

높은 IIP3 14GHz 믹서를 이용한 마이크로파 무선 설계의 간편한 구현

A High IIP3 14GHz Mixer Brings Ease of Use to Microwave Radio Design

LTC5549는 수신기 또는 송신기 애플리케이션에서 동적 범위 성능을 향상시킬 수 있는 탁월한 IIP3을 보여준다. 또한 LO 버퍼를 내장해 비용을 절감하고 매우 낮은 LO 누설을 제공한다. 디바이스에 통합된 온칩 발룬 트랜스포머는 새로운 차원의 넓은 대역폭을 제공해 설계를 간소화하고 초소형 솔루션 크기를 구현할 수 있게 한다.

글/Bruce Hemp, Applications Section Leader
James Wong, Product Marketing Manager, Linear Technology Corp.

끊임없이 증가하는 인터넷 트래픽에 대처하기 위해 차세대 무선 액세스의 대역폭이 빠르게 증가하고 있다. 이와 동시에 현재 사용 중인 이용 가능한 스펙트럼은 절대적으로 필요한 대역폭을 지원할 수 없다. 이에 따라 보다 높은 주파수 스펙트럼에 대한 타당성이 검토되고 있다. 사용 허가가 필요 없는 5.8GHz 지상국에서부터 지구를 둘러싼 수많은 저궤도 위성까지 다양한 옵션이 고려되고 있다. 더 높은 대역폭을 구현하기 위해서는 더 높고 새로운 주파수 사용에 대한 기준 및 약속이 필요하다. 여기에는 향상된 성능을 갖는 새로운 믹서가 요구되며, 리니어 테크놀로지의 LTC5549는 이러한 노력을 지원하기 위해 개발되었다.

LTC5549는 업 또는 다운 컨버터로 기능할 수 있는 수동 이중 평형 믹서(passive double-balanced mixer)로, 2GHz~14GHz의 매우 넓은 RF 동작 주파수 범위를 갖는다. LTC5549는 5.8GHz에서 28.2dBm IIP3, 12GHz에서 22.8dBm의 극히 높은 선형성을 제공하므로 송신기와 수신기의 동적 범위를 둘 다 향상시킨다. LTC5549는 단 0dBm 구동 레벨만 필요로 하는 LO 버퍼를 내장하고 있어 별도의 외부 고전력 LO 드라이버 회로가 필요 없으며, 따라서 효율적인 마이크로파 송신기 및 수신기 설계를 구현할 수 있다. 뿐만 아니라 LTC5549는 LO 신호를 위한 온칩, 바이패스 가능한 주파수 더블러를 통합해 더 낮은

Bandwidth is rapidly expanding in the next generation wireless access to cope with the ever-increasing Internet traffic. At the same time, the current available spectrum in use simply cannot support the needed bandwidth. So higher frequency spectrums are being evaluated for suitability. Multiple options are considered, ranging from unlicensed 5.8GHz terrestrial stations, to fleets of low-orbit satellites that blanket the earth. The path to higher bandwidth lies with new higher frequencies to deliver on that promise. New mixers with improved performance will be needed. A new mixer, the LTC5549 from Linear Technology, is launched to support this effort.

The LTC5549 is a passive double-balanced mixer that can function as either an up- or downconverter. It has a very wide RF operating frequency range from 2GHz to 14GHz. The LTC5549 offers exceptionally high linearity of 28.2dBm IIP3 at 5.8GHz, and 22.8dBm at 12GHz, improving the dynamic range of both transmitters and receivers alike. The LTC5549 enables efficient microwave transmitter and receiver designs with its integrated LO buffer that needs only a 0dBm drive level, effectively eliminating extra external high power LO driver circuits. Moreover, the LTC5549 has an integrated on-chip, bypassable frequency doubler for the LO signal,

비용의 일반적으로 이용 가능한 저주파수 합성기를 사용할 수 있는 이점을 제공한다. LTC5549는 단일 종단 동작을 구현하면서 LO 및 RF 주파수 대역폭 확장에 최적화된 광대역 통합 발룬 트랜스포머를 사용한다. 디바이스의 IF 포트는 0.5에서부터 6GHz까지 넓은 대역폭을 지원할 수 있다. 모든 3개 포트는 50Ω 정합되며, 뛰어난 포트 간 절연을 가지므로 바람직하지 않은 LO 누설 신호를 최소화해 외부 필터링 요구사항을 완화시킨다.

