

전압 레퍼런스로 데이터 포착 시스템의 호환성 문제 해결

Solve Data Acquisition Compatibility Problems by Combining Features and Performance

첨단 데이터 포착 및 신호 생성 시스템은 갈수록 정교해지고 있다. 수십 년에 걸쳐서 IC와 애플리케이션이 발전하고 세대를 거듭하면서 성능과 기능성을 높여 왔다. 새로운 디자인이 이전 디자인과 차별화하기 위해서는 성능, 크기, 전원 범위, 안정성을 조합적으로 최적화해야 한다.

글/Brendan Whelan, Design Manager, Signal Conditioning Products, Linear Technology Corp.

첨단 데이터 포착 및 신호 생성 시스템은 갈수록 정교해지고 있다. 수십 년에 걸쳐서 IC와 애플리케이션이 발전하고 세대를 거듭하면서 성능과 기능성을 높여 왔다. 새로운 디자인이 이전 디자인과 차별화하기 위해서는 성능, 크기, 전원 범위, 안정성을 조합적으로 최적화해야 한다. 이와 더불어서 DAC, ADC, 전압 레퍼런스 같은 고성능 IC들은 더 이상 끌어올릴 수 없을 만큼 성능 한계에 이르고 있다. 그럼으로써 전압 레퍼런스 같은 경우에 디자이너들이 흔히 정밀도와 기능성 사이에 절충을 해야만 한다. 최대의 성능을 위해서는 유연성과 호환성을 희생해야 할 수 있는 것이다.

Modern data acquisition and signal generation systems are both sophisticated and refined. Decades of IC and application development and generations of designs have optimized performance and features, while broadening both. New designs must differentiate from the prior with well-chosen combinations of performance, size, supply range, stability, and more. Simultaneously, high performance integrated circuits such as DACs, ADCs and voltage references have been pushed to the limit for performance. Concerning the voltage reference, often design choices must be made between precision and features. When highest performance is required, flexibility and compatibility can be lacking.

Historically, the highest precision and most stable systems have been designed using deep buried Zener references, as shown in Figure 1. The combination of low drift, high stability and low noise enables systems with both high dynamic range and good stability. However, Zeners are generally not suitable for most new systems. They require significant supply voltage to operate, and many designs are optimized only for particular systems, such as those with greater than 10V supplies, large available board area, and well-understood load impedance. These

