

# 나노-I<sub>Q</sub> 시스템의 성능 문제 해결



**Vishnu Ravinuthula**  
Design Director  
Battery Management Solutions

**Contributors:**

**Siddharth Sundar**  
Business Lead  
Battery Monitor Products

**Vladislav Merenkov**  
Product Marketing Manager  
Boost Converters and Controllers

**Alan Lee**  
Product Marketing Manager  
Battery Charger Products

**Vinod Menezes**  
Senior Technologist  
Voltage References and Supervisors

# 이 문서에서는 다양한 전원 애플리케이션에서 나노- $I_Q$ (정동작 전류)를 달성하는 다양한 설계 메커니즘을 과제에 대해 설명합니다.

## 한눈에 보기



### 다양한 전원 애플리케이션에서 나노- $I_Q$ 의 중요성

1

모든 장치 세대로 배터리 수명을 향상할 필요성이 증가함에 따라  $I_Q$ 를 낮추어야 합니다.



2

### 산업용 BMS 모니터에서 나노 $I_Q$ 달성

장치의 필수 기능이 필요할 때만 활성화된 전원 모드로 전환하고 회로 수준의 혁신을 활용하여  $I_Q$ 를 줄입니다.



3

### 전압 통제기에서 나노 $I_Q$ 달성

상시 가동 모니터링을 위해 배터리 수명을 연장하려면 나노- $I_Q$ 가 필요하며, 동시에 신속한 고장 보고를 위해 낮은 지연 시간이 필요합니다.

칩이 대기 모드에 있는 경우 전력 소비량은 부하를 구동하지 않을 때의 회로의 조용한 상태를 나타내는 낮은 정동작 전류( $I_Q$ )로 정의됩니다. 낮은  $I_Q$ 는 배터리 관리 시스템(BMS) 모니터, BMS 충전기, 전압 통제기, DC/DC 컨버터와 같은 배터리 구동식 차량용 및 산업용 부품의 대기 작업의 길이를 확장합니다. 그러나 이러한 장치는 우선 순위가 높은 기능과 필수적인 기능 안전 기능을 유지하고, 활성 모드로 빠른 시스템을 시작할 수 있도록 대기 모드에서 특정 양의  $I_Q$ 를 소비해야 합니다.

## 다양한 전원 애플리케이션에서 나노- $I_Q$ 의 중요성

모든 장치 세대로 배터리 수명을 향상할 필요성이 증가함에 따라 저  $I_Q$ 에 대한 요구 사항이 증가하고 있습니다. 이러한 장치는 정상 모드, 절전/대기 모드 또는 종료 모드에서 작동하도록 구성할 수 있습니다. 일반 모드는 전원 애플리케이션의 미션 프로파일 [1]에서 매우 작은 부분만 고려합니

다. 이러한 유형의 제품은 대부분 대기 모드에 있습니다. 전원 공급 장치에서 유입되는 전류는 고속 통신 버스트가 발생하는 정상 모드에서 수 밀리암페어로, 절전 또는 대기 모드로 전환될 때 몇 나노암페어가 될 수 있습니다. 나노암페어 수준의 작동 모드는 전력을 절약하여 배터리 수명을 늘릴 수 있습니다.

이 문서에서는 산업용 및 차량용 BMS 배터리 전압 모니터, 충전기, DC/DC 컨버터 및 전압 통제기와 같은 다양한 전원 애플리케이션에서 나노- $I_Q$ 를 달성하는 설계 메커니즘에 대해 설명합니다. 한 편으로, 더 긴 배터리 수명을 위해서는 나노- $I_Q$ 가 필요합니다. 반면, 통합 회로(IC)는 시스템 시작과 같은 기능을 유지하기 위해 일정량의  $I_Q$ 를 소비해야 합니다.

