

배터리 방전을 정확히 모니터링 하는 나노파워 IoT 전원

Nanopower IoT Power Supply Accurately Monitors Battery Discharge

LTC3335와 같은 새로운 DC/DC 컨버터는 특히 배터리의 크기와 화학적 특성에 관계 없이 시스템의 전력 요구를 해결하고 에너지 효율을 최적화하도록 설계되었다. 뿐만 아니라 LTC3335는 배터리를 소모하지 않으면서 배터리에서 부하로 전달되는 쿨롱 수를 정확히 계산하는 유일한 제품이다.

글/Samuel Nork, Director, Boston Design Center, Linear Technology Corporation

사물 인터넷(IoT)은 갈수록 늘어나고 있는 방대한 수의 기기들이 심장 박동수에서부터 실내 온도, 건물의 거주자에 이르는 모든 것을 모니터링 하면서 상호연결 되는 것을 말한다. 새로운 애플리케이션이 매일 등장하고 무선 로컬 네트워크를 통해 모든 종류의 데이터를 측정하고 보고하고 있으며, 로컬 네트워크는 게이트웨이를 통해 인터넷에 직접 연결된다. 만약 전문가의 말이 모두 맞다면, 우리는 곧 스마트폰에서 손가락으로 화면을 몇 번 쓸어 넘기기만 하면 집안에 있는 모든 전자 제품의 현재 상태와 동작 상태를 모니터링하고 조명을 끄고 반려 동물의 정확한 위치를 파악하는 것은 물론 유비쿼터스 무선 모니터링을 통해 언제 어디서나 주변의 모든 것을 보고 제어할 수 있게 될 것이다.

보다 실용적인 측면에서 사물 인터넷은 또한 방대한 메시 네트워크로 연결되는 무선 센서들을 통해 산업 환경에 적용되고 있다. 이와 같은 무선 센서 네트워크는 전 세계의 공장, 산업 현장과 자동차 및 기계에 사용돼 핵심적인 파라미터를 모니터링하고 안전과 신뢰성을 향상시키며, 적시에 유지보수를 가능하게 한다. 그러나 이러한 무선 기기들은 의도된 용도와 관계 없이 모두 전력을 어떻게 획득할 것인가라는 하나의 공통된 문제를 안고 있다.

고려할 수 있는 많은 대안들이 있지만, 우선적으로 무선 모니터는 작고 방해가 되지 않아야 하고 최소 유지

The Internet of Things, or IoT, refers to the growing number of interconnected devices that monitor everything from heart rates to room temperatures or building occupants. New applications are created every day to measure and report all types of data via wireless local networks which in turn may connect via gateways directly to the Internet. If the pundits are correct, we will soon have the ability to monitor the health and operating status of every appliance in our homes, turn off all the lights, and learn the exact location of our pets, all with a few finger swipes on our smart phones. Ubiquitous wireless monitoring will enable observation and control of our surroundings anytime, anywhere.

On a more utilitarian note, the Internet of Things has also manifested itself in industrial settings in the form of wireless sensors arrayed in vast mesh networks. Such wireless sensor networks are used in factories, industrial sites and on vehicles and machinery around the world to monitor critical parameters and improve safety, reliability and timely maintenance. Regardless of their intended use, such wireless devices all share a common problem: how do they get their power?

Clearly, there are many alternatives to consider. Wireless

보수를 필요로 해야 한다. 전문가에 의하면 미래의 IoT 세계에서 이러한 기기들 대부분은 무한한 전력원을 공급할 수 있는 최적화된 에너지 하베스터를 통해 자체적으로 전력을 공급받게 될 것이다. 이와 같은 전망은 이상적으로 들리며, 게다가 상당한 진전이 이루어져서 에너지 하베스팅의 실용성이 많이 향상되었지만, 아직 현재의 솔루션은 크기나 성능에서 부족한 경우가 많고, 전력이 필요한 곳에서 수확 가능한 에너지를 얻을 수 없는 경우를 항상 볼 수 있다. 다행히 광범위한 사물 인터넷에 요구되는 긴 배터리 수명과 낮은 평균 전력의 애플리케이션에 최적화된 배터리 기술이 나와 있다.