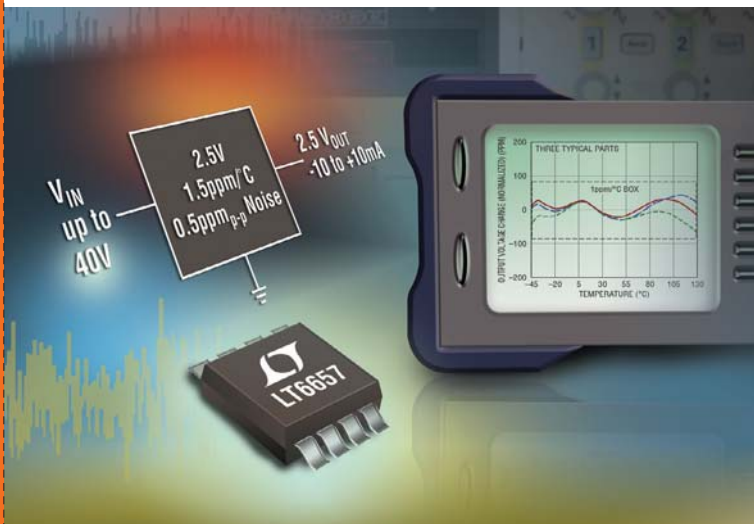
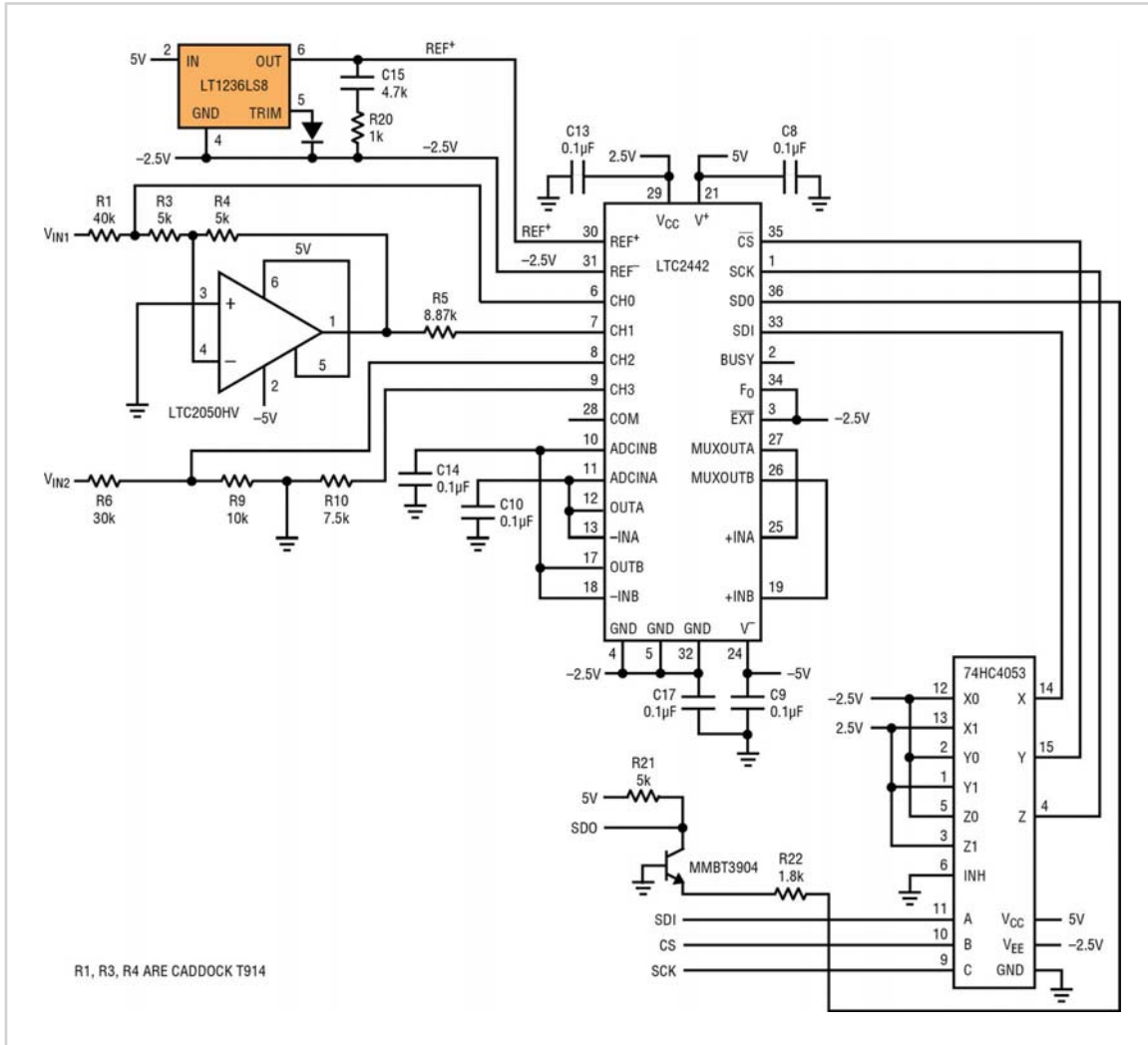


그림 1. LT1236을 사용한 고 동적 범위 시스템



전통적으로 최대의 정밀도와 안정성을 요구하는 시스템은 그림 1에서 보는 것과 같은 매립형 제너 레퍼런스를 사용하고 있다. 매립형 제너 레퍼런스는 낮은 드리프트, 높은 안정성, 낮은 잡음을 결합함으로써 동적 범위가 넓고 안정성이 우수한 시스템을 설계할 수 있다. 하지만 제너 레퍼런스는 많은 새로운 시스템에 사용하기에 적합하지 않다. 동작하기 위해서 상당한 전원 전압을 필요로 하며, 많은 제품들이 특정한 시스템에만 사용할 수 있도록 되어 있기 때문이다. 예를 들어서 10V 이상의 전원을 사용하거나, 상당한 보드 면적을 사용할 수 있거나, 부하 임피던스를 잘 알고 있는 시스템에만 사용

assumptions are rarely applicable in many new designs. Furthermore, there has been little new development using Zener architectures, so more commonly used reference voltages less than 5V, such as 4.096V, 2.5V and 1.25V, are rare.

