

혁신적 에너지 하베스팅을 이용하는 초소형 태양광 패널

Compact Solar Panels Take Advantage of Innovative Energy Harvesting

일부 에너지 하베스팅 소스는 명함 크기의 태양전지를 이용하는 이 글의 설계 예에서 보듯이 낮은 수준의 가용 전력을 공급하지만, 이러한 에너지는 대부분의 무선 센서에 전력을 공급하기에 충분하다. LTC3106 벅-부스트 DC/DC 컨버터는 저전력 시스템에 흔히 사용되는 다중 입력 소스에 최적화되었으며, 광범위한 에너지 하베스팅 애플리케이션에 필요한 다양한 기능을 제공한다.

글/Bruce Haug, Senior Product Marketing Engineer, Power Products, Linear Technology Corporation

에너지는 우리 주변의 모든 곳에 존재하며 온도, 빛, 갈바닉, 더 나아가 전기 기계적 에너지의 형태로 이용되고 있다. 그러나 이러한 원천에서 얻는 에너지는 흔히 미미한 수준이어서 일정한 용도에 적절한 전력을 지속적으로 공급하기 어렵다. 실제로 최근까지만 해도 태양광과 지열 에너지를 제외하면 실제적으로 유용한 기능을 수행할 정도로 충분한 에너지를 하베스팅하는 것은 불가능했다. 에너지 하베스팅은 이러한 자연적으로 발생하는 하나 이상의 에너지원으로부터 미량의 에너지를 포집한 다음, 이후에 사용할 수 있도록 이를 축적하거나 저장하는 일련의 과정이다. 따라서 에너지 하베스팅 장치는 효율적이고 효과적으로 주변 에너지를 하베스팅, 축적, 저장하면서 조절하고 관리할 뿐 아니라 유용한 기능을 수행하는데 이용될 수 있는 형태로 조정할 수 있어야 한다.

최근 많은 기술 발전이 이루어지면서 환경으로부터 미량의 에너지를 하베스팅 하고, 이를 전기적 에너지로 변환하는 디바이스의 효율이 증가했다. 뿐만 아니라 컨버터 기술의 발전은 전력 변환 효율을 증가시켰을 뿐 아니라 내부 전력 소모 요건도 낮춰주었다. 이러한 발전은 엔지니어링 업계의 관심을 불러 일으킴으로써 에너지 하베스팅을 이용하는 더욱 많은 애플리케이션 개발로 이어지고 있다.

주변 에너지를 이용하는 에너지 하베스팅은 원격

Energy surrounds us everywhere and is available in the form of temperature, light, galvanic and even electromechanical energy. However, the energy from these sources is often found in such minute quantities that it cannot continuously supply adequate power for any viable purpose. In fact, until recently, it has not been possible to capture sufficient energy to perform any useful function, with the exception of solar and geothermal. Energy Harvesting is the process of capturing minute amounts of energy from one or more of these naturally occurring energy sources, then accumulating or storing them for later use. Energy harvesting devices can efficiently and effectively capture, accumulate, store, condition and manage ambient energy and condition them in a form that can be used to perform useful functions.

Recent technical advancements have increased the efficiency of devices in capturing trace amounts of energy from the environment, transforming it into electrical energy. In addition, advancements in converter technology have not only increased power conversion efficiency but have also reduced their internal power consumption requirements. These developments have sparked interest from the engineering community to develop even more

애플리케이션을 배치하거나 천연 에너지원이 실제로 무한한 곳에서 점점 더 유선 전력이나 배터리를 대신할 수 있는 매력적인 대안이 되고 있다. 이러한 기본적인 자유 에너지원은 적절히 활용하면 유지보수의 필요가 없고, 일반적으로 많은 애플리케이션에서 동작 수명 동안 끝까지 사용할 수 있다.

다른 대안으로 에너지 하베스팅을 배터리와 같은 일차 전원 소스를 보충하는 이차 에너지원으로 사용하면 배터리 수명을 크게 연장하고 유지보수 비용을 낮출 수 있다.

