

## Application Brief

# 배터리 충전 애플리케이션의 LLC 공진 컨트롤러: 넓은 출력 전압 범 위에서 높은 효율 달성



Gowthamraja RM

전동 공구, 차량 탑재용 및 산업용 충전기를 포함한 최근의 충전 기술 발전은 모든 부하 수준에서 높은 전력 밀도와 일관된 효율을 유지하면서도 점차 소형화된 설계를 이뤄내고 있습니다. 또한 이러한 설계는 광범위한 온도 변화와 장기적인 작동을 견디며 가혹한 환경에서도 견고한 성능을 발휘하도록 엔지니어링되었습니다.

하프 브리지 LLC 토폴로지는 1.3kW 미만의 전력 범위에 있는 충전 설계에 실용적인 솔루션으로 적합합니다. 이 전력 수준을 넘어서면 설계자들은 전도 손실을 최소화하고 효율을 높이기 위해 일반적으로 풀 브리지 LLC 및 PSFB(위상 천이 풀 브리지) 토폴로지로 전환합니다. UCC25661x는 이전 세대 및 기존 PWM 컨트롤러에 비해 더 나은 조정과 통합 보호 기능을 제공하는 TI의 최신 LLC 컨트롤러입니다.

UCC25661x는 TI의 최신 이산형 LLC 컨트롤러로, 최대 750kHz까지 공진할 수 있는 기능 등의 특징을 갖추고 있어 소형 폼 팩터와 높은 전력 밀도를 가능하게 합니다. 낮은 부하에서 두 가지 버스트 모드를 구현함으로써 가청 잡음을 제거하는 동시에 높은 대기 효율을 달성합니다. IPPC(입력 전력 비례 제어) 메커니즘은 충전 애플리케이션에 사용될 때 장치에 큰 차이를 만들어냅니다. 전하 제어나 하이브리드 히스테리시스 제어와 같은 기존의 제어 메커니즘과 달리, IPPC는 LLC 컨버터 설계에서 더 넓은 입력 전압(Vin) 및 넓은 출력 전압(Vout) 작동을 가능하게 합니다. 이러한 넓은 Vin/Vout이 가능한 이유는 쉽게 말해 컨트롤러가 조정 중에 입력 전류나 주파수가 아닌 입력 전력을 보기 때문입니다. 이러한 장점은 아래에서 더 자세히 설명합니다.

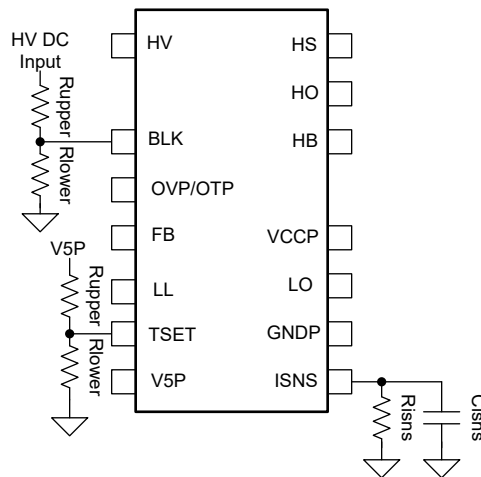


그림 1. IPPC 핀 연결

UCC25661x의 IPPC 지원 기능은 이 장치를 배터리 충전 애플리케이션에 실용적인 장치로 만들어 줍니다. IPPC와 관련된 핀은 다음과 같습니다.

1. FB 핀: FBReplica는 FB 핀에 공급되는 전류에 맞추어 넓은 Vout을 지원합니다.
2. ISNS 핀: 이 핀은 공진 탱크에 직접 연결되어 회로에 사이클별 OCP 보호를 제공하는 데 사용됩니다. 이 핀은 VCR(저항 전압 계수) 신시사이저를 사용하여 내부 공진 커패시터 전압을 생성합니다.
3. BLK 핀: 이 핀은 컨트롤러의 게인을 결정하는 데 사용됩니다. 또한 BI/BO(브라운인/브라운아웃) 임계값 설정 기능도 수행하며 컨트롤러를 켜고 끄는 데 사용됩니다.
4. TSET 핀: 이 핀은 컨트롤러의 최소 동작 주파수를 설정하고 컨트롤러의 적분기 시간 상수를 설정하는 데 사용됩니다. TSET 옵션에 따라 각기 다른 최소 주파수가 설정됩니다.

**표 1. 배터리 충전 애플리케이션에서 IPPC의 장점**

기능	시스템 장점	시스템 영향
내부 VCR 신시사이저	ISNS 핀에서 감지된 신호에 피드포워드 계산을 가진 보상 램프를 더하여 VCR 신호를 내부적으로 합성합니다. 외부 VCR 타이밍 커패시터가 여기에서 제거됩니다.	2개의 VCR 커패시터를 줄여 시스템 수준 설계에서 BoM을 절감합니다.
넓은 입력 전압 성능	여기서 피드백 신호는 출력 전력에 비례하므로, FB 신호는 $V_{in}$ 및 $F_{sw}$ 가 변하더라도 변동이 적습니다.	낮은 리플을 유지하면서 입력 전압 범위 전반에 걸쳐 높은 효율을 달성합니다.
하드 스위칭 없음	$V_{TL}$ 및 $V_{TH}$ FET 턴오프 시간(적응형 데드 타임)이 FB 핀의 이전 사이클 출력에 의해 결정되므로 하드 스위칭을 방지할 수 있습니다.	양호한 열 특성과 함께 부하 범위 전반에서 높은 효율을 유지합니다.
OLP 트리거 지점의 변동이 최소화됩니다.	OLP 트리거 지점은 일정한 전력 수준을 유지하면서 출력 전압 변화에도 거의 일정하게 유지됩니다.	향상된 보호 기능으로 전력의 급격한 증가를 방지합니다.
불필요한 버스트 모드 작동을 방지합니다.	배터리 전압이 낮을 때도 IPPC 덕분에 컨트롤러가 오동작 버스트 모드로 진입하지 않습니다. IPPC는 제어 전압에 미치는 스위칭 주파수의 영향을 제거하므로, 배터리 전압이 컨트롤러의 동작 주파수를 결정하지 않으며 그 반대로 마찬가지입니다.	배터리 충전 시간이 단축되고 효율이 향상됩니다.
프리바이어스 시동	시동 시 배터리에 이미 부하가 있는 경우 컨트롤러나 배터리를 보호하기 위해 외부 회로가 필요하지 않습니다. 일반적으로 시동 중에 일부 부하가 이미 존재하면 ACDC PSU는 하드 스위칭으로 진입하고 손실이 높아집니다. UCC25661x는 이러한 모드 전환과 손실을 방지합니다.	하드 스위칭이 없고 손실이 최소화됩니다.

일반적으로 배터리 충전 제품 개발자는 폐쇄형 루프 DC-DC 토폴로지에서도 피드백을 갖춘 CC-CV(정전류 정전압) 루프를 구현합니다. 이러한 구현은 여러 셀 조합(예: 6S 및 12S 배터리 팩)을 위한 높은 효율, 안전성 및 셀 밸런싱을 제공합니다. 시스템은 배터리 부하 저항에 따라 CC 모드 또는 CV 모드로 작동합니다.

1. CC 모드: CC 작동 모드에서는 배터리 전압이 낮은 값에서 원하는 최대 전압 값으로 점진적으로 증가합니다. 배터리 충전 전류 값은 일정합니다.
2. CV 모드: CV 작동 모드에서는 배터리 전압이 원하는 값으로 일정하게 유지되는 반면, 전류는 거의 0에 가까운 값으로 급격히 떨어집니다. 따라서 충전 전력도 낮은 값으로 감소합니다.
3. 세류 충전: 배터리가 스스로 방전되는 것을 방지하기 위해, 시스템은 작은 버스트 충전 패킷 형태로 대략 0A에 가까운 전류를 공급합니다. 이 현상은 시스템이 부하 저항의 미세한 감소를 감지할 때 발생합니다.