In contrast, bandgap voltage references have long been the best choice for a combination of features and performance. The bandgap architecture, while sacrificing some stability as compared to the Zener architecture, has made it possible to design references with many useful features, including low dropout, wide temperature range,

할 수 있도록 되어 있는 것이다. 하지만 많은 새로운 디자인들은 여기에 해당되지 않는다. 뿐만 아니라 제너 아키텍처를 사용해서는 많은 진보가 이루어지지 못했다. 그래서 4.096V, 2.5V, 1.25V 같이 5V 미만의 주로 많이 사용되는 레퍼런스 전압들이 드물다.

이와 비교해서 밴드갭 전압 레퍼런스는 기능성과 성능을 겸비한 솔루션으로서 오래 전부터 널리 사용되고 있다. 밴드갭 아키텍처는 제너 아키텍처와 비교해서 안정성은 다소 희생할 수 있으나, 낮은 드롭아웃, 넓은 온도 범위, 낮은 전력, 소형 크기, 넓은 동작 범위, 넓은 범위의 부하 전류 용량 같은 다수의 유용한 특성들을 갖춘 레퍼런스를 제공한다. 이러한 특성들에 힘입어서 다양한 고성능 LDO 레귤레이터와 정밀 전압 레퍼런스가 탄생할 수 있게 되었다. 약 1.2V의 비교적 낮은 밴드갭 전압에 의해서 1.25V, 2.048V, 2.5V, 3V, 3.3V, 4.096V, 5V, 10V 같은 다양한 출력 전압을 제공하는 제품을 설계할 수 있다. 또한 그림 2에서 보는 것과 같이, 출력 전압보다 불과 수 밀리볼트 높은 전원을 입력으로 사용해서 동작할 수 있다.

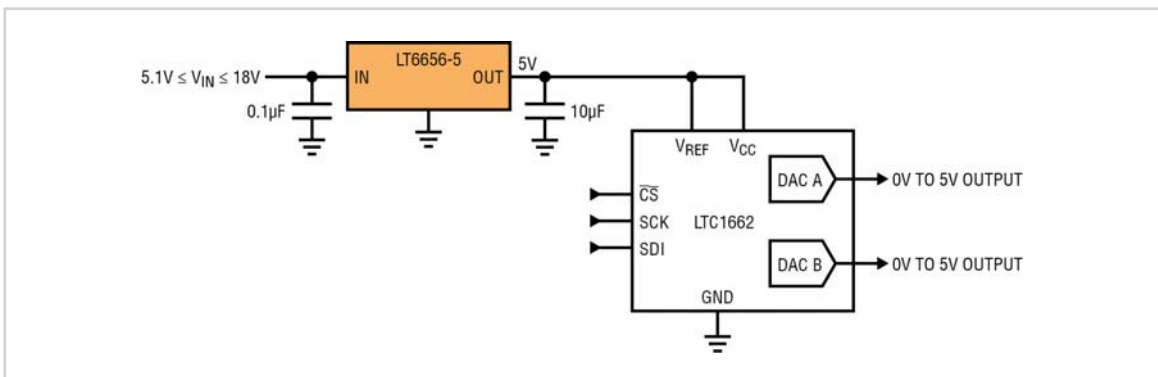
전압 레퍼런스에 있어 통상적으로 가장 큰 오차 요인은 온도 계수(TC)이다. 많은 정밀 시스템에서는 20ppm/°C 온도 계수인 전압 레퍼런스이면 적절하다. 하지만 산업용 온도 범위(-40°C~85°C)에 걸쳐서는 이 온도 계수가 최대 2500ppm, 다시 말해서 0.25%의 오차를 일으킬 수 있다. 이와 비교해서 초기 정확도(0.1%), 열 히스테리시스(통상적으로 100ppm 근방), 장기 드리프트(50ppm/√kHr)로 인한 오차는 낮다. 그렇더라도 이 정

low power, small size, wide operating range and wide load current capability. These features have given rise to a host of high-performance LDO regulators as well as precision voltage references. The relatively low bandgap voltage of approximately 1.2V facilitates the design of products with many output voltages, including 1.25V, 2.048V, 2.5V, 3V, 3.3V, 4.096V, 5V and 10V. It also makes it possible to operate from a supply of only a few millivolts above the output voltage, as in Figure 2.

