율적으로 생성하는 방법은 신호 벡터를 위상 0°의 위상 정립형(in-phase) “I” 컴포넌트와 위상 90°의 직교 “Q” 컴포넌트로 나누는 것이다. 이렇게 분리하게 되면, 작업이 2 개의 사인파 신호 진폭을 변조하는 것으로 단순화된다. 이를 설명하는 것이 그림 2 로 예로 든 QPSK 의 4 개의 논리 상태에 해당하는 I 와 Q 진폭을 보여준다.

그림 2. I 와 Q 벡터



▶ 그림 2. I and Q vectors

Logic state	I amplitude	Q amplitude
00	$+\sqrt{2}$	$+\sqrt{2}$
01	$-\sqrt{2}$	$+\sqrt{2}$
10	$+\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$
11	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$

▶ 표 2. QPSK 의 I 및 Q 진폭

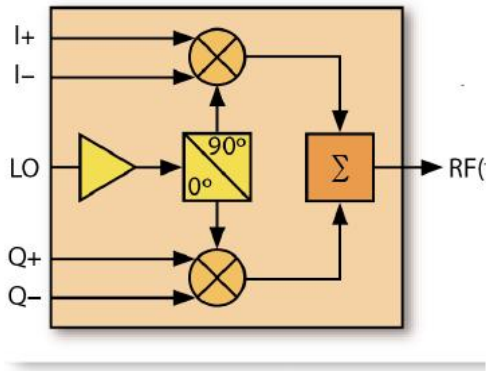
다음 단계로 베이스밴드 신호는 IQ 변조기가 있는 RF 송신기로 변조되거나 업 컨버트 (up convert)된다. 여러 반도체 제조업체들이 직접 회로 형태로 이러한 변조기를 시장해 출시해 놓고 있다. 주로 변조기는 각각 RF 송신기나 LO(국부발진기:local oscillator) 주파수에서 나온 2 개의 멀티플라이어(multiplier)로 구성되는데, 두 개중 하나는 나머지 하나에 90° 방향으로 위치해 있다. 이 멀티플라이어의 결과는 합쳐져서 변조 RF 벡터 신호가 된다.

IQ 변조기 디자이너들은 변조기가 특정 성능 기준, 예를 들어 변조 대역폭, IQ 진폭 균형, 직교 오류, 혼변조 왜곡, LOF(local oscillator feedthrough) 등의 기준을 맞추는데 관심을 둔다.

적절한 신호 발생기 선택

디자인 단계에서 IQ 변조기의 특징을 부여하기 위해서는 이중 채널 신호 발생기가 I 와 Q 인풋 신호를 제공해야 한다. 이중 채널 신호 발생기는 사용자가 높은 해상도로 I 와 Q 신호의 진폭과 위상을 직접 조절할 수 있는 것이어야 한다. 통합 임의 파형 발생기가 내장된 전용 RF 발생기가 여러 가지 시장에 출시되어 있기는 하지만, 모두 신호 파라미터 조절이 자유롭지 않고 상당히 제한적이다. 대부분의 경우 파라미터를 변경하기 위해서는 소프트웨어 패키지를 통해 벡터 데이터를 변경해야 하며, 이어 해당 벡터를 신호 발생기로 리로딩해야 한다. 따라서 점진적으로 조절하는 작업은 지루하고 시간이 많이 걸리는 작업이 된다.

기존 발생기 기능을 제한하는 또 다른 요소는 변조 대역폭이다. 벡터 신호 발생기에 통합된 IQ 발생기는 일반적으로 최대 40 또는 100 MHz 의 대역폭을 제공하는데 이는 CDMA2000, GSM WiMAX 등의 현대 광대역 기준에 맞는 기기를 테스트하는 데는 충분하지 않다. 반대로 현대의 일반적인 용도의 AFG(arbitrary/function generators)는 최대 240MHz 대역폭을 제공하며, 높은 해상도로 모든 신호 파라미터를 직접 조절할 수 있다.

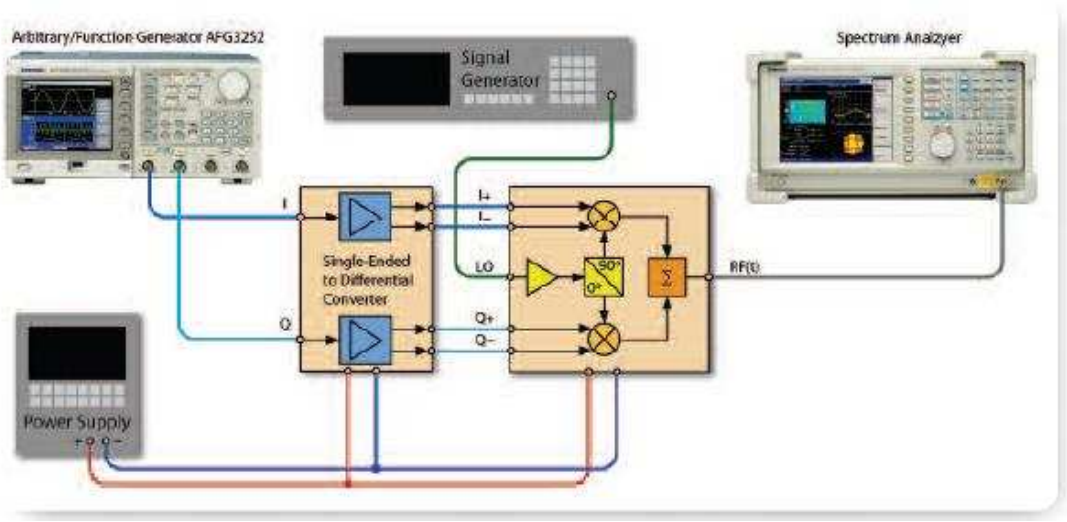


▶ 그림 3. IQ 변조기 블록 다이어그램

IQ 변조기 인풋에는 고속 디지털-아날로그 변환기(DAC)를 통해 일반적으로 현대 통신 시스템에 제공되는 차동 IQ 신호가 필요하다. 신호 발생기가 싱글 엔디드 (single ended) 아웃풋만 가지고 있다면, 차동 직교를 만들기 위해서는 싱글-차동 변환기(single to differential converter) 회로가 필요하다.

IQ 변조기 일반적인 측정

새로운 IQ 변조기 회로 디자인은 생산 라인에 출시되기 전에 타겟 스펙에 맞춰 철저하게 평가된다. 또한, 데이터시트에 표시되는 모든 스펙과 관련하여 특성부여 작업을 한다. 다음은 IQ 변조기 디자이너들이 새로운 디자인 특성부여 작업 시 실시하는 대역폭, 송신기 피드-쓰루(feed-through), 사이드밴드 억압, 진폭/위상 미스매치, 혼변조 성능 등의 일반적인 측정을 설명한다. 이러한 파라미터들은 일반적으로 LO 주파수 및 진폭의 기능, 베이스밴드 주파수 및 진폭, 온도 등으로 측정된다.



▶ 그림 4. IQ 변조기 특성부여 측정 셋업

위에서 설명한 모든 측정 테스트 셋업이 그림 4 에 제시되어 있다. 이 애플리케이션에서 I 및 Q 신호는 이중 싱글 엔디드 신호 아웃풋과 최대 240 MHz 의 사인파 주파수 범위의 텍트로닉스 AFG3252 임의/파형 발생기에 의해 생성된다. 두 가지 채널은 완전히 독립적인 신호를 발생하도록 프로그램화 할 수 있다. 이 애플리케이션의 경우 두 채널은 동일한 주파수, 조절 가능한 진폭 및 위상 관계를 가진 동기 신호를 만들도록 프로그램화 되었다. 사인파 및 여러 가지 기타 표준 파형 외에도 본 장치는 혼변조 왜곡 측정에서 2 개 톤의 파형을 만들 수 있다. 여러 가지 측정을 설명하는 아래 섹션에서 AFG3252 의 구체적인 셋팅을 함께 논의하게 될 것이다.

AFG3252 의 채널 1 과 2 는 각각 I 와 Q 신호를 발생하며, IQ 진폭기에 신호를 전달하는 싱글 엔디드 - 차동 변환기 회로의 상응하는 인풋에 연결되어 있다. RF 신호 발생기는 IQ 변조기의 LO(국부발진기) 주파수를 제공한다. IQ 변조기의 아웃풋은 RF 스펙트럼 분석기인 RF 스펙트럼 분석기는 주파수 대역폭이 8GHz 이며 과도 현상의 RF 신호를 기반으로 캡쳐하는 기능을 가진 독점적인 주파수 마스크 트리거 기능을 가지고 있다.

변조 대역폭 측정

변조 대역폭 측정 테스트는 IQ 변조기가 지원하는 최대 변조 주파수를 결정한다. IQ 변조기 데이터시트는 원하는 사이드밴드의 파워 레벨이 정해진 레벨에 의해 줄어드는 주파수인 “0.1dB”와 “1dB” 포인트를 종종 제공한다.

이 테스트 동안, AFG3252 임의/파형 발생기는 싱글 엔디드에서 차동으로 변환된 후에 테스트 대상 IQ 변조기의 인풋 역할을 하게 될 I 와 Q 신호 인풋을 생성한다. IQ 단일 주파수 $f_{변조(modulation)}$는 1 에서 240MHz 로 다양한 반면, IQ 변조기 아웃풋 파워 레벨은 원하는 사이드밴드 주파수 $f_{송신기(carrier)}+f_{변조(modulation)}$에서 스펙트럼 분석기 상에서 측정된다.

이 테스트 수행을 위해 AFG3252 를 프로그래밍하는 것은 간단 명료한 작업이다. 채널 1 과 2 는 동일한 주파수와 진폭 및 채널 1 과 2 사이에서 계속해서 90˚로 위상 오프셋을 하는 표준 사인파를 발생하도록 프로그램화 된다. 모든 파라미터 셋팅은 표 3 에 요약되어있다. 이 셋팅은 채널 1 과 2 의 주파수 및 진폭 셋팅을 결합하며, 두 채널간에 지속적으로 90˚ 로 위상 오프셋 하도록 프로그램을 만든다.

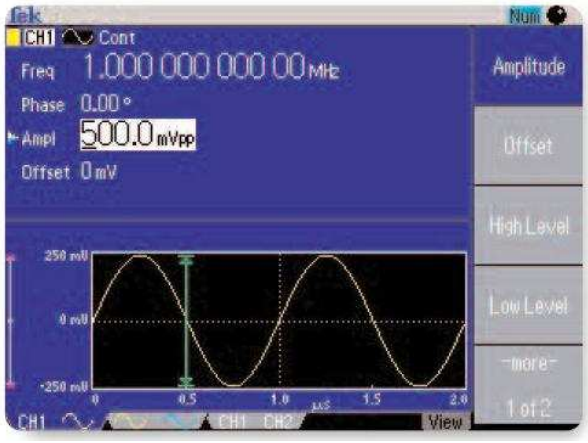
Parameters	Setting
Channels 1 / 2 - Run Mode	Continuous
Channels 1 / 2 - Function	Sine
Frequency: Frequency CH1=CH2	On
Amplitude: Level CH1=CH2	On
Amplitude	0.5 Vpp
Frequency	1 MHz
Channel 2: Phase	90º