에너지 하베스팅 애플리케이션

현재 에너지 하베스팅을 주 전원 소스로 사용하는 많은 애플리케이션들이 실생활에 이용되고 있다. 예를 들어 무선 센서 네트워크(WSN)는 종종 에너지 하베스팅 전원 소스를 유용하게 활용하고 있다. 유선 전력이나 배터리를 사용할 수 없거나 신뢰할 수 없는 원격지에 무선 노드를 배치할 경우 에너지 하베스팅은 무선 노드를 구동하는 데 필요한 전력을 공급할 수 있다. 다른 경우, 여러 에너지원을 사용하여 특정 시스템의 전체 효율과 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

보다 일반적인 에너지 하베스팅 소스에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 기계적 에너지 - 진동이나 기계적 응축력(팽창과 수축으로 인한 에너지) 소스로부터 발생
- 열 에너지 - 보일러, 히터, 모터, 마찰 원으로부터 발생하는 부산물(현재까지는 대부분 버려졌던) 에너지
- 빛 에너지 - 포토 다이오드 또는 태양전지를 통해 햇빛 또는 실내 조명으로부터 하베스팅 한 에너지
- 전자기 에너지 - 인덕터, 코일, 트랜스포머로부터 발생하는 에너지
- 환경 에너지 - 바람, 물의 흐름, 해류, 갈바닉 및 태양과 같은 환경으로부터 발생
- 인체 - 운동을 할 때 발생되거나 동작을 통한 기계적 에너지와 열 에너지의 결합
- 기타 에너지 - 화학적 생물학적 소스로부터 발생하는 에너지

applications that utilize energy harvesting.

Energy harvesting from an ambient source, where a remote application is deployed, and where a natural energy source is essentially inexhaustible, is an increasingly attractive alternative to wired power or batteries. These essentially free energy sources, when utilized properly, can be maintenance-free and are usually available throughout the working lifetime of many applications.

Alternatively, energy harvesting can be used as a secondary energy source to supplement a primary power source such as a battery to greatly extend the life of the battery, reducing maintenance costs.

Energy Harvesting Applications

Many real life applications using energy harvesting as the main power source are now in use. Wireless sensor networks (WSNs), for example, often benefit from energy harvesting power sources. When a wireless node is deployed at a remote site where wired power or a battery is either unreliable or unavailable, energy harvesting can supply the power needed to operate it. In other situations, multiple energy sources can be used to enhance the overall efficiency and reliability of a given system.

Some of the More Common Energy Harvesting Sources Include:

- Mechanical Energy - from sources such as vibration, mechanical stress and strain
- Thermal Energy - waste energy by-product from furnaces, heaters, motors and friction sources
- Light Energy - captured from sunlight or room lighting via photo diodes, or solar cells
- Electromagnetic Energy - from inductors, coils and transformers
- Natural Ambient Energy - from the environment such as wind, water flow, ocean currents, galvanic and solar
- Human Body - a combination of mechanical and

이러한 모든 에너지를 시스템의 배치 지점이나 시스템에 인접하게 하베스팅 할 수 있다면, 사실상 무제한적이며 기본적으로 자유롭게 이용할 수 있다는 점에 주목할 필요가 있다.

일반적인 에너지 하베스팅 시스템은 진동, 열 또는 빛 같은 에너지원과 함께 몇 가지 주요 전자 부품을 필요로 한다. 여기에는 다음이 포함된다.

- 주변 에너지를 전기적 형태로 변환할 수 있는 압전 소자 또는 태양광 패널과 같은 에너지 변환 장치(트랜스듀서)
- 전력을 하베스팅, 저장 및 관리하는 에너지 하베스팅 변환 IC
- WSN의 일부로 데이터를 읽고, 기록하고, 전송하는 센서, 마이크로컨트롤러 및 트랜시버
- 선택사항으로 박막 배터리나 일차전지 또는 슈퍼커패시터와 같은 보완적인 에너지 저장 디바이스

전력 변환 디바이스는 하베스팅 된 에너지의 대부분을 이용해 센서 네트워크나 제어 및 모니터링 디바이스를 구동할 수 있도록 높은 효율과 낮은 무부하 전류를 갖는 것이 매우 중요하다. 또한 하베스팅 가능한 에너지원으로부터 얼마나 많은 평균 전력을 이용할 수 있는지, 그리고 전력을 공급받는 디바이스를 구동하는 데 (듀티 사이클 동작에) 얼마나 많은 에너지를 필요로 하는지를 이해하는 것이 필수적이다.