For voltage references, the largest error is usually the temperature coefficient (TC). For many precision systems, a voltage reference with 20ppm/°C temperature coefficient is appropriate. However, over an industrial temperature range (-40°C to 85°C), this temperature coefficient would give a maximum error of 2500ppm, or 0.25%. By comparison, the error due to the initial accuracy (0.1%), thermal hysteresis (usually around 100ppm), and long-term drift (50ppm/√kHr) is small. While sufficient for many industrial and medical systems, precision applications such as test and measurement, as well as wide temperature range automotive applications, demand better stability.

Over time, bandgap performance has improved, and in some cases exceeded buried Zener stability and noise. New architectures, processes and manufacturing techniques have pushed the limits of precision and stability. Where previous "precision" bandgap references might have boasted 20-50ppm/°C temperature coefficient, newer

그림 2. 저전력 저-드롭아웃 전압 레퍼런스 회로



도이면 많은 산업용 및 의료용 시스템에는 충분하지만 시험 계측이나 넓은 온도 범위의 자동차 애플리케이션 같은 정밀 애플리케이션은 이보다 더 우수한 안정성을 요구한다.

시간이 흐르면서 밴드갭의 성능이 향상됨으로써 일부 경우에는 매립형 체너보다 더 우수한 안정성과 잡음을 달성할 수 있게 되었다. 새로운 아키텍처, 프로세스, 제조 기법을 사용함으로써 정밀도와 안정성의 한계를 끌어올릴 수 있게 되었다. 이전 세대의 '정밀' 밴드갭 레퍼런스가 20~50ppm/°C의 온도 계수를 자랑했던 것과 비교해서, 최신 제품들은 5ppm/°C 미만의 온도 안정성을 제공하게 되었다. 그러면서도 기능성은 그대로 유지하거나 향상시키고 있다.

바로 그러한 제품이 Linear Technology의 LT6657 고정밀 밴드갭 전압 레퍼런스이다. LT6657은 최대의 정밀도를 달성하면서 다양한 시스템 요구와 한계에 대해서 높은 유연성은 그대로인 새로운 대안을 제공한다.

온도 계수가 1.5ppm/°C인 LT6657은 온도 계수가 가장 낮은 밴드갭 전압 레퍼런스 제품이다. 고차수 온도 보정을 사용해서 온도에 대해서 출력 전압 오차를 낮게 하고 예측 가능하게 하며(그림 3), 첨단 제조 프로세스를 사용해서 소자 대 소자 및 로트 대 로트(제품을 생산한 시간을 의미)로 일관된 성능을 달성한다. 모든 디바이스가 이러한 높은 수준의 성능을 달성하는지 확인하기 위해서 LT6657은 5가지 온도로 100% 테스트를 실시해서 온도 계수를 보장한다. -40°C~125°C에 걸쳐서 온도 드리프트로 인한 오차를 250ppm 미만으로 보장한다.

그림 3에서는 상자를 표시하고 있는 것을 볼 수 있는데, 이것은 1ppm/°C 오차를 나타내는 것이다. LT6657 유닛은 이 상자 안에 여유롭게 들어가므로 자동화 생산 테스트 시에 1.5ppm/°C에 대해서 합리적인 수율을 달성한다.

전반적인 안정성을 향상시키는 또 다른 점은 열 히스테리시스가 낮고 장기 드리프트 안정성이 뛰어나다는 점이다. 이들 지표는 시간과 온도 사이클에 대해서 시스템이 얼마나 잘 사양 이내로 머무를 것인지를 예측할 수 있다. 원격에 설치되어 있거나 캘리브레이션을 하기가 까다로운 시스템의 경우에 열 히스테리시스와 장기 드

products provide temperature stability of less than 5ppm/°C. Simultaneously, the range of features has been preserved or improved.

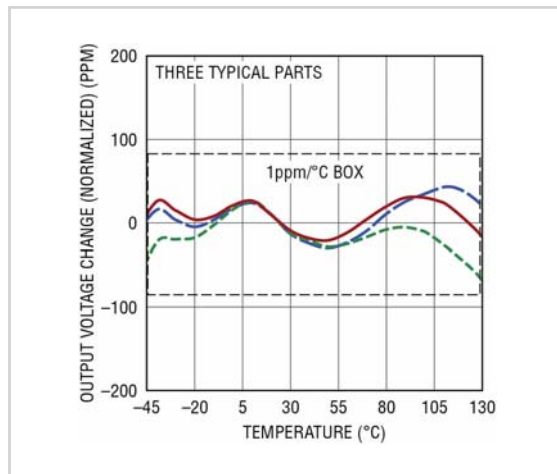
Such is the case for the LT6657, a high precision bandgap voltage reference. The LT6657 provides a new alternative, giving highest precision while retaining significant flexibility for a wide array of system requirements and limitations.

With a temperature coefficient of 1.5ppm/°C, the LT6657 is the lowest temperature coefficient bandgap voltage reference. High-order temperature compensation keeps the output voltage error low and predictable over temperature (Figure 3), while state of the art manufacturing ensures consistent performance from part to part and lot to lot. To ensure that every device meets this high level of performance, the LT6657's temperature coefficient is guaranteed by 100% five-temperature testing. From -40°C to 125°C, the LT6657 guarantees less than 250 parts per million of error due to temperature drift.

It should be noted that a box is included in Figure 3 to indicate 1ppm/°C of error. A typical LT6657 unit fits well within this box, allowing for reasonable yield to the 1.5ppm/°C limit in automated production testing.

Adding to the overall stability are low thermal hysteresis and excellent long-term drift stability. These measures

그림 3. LT6657의 온도 드리프트



리프트가 낮다면 캘리브레이션을 더 적게 할 수 있으므로 시간과 비용을 절약할 수 있다. 데이터 시트 상의 전기적 사양 표의 정격 수치들은 유용한 지침이 될 수 있으나, 많은 경우에 이러한 수치가 평균 값인지, 편차인지, 단일 값인지 명확하게 표기하고 있지 않다. Linear Technology는 전압 레퍼런스를 사용해서 설계할 때 실제적인 도움이 될 수 있도록 충분한 데이터를 제공한다. LT6657의 장기 드리프트와 히스테리시스 분포 데이터를 보면 이 둘 다 낮고 일관된다는 것을 알 수 있다.

전압 레퍼런스 성능의 또 다른 중요한 측면은 잡음이다. 많은 시스템은 온도나 노후화 같은 장기 드리프트에는 민감하지 않은데, 고분해능 측정을 위해서 매우 낮은 잡음을 요구한다. LT6657은 일부 저잡음 맵핑형 제너 레퍼런스에 필적할 만한 잡음 성능을 제공한다. 잡음이 0.5ppm에 불과함으로써 많은 고(high) 동적 범위 시스템에 사용하기에 적합하다. LT6657은 2.5V 레퍼런스 전압으로 0.1Hz부터 10Hz까지 1.25 μ V의 피크-대-피크 잡음만을 발생시킨다. 광대역 잡음 역시 낮아서 1kHz에 이르기까지 0.8ppm(2 μ V) RMS에 이른다. 이렇게 잡음이 낮음으로써 높은 동적 범위와 극히 낮은 잡음을 요구하는 시스템에 사용하기에 적합하다. 이렇게 낮은 잡음이 왜 중요하냐 하면, 5V 풀스케일 입력을 사용하는 20비트 컨버터의 LSB가 불과 4.8 μ V(~1ppm)이기 때문이다.

낮은 온도 드리프트, 높은 안정성, 낮은 잡음과 함께 LT6657은 또 다른 특성들을 갖추고 있다. LT6657은 동작하기 위해서 50mV의 전압의 차이만을 필요로 한다. 그러므로 DC 부하가 없으면 2.6V 미만의 입력 전압으로, 높은 DC 부하 전류 상태면 3V 미만의 전압을 사용해서 2.5V 레퍼런스를 구동할 수 있다. 또한 1ppm/V 미만의 라인 레귤레이션 오차와 뛰어난 리플 제거 성능과 함께 전원 범위가 40V까지 이므로 거의 대부분의 전원 장치를 사용해서 레퍼런스를 구동할 수 있는 유연성을

predict how well the system will stay within specification over time and temperature cycles. For systems that are located remotely or difficult to calibrate, lower thermal hysteresis and long-term drift translates to fewer calibration events, saving time and expense. While typical values in the electrical table provide helpful guidance, it is never clear if these represent a mean, a deviation, or a single unit. Linear Technology provides substantial data to give meaningful guidance when designing with voltage references. Long term drift and hysteresis distribution data is available in the LT6657 data sheet showing that both are low and consistent.

Another aspect of voltage reference performance is noise. Many systems are not sensitive to long-term drifts such as temperature or aging, but require very low noise to enable high resolution measurements. With the LT6657, noise performance is comparable to some of the best low-noise buried Zener references. At only 0.5ppm, the noise is appropriate for many high dynamic range systems. The LT6657 produces only 1.25 μ V peak-to-peak noise in 0.1Hz to 10Hz for a 2.5V reference voltage. Wideband noise is also low, at 0.8ppm (2 μ V) RMS to 1 kHz. The low noise of the device makes it a good candidate for high dynamic range and very low noise systems. To illustrate the importance of this low noise, a 20-bit converter with 5V full-scale input has an LSB of only 4.8 μ V (~1ppm).

In addition to the low temperature drift, high stability and low noise, the LT6657 adds further features. The LT6657 requires only 50mV of headroom for operation. It is possible to power a 2.5V reference from less than 2.6V with no DC load, or less than 3V with a heavy DC load current. The supply range extends to 40V with less than 1ppm/V of line regulation error and excellent ripple rejection, allowing the flexibility to power the reference from almost any available power supply which is a big differentiator over a Zener reference.

As with most of Linear Technology's recent voltage reference products, the LT6657 exhibits low output

낮은 온도 드리프트, 높은 안정성, 낮은 잡음과 함께
LT6657은 또 다른 특성들을 갖추고 있다.
LT6657은 동작하기 위해서 50mV의 전압의
차이만을 필요로 한다.

가능하게 한다는 것이 제너 레퍼런스와 차별화되는 점이다.

또한 Linear Technology의 대부분의 최신 전압 레퍼런스 제품과 마찬가지로, LT6657은 주파수에 대해서 낮은 출력 임피던스를 나타낸다. 그러므로 주파수에 대해서 부하 변동으로 인한 영향을 낮추고 부하에 존재하는 신호가 레퍼런스로 역유입 돼서 간섭, 오차, 잡음을 일으키는 것을 방지한다. 이 점은, 고성능 아날로그-디지털 컨버터(ADC)를 구동할 때나 자동차 시스템에서 벌크 전류 주입 같은 동작 테스트를 견뎌야 할 때 레퍼런스 안정화를 위해서 중요하다. 또한 LT6657은 높은 출력 커패시턴스를 구동할 수 있도록 설계되었다. 많은 고성능 ADC는 샘플링 시에 전압 레퍼런스로부터 높은 전하 주입 전류(charge-injection current)를 소모한다는 것을 감안했을 때, 신속한 안정화와 큰 축전 커패시터를 사용하면서도 안정적으로 유지할 수 있다는 점을 결합함으로써 이 전압 레퍼런스는 고 동작 범위 컨버터로부터 최대의 성능을 끌어내기에 유리하다.

또한 LT6657은 충분한 구동 용량을 제공함으로써 밀리암페어당 1ppm 미만의 부하 레귤레이션 오차로 최대 10mA의 부하 전류를 소싱(전류를 내보냄) 하고 싱크(전류를 받아들임) 할 수 있다. 이러한 부하 구동 능력을 갖추므로써 LT6657은 다양한 센서들을 바이어스할 수 있고, 까다로운 ADC 레퍼런스 입력을 구동할 수 있고, 다중의 ADC 및 DAC를 구동할 수 있고, 레퍼런스 급 정밀도를 필요로 하는 소형 서브시스템을 구동할 수 있다. 소형 데이터 포착 시스템으로 구동 기능과 레퍼런스 기능을 통합함으로써 시스템 디자이너가 보드 면적과 전력 소모를 최소화할 수 있다. ADC나 DAC가 구동과 레퍼런스 전압에 동일한 전압을 사용할 때 특히 적합하다. 또한 LT6657은 소형 MSOP 패키지로 제공됨으로써 더더욱 공간을 절약한다. 또한 LT6657은 전류 및 열 보호 기능들을 통합함으로써 결합 시에 과도한 부하로 인한 손상을 방지한다.

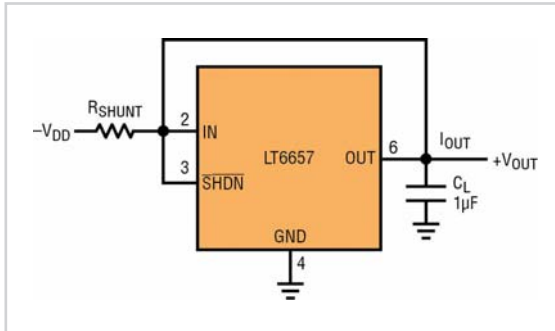
LT6657의 또 다른 특징은, 전력 레퍼런스로 동작할 수 있다는 것이다. 전력 모드 동작의 장점은 음의 전압 레퍼런스를 발생시킬 수 있다는 것이다. 또한 전력 모드 동작을 사용함으로써 LT6657이 매우 높은 전원 전압

impedance over frequency. This reduces the effect of changing load over frequency and helps prevent signals present at the load from backfeeding the reference and causing interference, errors or noise. This feature is critical for reference settling when driving a high performance analog to digital converter (ADC), or surviving operational tests such as bulk current injection in automotive systems. In addition, the LT6657 is designed to drive large output capacitance. Given that many high-performance ADCs draw large charge-injection currents from the voltage reference during sampling, the combination of fast settling and the ability to remain stable by design into a large charge-reservoir capacitor gives this voltage reference an edge in squeezing the best performance from a high dynamic range converter.

The LT6657 also has ample drive capability, and can source and sink up to 10mA of load current, with less than 1ppm per milliamp of load regulation error. This load-driving capability enables the LT6657 to bias a variety of sensors, drive difficult ADC reference inputs, drive multiple ADCs and DACs, or power a small subsystem with reference-grade precision. This little-utilized feature can help a system designer make the most of board area and power dissipation by merging the power and reference functions in some small data acquisition systems. It is ideal when the ADC or DAC uses the same voltage for both power and reference voltages; the small MSOP package of the LT6657 adds to the space-savings. Furthermore, the LT6657 includes current and thermal protection to avoid damage from excessive load during fault conditions.

Finally, the LT6657 can operate as a shunt reference. One benefit of shunt-mode operation is the ability to create a negative voltage reference. Shunt mode operation also allows the LT6657 to work from a very high supply voltage or to operate from the lowest possible dropout voltage. Figure 4 shows a positive shunt configuration for the LT6657.

그림 4. LT6657을 전력 모드 구성으로 사용



을 사용해서 동작하거나 되도록 낮은 드롭아웃 전압으로 동작할 수 있다. 그림 4는 LT6657을 사용한 양 전압의 전력 구성을 보여준다.

그림 5는 LT6657을 사용한 저잡음 정밀 20비트 ADC 애플리케이션을 보여준다. LT6657의 낮은 잡음, 낮은 온도 드리프트, 높은 안정성을 활용함으로써, 구식 매립형 제너 솔루션처럼 보드 면적을 늘리거나 추가의 전원을 필요로 하지 않고서, 향상된 성능을 제공하는 LTC2378-20 같은 고정밀 ADC에 사용할 수 있다.

요컨대 LT6657은 높은 정밀도, 낮은 잡음, 높은 안정성을 제공할 뿐만 아니라 다수의 기능들을 통해서 유연성을 가능하게 한다. 그러므로 전력과 면적을 절약하고, 다양한 전원 전압 및 환경 조건과 호환 가능하고, 최대의 정밀도, 안정성, 동작 범위를 달성하는 시스템을 설계할 수 있다. 이 혁신적인 전압 레퍼런스 제품은 우수한 제조 기술을 사용해서 제조되었을 뿐만 아니라, 다수의 기능들을 통합하고 높은 성능을 제공함으로써 다양한 애플리케이션에 사용할 수 있다. **SN**

Figure 5 shows the LT6657 in a low noise precision 20-bit ADC application. In this case, the low noise, low temperature drift and high stability of the LT6657 allows use of a high precision ADC such as the LTC2378-20 with improved performance, but without the added board space and supply headroom of older buried Zener solutions.

In conclusion, the LT6657 offers high precision, low noise and high stability, combined with the flexibility provided by its many features. The device's features enable design of a system that is power and area efficient, compatible with a wide range of supply voltages and environmental conditions, and capable of the highest precision, stability and dynamic range. The additional features and performance of this groundbreaking voltage reference, combined with manufacturing quality, make it ideal for many application circuits. **SN**

그림 5. 저잡음 정밀 20비트 아날로그-디지털 컨버터 애플리케이션