마이크로파 트랜시버 성능 향상

대부분의 마이크로파 믹서는 하이브리드 모듈로 디스크 리트 GaAs 다이오드 또는 FET를 사용하여 제작된다. 이와 달리, LTC5549는 매우 높은 주파수의 첨단 SiGe BiCMOS 공정을 사용해 제작된다. 온칩 LO 버퍼와 마이크로파 발룬 트랜스포머를 포함한 매우 높은 통합이 구현되었다. 모놀리식 다이는 플립 방식이며, 초소형 3mm x 2mm 리드 프레임, 플라스틱 패키지로 제공된다. IC 내부의 본드 와이어가 제거돼 본드 와이어에서 생기는 인덕턴스를 발생시키지 않으므로 디바이스의 마이크로파 주파수 성능을 크게 향상시킨다. 또한 소형 패키지 크기에 외부 회로를 최소화해 매우 작은 솔루션 풋프린트를 구현할 수 있다.

새로운 믹서의 22.8dBm IIP3 성능은 동급 제품에서 단연 뛰어나다. 향상된 성능은 수신기 또는 송신기의 동적 범위를 증가시킨다. 수신기의 경우, 높은 IIP3는 대역 외의 비고의적인 이미터 소스나 멀티 섹션 시스템에서 또 다른 송신기로부터 자체 유도되는 누설 전력으로부터 발생할 수 있는 인접한 고전력 간섭이 존재할 때 견고성을 높인다. 무선 배치가 끊임없이 늘어나기 때문에 전파는 시간이 지남에 따라 점차적으로 성능이 떨어지지만, 높은 동적 범위 수신기는 추가적인 설계 마진을 제공해 높은 차단요소를 처리하는 데 보다 많은 여유를 가질 수 있다.

송신기의 경우, 마찬가지로 높은 IIP3(따라서 더 높은 OIP3) 믹서는 보다 낮은 스퓨리어스 성분, 더 향상된 스펙트럼 순도, 더 우수한 ACPR 성능을 제공할 수 있게 한다. 이것은 특히 1024 QAM 또는 이 이상으로 높아질 수 있는 고차 변조를 사용하는 무선 시스템에 중요하다. 향상된 선형성은 배열 정확도에 대한 보다 나은 정의를 생

allowing the device to use lower cost, commonly available low-frequency synthesizers, where advantageous. The LTC5549 employs wideband integrated balun transformers optimized to extend the LO and RF frequency bandwidth while enabling single-ended operation. And its IF port can support wide bandwidth from 0.5 to 6GHz. All three ports are 50Ω matched and have excellent port-to-port isolation, minimizing undesirable LO leakage, thus easing external filtering requirements.

Improving The Microwave Transceiver Performance

Most microwave mixers are built using discrete GaAs diodes or FETs in hybrid modules. In contrast, the LTC5549 is constructed using a very high frequency advanced SiGe BiCMOS process. A high level of integration is achieved, including an on-chip LO buffer and microwave balun transformers. The monolithic die is flipped and soldered onto a tiny 3mm x 2mm lead-framed, plastic surface mount package. Bond wires are eliminated to greatly enhance the device's microwave frequency performance without introducing bond wire inductances. Its inherently small package, along with minimum external circuitry, makes for a very small solution footprint.

The new mixer's 22.8dBm IIP3 performance is a standout in its class. The improved performance enhances the dynamic range of receivers or transmitters. For a receiver, the higher IIP3 boosts the robustness when in the presence of close-in high power interference, either from out-of-band unintentional emitter sources or self-induced (leak through from another transmitter in multi-sectored systems). Higher dynamic range receivers provide added design margin and therefore are more forgiving in handling high blockers - as airwaves continually degrade over time with ever-increasing radio deployments.

Similarly for transmitters, a higher IIP3 (hence higher OIP3) mixer helps to produce less spurious products and thus improved the spectral purity and better ACPR performance.

성하는 데 도움을 준다. 이 밖에 높은 IIP3은 믹서가 증가된 입력 전력으로 동작할 수 있게 해 더 견고한 출력 전력 레벨을 생성할 수 있으며, 여분의 설계 마진은 설계 제약을 완화해 유연성을 제공한다.