에너지 하베스팅 IC 솔루션

다행히 리니어 테크놀로지에서는 하베스팅 가능한 에너지의 프로세싱, 저장 및 이용에 적합한 여러 에너지 하베스팅 디바이스를 내놓고 있다. 그 중 하나인 LTC3106은 다중 입력 소스와 저전력 시스템에 최적화된 Power-Path 관리 기능을 탑재한 고집적, 초저전압 벅-부스트 DC/DC 컨버터이다. 일차 전원 소스를 이용할 수 없을 때 LTC3106은 백업 전원 소스로 매끄럽게 전환하며, 재충전 또는 일차전지 어느 쪽이나 호환되므로 사용 가능한 여분의 에너지가 존재할 때마다 백업 배터리를 트리를 충전할 수 있다. 광원을 사용하는 경우 최대 전력점 제어 옵션이 전원 소스와 부하 간의 전력 전송이 최적화되도록 보장한

thermal energy generated or through actions such as kinetic movement

- Other Energy - from chemical and biological sources

It is important to note that all these energy sources are virtually unlimited and essentially free, if they can be captured at, or near, the system's point of deployment.

A typical energy harvesting system requires an energy source such as vibration, heat or light plus some key electronic components. These include:

- An energy conversion device (transducer) such as a piezoelectric element or solar panel that can translate the ambient energy source into electrical form
- An energy harvesting conversion IC that captures, stores and manages power
- Sensors, microcontrollers and a transceiver to read, record and transmit the data as part of the WSN
- Optional supplementary energy storage device such as thin-film or primary cell battery or super capacitor

It is very important that the power conversion device have a high efficiency and a low quiescent current so as to allow most of the harvested energy to be used for powering the sensor network or control and monitoring device. Furthermore, it is essential to understand how much average power is available from the harvestable energy source and how much energy is required to power the device being powered (its duty cycle of operation).

Energy Harvesting IC Solutions

Fortunately Linear Technology has several energy harvesting devices for processing, storage and utilization of harvestable energy. The LTC3106 is one such device that is a highly integrated, ultralow voltage buck-boost DC/DC converter with automatic PowerPath management optimized for multiple input sources and low power systems. If the primary power source is unavailable, the LTC3106 seamlessly switches to the backup power source and is compatible with either rechargeable or primary cell

다. 무부하 시 LTC3106은 단 $1.6\mu\text{A}$ 를 소비하며 어느 입력 소스에서나 최대 5V 출력 전압을 생성한다. 그림 1은 일반적인 회로도를 보여준다.

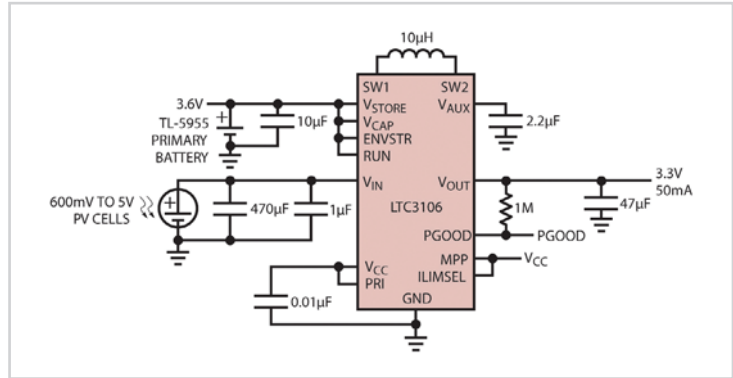
LTC3106은 PowerPath™ 제어 아키텍처를 탑재하고 있어 단일 인덕터를 사용하여 두 전원 입력 간에 매끄러운 전환을 통해 사용자가 선택 가능한 레귤레이트된 고정 출력 전압을 생성할 수 있다. 입력 전원을 사용할 수 있는 경우(V_{IN}) 벅-부스트 레귤레이터는 V_{IN} 에서 동작하면서 부하에 최대 300mA를 공급한다. V_{IN} 소스를 이용할 수 없게 되면, 레귤레이터는 입력으로 $V_{\text{STORE}}/V_{\text{CAP}}$ 을 선택하고 부하에 최대 50mA를 공급한다. 만약 재충전 배터리를 백업 소스로 사용한다면, 저전류 재충전 전력 경로가 제공되므로, 출력 전압이 레귤레이션 상태이면 여분의 입력 에너지를 이용해 백업 소스를 충전할 수 있다. 또한 사용자가 선택할 수 있는 상한 및 하한 충전/방전 임계값이 제공되므로 다양한 화학전지를 사용할 수 있으며, 과충전과 극심한 방전으로부터 배터리를 보호할 수 있다. 일차전지를 백업 소스로 사용하는 경우 PRI를 이용해 외부에서 충전을 정지시킬 수 있다.