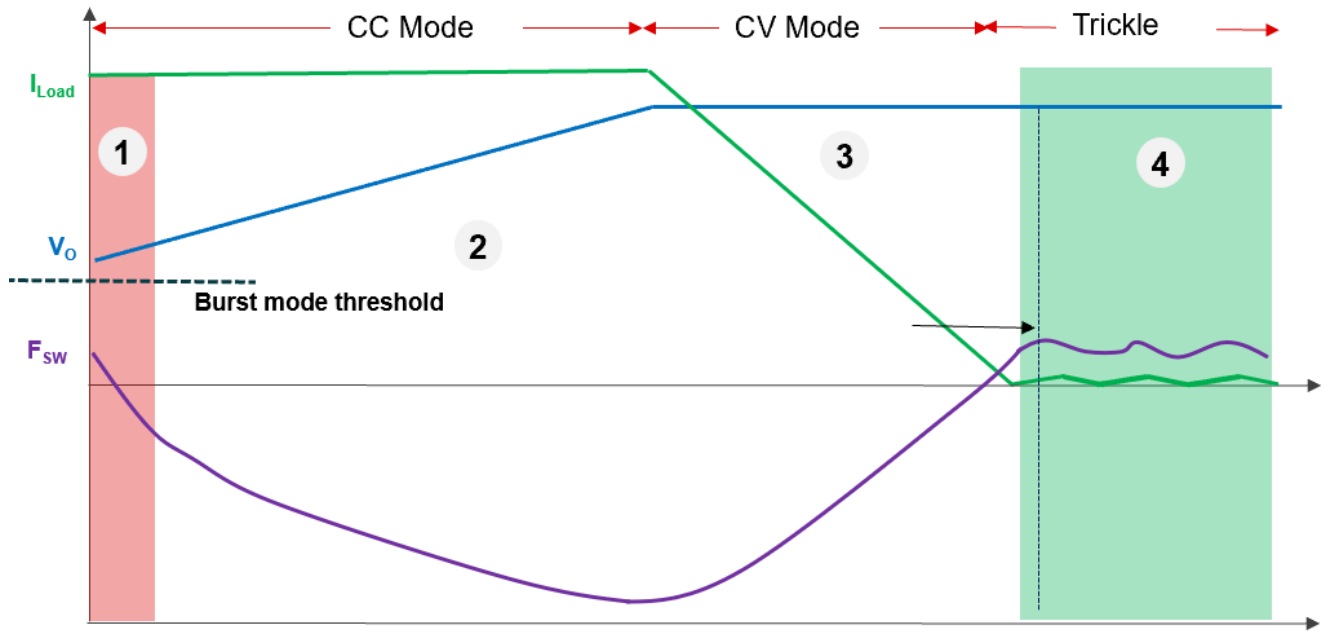


그림 2. CC-CV 루프 설정의 다양한 작동 영역

그림 2은(는) 다양한 작동 모드 동안  $V_O$ , 부하 전류 및 스위칭 주파수의 변동을 보여줍니다.

1. 영역 1: 배터리 전압이 매우 낮습니다. 기존의 LLC 제어는 버스트 모드에서 작동하지만 IPPC는 컨트롤러가 원치 않는 버스트 모드 작동으로 진입하는 것을 방지합니다. 이 영역 동안에는 스위칭 주파수도 높습니다.
2. 영역 2: 배터리 전압이 원하는 값에 도달할 때까지 피크 전류가 공급됩니다. 생성되는 전력도 높으며, 정전류 모드에서 스위칭 주파수가 점차 감소합니다. 여기서 배터리 전압이 매우 낮다면(예를 들어, 영역 1을 막 벗어났을 때), 기존 LLC 컨트롤러 기반 설계는 여전히 버스트 모드로 작동할 수 있어 배터리 충전 전류에 거대한 리플과 원치 않는 가청 잡음을 유발할 수 있습니다.
3. 영역 3: 이 기간 동안 전류는 거의 0에 가까운 값으로 점차 감소합니다. 공급되는 전력도 점차 감소하므로 정전압 모드 동안 스위칭 주파수가 증가합니다.
4. 영역 4: 배터리를 완전 충전 상태로 유지하기 위해 세류 충전이 진행됩니다. 컨트롤러는 배터리 방전을 피하기 위해 작은 버스트 전하를 생성합니다.

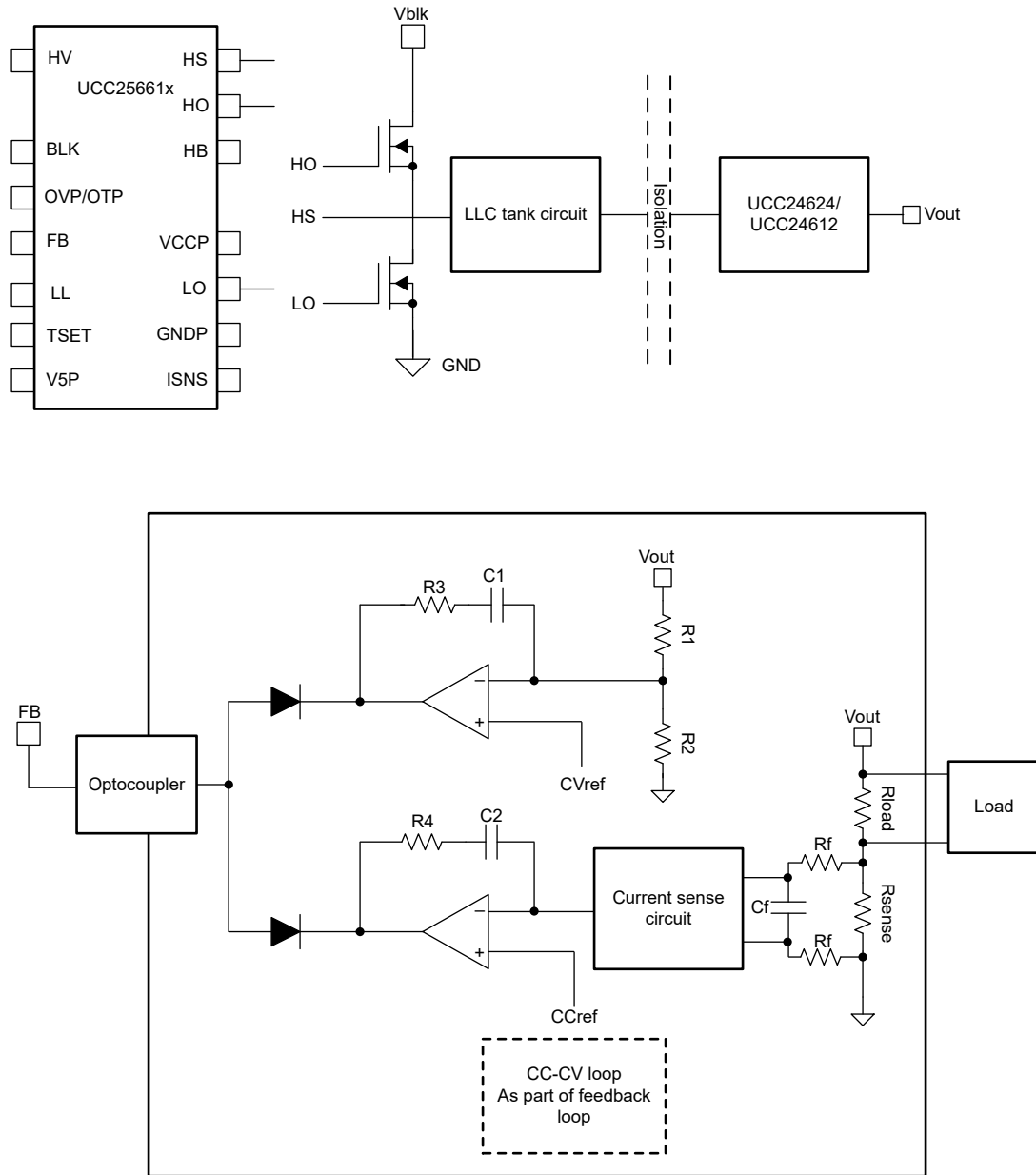


그림 3. UCC25661x를 이용한 일반적인 CC-CV 루프 구현

그림 3의 블록 다이어그램은 UCC25661x가 CC-CV 레퍼런스 루프에서 어떻게 설계되는지 보여줍니다. 두 가지 레퍼런스인 CCref와 CVref는 방정식 1 및 방정식 2에 따라 저항 분할기를 통해 5V 입력에서 설정됩니다. 여기서 H = 전류 증폭기 게인입니다.