낮은 LO 구동 전력으로 설계 간소화

LTC5549에 통합된 LO 증폭기는 통상 전통적인 마이크로파 수동 믹서를 구동하는 데 필요한 +10dBm~+17dBm의 LO 증폭기를 효과적으로 제거한다. 따라서 디바이스의 0dBm LO 구동 전력은 버퍼링 없이 LO를 PLL/합성기로부터 직접 구동할 수 있게 한다. 낮은 LO 전력은 비용 절감 외에도 IF 또는 RF 포트에 상당히 낮은 LO 누설 신호를 생성하므로 이와 같이 높은 전력원과 관련된 대역외 방사를 억제하는 데 필요한 외부 필터링을 낮출 수 있다. 또 다른 이점은 PC 보드 상에 높은 전력의 방사 소스를 갖지 않는다는 점이다. 이는 이와 같은 고전력 LO 신호를 갖는 많은 설계를 까다롭게 만드는 RF 억제 차폐의 필요성을 낮추기 때문에 상당한 비용 절감 요인이 된다.

광대역 발룬을 이용한 대역폭 향상

LTC5549는 특허 출원 중인 향상된 평면형 발룬 트랜스포머(planar balun transformer) 설계를 통합하고 있어 믹서를 매우 넓은 대역폭에서 동작할 수 있게 한다. 새로운 차원의 대칭이 달성돼 탁월한 평형 동작을 생성하므로, 매우 넓은 대역폭에서 최적의 스푸리어스 억제와 평탄한 주파수 응답을 생성한다. 예를 들어 트랜스포머를 내장하고 0.15pF 외부 커패시터를 사용하는 50Ω 정합 RF 포트는 2GHz에서부터 14GHz까지 연속적으로 10dB 보다 우수한 리턴 손실을 보여준다. 마찬가지로 LO 입력에서 0.15pF 션트 커패시터와 직렬 커패시터를 연결하면 포트는 1GHz에서 12GHz까지 50Ω 정합된다. 리턴 손실은 전체 주파수 범위에 걸쳐 10dB보다 우수하다.

5G의 증가하는 데이터 전송속도, 증가하는 대역폭

5G 무선은 1Gbps를 제공할 것으로 예상된다. 이와

This is particularly important for radios that use higher order modulations which can push upward of 1024 QAM or higher. The improved linearity helps to produce better definition of the constellation accuracy. Additionally, higher IIP3 allows the mixer to operate at elevated input power, and therefore more robust output power levels. The extra design margin helps to ease design constraints, providing flexibility.

Low LO Drive Simplifies Design

The LTC5549's integrated LO amplifier effectively eliminates the +10dBm to +17dBm LO amplifier that is typically required to drive the traditional microwave passive mixers. So its 0dBm LO drive enables the LO to be driven directly from a PLL/synthesizer without buffering. Besides saving costs, the low LO power inherently produces significantly lower LO leakage to either the IF or the RF ports, so less external filtering is necessary to contain any out-of-band emission associated with such a high power source. Another benefit is not having a high power radiation source on the PC board. This has a significant cost savings implication because it lessens the need for RF containment shielding which plagues many designs that have such high power LO signals.

Bandwidth Improves by Wideband Balun

The LTC5549 incorporates patent-pending advances in planar balun transformer designs, enabling the monolithic mixer to operate over extremely wide bandwidth. Unprecedented symmetry is achieved, producing exceptional balanced operation and resulting in optimum spurious cancellation and flat frequency response over very wide bandwidth. For example, the 50Ω matched RF port with its built-in transformer and a 0.15pF external capacitor exhibits return loss better than 10dB from 2GHz to 14GHz continuously. Similarly, by connecting a 0.15pF shunt capacitor and a series capacitor at the LO input, the port is

같은 속도를 달성하려면 대역폭을 1GHz 이상으로 끌어 올릴 필요가 있다. 새로운 스펙트럼을 확보해야 하는 이유이다. LTC5549는 1GHz 이상의 평탄한 주파수 응답을 지원할 수 있는 탁월한 대역폭을 갖는다.

또한 마이크로파 테스트 장비는 LTC5549와 같은 초소형, 고선형성 믹서로부터 이점을 얻을 수 있다. 피시험 장치의 성능 발전을 따라가기 위해서는 RF 테스트 장비는 높은 주파수와 함께 선형성과 대역폭 성능 역시 향상시켜야 한다.

설계 예제: 3.6GHz~12.6GHz 대역 상향 변환 애플리케이션

3.6GHz 신호를 12.6GHz 반송파로 변환하는 애플리케이션 예제를 살펴보기로 하자. 로우 사이드 LO가 사용되며 동작 조건은 다음과 같다.

- IF 포트(입력) = 3.6GHz
- RF 포트(출력) = 12.6GHz
- LO(입력) = 0dBm에서 9GHz
- 2톤 입력, 2MHz 분리 입력, IF 입력에서 각 -5dBm

성능 측정은 LTC5549 평가 보드에서 수행되었다(그림 1). 내부 2X LO는 바이패스되므로 9GHz LO 신호는 깨끗한 실험실 신호 발생기를 사용하여 직접 주입된다. 평가 보드 부품은 이미 광대역 정합되었으므로 변경 없이 그대로 사용한다(그림 1 회로도 참조).

그림 2는 12.6GHz에서 측정되고 2MHz 분리된 2톤을 갖는 믹서의 선형 성능을 보여준다. 출력 3차 혼변조 왜곡 스퓨리어스는 -57.5dBc 낮게 측정되었다. 이것은 +23.8dBm의 IIP3에 대응된다. 그림 3은 RF 출력의 완벽한 스펙트럼 플롯을 보여준다. 모든 스퓨리어스 성분이 어디에 존재하는지 확인할 수 있도록 외부 필터는 사용하지 않았다. LO 누설 전력은 12.6GHz 반송파 아래에서 14dB 이하이지만, 3.6GHz 떨어져 있다. 따라서 필터링은 그리 큰 의미가 없다. 가장 가까운 스퓨리어스는 실제로 반송파에서 1.8GHz 떨어진 지점에서 발생하는 2LO-IF이다. 좋은 소식은 잔여 전력이 반송파 아래에서 -

50Ω matched from 1GHz to 12GHz. Return loss is better than 10dB across that entire frequency range.

As 5G Data Rate Increases, So Goes Bandwidth

5G wireless is expected to deliver 1Gbps. In order to achieve such speeds, the bandwidth will need to be pushed upward to 1GHz or higher. Invariably, new spectrums need to open up. The LTC5549 has excellent bandwidth that can support a flat response of more than 1GHz.

Microwave test equipment can also benefit from a compact, high linearity mixer such as the LTC5549. As RF test equipment pushes higher frequencies, their linearity and bandwidth performance must also be improved in order to keep pace with the progression in performance of the device-under-test.

Example Design: A 3.6GHz to 12.6GHz Band Up-Conversion Application

Consider an application example that converts a 3.6GHz signal to a 12.6GHz carrier. A low-side LO is used. The operating conditions are as follows:

- IF port (input) = 3.6GHz
- RF port (output) = 12.6GHz
- LO (input) = 9GHz, at 0dBm
- Two tones input, 2MHz separation inputs, -5dBm each at the IF input

Performance measurements were made with a LTC5549 evaluation board (Figure 1). The internal 2X LO is

Figure 1. LTC5549 Evaluation Board and Schematic

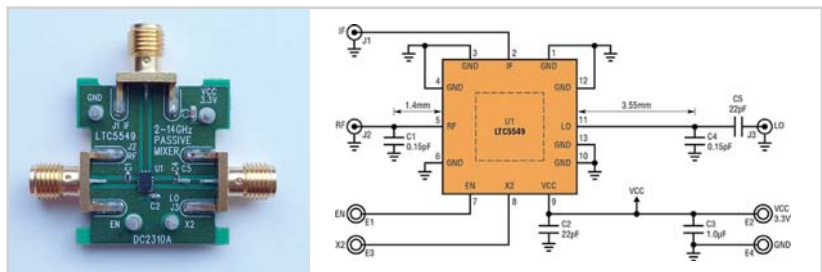


Figure 2. The 3rd Order Intermodulation spurs are measured at -74 dBm, suggesting an IIP3 performance of +23.8dBm at the 12.6 GHz frequency.

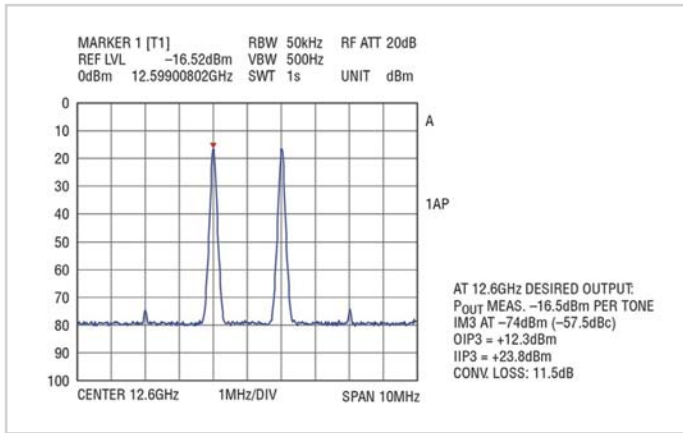
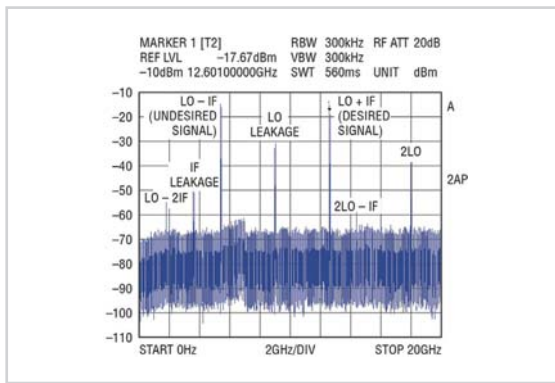


Figure 3. Wideband Output Spectrum shows all the spurious products which affect the output filter requirements.



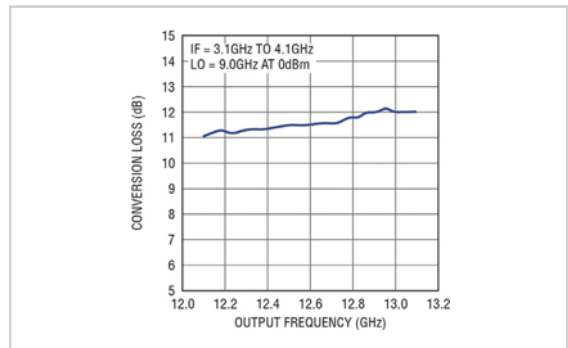
40dBc보다 높다는 점이다.

12.6GHz에서 믹서의 출력은 1GHz 대역폭 이상에서 1dB 평탄도를 보여주므로 차세대 광대역 무선을 지원할 수 있다는 것을 나타낸다(그림 4).

결론

LTC5549는 수신기 또는 송신기 애플리케이션에서 동적 범위 성능을 향상시킬 수 있는 탁월한 IIP3을 보여 준다. 또한 LO 버퍼를 내장해 비용을 절감하고 매우 낮은 LO 누설을 제공한다. 디바이스에 통합된 온칩 발룬 트랜스포머는 새로운 차원의 넓은 대역폭을 제공해 설계를 간소화하고 초소형 솔루션 크기를 구현할 수 있게 한다. **SN**

Figure 4. The upconversion mixer exhibits conversion loss of 12dB, however having 1dB flatness over a 1GHz bandwidth at the 12.6GHz carrier.



bypassed so a 9GHz LO signal is directly injected using a clean laboratory signal generator. Because the evaluation board's components are already broadband matched, it is used as is without alteration (see schematic in Figure 1).

Figure 2 shows this mixer's linearity performance with two tones at 2MHz separation measured at 12.6GHz. The output 3rd order intermodulation distortion spurs measured -57.5dBc down. This corresponds to an IIP3 of +23.8dBm. Figure 3 shows the complete spectral plot of the RF output. No external filter is used so we can see where all the spurious products fall. The LO leakage is some 14dB down below the 12.6GHz carrier but is 3.6GHz away. So filtering should not be much of an issue. The closest spur is actually the 2LO-IF, occurring at 1.8GHz away from the carrier. The good news is its residual power is better than -40dBc below the carrier.

At 12.6GHz, the mixer's output exhibits 1dB flatness over a 1GHz bandwidth (see Figure 4), capable of supporting next generation broadband radios.

Conclusion

The LTC5549 exhibits excellent IIP3 that can enhance the dynamic range performance for either receiver or transmitter applications. It has an integrated LO buffer, saving costs and producing very low LO leakage. Its integrated on-chip balun transformers provide extraordinarily wide bandwidth to simplify designs and enable a very compact solution size. **SN**