리튬 염화 티오닐: 이상적인 무선 센서 에너지원

사물 인터넷 애플리케이션은 유사한 전력과 에너지 요구사항을 갖는 경향이 있다. 원격 모니터를 위한 평균 전력은 통상 매우 낮으며, 버스트 방식으로 데이터를 측정하고 전달하는 간헐적인 동작을 필요로 한다. 따라서 이와 같은 애플리케이션에 이상적인 배터리는 전력 밀도보다 에너지 밀도가 더 중요하다. 또한 가능한 가장 긴 동작 수명을 유지하고, 많은 비용이 발생하는 가동 중단 시간과 배터리 교체의 유지보수 필요를 줄일 수 있도록 배터리 자기 방전을 최소화해야 한다. 이러한 애플리케이션을 위한 탁월한 배터리 기술이 리튬 염화 티오닐(Li-SOCL₂)이다. 이 배터리 화합물은 지극히 낮은 자기 방전(몇몇 제공업체의 주장에 따르면 20년 이상의 저장 수명)과 비교적 높은 3.6V의 일반 동작 전압을 제공한다. Li-SOCL₂ 배터리는 다수의 업체에서 매우 다양한 형태, 크기, 용량으로 나와 있으며 광범위하게 이용되고 있다. 그러나 대부분 고도의 전문적인 기술과 마찬가지로 사용에는 일련의 절충이 따른다.

긴 수명의 배터리를 사용하는 과제

Li-SOCL₂ 배터리의 수명(용량)의 장점을 실현하기 위해서는 애플리케이션 회로를 설계할 때 특별한 주의가 필요하다. 그림 1에서 보듯 리튬 염화 티오닐 배터리는 매우 높은 출력 임피던스를 갖는다. 화학적 반응은 지

monitors should be small and unobtrusive, and they should require minimal maintenance. In the IoT world of tomorrow, experts suggest that many of these devices will be self-powered via optimized energy harvesters capable of providing an endless source of power. While such a prospect sounds ideal, and considerable progress has been made to improve the practicality of energy harvesting, solutions today often fall short in terms of size and performance, and there will always be cases where power is needed and no harvestable energy is available. Fortunately, battery technologies exist which are optimized for long lifetime, low average power applications such as those on the IoT spectrum.

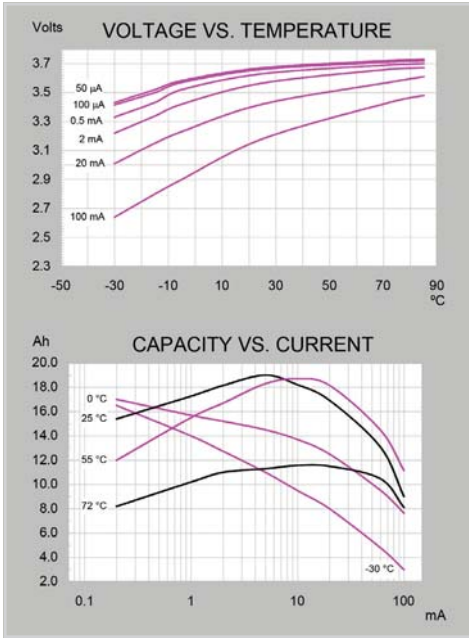
Lithium Thionyl Chloride: The Ideal Wireless Sensor Energy Source

IoT applications tend to have similar power and energy requirements. The average power for remote monitors is typically very low, with an occasional need to measure and broadcast data in a bursty fashion. The ideal battery for such applications would therefore favor energy density over power density. In addition, battery self-discharge should be minimized to enable the longest possible operating time and to reduce the need for costly downtime and maintenance to replace batteries. An excellent battery technology for such applications is lithium thionyl chloride (Li-SOCL₂). This battery chemistry provides extremely low self-discharge (shelf life of 20 years plus claimed by several suppliers), very high energy density and a relatively high 3.6V typical operating voltage. Li-SOCL₂ batteries are widely available from numerous suppliers in many different shapes, sizes and capacities. However, as with most highly specialized technologies, usage comes with a set of trade-offs.

Challenges Using Long Lifetime Batteries

Realizing the lifetime (capacity) benefits of Li-SOCL₂ batteries requires particular care when designing the

그림 1. Li-SOCL2 전압과 용량 vs. 온도와 전류(출처: Tadiran)



터리 화합물에 비해 낮다. 리튬 염화 티오닐에서 고전류 소비는 동작 전압뿐 아니라 배터리 용량도 감소시킨다. 그림 1의 배터리가 100mA DC 부하에서 동작할 경우 9 암페어-시의 용량을 제공하며, 이는 4mA 부하에서 발생하는 19암페어-시의 피크 값보다 상당히 낮다. 따라서 순간적인 높은 피크 전류를 필요로 하는 애플리케이션은 주기적인 단시간의 전력 버스트를 처리하는 것뿐 아니라 사용 가능한 용량을 극대화하기 위해 피크 부하 시 일부 유형의 배터리 전류 제한을 처리하기 위해 배터리와 병렬로 커패시터 스토리지를 사용해야 한다.