## 산업용 BMS 모니터에서 나노 $I_Q$ 달성

전동 공구 및 전기 자전거와 같은 많은 배터리 구동 제품은 다양한 전력 상태에서 기능과  $I_Q$ 의 균형을 유지해야 하는 것이 특징입니다. 예를 들어, 활성 상태(트리거 당김 사용)의 전동 공구는 전류의 암페어를 소비할 수 있으며, 전원 공구에 사용된 배터리 모니터의  $I_Q$ 는 시스템의 나머지 부분과 관련해서는 무시할 수 있습니다. 그러나 이 배터리 구동 전동 공구는 기본 보호 기능이 활성화된 상태로 절전 모드에서 몇 시간 또는 며칠 동안 테이블 위에 놓아둘 수도 있습니다. 또한 전동 공구는 트리거 당김에 빠르게 대응할 수 있어야 합니다. 이러한 저전력 상태에서 BMS 모니터가 소비하는  $I_Q$ 가 훨씬 더 중요해집니다.

절전 모드에서 여전히 활성 보호 기능이 있으며, 활성화된 전압 레귤레이터(시스템 마이크로컨트롤러(MCU)에 메모리 유지) 또한 아날로그-디지털 컨버터를 통한 듀티 사이클 전압, 전류 및 온도 측정인 이 시스템은 여전히 완전히 보호되고 신속하게 응답할 수 있으며 활성 모드에 비해 10배 이상의 전력 소비를 줄일 수 있습니다. TI 산업용 모니터에는 다양한 절전 모드 옵션이 있어 보호 기능을 활성 상태로 유지할지 여부(방전 경로를 활성화할 수 있음), 저드롭아웃

레귤레이터 활성화(시스템 MCU가 메모리를 유지하고 밀리초가 아닌 마이크로초 이내에 복구할 수 있음), 전압, 전류 및 온도 측정에 대한 듀티 사이클 옵션을 선택하여 전력 과 성능을 최적화할 수 있는 안전하고 작동하는 절전 모드에 맞게 설정할 수 있습니다.

### 차량용 BMS 모니터에서 나노 I<sub>q</sub> 달성

BCU(배터리 제어 장치)에는 일반적으로 BMS의 기본 MCU가 있으며 12V 배터리로 구동됩니다. MCU는 12V에서 작동할 수 없기 때문에 보드에 전원 공급 장치를 생성하기 위한 DC/DC 컨버터 또는 전원 관리 통합 회로가 있습니다. MCU에서 셀 모니터를 위한 절연 데이터 체인으로 직렬 주변 기기 인터페이스/범용 비동기 리시버 트랜스미터 통신 프로토콜을 변환하는 BMS 브리지 장치도 BCU에 있습니다.

차량이 움직이는 동안 12V 배터리가 충전되므로 12V 레일의 전류 소비량이 덜 중요합니다. 차량이 주차되어 있고 충

전되지 않을 때는 고전압 접촉기가 열려 있으므로 400V 이상의 배터리가 시스템에서 분리되어 12V 배터리를 충전할 수 없습니다. 그럼에도 불구하고 12V 배터리는 알 수 없는 기간 동안 BCU 및 기타 상시 가동 기능(예: 키 리모컨 잠금 또는 잠금 해제)을 공급해야 합니다. 낮은 전력 소비는 이러한 유형의 상시 가동 장치에 중요합니다.

일반적으로 OEM(Original Equipment Manufacturer)은 상시 가동 기능에 대해 12V 배터리로부터 100µA 이상의 평균 전류를 끌어오는 것을 원하지 않습니다. BCU를 완전히 끄면 BMS 전력 소비가 최소화되지만 셀이 손상되고 위험해졌을 때 시스템이 반응할 수 없게 됩니다. 대신, OEM은 MCU를 매우 낮은 전력 상태로 전환하고, 브리지 장치의 역방향 시작 기능에 의존합니다. **그림 1**에서 보듯이 이 기능을 사용하면 셀 모니터에서 중요한 고장이 발생할 경우 브리지 장치에 경고하고, 브리지 장치가 MCU를 깨워 오류에 응답할 수 있도록 합니다.