주 입력 전압 V_{IN} 은 백업 소스가 없을 때 $850\text{mV} \sim 5.1\text{V}$ 전압 범위에서 동작하거나, 일차전지와 같은 백업 소스가 있을 때 $330\text{mV} \sim 5.1\text{V}$ 에서 동작하도록 구성할 수 있다. 이러한 전압 범위는 소형 태양광 패널과 같은 높은 임피던스 소스를 비롯한 여러 가지 전원 소스 유형을 받아들일 수 있게 한다. 최대 전력 추출을 보장하기 위해 LTC3106은 정밀한 RUN 핀과 옵션인 최대 전력점 기능을 제공한다. 두 기능을 함께 이용하여 입력 소스의 최대 전력점에서 레귤레이터 턴온을 제어할 수 있다. 보다 높은 전압 입력 소스를 위해 정밀한 RUN 핀 기능이 이상적으로 특정 입력 지점에서 예측 가능한 레귤레이터 턴온을 프로그래밍 할 수 있다.

하베스팅 가능한 에너지 전압이 손실된 경우 일차 또는 이차 배터리를 V_{STORE} 에서 GND로 연결하여 시스템에 전력을 공급할 수 있다. 재충전 가능 배터리의 경우 전류는 이 핀으로부터 전력을 공급받아 선택된 최대 전압까지 배터리를 트리클 충전한다.

LTC3106은 어느 입력 전압 소스에서나 시동할 수 있

Figure 1. The LTC3106 uses either a solar panel or primary battery to provide continuous power to a downstream load



batteries and can trickle charge a backup battery whenever there is surplus energy available. If a light source is used, an optional maximum power point control ensures power transfer is optimized between power source and load. At no load, the LTC3106 draws only $1.6\mu\text{A}$ while creating an output voltage up to 5V from either input source. Figure 1 shows a typical schematic.

The LTC3106 employs a PowerPath™ control architecture to allow the use of a single inductor to generate a user-selectable fixed regulated output voltage through seamless transition between either of the two power inputs. If input power is available (V_{IN}) the buck-boost regulator will operate from V_{IN} , providing up to 300mA to the load. Should the V_{IN} source become unavailable, the regulator will select $V_{\text{STORE}}/V_{\text{CAP}}$ as its input delivering up to 50mA to the load. If a rechargeable battery is used as the backup source, a low current recharge power path is also provided allowing use of excess input energy to charge the backup source if the output voltage is in regulation. User selectable upper and lower charge/discharge thresholds are available to handle multiple battery chemistries and to protect the battery from overcharge/deep discharge. Charging can be externally disabled using the PRI when a primary battery is used as the backup source.

The main input voltage, V_{IN} , can be configured to operate over a voltage range from 850mV to 5.1V without a

지만 V_{IN} 이 우선적으로 선택된다. AUX 출력은 맨 처음 동기식 정류기 동작을 정지한 상태에서 충전된다. V_{AUX} 가 단자 전압에 도달하면, 출력 전압은 V_{OUT} 가 약 1.2V에 도달할 때까지 비동기식으로 충전된다. 그런 다음 컨버터는 비동기식 모드를 종료하고 V_{OUT} 가 레귤레이션 상태가 되고 부품을 정상 동작에 들어갈 때까지 보다 효율적인 동기식 시동 모드로 동작한다. V_{AUX} 가 충전될 때 출력 전압이 상승하는 것은 정상적이다. 주 출력 전압은 1.8V, 2.2V, 3.3V, 5V의 4가지 사전 설정되는 레귤레이트 된 전압 중 하나로 사용자 프로그래밍된다.