다운스트림 센서와 통신 전자장치에서 안정적인 전원 전압을 유지하기 위해 DC/DC 컨버터가 필요한 경우 배터리 전류 관리 문제는 더 복잡해진다. 저전력 애플리케이션에 최적화된 DC/DC 컨버터는 일반적으로 버스트 모드 (Burst Mode[®]) 방식으로 동작하며, 이 경우 컨버터는 출력이 레귤레이션 지점보다 낮게 떨어질 때까지 슬립 상태를 유지하다가, 다음으로 레귤레이션이 달성될 때까지 짧은 시간의 큰 전류 버스트가 출력에 공급된다. 앞서 설명한 것처럼 이와 같은 버스트 전류는 다른 1차 배터리 화합물뿐 아니라 리튬 염화 티오닐에 문제가 되며, 시스템을 위한 동작 수명을 감소시킨다. 이상적인 IoT 전력 솔루션

극히 낮은 자기 방전과 긴 저장 수명(부동태화 형성)을 제공하는 반면 가용 출력 전류를 제한하는 원하지 않은 효과를 갖는다. 심지어 배터리의 주기적 로딩으로 인해 부동태화 층이 약화될 때에도 공급할 수 있는 피크 전류는 주어진 암페어-시 (amp-hour) 용량 등급에 대한 다른 배

application circuitry. As can be seen in **Figure 1**, lithium thionyl chloride batteries have a very high output impedance. The chemical reaction that enables extremely low self-discharge and long shelf life (passivation formation) has the unwanted effect of limiting the available output current. Even when the passivation layer has dissipated due to periodic loading of the battery, the peak currents that may be supplied are low compared to other battery chemistries for a given amp-hour capacity rating. With lithium thionyl chloride, high current draw results in not only a reduced operating voltage but also a reduced battery capacity. Operating the battery of **Figure 1** with a 100mA DC load results in 9 amp-hours of capacity, considerably below the peak value of 19 amp-hours, which occurs with a 4mA load. Hence, applications requiring momentary high peak currents must employ capacitor storage in parallel with the battery to handle the periodic short-term power bursts, as well as some form of battery current limiting during peak loads in order to maximize available capacity.

The battery current management problem is further complicated if a DC/DC converter is needed to maintain a stable supply voltage for the downstream sensor and communication electronics. DC/DC converters optimized for low power applications generally operate in a Burst Mode[®] fashion, where the converter remains in a SLEEP state until the output drops below the regulation point, and then large, short duration bursts of current are supplied to the output until regulation is achieved. As previously discussed, such bursty currents are problematic for lithium thionyl chloride as well as other primary battery chemistries, and result in reduced operating life for the system. The ideal IoT power solution would combine a long lifetime battery with a DC/DC converter designed with a battery-friendly current management system.

Nanopower DC-DC Converter with Programmable Peak Input Current

A new product, the LTC3335 (see **Figure 2**), was designed

은 긴 수명의 배터리와 배터리 친화적인 전류 관리 시스템을 설계된 DC/DC 컨버터를 결합한 형태이다.

프로그래밍 가능한 피크 입력 전류를 갖는 나노파워 DC-DC 컨버터

신제품 LTC3335(그림 2)는 이러한 정확한 요구사항을 염두에 두고 설계되었다. LTC3335는 1.8V~5.5V 사이의 레귤레이트되지 않은 입력 전압으로부터 1.8V~5V 사이의 고정, 핀 프로그래밍 가능한 레귤레이트된 출력 전압을 발생시키는 벅-부스트 DC/DC 컨버터이다. 제품은 다양한 1차 전지 소스와 함께 사용하여 입력보다 높거나 낮거나 같은 출력 전압을 레귤레이트 할 수 있다.

LTC3335는 다른 벅-부스트 컨버터와 달리 레귤레이트된 출력을 유지하는 데 단 680nA(무부하 조건)의 입력 전류만 필요하다는 점에서 독보적이다. 또한 리튬염화 티오닐을 포함한 광범위한 1차 전지의 입력 전류 제한을 받아들일 수 있도록 최저 5mA에서부터 최대 250mA까지 프로그래밍 가능한 8가지 피크 입력 전류 설정을 제공한다. 이는 외부에 전류 제한 기능을 위한 추가 회로를 필요로 하지 않게 한다.