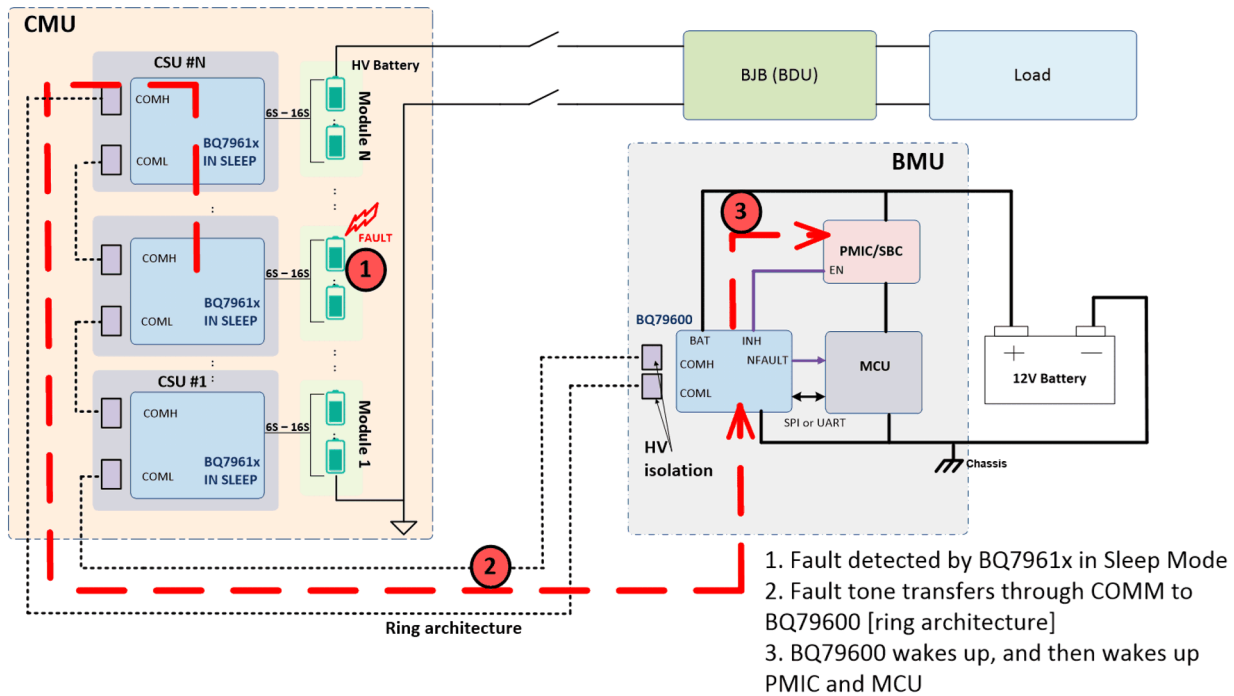


그림1. 역방향 시작

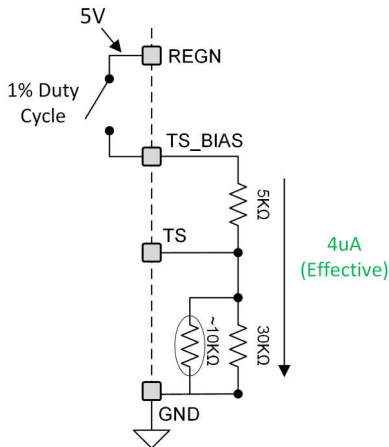
브리지 장치의 전력 소비가 낮을수록 차량이 주차 상태를 유지할 수 있고 12V 배터리를 완전히 소모하지 않고 배터리를 안전하게 모니터링할 수 있는 시간이 길어집니다. TI

BQ79600의 전류 소비량은 절전 모드에서 7µA 미만으로, 12V 배터리가 완전히 방전될 위험을 줄입니다.