▶ 표 3. AFG3252 변조 대역폭 측정 셋팅

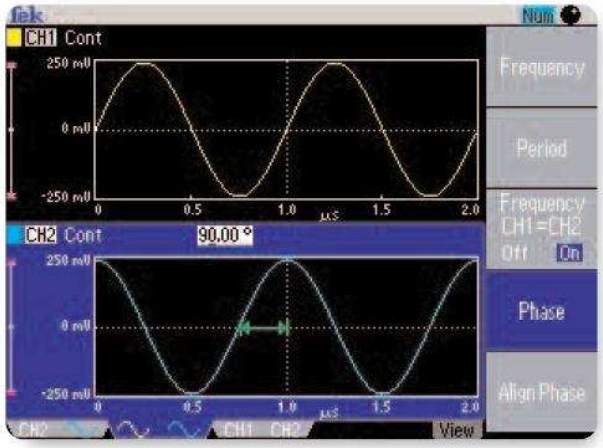
AFG3252 를 프로그램 하는 동안, 큰 디스플레이에서는 이용 가능한 기능과 관련된 셋팅이 구성된 파형의 그래프와 함께 나타난다. 이는 한 눈에 모든 셋팅이 정확하게 입력되었다는 자신감을 심어준다. (그림 5)

AFG3252 의 두 채널이 모두 프로그램화 된 후에 "보기(View)" 버튼을 눌러서 이중 채널 디스플레이를 선택해라. 그러면, 이제 선택된 채널 1 과 2 의 진폭, 주파수와 위상 관계가 그래프로 디스플레이 된다. (그림 6)

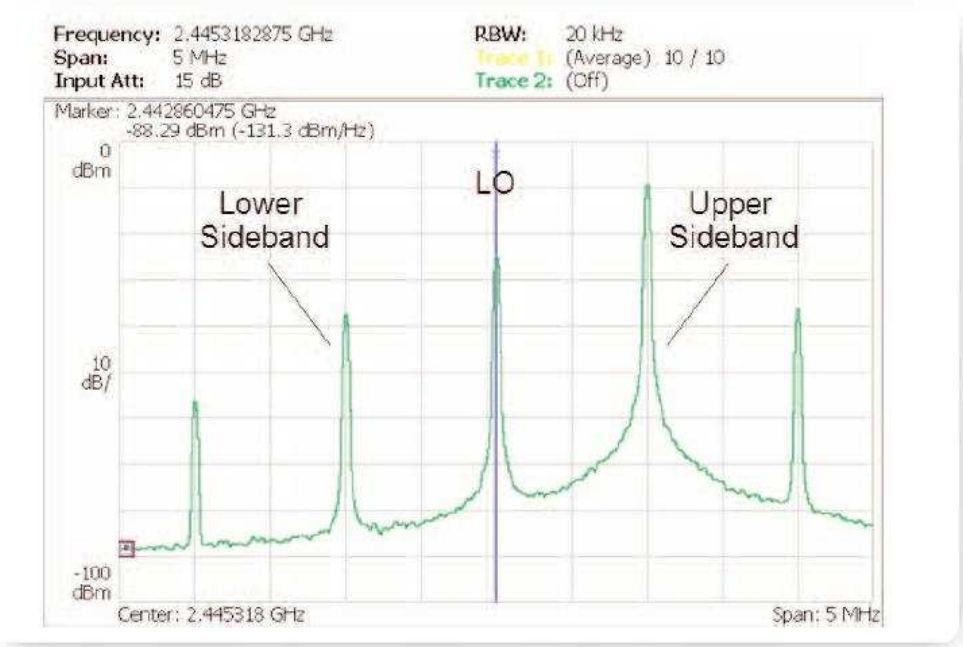
그림 4 에 맞춰 임의/파형 발생기, 국부 발진기, IQ 변조기, 스펙트럼 분석기 간의 연결이 모두 만들어지고 나면, AFG3252 의 신호 아웃풋을 켜라.



▶ 그림 5. 대역폭 측정을 위한 채널 1 셋팅을 보여주는 AFG3252 디스플레이



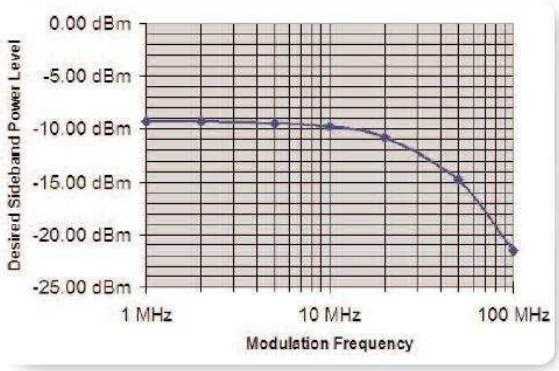
▶ 그림 6. AFG 3252 의 IQ 변조기 대역폭 측정 디스플레이



▶ 그림 7. LO 주파수 상/하측 사이드밴드를 보여주는 스펙트럼 분석기 디스플레이

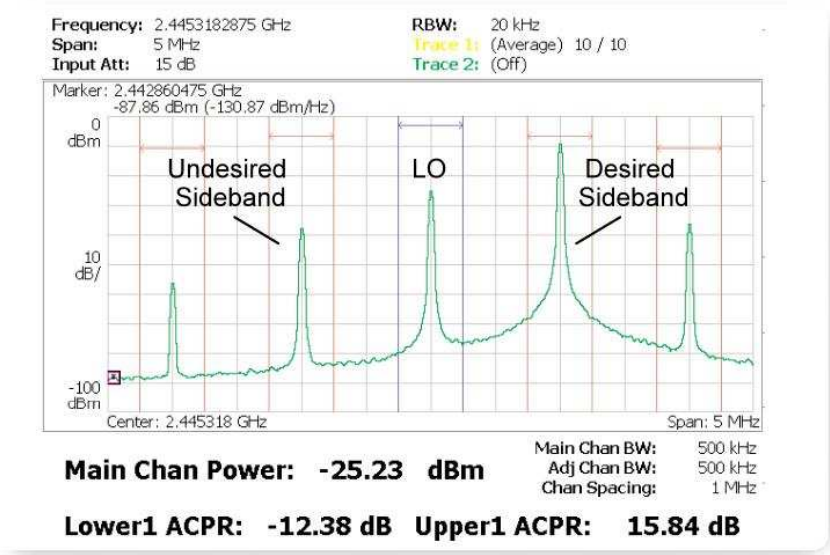
이제 LO 주파수에 스펙트럼 분석기 디스플레이를 맞춘다. 다음으로, 원하는 사이드밴드를 스크린의 중앙으로 이동하여, 파워 레벨을 읽는다. 여기 나온 예시에는 LO 주파수가 2.44GHz 에, 상측 사이드밴드는 원하는 위치에 셋팅되어 있다. 그리고나서, 원하는 사이드밴드의 파워 레벨을 측정하고 기록하면서 IQ 신호의 주파수를 점진적으로 올린다. 스펙트럼을 재빨리 통과하기 위해서 주파수를 대수 즉 1,2,5,10,20…단계로 올린다.

AFG3252 가 DDS(직접 디지털 합성: Direct Digital Synthesis)를 기반으로 하고 있기 때문에, 주파수를 올릴 때마다 채널 1 과 2 의 신호 위상을 재조정해야 한다. 스크린 메뉴의 "주파수(Frequency)"버튼을 누르고, "위상조정(AlignPhase)"을 선택하면 신호 위상의 재조정이 가능하다. 랩뷰(LabView)나 내셔널 인스트루먼츠 시그널 익스프레스(National Instruments Signal Express)와 같은 장비 컨트롤 소프트웨어를 주파수를 올릴 때마다 신호 발생기는 위상 PC 와 함께 사용할 수 있다면, 한 단계씩 조정을 하면서 원하는 주파수 밴드에서 자동적으로 한 단계씩 올라간다.



▶ 그림 8. IQ 변조기 대역폭 측정 결과

측정 작업 결과는 위 그림 8 에 제시되어있다. 그림에서는 약 1.5 MHz 에서 0.1dB 대역폭과 약 15MHz 에서 1 dB 대역폭을 보여준다.



▶ 그림 9. IQ 변조기의 LO 누출 및 Undesired 사이드밴드 누출

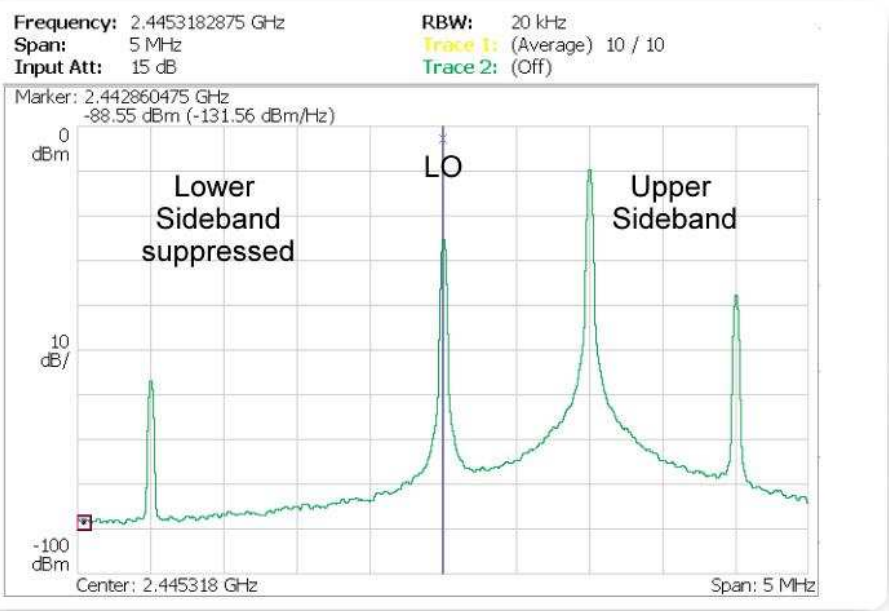
송신기 피드쓰루 및 사이드밴드 억압

양질의 신호를 얻기 위해서, 이상적인 IQ 변조기는 위상정립(in-phase) 상태와 직교 지점(quadrature arms)에서 완벽하게 대칭을 이루어야 한다. 개발자들이 대칭 IQ 변조기 회로를 만들고자 노력은 하지만, 제조 과정의 차이로 인해 같은 형판(die)에서도 위상정립(in-phase)과 직교 경로(path)간의 약간의 차이가 발생할 수 있다. 이러한 불균형으로 송신기 톤과 원하지 않는 사이드밴드가 아웃풋 신호에 들어가 RF 스펙트럼의 질을 떨어뜨린다. 만약 이러한 누출의 규모가 크다면, 수신기의 감도를 약화시키고, 복조된 IQ 신호를 적절히 해독하는 기능에 영향을 줄 수도 있다.

IQ 변조기를 사용하는 엔지니어들에게 필요한 데이터 포인트를 제공하기 위해서 IQ 변조기 디자이너들은 벤치의 송신기 피드쓰루와 사이드밴드 억제를 측정하여 데이터시트에 구체적으로 기록할 필요가 있다. 측정 장비와 IQ 변조기를 그림 4 에서 설명한 것처럼 연결하고, 표 3 의 파라미터로 AFG3252 를 구성하라. 그런 다음, LO 주파수와 원하는 사이드밴드의 파워 레벨과 관련된 원하지 않는 사이드밴드의 주파수 파워 레벨을 측정하라. 그림 9 에 나타난 것처럼, 고려 대상의 IQ 변조기는 변조 주파수 1 MHz 및 인풋 전압 500mVpp 의 원하는 사이드밴드에서 송신기 피드쑤르는 -25.2 dBm 이고, 사이드밴드 억제는 -28.2 dBc 이다.

IQ 진폭 불균형 및 직교 오류 측정

앞 섹션에서 설명한 것처럼 IQ 변조기의 위상정립(in-phase)상태 및 직교 지점(quadrature arms)의 진폭 불균형과 위상 오류는 송신기 피드쓰루와 원하지 않는 사이드밴드 누출을 발생시킨다. 변조기 불균형, 사이드밴드 억압 및 LO 누출의 관계는 수학적으로 계산될 수 있다. LO 누출은 차동 베이스밴드 인풋과 직교 오류와는 관계없는 것 간의 미세한 DC 오프셋으로 발생한다. 원하지 않는 사이드밴드 누출은 진폭 불균형 및 직교 오류 두 가지에 의해 발생한다.