$$CC_{ref} = \left( \frac{V_{out}}{R_{load}} \right) \times R_{sense} \times H \quad (1)$$

$$CV_{ref} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \times V_{out} \quad (2)$$

이 기준 지점은 배터리 충전기가 전류 제어로 작동할지 전압 제어로 작동할지를 결정합니다. 배터리 충전기의 경우 출력 저항이 증가하면 출력 전압이 증가하므로 전압 게인이 충족되는지 확인해야 합니다. 따라서 우리는 Vout의 범위(최대, 최소, 일반)를 취하고 LLC 게인을 Mg 곡선에 맞추려고 시도합니다. UCC25661x는 넓은 Vout을 가지므로, Vout의 변동에 따른 게인 곡선에서 충분한 여유를 가질 수 있습니다. UCC25661x 설계 계산기에 Vout 값과 탱크 매개 변수를 입력하여 이 값에 대한 게인 곡선을 볼 수 있습니다.

결론적으로, 텍사스 인스트루먼트의 UCC25661x는 배터리 충전 기술의 상당한 발전을 이루어냈으며, 까다로운 애플리케이션을 위한 고유하게 최적화되고 간소화된 설계를 제공합니다. 이 컨트롤러는 IPPC 메커니즘과 넓은 입력/출력 전압 작동 범위를 사용하여 CC-CV 충전 루프의 설계와 구현을 근본적으로 단순화합니다. 종종 복잡한 튜닝과 최적화가 필요한 기존의 LLC 공진형 컨트롤러와 달리, UCC25661x는 광범위한 입력 전압 및 부하 조건에서 전력 전송 효율을 본질적으로 극대화하고 엄격한 전압 레귤레이션을 유지합니다. 자세한 설계 지침 및 애플리케이션별 권장 사항은 텍사스 인스트루먼트 웹 사이트에서 제공되는 [UCC25661x 데이터시트](#) 및 관련 애플리케이션 노트를 참조하십시오.

## 상표

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

## 중요 알림 및 고지 사항

TI는 기술 및 신뢰성 데이터(데이터시트 포함), 디자인 리소스(레퍼런스 디자인 포함), 애플리케이션 또는 기타 디자인 조언, 웹 도구, 안전 정보 및 기타 리소스를 "있는 그대로" 제공하며 상업성, 특정 목적 적합성 또는 제3자 지적 재산권 비침해에 대한 명시적 보증을 포함하여(그러나 이에 국한되지 않음) 모든 명시적 또는 묵시적으로 모든 보증을 부인합니다.

이러한 리소스는 TI 제품을 사용하는 숙련된 개발자에게 적합합니다. (1) 애플리케이션에 대해 적절한 TI 제품을 선택하고, (2) 애플리케이션을 설계, 검증, 테스트하고, (3) 애플리케이션이 해당 표준 및 기타 안전, 보안 또는 기타 요구 사항을 충족하도록 보장하는 것은 전적으로 귀하의 책임입니다.

이러한 리소스는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TI는 리소스에 설명된 TI 제품을 사용하는 애플리케이션의 개발에만 이러한 리소스를 사용할 수 있는 권한을 부여합니다. 이러한 리소스의 기타 복제 및 표시는 금지됩니다. 다른 모든 TI 지적 재산권 또는 타사 지적 재산권에 대한 라이선스가 부여되지 않습니다. TI는 이러한 리소스의 사용으로 인해 발생하는 모든 청구, 손해, 비용, 손실 및 책임에 대해 책임을 지지 않으며 귀하는 TI와 그 대리인을 완전히 면책해야 합니다.

TI의 제품은 [TI의 판매 약관](#), [TI의 일반 품질 지침](#) 또는 [ti.com](#) 이나 해당 TI 제품과 함께 제공되는 기타 조건의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다. TI가 명시적으로 제품을 사용자 정의 또는 고객 정의용으로 지정하지 않는 한, TI 제품은 범용의 표준 카탈로그 장치입니다.

TI는 사용자가 제안할 수 있는 어떠한 추가적이거나 상이한 조건도 반대하며 이를 거부합니다.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

최종 업데이트: 2025/10/25

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 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](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on [ti.com](http://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. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025