### 산업용 홈 자동화 충전기에서 나노 I<sub>Q</sub> 달성

우리의 가정은 가전 제품과 시스템의 원격 모니터링 및 관리를 위해 인터넷 연결 디바이스를 사용하여 더 스마트해지고 있습니다. 필수 스마트 홈 액세서리인 비디오 초인종은 고해상도 이미지와 양방향 오디오 통신을 제공하여 집 소유자가 스마트폰에서 방문자를 맞이할 수 있도록 합니다. 대부분의 비디오 초인종은 12V~16V 전원에 유선 연결되어 있지만, 많은 소비자들은 기존 배선이나 변압기가 오래되거나 호환되지 않을 때 태양광 또는 배터리 구동식 비디오 초인종을 찾고 있습니다. 일반적으로 배터리는 무선 연결과 초인종 버튼 누름을 지원하기 위해 매우 작습니다. TI의 **BQ25622** 및 **BQ25638** 백 충전기는 배터리 전압 모드에서 1.5μA의 I<sub>Q</sub>와 셧다운 모드에서 100nA를 지원하며, 전원 경로를 통해 제품의 수명 주기 전반에 걸쳐 배터리 작동 시간을 최대화하고 연장할 수 있습니다.

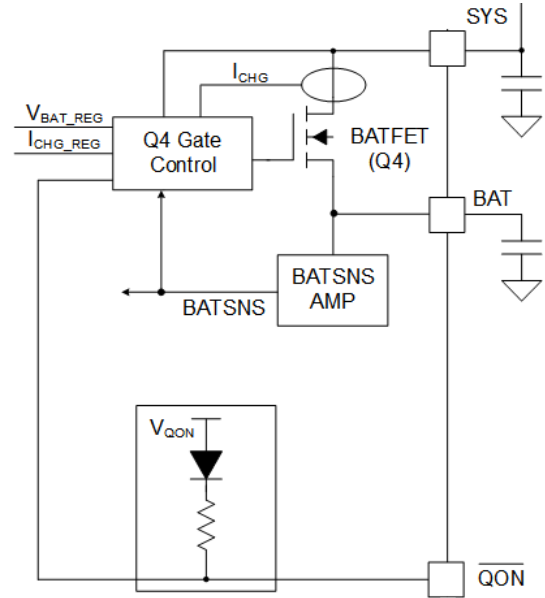
필요할 때만 디바이스의 필수 기능을 활성화하면 이러한 충전기의 I<sub>Q</sub>가 감소되며, 여기에는 안전상의 이유로 TS 핀을 통해 배터리 온도를 모니터링하는 기능이 있습니다. **그림 2**에 나와 있듯이, 칩에 내장된 스위치는 5V REGN 핀에 연결된 외부 서미스터 네트워크를 분리합니다. 이 아키텍처는 1% 듀티 사이클로 내부 스위치를 활성화하여 충전기 I<sub>Q</sub>에 영향을 미치는 서미스터 바이어스 전류의 99%를 제거하는 데 도움이 됩니다.



**그림 2.** BQ25622 및 BQ25638의 TS\_BIAS 핀.

배송 모드에서 배터리 전력을 유지하면서 시스템 전압을 끄면 I<sub>Q</sub>를 더 줄일 수 있습니다. **그림 3**에 나와 있는 것처럼, BQ25622와 BQ25638에는 배터리가 꺼진 상태로 시스템에서 배터리를 격리하는 통합된 양방향 차단 내부

FET(전계 효과 트랜지스터)(Q4)가 있습니다. 배송 모드는 제품이 공장에서 포장될 때 뿐만 아니라 장치의 배터리가 부족하거나 사용자가 제품의 전원을 끄려는 경우에도 유용합니다.



**그림 3.** BQ25620 블록 다이어그램.

### 차량용 BMS 충전기에서 나노 I<sub>Q</sub> 달성

2018년, 유럽 연합은 유럽 시장에 출시된 모든 차량에 응급 통화(eCall) 시스템을 장착하도록 의무화했습니다. 이 시스템은 중대 도로 사고 발생 시 자동으로 응급 구조대에 연락하고, GPS 좌표를 현지 응급 서비스에 전송하고, 무선으로 에어백 전개 및 충격 센서 정보를 전송할 수 있습니다. eCall 시스템에는 차량 배터리와 독립적으로 자체 배터리가 있으며, 이 배터리는 10~15분의 전화 통화를 하고 최초 통화 후 60분 동안 셀룰러 네트워크에 남아 있고 언제든지 작동할 수 있는 충분한 에너지가 있어야 합니다.