▶그림 10. 사이드밴드 억압 무효화

전송 시스템을 구축하기 위해 IQ 변조기를 사용하는 엔지니어들은 이러한 파라미터를 이해해야 한다. 이와 같은 이해가 바탕이 되어야지 원하는 애플리케이션 용도에 따라 장치의 적합성을 결정할 수 있으며, 진폭과 위상 오류를 외부적으로 보충을 해줄 필요가 있는 지 결정할 수가 있다.

진폭 불균형과 직교 오류를 측정하기 위해서, I 와 Q 채널 간의 위상 및 진폭 오프셋을 조정함으로써 사이드밴드 억압을 최적화 할 수 있다는 사실을 활용할 수 있다. 파라미터가 단 하나만 조정되었을 때, 사이드밴드 억압은 점근적으로 한도에 다다른다. 그렇기 때문에, 이득(gain)과 위상은 원하지 않는 사이드밴드 누출이 최소화 될 때까지 몇 단계를 거쳐 연속적으로 조절되어야 한다. 그렇게 하면, Q 채널 조정의 반대 값은 해당 변조기에 내재한 미스매치를 반영한다.

측정 셋업은 그림 4 에 나타난 것과 같다. 임의/파형 발생기는 IQ 변조기에 신호 인풋을 제공한다. 처음에는 대역폭 측정을 위해 구성되었다.(그림 3)
차동 베이스밴드 인풋의 DS 오프셋을 결정하기 위해, 싱글 엔디드- 차동 컨버터 회로 상의 DC 바이어스(bias)를 LO 주파수의 IQ 변조기 아웃풋 파워가 최소화 될 때까지 조정한다.

IQ 변조기의 진폭 이득과 위상 오류를 파악하기 위해, AFG3252 채널 1(I 신호)의 진폭과 위상을 일정하게 해놓고, 사이트밴드 파워 레벨이 최소화 될 때까지 채널 2(Q 신호)의 진폭 및 위상을 반복적으로 조정하면서 스펙트럼 분석기 상의 원하지 않는 사이드밴드 파워를 관찰하라. 파라미터 조정을 하는데 신호 벡터를 리로딩해야 하는 IQ 발생기가 내장된 벡터 신호 발생기와는 달리, AFG3252 는 진폭 해상도 0.1mV 와 위상 해상도 0.01 로 프론트 패널에 있는 회전 손잡이를 통해 위상과 진폭을 직접 조절할 수 있다.

밝혀진 바와 같이 여기서 실례로 이용한 IQ 변조기의 사이드밴드는 채널 2 의 진폭을 500mV 에서 461.8mV 로, 위상을 90°에서 89.79°로 줄이면 억압 할 수 있다. 따라서, IQ 진폭 불균형은 0.0764 또는 0.35dB 이며, 직교 오류는 0.21°라고 할 수 있다.

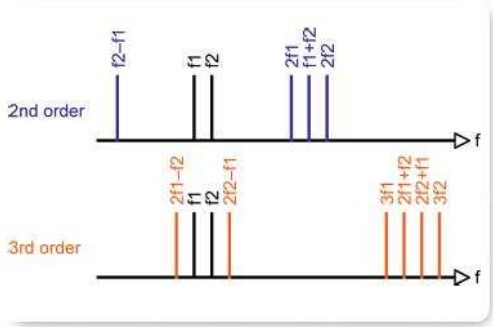
혼변조 왜곡

증폭기, 변조기 또는 기타 전기적 장치에서 2 가지 이상의 톤이 상호작용 할 때는 다수의 혼변조 부산물을 만들어 낸다. 이 효과를 혼변조 왜곡(IMD: Intermodulation Distortion) 이라고 하며, 장치의 비 선형에 의해 만들어 진다. RF 통신에서 혼변조 왜곡은 신호 스펙트럼을 넓히고, 전송 신호와 간섭을 일으키며, 무선 송수신기의 다이내믹 범위를 줄이는 등 문제를 일으킨다.

혼변조 결과물의 주파수는 원래 톤의 정수 배의 합과 차이다. 수학적으로는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$m*f_1 \pm n*f_2$ m, n 은 정수이다

m+n 의 합은 혼변조 결과의 차수라고 한다. 2 번째와 3 번째 차수 혼변조 결과물이 중요하다. 2 번째 차수 혼변조 결과물 f_1+f_2, $2*f_1$, $2*f_2$ 그리고 f_1-f_2 은 원하는 신호로부터 충분히 멀리 떨어져 있어서 필터를 사용해서 쉽게 제거 할 수 있다. 3 번째 차수 혼변조 결과물 $2f_1-f_2$ 와 $2*f_2-f_1$ 은 원하는 신호 가까이에 있는 인 밴드(in-band)에 있어 필터로 제거하기 어렵기 때문에 종종 문제를 일으킨다.



▶ 그림 11. 2 번째와 3 번째 혼변조 결과물의 배포

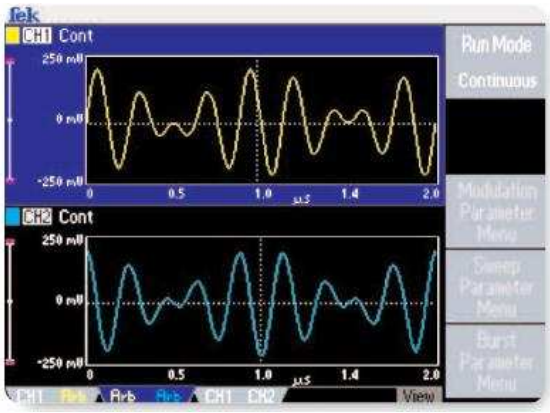
기타 3 번째 차수와 높은 차수의 부산물은 낮은 레벨에서 더 넓은 간격을 두고 위치하고 있기 때문에 중요도가 떨어진다.

IQ 변조기 제조업자들은 일반적으로 원하는 신호의 톤 레벨 마다 관련된 2 번째 3 번째 차수 왜곡을 구체적으로 밝힌다. 이러한 파라미터를 측정하기 위해서 그림 4 에 설명된 셋업을 다시 이용한다. 앞에서 실시한 측정과는 달리, 신호 발생기는 이제 각 채널에서 채널 간의 90 도 오프셋으로 상이한 주파수 2 톤을 만들어야 한다. 그렇게 하기 위해 우리는 AGF3252 의 임의 파형 기능을 이용한다.

13 페이지의 아브익스프레스(ArbExpress)®를 이용한 이중 톤 파형 생성(Creating Dual Tone Waveforms with ArbExpress®)에서 설명한 것처럼 이중 톤 임의 파형은 PC 소프트웨어 패키지 ArbExpress®의 파형 수학 기능을 통해 편리하게 정의 할 수 있다. 본 예시에서 AFG3252 는 3.5MHz 와 4.5MHz 에서 이중 톤을 발생하도록 프로그램화 되었다. 생성된 후에 파형 파일은 USB 메모리 장치를 이용해서 임의/파형 발생기로 전송할 수 있다. 파형 파일이 들어 있는 USB 메모리를 AFG3252 의 프론트 패널 USB 포트에 꽂는다. 그리고, "편집(Edit)" 버튼을 누르고, 스크린 메뉴에서 "…에서 읽기(Read from…)"를 선택한 다음 "USB"를 선택하고 스크린의 리스트에서 채널 1 파일을 선택한다. 다음으로 스크린 메뉴에서 "더(More)"를 선택하고, 그리고는 "…로 쓰기(Write to…)"를 선택한 다음 임의 파형을 장치의 메모리 유저 1 로 로딩한다. 이제 채널 2 의 임의 파형을 메모리 유저 2 로 로딩 및 저장하기 위해 동일한 단계를 밟는다. 마지막으로 AFG3252 를 표 4 의 셋팅대로 프로그램 한다.

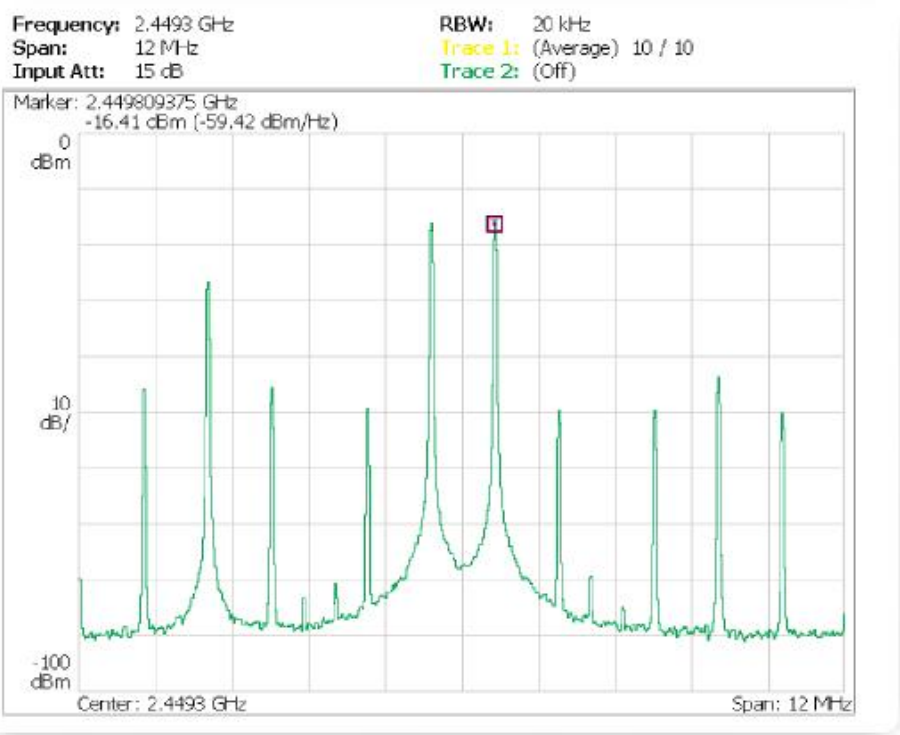
Parameters	Setting
Channels 1 / 2 - Run Mode	Continuous
Channels 1 / 2 - Function	Arb
Channel 1 - Arb Waveform Menu	User1
Channel 2 - Arb Waveform Menu	User2
Frequency: Frequency CH1=CH2	On
Amplitude: Level CH1=CH2	On
Amplitude	0.5 Vpp
Frequency	500 kHz

▶ 표 4 AFG 3252 혼변조 왜곡 측정 셋팅



▶ 그림 12 이중 톤을 발생하도록 프로그램화된 AFG3252 디스플레이

그림 12 에서 채널 1 과 채널 2 의 파형 모양이 서로 다른 것에 주목하라. 파형 연산으로 합쳐지기 전에 각 신호 톤에 대해서 90° 오프셋의 상태로 채널 2 신호가 만들어져야 했다.



▶ 그림 13 스펙트럼 분석기 혼변조 왜곡 측정

장치의 선형을 계량화하는 기존의 기준은 OIP(Output Intercept Points)로 다음 공식에 의해 정의 된다.

$OIP_n = P_{out} + R_n/N-1$

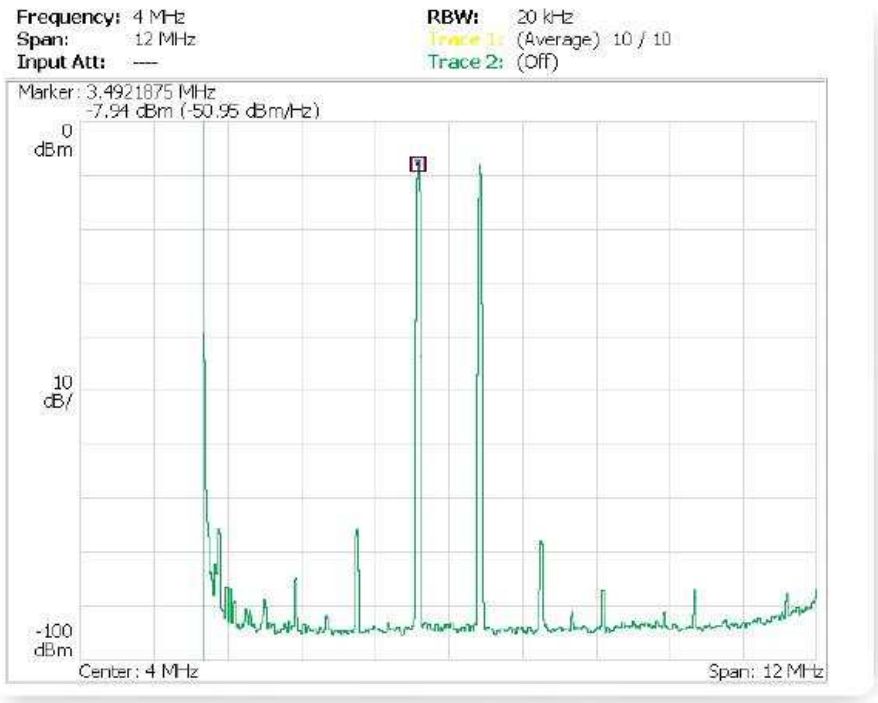
이 공식에서 P_{out} 은 의도한 톤 중 가장 강한 것의 파워를 의미하며, R_n 은 참조 톤 파워와 관련한 혼변조 결과물의 억제를 의미하고, n 은 혼변조 결과의 차수를 나타낸다. 그림 13 은 LO 주파수의 상측 사이드밴드를 중심으로 하는 3.5MHz 와 4.5MHz 이중 톤의 스펙트럼 분석기 측정을 보여준다. 측정된 참조 톤 레벨 -16.4dBm, 2 차 결과물 -43.4dBm 및 3 차 결과물 -49.8dBm 으로부터 OIP2 와 OIP3 을 10.6 dBm 과 0.3dBm 으로 각각 계산 할 수 있다.

IMD 측정 시에 고려해야 할 중요한 것은 신호 발생기가 아웃풋 단계의 비 선형성 때문에 자체의 IMD 를 만들어 낸다는 점이다. 장치 아웃풋에서 측정된 IMD(MIMD)는 SIMD 와 장치 IMD 의 벡터 합계이다. 두 개의 위상에 따라, 두 개가 더해지거나 부분적으로 서로를 상쇄 할 수도 있다. 최대 양의 오차는 (전압이 위상정립(in-phase) 상태일 때)

$Err_+ = 20 \log (1+10^{SIM-MIMD/20})$ 이다.

전압이 위상 반전(out of phase) 상태 일 때, 최대 음의 오차는

$Err_- = 20 \log (1-10^{SIM-MIMD/20})$ 이다.



▶ 그림 14 스펙트럼 분석기의 소스 IMD 측정

그림 14 는 AFG 3252 아웃풋에서 측정된 소스 IMD 를 보여준다. 2 차수 SIMD 는 -78.8dBc 이고, 3 차수 SIMD 는 -69.9dBc 이다.

이는 측정된 2 차수 IMD -27dBC 의 오차가 ±0.02 dB 이고, 측정된 3 차수 IMD -33.4dBc 는 오차가 ±0.13 dB 라는 것을 의미한다.

아브익스프레스(ArbExpress)®을 이용한 이중 톤 파형 생성(Creating Dual Tone Waveforms with ArbExpress®)

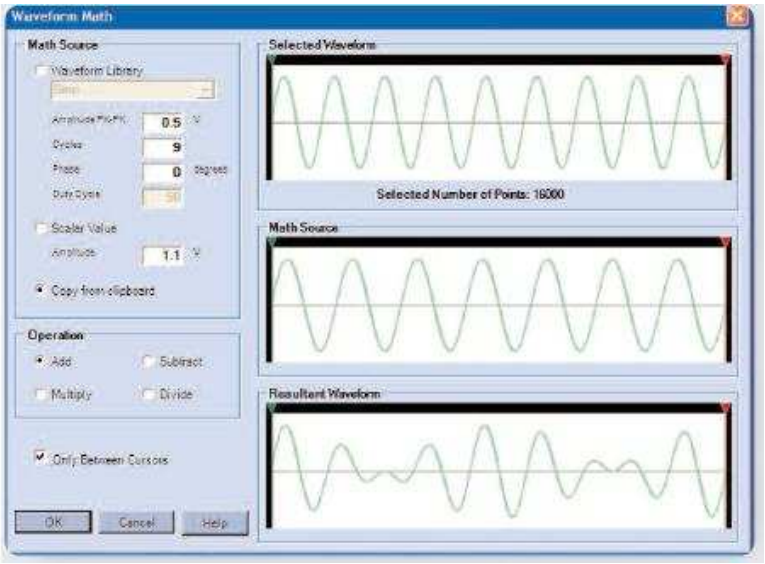
강력한 파형 생성 및 편집 PC 소프트웨어 툴은 엔지니어들이 애플리케이션이 요구하는 파형 모양을 정확히 만들어 내는데 이용 가능한 다양하고 편리한 테크닉을 제공해 준다.

IQ 변조기에서 혼변조 왜곡 측정을 위해 이중 톤을 만들어 내는 최상의 방식은 파형 연산을 통한 것이다. 이와 같은 접근방식에서 2 톤의 사인파는 원하는 진폭과 주파수로 따로 만들어진 다음 연산적으로 합쳐진다.

임의 파형 발생기는 정의된 파형을 별도의 샘플로 저장 및 생성한다. 장치가 최고의 샘플 레이트로 운영될 때 최상의 타이밍 해상도를 얻을 수 있다. 임의/파형 발생기 AFG3252 는 2GS/s 의 샘플 레이트에서 운영되며, 최대 16k 길이의 파형에 대해 0.5ns 마다 하나의 샘플을 만들어 낸다. 이에 따라 이중 톤 파형은 16,384 포인트 길이로 정의되어야 한다.

발생기가 메모리 내의 한 파형 끝 단에서 시작점으로 원형을 그려 움직일 때 불연속을 피하기 위해서는 각 톤 당 사이클 수를 정의할 때 반드시 주의를 기울여야 한다. 방정식을 만족하는 가장 적은 정수 값 m 과 n 을 찾으면 정확한 사이클 수를 찾을 수 있다.

m, n = integer $m/n= f_1/ f_2$



▶ 그림 15 ArbExpress 소프트웨어로 이중 톤 만들기

m 주기로 f_1 를 정의하고, n 주기로 f_2 를 정의했을 때 파형 끝 단에서 시작점으로 이음새 없이 이동할 수 있다. 본 글의 "혼변조 왜곡(Intermodulation Distortion)" 섹션의 예시 f_1=3.5 MHz 와 f_2=4.5 MHz 를 이용할 경우 m=7, n=9 가 옳은 값이다. 그림 15 는 ArbExpress 에서 상응하는 파형 연산 윈도우를 보여준다.

AFG3252 와 같이 직접 디지털 합성 아키텍처에 기반한 임의 파형 발생기의 경우 주파수 셋팅은 메모리의 파형이 재생되는 레이트를 반영한다.

원하는 이중 톤 파형이 다수의 파형 주기와 함께 메모리에 저장되어 있다는 점을 고려하면, 발생기의 주파수는 원하는 아웃풋 주파수보다 낮은 값에서 설정되어야만 한다. 다음과 같은 식을 통해 정확한 셋팅을 계산할 수 있다.

$f_{arb}= f_1/m= f_2/n$

각각 7 과 9 주기에서 정의된 3.5 MHz 와 4.5MHz 의 경우 셋팅은 f_{arb}=500kHz 가 된다.

결론

이러한 측정 예시가 보여주듯이 현대는 임의/파형 발생기는 성능과 유연성이 뛰어나서 설계 엔지니어들이 IQ 변조기의 특성을 철저하게 분석할 수 있다. 진폭, 주파수, 위상과 같은 직접적이고 세밀하게 조정 가능한 파형 파라미터는 모든 파라미터를 변경할 때마다 시간이 많이 소요되는 신호 벡터 리로딩을 해야 하는 기타 임의 파형 발생기에 대비하여 시간을 크게 절약해 준다.

그럼에도 불구하고, IQ 변조기 디자이너들은 RF 나 IF 주파수, 디지털 변조, 복잡한 프로토콜이나 실제 실행 시뮬레이션 등에서 활성화를 필요로 하는 다른 측정 작업도 해야 한다. 이러한 이유로 고 대역폭과 시퀀싱 기능을 갖춘 하이 엔드 임의 파형 발생기가 디자이너들에게 가장 인기 있는 발생기가 되는 것이다.

Characterization of IQ Modulators Counts On Flexible Signal Generator Stimulus

동남아시아/대양주 (65) 6356 3900
오스트리아 +41 52 675 3777
발칸, 이스라엘, 남아프리카 및 다른 ISE 국가들 +41 52 675 3777
벨기에 07 81 60166
브라질 및 남미 (11) 40669400
캐나다 1 (800) 661-5625
중앙동유럽, 우크라이나 및 발트국 +41 52 675 3777
중앙유럽 및 그리스 +41 52 675 3777
덴마크 +45 80 88 1401
핀란드 +41 52 675 3777
프랑스 +33 (0) 1 69 86 81 81
독일 +49 (221) 94 77 400
홍콩 (852) 2585-6688
인도 (91) 80-22275577
이탈리아 +39 (02) 25086 1
일본 81 (3) 6714-3010
룩셈부르크 +44(0) 1344 392400
멕시코, 중앙아메리카 및 카리브 해 52 (55) 5424700
중동, 아시아 및 북아프리카 +41 52 675 3777
네덜란드 090 02 021797
노르웨이 800 16098
중국 86 (10) 6235 1230
폴란드 +41 52 675 3777
포르투갈 80 08 12370
대한민국 82 (2) 6917-5000
러시아 및 CIS +7 (495) 7484900
남아프리카 +27 11 206 8360
스페인 (+34) 901 988 054
스웨덴 020 08 80371
스위스 +41 52 675 3777
대만 886 (2) 2722-9622
영국 및 아일랜드 +44 (0) 1344 392400
미국 1 (800) 426-2200
기타 지역: 1 (503) 627-7111

2007 년 6 월 1 일 업데이트
텍트로닉스 최신 제품 정보 리소스 www.tek.co.kr

제품은 ISO 등록 시설에서 제조됩니다.
제품은 IEEE 표준 488.1-1987, RS-232-C 와 함께 텍트로닉스 표준 코드 및 형식을 준수합니다.

Copyright © 2007, 텍트로닉스. All rights reserved. 텍트로닉스 제품은 현재 등록되어 있거나 출원 중인 미국 및 국제 특허의 보호를 받고 있습니다. 이 문서에 포함되어 있는 정보는 이전에 발행된 모든 자료에 실린 내용에 우선합니다. 사양이나 가격 정보는 예고 없이 변경될 수 있습니다. 텍트로닉스 및 TEK 은 텍트로닉스, Inc.의 등록 상표입니다. 본 문서에 인용된 다른 모든 상표는 해당 회사의 서비스 마크, 상표 또는 등록 상표입니다.

9/07 FLG/WOW 75K-20744-0

Tektronix
Enabling Innovation