실제 설계 예

전통적인 배터리 단독 구동 무선 네트워크 노드에서는 MCU(main control unit)가 배터리에 직접 연결된다. 이러한 애플리케이션에서는 배터리 용량을 감소시키는 여러 가지 요소가 존재한다. 일반적으로 이러한 무선 시스템은 매우 낮은 주파수에서 노드를 폴링하며, 긴 시간 동안 동작이 없는 저전력 상태를 유지하면서 노드와 통신할 때 간헐적인 고전류 버스트가 발생한다. 펄스 부하 시 피크 전류는 배터리 제조업체에 의해 제공되는 공칭 드레인 전류보다 훨씬 클 수 있으며, 따라서 일반적인 정적 드레인 전류에서 지정된 값 이상으로 용량을 감소시킨다. 뿐만 아니라 대부분의 MCU를 위한 가용 입력 전압(통상 최소 2V)은 사용 가능한 배터리 용량을 제한한다.

그림 2의 애플리케이션 회로는 AM-1816 태양전지와 연결된 LTC3106을 보여준다. 전체 크기는 명함 정도 크기의 9.8cm X 5.7cm이며, 펄스 부하 출력으로 전력을 공급하도록 구성된 CR2032 일차전지로 보충된다. 원래 에너지 하베스팅 시스템은 배터리를 사용할 필요가 없지만, 시스템을 보충하고 배터리 수명을 연장시킬 수 있다. 충분한 주변 에너지를 이용할 수 있는 경우 배터리는 무부하 상태가 되며, 주변 에너지가 부족할 때만 부하에 전력을 공급한다. 이는 배터리 수명을 연장시킬 뿐 아니라 배터리 지속 시간을 늘리고 서비스 비용을 줄여줌으로써 신뢰성을 향상시킨다.

LTC3106의 주 입력 전압(V_{IN})은 넓은 전압 범위에서 높은 임피던스의 태양전지를 받아들일도록 설계되었다.

back-up source and from 330mV to 5.1V with a back-up source, like a primary battery. This range accommodates multiple power source types including high impedance sources such as a small solar panel. To ensure maximum power extraction, the LTC3106 integrates an accurate RUN pin and an optional maximum power point function. Both can be used to control regulator turn on at the maximum power point of an input source. For higher power input sources the accurate RUN pin function is ideal to program predictable regulator turn on at a specific input voltage.

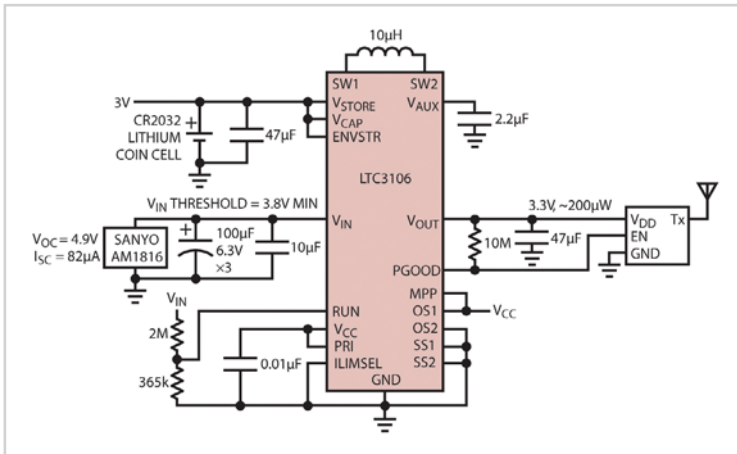
In the event that the input harvestable energy voltage is lost, a primary or secondary battery may be connected from V_{STORE} to GND to power the system. In the case of a rechargeable battery, current will be sourced from this pin to trickle charge the battery, up to the maximum selected voltage.

The LTC3106 will start up from either input voltage source but gives priority to V_{IN} . The AUX output is initially charged with the synchronous rectifiers disabled. Once V_{AUX} has reached its terminal voltage the output voltage is then also charged asynchronously until V_{OUT} reaches approximately 1.2V. The converter then leaves the asynchronous mode in favor of a more efficient synchronous start-up mode until V_{OUT} is in regulation and the part enters normal operation. It is normal for the output voltage to rise as V_{AUX} is charging. The main output voltage is user programmed to one of four pre-set regulated voltages of 1.8V, 2.2V, 3.3V or 5V.