**BQ25171-Q1** 충전기 IC는 차량이 켜져 있을 때 eCall 배터리를 충전하는 중요한 역할을 합니다. 차량이 꺼져 있으면 이 충전기 IC는 절전 모드로 전환되고 배터리에서 350nA만 소비합니다. 저 I<sub>Q</sub>는 응급 준비를 위해 eCall 대기 시간을 연장하는 데 도움이 됩니다.

### 전압 통제기에서 나노 I<sub>Q</sub> 달성

대기 모드에서, 자동차 OEM은 100μA 공급 전압 레일에 두었습니다. 여기에는 전원 통제기, 부하 스위치, 보호 과도 전압 억제 다이오드 및 DC/DC 컨버터 등이 포함됩니다.

전압 통제기의 나노- $I_Q$  레벨은 자동차 OEM이 시스템 수준 대기 모드  $I_Q$  예산을 충족하도록 지원합니다. 대기  $I_Q$ 가 낮아지는 동안 전압 감시 장치가 대기 고장 응답 시간을 안정시킬 수 없습니다. 기능 안전 요건은 감지에서 고장 보고까지 결합 허용 시간 간격으로 특성화되는 장치의 고장 응답을  $100\mu\text{s}$  범위에서  $10\mu\text{s}$  미만의 범위로 확장합니다.

1.5% 임계값 감지 정확도를 지원하는 기존의 공급 전압 통제기 솔루션은 PCB(인쇄 회로 보드)에 개별 저항이 있는 구성 가능한 전위 분배기를 사용했습니다. 시스템  $I_Q$ 를 줄려면 이러한 개별 저항의 값을 수십 메가옴까지 확장할 수 있어야 합니다. PCB 설계자는 일반적으로 면적 제약 조건에서 보드에 고임피던스 감지 저항 사다리를 추가하지 않으므로 저항 사다리는 **TPS37-Q1** 윈도우 통제기의 다이에 통합됩니다. 전압 레퍼런스를 듀티 사이클링하고 커패시터에 레퍼런스를 저장하고 내부 감지 저항 래더를 정저항 영역을 정전류 영역으로 재구성한 비선형 저항 래더로 구성하여 높은 전압에서 매우 높은 임피던스 감지 래더를 생성함으로써 레퍼런스 경로에서 낮은  $I_Q$ 가 가능해집니다.

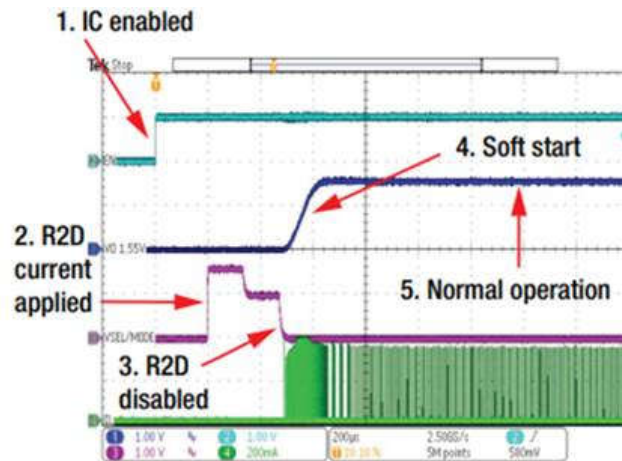
TPS37-Q1과 같은 와이드  $V_{IN}$  윈도우 통제기는 외부 고전압 입력과 내부 서브 조정 전압 사이의 전압 스윙을 처리해야 합니다. 동적 회로는 상승 및 하강 전환을 모두 감지하여 외부 고전압과 내부 조정 도메인 간의 레벨 시프터 성능을 임시 터보 모드로 전환하여 시스템 응답 시간을 개선하고 낮은  $I_Q$ 를 지원합니다.