LTC3335의 DC/DC 동작은 비교적 간단하다(그림 2와 3 참조). 출력 전압이 레귤레이션 지점보다 높게 상승하면, 슬립 모드로 들어가고 출력 모니터링 회로만 작동 상태를 유지한다. 부하로 인해 출력 전압이 레귤레이션 지점 아래로 떨어지면, DC/DC 컨버터가 작동되고 4개의 스위치 모노리식 풀 브리지 컨버터를 사용하여 전력이 입력에서 출력으로 전달된다. DC/DC 컨버터가 작동되면, 스위치 A와 C가 턴온 되어 전류가 배터리로부터 핀 SW1과 SW2 사이에 연결된 외부 인덕터를 통해 흐른다. 프로그래밍된 피크 전류(I_{PEAK})에 도달하면, 스위치 A와 C가 턴오프 되고 스위치 B와 D가 턴온 되어 전류가 인덕터로 흘러 PV_{OUT} 핀에 연결된 출력 커패시터를 충전한다. 전류는 제로에 도달할 때까지 스위치 B와 D로 계속 흘러 들어간다. 만약 이 지점에서 출력이 레귤레이션 지점보다 높으면, 출력이 떨어져 레귤레이션 상태를 벗어날 때까지 슬립모드로 돌아가 그 상태를 유지한다. 이와 달리 제로 지점에 도달하면 다른 사이클의 AC/BD 스위치 사이클이

with these exact requirements in mind. The part is a buck-boost DC/DC converter which generates a fixed, pin-programmable regulated output voltage between 1.8V and 5V from an unregulated input voltage between 1.8V and 5.5V. The part may be used with a wide variety of primary battery sources to regulate an output voltage above, below or equal to the input.

The LTC3335 is unique among buck-boost converters in requiring only 680nA of input quiescent current to maintain a regulated output. In addition, the part includes 8 programmable peak input current settings from as low as 5mA up to 250mA in order to accommodate the input current limitations of a wide range of primary cell batteries, including lithium thionyl chloride, without any external current limiting.

The LTC3335's DC/DC operation is relatively straightforward (see Figures 2 and 3). If the output voltage is

그림 2. 프로그래밍 가능한 피크 I_{LM}을 갖는 LTC3335 나노파워 벅-부스트 DC/DC

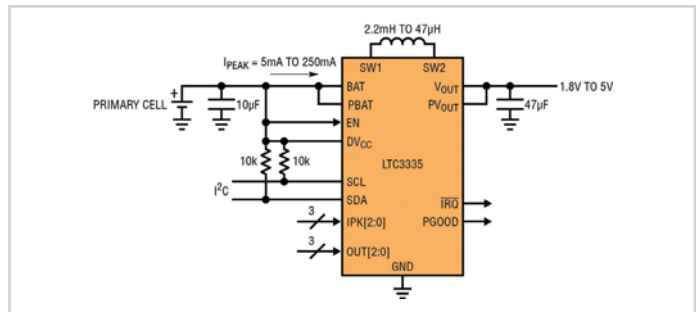
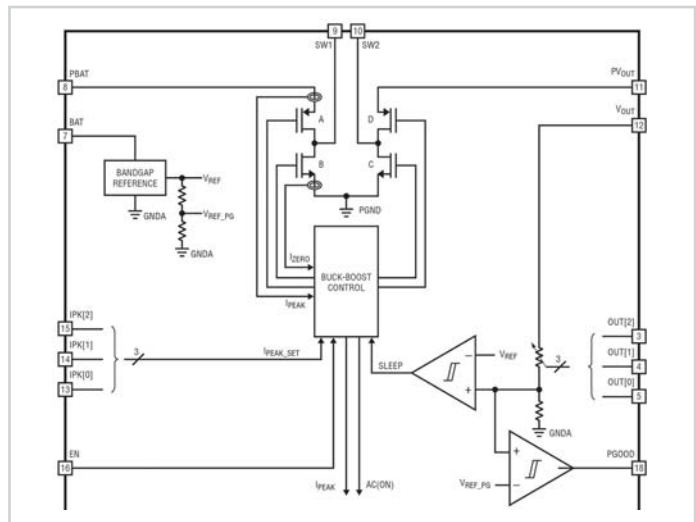