A Real-Life Design Example

In a traditional battery powered-only wireless network node, the main control unit (MCU) is connected directly to the battery. Several factors contribute to reduced battery capacity in these applications. Typically these wireless systems poll the node at a very low frequency with long low power inactive periods with occasional high current bursts when communicating with the node. The peak

Figure 2. LTC3106 configured as a solar harvester with primary battery backup powering a wireless network node



태양전지는 출력 전력 레벨, 사용된 재료(수정 실리콘, 비정질 실리콘, 화합물 반도체), 애플리케이션 공간(실내 또는 실외 빛)에 따라 분류된다. 파나소닉의 자회사 산요전기(Sanyo Electric)의 Amorton 제품 라인은 다양한 광 조건(일반적인 광 조건에 대해서는 표 1 참조)과 전력 레벨을 비롯해 특정 애플리케이션 크기와 형태에 맞추어 셀을 커스터마이징 할 수 있는 기능을 갖춘 광범위한 종류의 태양전지를 제공한다.

LTC3106과 함께 사용하기에 적합한 소형 태양전지(모듈 또는 태양광 패널로 언급)를 생산하는 그 밖의 업체들은 표 2에서 볼 수 있다.

Table 1. Typical Light Conditions

LOCATION	ILLUM. (Lux)
Meeting Room	200
Corridor	200
Office Desk	400 to 700
Lab	500 to 1000
Outdoors(Overcast)	1000 to 2000
Outdoors(Clear)	> 2000

Table 2. Photovoltaic Panel Manufactures Compatible with the LTC3106

Sanyo	http://panasonic.net/energy/amorton/en/
PowerFilm	http://www.powerfilmsolar.com/
G24 Power	http://www.gcell.com/
Alta Devices	http://www.altadevices.com

current during the pulsed load can be much greater than the nominal drain current given by the battery manufacturer, reducing capacity beyond that specified at the typical static drain current. Further, the usable input voltages for most MCUs (2V min typ) limit the usable battery capacity.

The application circuit in Figure 2 shows the LTC3106 interfaced with the AM-1816 solar cell with an overall dimension of 9.8cm X 5.7cm (size of business card) and is supplemented

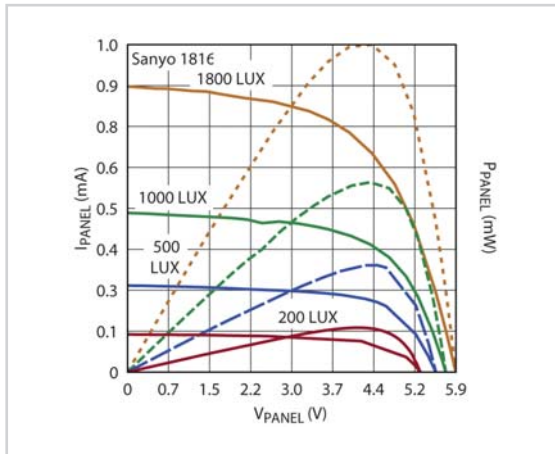
with a CR2032 primary battery configured to deliver power to a pulsed load output. Though an energy harvesting system can eliminate the need for batteries, it can also serve to supplement and increase battery life. When sufficient ambient energy is available, the battery is unloaded and is only used when the ambient source is inadequate to service the load. This not only extends battery life but improves reliability by extending battery life and also reducing service cost.

The main input voltage of the LTC3106 (V_{IN}) is designed to accommodate high impedance solar cells over a wide voltage range. Solar cells are classified according to their output power level, material employed (crystal silicon, amorphous silicon, compound semiconductor) and application space (indoor or outdoor lighting). Sanyo Electric's Amorton product line (a subsidiary of Panasonic) offers a variety of solar cells for various light conditions [For typical light conditions see Table 1] and power levels as well the ability to customize cells for specific application size and shapes.

Additional companies that manufacture small solar cells (also referred to as modules or solar panels) suitable for use with the LTC3106 are provided in Table 2.

The I-V and P-V curves for the AM-1816 panel are shown in Figure 3. The maximum power from the cell

Figure 3. Measured I-V and P-V curves under variable light conditions for AM-1816



AM-1816 패널의 I-V 및 P-V 곡선은 그림 3에 나와 있다. 셀의 최대 전력(PMAX)은 광 레벨과 함께 변화하지만 PMAX에서의 전압은 약간만 변한다. 이 애플리케이션 예제의 V_{IN} 임계 전압은 RUN 핀에 저항을 사용하여 PMAX의 전압과 같도록 설정되었다. 입력 전압의 상승 UVLO 임계값 $V_{IN(OV)}$ 설정 지점은 4.2V로 설정되었다. 내부 히스테리시스와 함께 $V_{IN(UV)}$ 는 3.8V이므로, 따라서 AM-1816 태양전지에 대한 제조업체의 I-V 및 P-V 데이터로부터 ~4V의 V_{IN} 평균 전압이 최대 전력점에 존재함을 알 수 있다.

이 애플리케이션에서 부하는 저 전력 RF 디바이스이고 부하 프로파일은 그림 2에 나와 있다. 동작 영역, 출력 및 전력 손실은 표에 설명되어 있으며, 각각에 대해 정의된 피크 레벨은 표 3에서 볼 수 있다.

부하 프로파일에 대한 전체 평균 LTC3106 동작 전력 손실은 $37\mu W$ 이다. 저항 부하는 $207\mu W$ 의 전체 입력 전력 요건에 대해 $5\mu W$ 의 추가적인 입력 전력 손실을 추가한다. 저항을 포함하여 계산된 평균 효율은 $\eta = 165\mu W / 207\mu W$ 로, 80%이다.

(PMAX) changes with light level but the voltage at PMAX changes only slightly. The V_{IN} threshold voltage in this application example is set to equal the voltage at PMAX using the resistive divider on the RUN pin. The input voltage rising UVLO threshold $V_{IN(OV)}$ set point was chosen to be 4.2V. With internal hysteresis, the $V_{IN(UV)}$ is then 3.8V, so the average V_{IN} voltage of ~4V is at the maximum power point from the manufacturer I-V and P-V data on the AM-1816 solar cell.

For this application the load is a low power RF device and its load profile is shown in Figure 4. The regions of operation, output and power losses are tabulated and the peak levels are defined for each as shown in Table 3.

The total average LTC3106 operating power loss for the load profile is $37\mu W$. The resistor divider load adds an additional $5\mu W$ of input power loss for a total input power requirement of $207\mu W$. The calculated average efficiency, including the resistive divider is $\eta = 165\mu W / 207\mu W$ which is

Figure 4. Application load profile for schematic in Figure 2

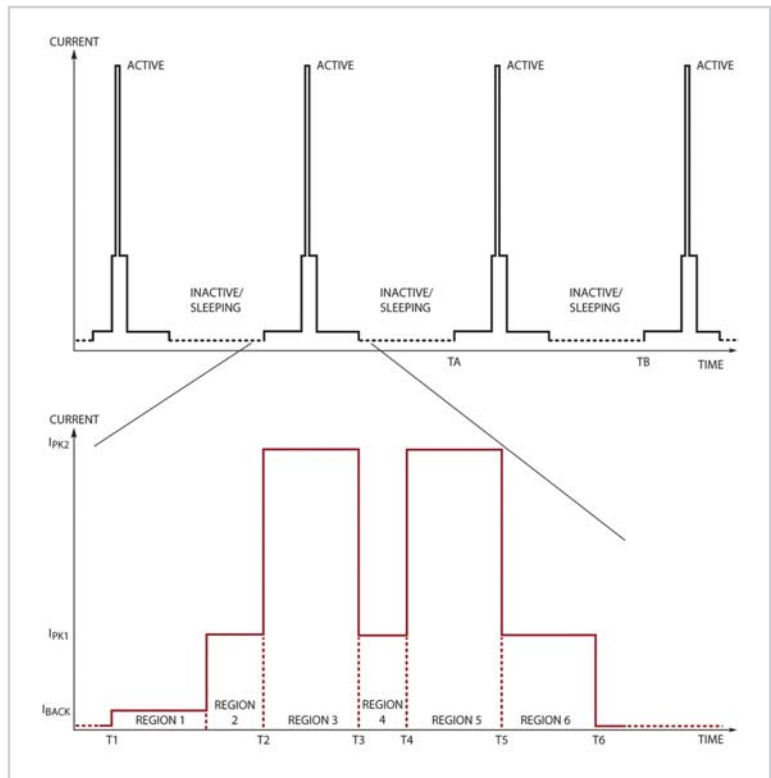


Table 3. Application Load Profile Power Budget for Figure 2


INTERVAL	MCU FUNCTION	PEAK CURRENT I_p (mA)	INTERVAL T_n (ms)	CHARGE $I_p T_n$ (μ C)	REGION DUTY CYCLE (%)	INTERVAL OUTPUT POWER (mW)	AVERAGE OUTPUT POWER (μ W)	LTC3106 POWER LOSS (FROM CURVES) (mW)	LTC3106 AVERAGE POWER LOSS (μ W)
Region 1	Wake	0.3	1	0.3	0.1	1.0	1	0.2	0.2
Region 2	Pre-Processing	8	0.6	4.8	0.1	26.4	16	3	1.8
Region 3	Rx/Tx	20	1	20	0.1	66.0	66	5	5.0
Region 4	Processing	8	0.5	4	0.0	26.4	13	3	1.5
Region 5	Rx/Tx	20	1	20	0.1	66.0	66	5	5.0
Region 6	Sleep/Idle	0.001	1000	1	99.5	0.003	3	0.02	19.9

Total Period: 1004ms

Total Avg Power: 165 μ WTotal Avg. Power Loss: 37 μ W

200lux에서 AM-1816로부터 사용 가능한 전력은 약 400 μ W이다. 컨버터 효율이 약 80%일 때 400 μ W는 일부 마진을 가지면서 전체 207 μ W 평균 부하 전력을 공급하며, 배터리 전력은 전혀 소모하지 않는다. 만약 광 조건이 바람직한 수준에 미치지 못하면 사용 가능한 입력 전원이 출력 전압을 유지하는 데 필요한 수준보다 아래로 떨어질 수 있다. 다음으로 LTC3106은 V_{IN} 이 4.2V 이상으로 증가하면 ‘히킵(hiccup)’ 모드를 켜 상태로 동작하며, V_{IN} 이 3.8V 미만으로 떨어지면 히킵 모드를 끈다. V_{IN} 이 오프 상태가 되면 전력은 V_{STORE} (일차전지)로부터 공급받으며, 이는 V_{IN} 이 회복되어 4.2V 임계값 이상이 될 때까지 계속된다. 광 조건이 바람직한 수준을 넘으면, V_{IN} 은 하베스팅된 에너지원의 개방 회로 전압으로 상승해 다시 모든 부하 전력을 공급한다.

결론

일부 에너지 하베스팅 소스는 명함 크기의 태양전지를 이용하는 이 글의 설계 예에서 보듯이 낮은 수준의 가용 전력을 공급하지만, 이러한 에너지는 대부분의 무선 센서에 전력을 공급하기에 충분하다. LTC3106 buck-부스트 DC/DC 컨버터는 저전력 시스템에 흔히 사용되는 다중 입력 소스에 최적화되었으며, 광범위한 에너지 하베스팅 애플리케이션에 필요한 다양한 기능을 제공한다. 따라서 이제 WSN 같은 에너지 하베스팅 시스템 설계자는 유용하고 적절한 전력 변환 IC를 이용해 설계 작업을 크게 간소화할 수 있다. 

80%. The available power from the AM-1816 at 200lux is about 400 μ W. With a converter efficiency of about 80%, the 400 μ W powers the total 207 μ W average load with some margin, drawing no power from the battery. If the light conditions become less favorable, the available input power may drop below that needed to maintain the output voltage. The LTC3106 will then operate in “hiccup” mode turning on as V_{IN} increases above 4.2V and turning off if V_{IN} drops below 3.8V. With V_{IN} off, power is then taken from V_{STORE} (primary battery) until V_{IN} recovers and increases above the 4.2V threshold. If the light conditions become more favorable, V_{IN} will rise to the open-circuit voltage of the harvested source and once again provide all of the load power.

Conclusion

Even though some energy harvesting sources only provide low levels of useable power, as shown in the design example in this article with a solar cell the size of a business card, they are usually enough to power most wireless sensors. The LTC3106 buck-boost DC/DC converter is optimized for multiple input sources commonly found in low power systems, and provides the necessary feature set for a broad range energy harvesting applications. As a result, the designers of energy harvesting systems, such as WSNs now have useful and appropriate power conversion ICs to greatly simplify the design task. 