### 산업용 및 개인용 전자 제품 DC/DC 컨버터에서 나노 $I_Q$ 달성

측정 시스템, 연기 감지기, 스마트 워치, 의료용 센서 및 보청기 같은 배터리로 구동되는 시스템에서 하나 또는 두 개의 전압 레일이 항상 시스템 MCU, 중요한 센서 또는 통신 버스에 전원을 공급합니다. 이러한 상시 가동 레일은 배터리 작동 시간을 연장하기 위해 매우 높은 효율을 가지고 있어야 하기 때문에  $I_Q$ 를 줄이는 것이 매우 중요합니다.

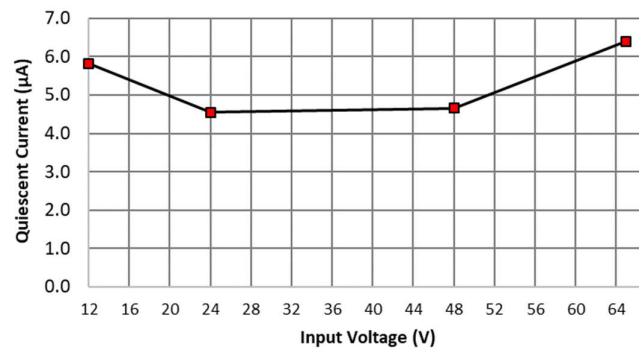
**TPS62843** 벅 컨버터는  $50\mu\text{A}$ ~ $300\text{mA}$ 의 부하 전류에 최적화되어 있으며, 절전 모드,  $275\text{nA}$ 의 작동  $I_Q$  및  $4\text{nA}$ 의 섀다운 전류를 제공합니다. **TPS63901** 벅-부스트 컨버터와 **TPS61299** 부스트 컨버터는 코인 셀 배터리와 같은 높은 피크 전류를 지원하지 않는 배터리를 보호하는 입력 전류 제한 기능이 있습니다. TPS63901 컨버터는 작동 중 두 출력 전압 간에 스위칭을 지원하는 동적 전압 스케일링 기능

을 통해 대기 모드에서 낮은 시스템 공급 전압을 사용하여 전력을 절약합니다. **그림 4**에서 보듯이, 이러한 DC/DC 컨버터의 저항-디지털(R2D) 회로는 출력 전압을 설정하여 피드백 저항에서 누설 전류를 제거하고, 솔루션 크기를 줄이고, 설계 비용을 낮춥니다(출력 전압을 선택하려면 최소 저항이 필요하기 때문에).



**그림 4.** 전원 공급 장치 IC가 활성화된 후 두 가지 전류 소스 수준, 소프트 시작 및 정상 작동이라는 R2D 회로 작동이 가능합니다.

**그림 5**은 **LMR36502** 벅 컨버터와 **TPSM365R15** 벅 모듈의 초저 작동  $I_Q$  그래프를 보여줍니다.  $4\mu\text{A}$ 의 작동  $I_Q$ 는  $20\text{V}$  ~  $60\text{V}$ 의 전체 작동 전압 범위에서 비교적 일정하게 유지되며, 상시 가동 레일이 작동하는 경우 배터리 수명을 연장하도록 도와줍니다.