그림 3. LTC3335 DC/DC 블록 다이어그램



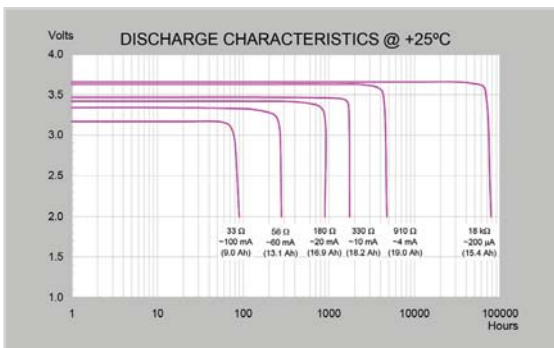
시작된다. 이러한 낮은 무부하 전류와 동기 동작으로 LTC3335는 광범위한 무선 센서에서 통상적인 평균 부하 레벨인 10 μ A의 낮은 부하 전류에서 80% 이상의 높은 전력 변환 효율을 달성한다. 이 밖에 피크 입력 전류를 평균 전력 소모를 지원하는 데 필요한 최소 값으로 낮출 수 있어 배터리 수명과 용량을 극대화한다.

그 밖의 과제: 잔여 배터리 용량 추정

부하 전류를 최소화하고 배터리 수명을 극대화해도 애플리케이션은 궁극적으로 공간이 제한돼 있고, 배터리는 일정한 지점에서 교체할 필요가 있다. 저가형 휴대용 기기에서 배터리의 방전 상태를 모니터링하고 잔량을 추정하는 것은 낮은 우선순위가 될 수 있다. 배터리가 제품의 가용 수명보다 길거나 배터리를 교체하기 위해 오프 라인 상태가 될 때 미치는 영향이 최소화될 수 있기 때문이다. 그러나 공장 자동화 또는 레일카 안전 모니터링에 들어가는 핵심적인 센서의 경우 소진된 배터리를 교체하기 위한 예기치 않은 가동 중단 시간은 허용할 수 없을 정도의 막대한 비용을 초래할 수 있다.

많은 1차 전지에서 잔여 용량을 예측하는 것은 종종 까다로운 작업이지만, 리튬 염화 티오닐에서는 특히 더 어렵다. 그림 4의 방전 곡선에서 보듯이 일반적인 Li-SOCL₂ 배터리의 개방 회로 전압은 배터리 용량이 거의 남지 않을 때까지 거의 일정한 전압으로 고정돼 있다. 이 지점에서 배터리 전압은 급격히 떨어진다. 그 결과 배터리 전압 모니터링은 배터리 용량이 제로에 거의 근접할 때까지 거의 유용한 정보를 제공하지 못한다. 뿐만 아니

그림 4. Li-SOCL₂ 전압 vs. 출력 전류(출처: Tadiran)



above the regulation point, the part enters a SLEEP mode with only the output monitoring circuitry active. Once the load forces the output voltage to drop below its regulation point, the DC/DC converter is enabled and power is transferred from input to output using a four switch monolithic full bridge converter. Once the DC/DC converter is enabled, switches A and C turn on, allowing current to flow from the battery through an external inductor connected between pins SW1 and SW2. Once the programmed peak current (I_{PEAK}) is reached, switches A and C turn off and switches B and D turn on, allowing the current flowing in the inductor to charge the output capacitor connected to the PV_{OUT} pin. Current continues to flow in switches B and D until it reaches zero. If at this point the output is above the regulation point, the part returns to SLEEP mode until the output drops out of regulation. Otherwise, another cycle AC/BD switch cycle commences. With such low quiescent current and synchronous operation, the LTC3335 achieves power conversion efficiency above 80 percent with load currents as low as 10 μ A, a common average load level for a wide variety of wireless sensors. In addition, peak input currents may be reduced to the minimum value necessary to support the average power consumption, thereby maximizing battery lifetime and capacity.

Additional Challenge: Estimating Remaining Battery Capacity

Despite efforts to minimize load currents and maximize battery life, applications are ultimately area constrained, and batteries will need replacement at some point. In a low cost portable device, monitoring the discharge status of the battery and estimating the remaining capacity may be a low priority. Either the battery outlasts the usable life of the product, or the consequences of going off-line to change the battery are minimal. However, in the case of a critical sensor in a factory automation system or rail car safety monitor, unforeseen downtime to replace a dead battery represents an unacceptable expense.

라 개방 회로 전압과 배터리 임피던스는 모두 온도에 매우 민감하기 때문에 이러한 파라미터의 측정이 예정에 없던 가동 중단을 피하기에 충분한 경고를 제공한다고 해도 추가적인 모니터링 없이는 방전 곡선이 knee(*배터리가 거의 다 방전이 되어 배터리 전압이 떨어지기 시작하는 지점)에 도달한 것인지, 아니면 온도 또는 부하의 변화로 인한 경고인지 구별할 수 없다. 추가적인 모든 모니터링은 원하지 않은 전력을 소모한다.

솔루션: '제로' 무부하 전류 쿨롱 카운터

배터리 사용을 모니터링 하는 가장 간단하고 직접적인 방법은 배터리에서 방전되는 쿨롱(coulomb)을 계산하는 것이다. 전통적인 방법은 배터리 전류에 대한 연속적인 모니터링과 적분이 포함되며, 이는 무부하 조건에서도 상당한 양의 전력을 소모한다. 그러나 LTC3335의 전력 변환 아키텍처는 출력을 레귤레이션 상태로 올릴 필요가 있을 때 때면 DC/DC 컨버터가 배터리에서 부하로 흐르는 전하의 양을 정확히 자체적으로 모니터링 한다. 솔루션의 핵심적인 차이는 DC/DC 슬립 시간 동안 쿨롱 카운터가 전류를 전혀 소모하지 않는다는 것이다.

DC/DC 컨버터가 작동될 때는 언제나 스위치 A와 C가 턴온 될 때만 전류가 배터리로부터 흐른다. 스위치 A와 C의 전류는 I_{PEAK} 에 도달할 때까지 흐르며, 그런 다음 피크에 도달하면 스위치 B와 D가 턴온 되고 인덕터 전류가 제로가 될 때까지 출력 커패시터로 방출된다. 제로 전류 지점이 검출되면, 사이클은 V_{OUT} 이 레귤레이션 상태가 될 때까지 반복된다. 그림 5에서 보듯이 적절히 선택된 인덕터를 통해 스위치 A와 C가 턴온 될 때마다 배터리로부터 흐르는 전류는 프로그래밍된 피크 전류에 도달할 때까지 제로서부터 선형적으로 상승한다.

특정 AC 온(ON) 사이클에서 I_{PEAK} 에 도달하는 데 필요한 시간은 주로 배터리 전압과 인덕터 값, I_{PEAK} 설정의 함수이다. I_{PEAK} 에 도달하는 데 필요한 시간의 양을 측정하면 다음의 식을 이용해 특정 I_{PEAK} 설정에 대해 각 AC 온(ON) 사이클 동안 전달되는 쿨롱의 수를 결정할 수 있다.

$$Q_{AC(ON)} = \frac{I_{PEAK} \cdot t_{AC}}{2}$$

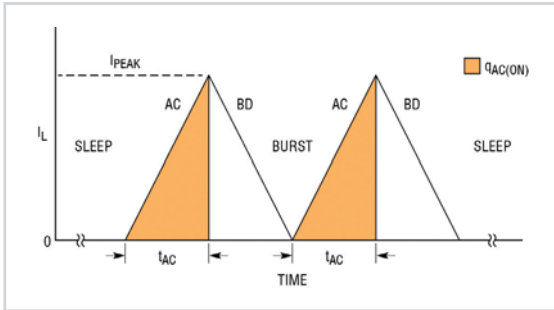
Predicting remaining capacity with many primary cell batteries is often a difficult task, but is especially challenging with lithium thionyl chloride. As shown in the discharge curves in Figure 4, the open circuit voltage for a typical Li-SOCl₂ battery remains fixed at a nearly constant voltage until virtually no capacity remains in the battery. At this point, the battery voltage drops abruptly. As a result, battery voltage monitoring provides little useful information until battery capacity is very close to zero. Furthermore, both the open circuit voltage and the battery impedance have a strong temperature dependency, so even if measuring such parameters provides sufficient warning to avoid unscheduled downtime, discerning the difference between the knee of the discharge curve and a change in temperature or load is impossible without additional monitoring – all of which consumes unwanted power.

Solution: "Zero" Quiescent Current Coulomb Counter

The most simple and direct way to monitor battery usage is to count the coulombs discharged from the battery. Traditional methods involve continuous monitoring and integration of the battery current, which consumes considerable amounts of power even under no load conditions. However, the LTC3335's power conversion architecture accurately self-monitors the amount of charge passing from the battery to the load each time the DC/DC converter needs to boost the output into regulation. The key difference is that during the DC/DC SLEEP periods, the coulomb counter consumes zero current.

Whenever the DC/DC converter is enabled, current flows from the battery only when switches A and C are on. Current in switches A and C will flow until I_{PEAK} is reached, and then switches B and D turn on and the inductor current discharges into the output capacitor as it ramps down to zero. Once the zero current point is detected, the cycle repeats until V_{OUT} is in regulation. With an

그림 5. 스위치 AC 온(On) 시간 동안 측정된 배터리 방전

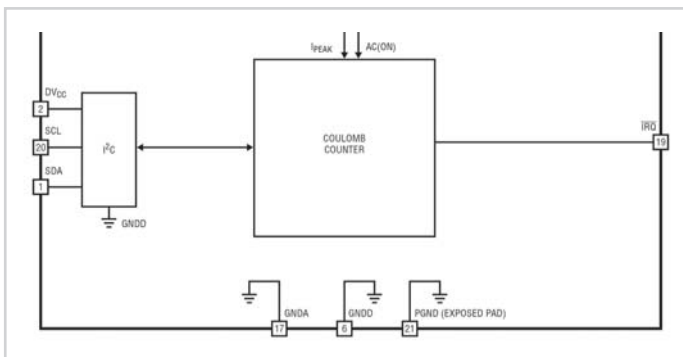


LTC3335는 스위치 A와 C가 턴온 할 때마다 AC 온 (ON) 시간을 주기적으로 측정하고, 선택된 I_{PEAK} 설정에 대해 조정된 정확한 쿨롱의 수를 출력하는 내부 타이밍 회로를 포함하고 있다. 내부 가산기와 리플 카운터가 스위치 A와 C가 턴온 하는 횟수를 합산하고, 이 카운트를 AC 온(ON) 시간에 대해 조정된 쿨롱, $q_{AC(ON)}$ 으로 곱한다. 카운터 체인의 8 MSB는 I²C 포트를 통해 사용자가 액세스할 수 있으며, 배터리에서 부하로 흐르는 쿨롱의 총수를 나타낸다. 다양한 배터리 크기와 I_{PEAK} 설정을 받아들일 수 있도록 I²C를 통해 변환값을 선택할 수 있으며, 각 센서의 배터리 소모에 관해 시스템에 알리도록 경보 레벨을 선택할 수 있다. LTC3335의 내부 쿨롱 카운터는 DC/DC 컨버터가 슬립 모드에 있는 동안 로직 상태를 유지하기만 하면 되므로 배터리 방전을 모니터링 하는 추가적인 무부하 전류가 실제로 제로에 가깝다.

오차의 원인과 완화

대부분의 솔루션과 마찬가지로 절충과 오차의 원인

그림 6. LTC3335의 DC/DC 아키텍처에 기반한 '제로' 전류 쿨롱 카운터



appropriately chosen inductor, the current from the battery will ramp linearly from zero until the programmed peak current value is reached each time switches A and C are ON, as shown in Figure 5.

The time required to reach I_{PEAK} in a given AC ON cycle is primarily a function of the battery voltage, inductor value and I_{PEAK} setting. By measuring the amount of time required to reach I_{PEAK} , the number of coulombs transferred during each AC ON cycle may be determined for a given I_{PEAK} setting using the formula below:

$$q_{AC(ON)} = \frac{I_{PEAK} \cdot t_{AC}}{2}$$


The LTC3335 contains an internal timing circuit that periodically measures the AC ON time and outputs an accurate number of coulombs scaled for the selected I_{PEAK} setting each time switches A and C are turned ON. An internal adder and ripple counter tally up the number of times that switches A and C turn ON and multiply this count by the scaled coulombs per AC ON time, $q_{AC(ON)}$. The 8 MSBs of the counter chain are accessible to the user via an I²C port and represent the total number of coulombs passed from the battery to the load. Scale factors may be chosen via I²C to accommodate different battery sizes and I_{PEAK} settings, and alarm levels may be selected to alert the system about each sensor's battery consumption. Since the LTC3335's internal coulomb counter must only hold its logic state while the DC/DC converter is in SLEEP mode, the added quiescent current to monitor battery discharge truly approaches zero.

Sources of Error and Mitigation

As with most solutions, trade-offs and error sources exist. The LTC3335 coulomb counter, shown in Figure 6, monitors and "measures" the charge that is consumed at the output of the DC/DC converter. This includes 100% of the load current, as well as that portion of the internal switch driver current that is powered from V_{OUT} . However, the quiescent

이 존재한다. 그림 6에 있는 LTC3335 쿨롱 카운터는 DC/DC 컨버터의 출력에서 소비되는 전하를 모니터링하고 '측정'한다. 여기에는 100%의 부하 전류뿐 아니라 V_{OUT} 으로부터 전력을 공급받는 내부 스위치 드라이버 전류 부분도 포함된다. 그러나 슬립 모드의 무부하 전류와 스위치 구동에 사용되는 V_{IN} 전류, 그리고 전하 전달 시 활성화되는 DC/DC 제어 회로는 측정되지 않기 때문에 오차의 원인을 제공할 수 있다. 일반적으로 LTC3335는 방전되는 쿨롱보다 조금 낮게 보고한다. 50mA 이상의 피크 전류에서 이러한 오차는 매우 작지만(5% 미만), 가장 낮은 피크 전류 설정에서 이러한 오차는 상당히 클 수 있다(방전되는 실제 쿨롱의 20% 이상). 다행히 특정한 일련의 애플리케이션 조건에서 주요 오차 원인은 비교적 잘 제어되고 예측 가능한 IC의 특성으로 인한 것이어서 소프트웨어 오차 교정을 이용하면 가장 낮은 피크 전류 설정에서도 보고된 쿨롱 계수 오차를 한 자릿수 퍼센트 정확도까지 낮출 수 있다. 데이터 시트에 제공되는 일반적인 곡선은 시스템 소프트웨어 수준에서 이러한 오차를 보상하는 데 사용할 수 있다.

최적의 무선 센서 전원

긴 동작 수명과 신뢰할 수 있는 동작의 달성은 모든 무선 애플리케이션의 중요한 목표이다. 사용 가능한 많은 전원 중에서 어느 것을 선택할 것인가 하는 문제는 솔루션 크기, 동작 수명, 피크 전력 요구사항 등과 관련된 절충을 잘 따져보아야 한다. 무선 센서가 안전, 보안, 산업 시스템 성능을 포함해 점점 더 많은 애플리케이션으로 확대되면서 전력 소모를 최적화하고 더 긴 동작 수명을 달성해야 하는 요구도 높아지고 있으며 네트워크 신뢰성 또한 중요성이 증가하고 있다. 여기에는 네트워크 전반에 걸친 데이터 생성과 전달뿐 아니라 전력 손실로 인한 예기치 않은 가동 중단을 피하는 것도 포함된다. LTC3335와 같은 새로운 DC/DC 컨버터는 특히 배터리의 크기와 화학적 특성에 관계 없이 시스템의 전력 요구를 해결하고 에너지 효율을 최적화하도록 설계되었다. 뿐만 아니라 LTC3335는 배터리를 소모하지 않으면서 배터리에서 부하로 전달되는 쿨롱 수를 정확히 계산하는 유일한 제품이다. 

current during SLEEP mode and the V_{IN} current used for switch drive and the DC/DC control circuits active during charge transfer are not measured and represent an error source. In general, the part will slightly under-report coulombs discharged. At peak currents above 50mA or so, these errors are quite small (less than 5%), but at the lowest peak current settings, these errors can be substantial (>20% of actual coulombs discharged). Fortunately, for a given set of application conditions, the primary error sources are due to relatively well controlled and predictable characteristics of the IC which enables software error correction to reduce the reported coulomb count error to single digit percent accuracy, even at the lowest peak current settings. Typical curves published in the data sheet may be used to compensate for these errors at the system software level.

The Optimal Wireless Sensor Power Supply

Achieving long operating life, together with reliable operation, is a worthy goal for any wireless application. Choosing which of many available power sources to use requires weighing the trade-offs associated with solution size, operating life, peak power requirements, etc. As wireless sensor use expands into more and more applications involving safety, security or industrial system performance, the need to optimize power consumption and achieve longer operating life becomes imperative. Network reliability grows in importance as well. This includes not only the robustness of the data generation and transfer throughout the network, but also the avoidance of unexpected downtime due to power loss. New DC/DC converters such as the LTC3335 are designed specifically to address the power needs of such systems and optimize energy utilization regardless of battery size and chemistry. However, only the LTC3335 also provides an accurate tally of the number of coulombs transferred from the battery to the load without taxing the battery in the process. This is a rare case of getting something for nothing. 