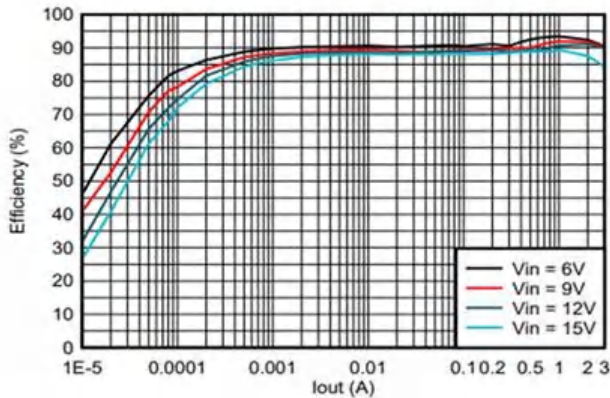
**그림 5.**  $FSW = 1\text{MHz}$  및  $V_{OUT} = 3.3\text{V}$ 에서 **LMR365R0X** 및 **TPSM365R15**  $I_Q$

### 차량용 DC/DC 컨버터에서 나노 $I_Q$ 달성

낮은 부하에서 긴 대기 시간과 높은 효율이 매우 중요한 센서, e-Call 시스템 및 영역 제어 장치와 같이 상시 가동 차량용 애플리케이션이 많이 있습니다. **LMQ66430-Q1** 벅

컨버터는 1mA 부하에서 85% 이상의 효율성을 달성하고  $13.5V_{IN}$ 에서  $1.5\mu A$ 의 무부하 일반 전류 소비를 가능하게 하여 이러한 과제를 극복하도록 설계되었습니다. IC는 시작 시  $V_{OUT}/FB$  핀에서 임피던스 점검을 실행합니다. 외부 피드백 저항이 전혀 감지되지 않는 경우, 장치는 출력 전압을 3.3V 또는 5V로 설정하는 내부 피드백 네트워크를 자동으로 사용하며, 피드백 네트워크를 통해 누출을 최소화하고  $I_Q$ 를 낮춥니다. LMQ66430-Q1은 내부 저손실 레귤레이터(LDO)를 사용하여 IC를 위한 내부 회로에 전원을 공급합니다. LMQ66430-Q1은 입력 전압으로 LDO에 전력을 공급하여 효율이 저하되는 대신 내부 LDO에 대한 전원 공급을 위해  $V_{OUT}/FB$  핀에서 공급되는 동일한 전압을 활용하고 이어서 전체  $I_Q$ 를 최소화하기 위해 전체 내부 회로에 바이어스를 적용합니다.

다른 벡 컨버터인 **TPS62903-Q1**은 R2D 인터페이스를 사용하여 출력 전압을 설정하여 누설 전류를 줄일 수 있습니다. TP62903-Q1은 부하가 감소함에 따라 절전 모드로 원활하게 전환됩니다. 이 상태에서 IC는 **그림 6**의 경부하 조건에서 보듯이 스위칭 주파수를 줄여 PFM(펄스 주파수 변조) 모드로 작동하여 높은 효율을 유지합니다. 이는 일반적인  $I_Q$ 를  $4\mu A$ 로 줄입니다.



**그림 6.** 효율 대 출력 전류(2.5MHz에서 3.3V<sub>OUT</sub>, 1μH, 자동 PFM 또는 펄스폭 변조).

## 결론

TI의 프로세스 기술이 지원하는 고전압 전원 칩의 나노- $I_Q$ 와 성능을 조합하여 여러 유형의 전원 애플리케이션에서 대기 작동 시간을 늘릴 수 있습니다. 시스템 또는 IC 설계에 대한  $I_Q$  대상을 설정하는 최종 제품의 미션 프로필을 이해하는 것이 매우 중요합니다.

## 참고 자료

1. 텍사스 인스트루먼트: **저전력 애플리케이션의 저  $I_Q$  문 제점 극복.**
2. Zhou, D. et al. "백업 전원 애플리케이션용 DC/DC 컨버터의 미션 프로필 기반 시스템 수준 안정성 분석." IEEE Transactions on Power Electronics 33, No.9(2018년 9월).

## 추가 리소스

- 낮은 정동작 전류에 대한 자세한 내용은 **낮은 정동작 전류( $I_Q$ )**를 참조하십시오.
- 기술 문서, **저  $I_Q$  기술로 시스템 성능 저하 없이 배터리 수명을 연장하는 3가지 방법**을 읽어보십시오.

**중요 알림:** 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated