

## Technical Article

## 고전압 DCM 반전 충전 펌프 컨버터를 설계하는 방법



John Betten

첨단 운전자 보조 시스템, 소나 애플리케이션을 위한 초음파 변환기 및 통신 장비에서 센서를 바이어스하려면 저전류, 음의극 고전압이 필요합니다. 플라이백, Cuk 및 반전 벅-부스트 컨버터는 모두 사용 가능한 솔루션이지만, 부피가 큰 변압기(플라이백 및 Cuk)로 인해 불리한 점이 있거나 컨트롤러의 입력 전압 정격(반전 벅-부스트)에 의해 최대 음전압이 제한됩니다. 이 전원 팁에서는 단일 인덕터를 DCM(불연속 전도 모드)에서 작동하는 반전 충전 펌프와 연결하는 컨버터의 작동을 자세히 설명합니다. 접지 레퍼런스 부스트 컨트롤러와 함께 사용하면 낮은 시스템 비용으로 큰 음전압 출력을 생성할 수 있습니다.

그림 1에서는 간소화된 전력계 회로도를 보여줍니다. 이 회로도는  $V_{IN}$ 과  $V_{OUT}$  사이에서 컨트롤러를 "부동" 상태로 만드는 기존의 반전 벅-부스트 컨버터와는 다릅니다. 이 컨버터에서 달성할 수 있는 최대  $-V_{OUT}$ 은 컨트롤러의 최대  $V_{CC}$ 에서 최대 입력 전압을 뺀 값입니다. 이로 인해  $-100V$  이상의 출력 전압에서 N채널 FET(전계 효과 트랜지스터)를 구동할 수 있는 컨트롤러를 찾기가 거의 불가능합니다.

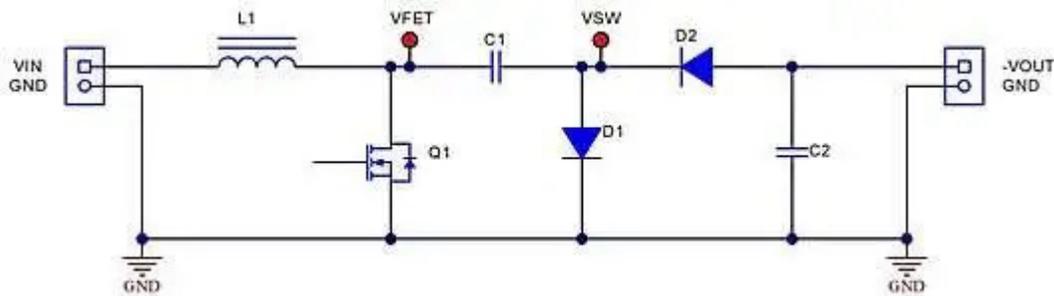


그림 1. 인덕터 구동식 반전 충전 펌프의 간소화된 전력계

회로의 작동은 3개의 단계로 분할될 수 있습니다(그림 2). 첫 번째 단계에서 FET는 듀티 사이클(d) 중에 켜지며, 이를 통해 인덕터 전체에서  $V_{IN}$ 이 인가되어 전류가 0에서 상승해 에너지가 저장됩니다. 그러나 이전 사이클에서 C1( $V_{OUT}$ 과 거의 동일한 전압을 유지)은 과도하게 저장된 에너지를 소진하여 D1 및 D2를 역방향으로 바이어스했습니다. 바로 이러한 이유로 D1, D2 및 C1이 이 단계에서 표시되지 않는 것입니다. C2는 모든 부하 전류를 공급합니다.

다음 단계 d'에서는 FET가 꺼지고 인덕터 전류가 방전되기 시작하여 전압 극성이 반전됩니다. 이로써 노드 VFET에 존재하는 전압이 크게 증가하여 C1이 D1을 통해 재충전될 수 있습니다. 이 단계 동안 전류는 D1이 꺼질 때까지 아래로 줄어듭니다. 그러나 D1의 역복구 특성으로 인해 전류는 결국 꺼지기 전에 음의 값으로 전환되며, 이 지점에서 인덕터 전류 기울기가 변하고 전압 극성이 다시 한 번 반전됩니다.

세 번째 단계 d''에서는 C1에서 C2로의 에너지 전달이 이루어집니다. D1이 전도를 중지하면 VFET 노드 전압이 FET의 바디 다이오드를 통과하는 전류 경로에 의해 강제로 접지로 연결되기 때문에 인덕터 전압이  $V_{IN}$ 으로 클램핑됩니다. 전류는 C1 및 C2에 걸쳐 전압이 동일해질 때까지 D2를 통해 흐르지만, FET의 바디 다이오드를 통과하는 전류는 인덕터의 전류가 0에 도달 때까지 계속 흐릅니다. 이 지점에서 인덕터의 전압이 붕괴하고 FET가 다시 켜질 때까지 회로 기생과 공진합니다.

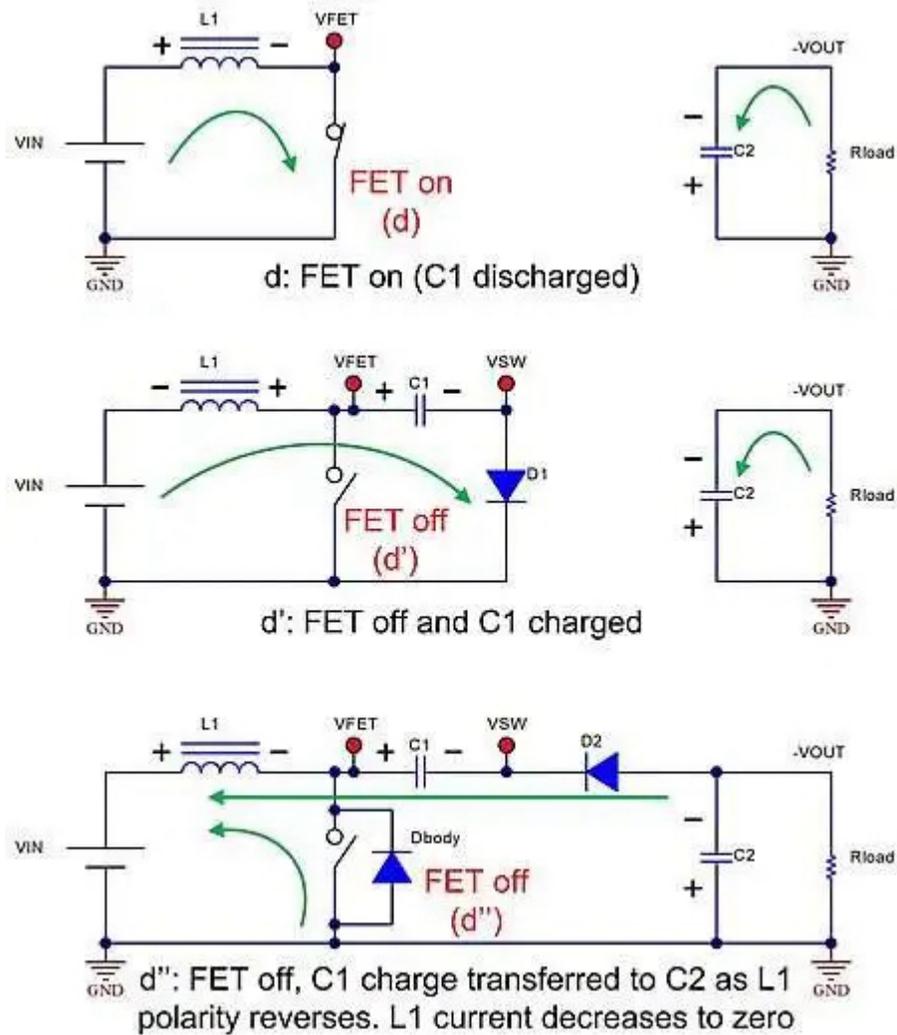


그림 2. DCM 작동의 3단계

그림 3에서는 주요 전압 및 전류 파형을 자세히 보여줍니다. DCM 작동에서는 가능한 가장 작은 인덕턴스가 허용되지만 피크 전류가 더 높습니다. DCM 작동의 인덕턴스는 최대 듀티 사이클, 최소  $V_{IN}$  및 전부하에서 결정됩니다. 컨트롤러 데이터 시트를 기준으로 최대 듀티 사이클을 신중하게 확인합니다. 일반적으로 60%~90%를 선택하며, 그러지 않으면 펄스 스킵이 발생할 수 있습니다. 인덕턴스가 클수록 전류가 다음 스위칭 사이클 전에 0으로 복구되지 않기 때문에 CCM(연속 전도 모드)으로 작동합니다. 이로 인해 필요한 것보다 더 클 수 있는 인덕터를 사용하게 되며, 저조파 진동을 방지하기 위해 더 세심한 주의가 필요합니다.

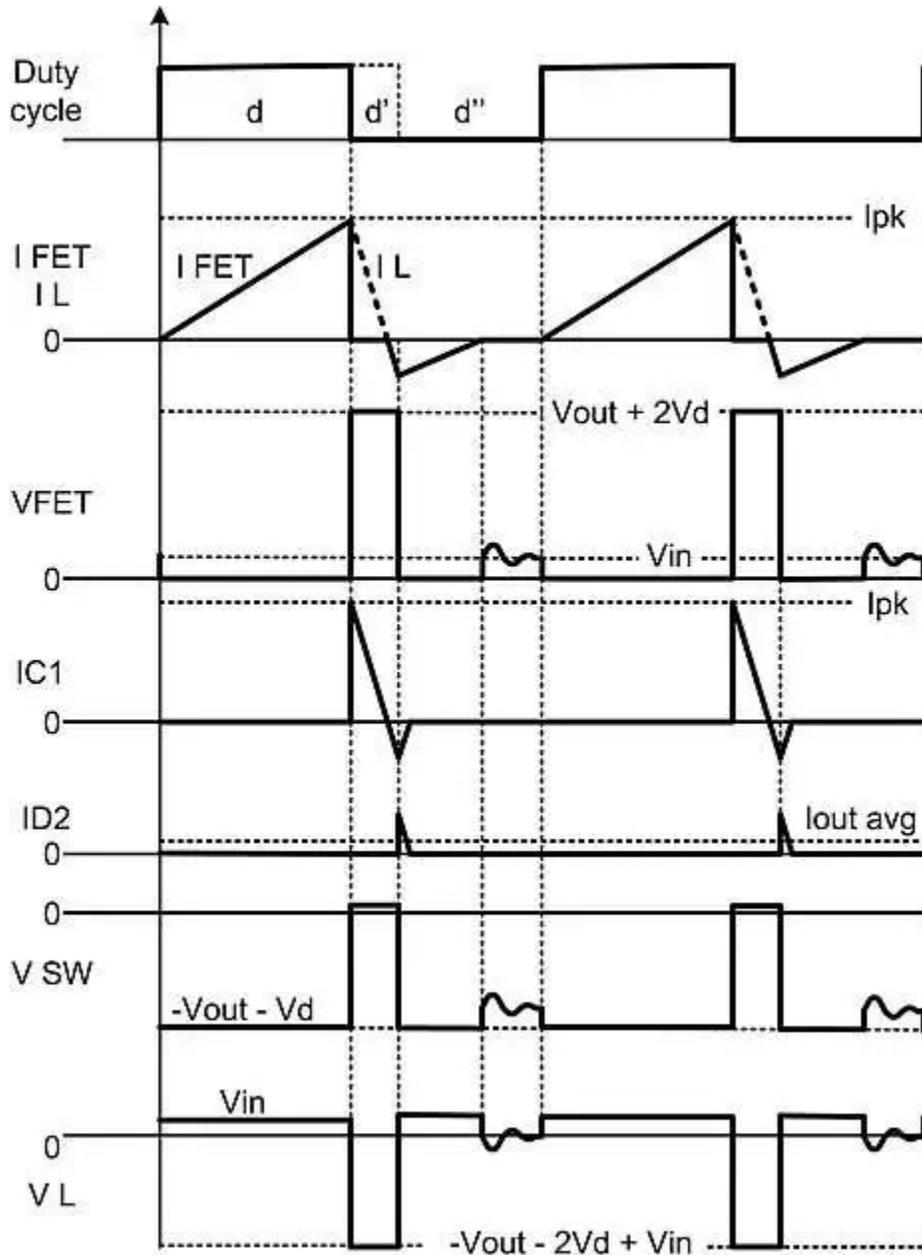


그림 3. DCM의 주요 회로 파형

### 설계 방정식

DCM 작동의 경우 방정식 1은 인덕터의 저장 에너지와 관련된 관계를 충족합니다.

$$\frac{1}{2} * L * i_{pk}^2 * f_{sw} = \frac{V_{out}^2}{R_{load} * \eta} \quad (1)$$

여기서  $i_{pk}$ 는 피크 인덕터 전류이며  $\eta$ 는 컨버터의 효율입니다. 피크 인덕터 전류는 방정식 2와 같습니다.

$$i_{pk} = \sqrt{\frac{2 * V_{out}^2}{R_{load} * L * f_{sw} * \eta}} \quad (2)$$

다음 두 방정식에서 방정식 3은 다음과 같이 듀티 사이클( $d$ )을 나타냅니다.

$$V_L = L \frac{di}{dt} \text{ and } d = dt * f_{sw}, \text{ then, } d = \frac{di * L * f_{sw}}{V_L} \quad (3)$$

$V_{IN}$ 은 FET가 켜져 있을 때 인덕터 전체의 전압이고  $i_{pk}$ 는 듀티 사이클  $d$ 의 끝 인덕터 전류이므로 방정식 2를 방정식 3에 대입하면 방정식 4와 5가 구해집니다.

$$d = \frac{V_{out}}{V_{in}} \sqrt{\frac{2 * L * f_{sw}}{R_{load} * \eta}} \quad (4)$$

$$\text{or, } L = \frac{V_{in}^2 * d^2 * R_{load} * \eta}{2 * V_{out}^2 * f_{sw}} \quad (5)$$

평균 부하 전류는 단계  $d'$  동안 방정식 6과 7의 기하 관계에 의해 결정됩니다.

$$\frac{V_{out}}{R_{load}} = \frac{i_{pk} + d r}{2} \quad (6)$$

$$\text{or, } d' = \frac{2 * V_{out}}{i_p * R_{load}} \quad (7)$$

방정식 2를 방정식 7에 대입하면 방정식 8이 나옵니다.

$$d' = \sqrt{\frac{2 + L \cdot f_{sw} \cdot \eta}{R_{load}}} \quad (8)$$

기간의 나머지는  $d''$ 로 정의되며, 이 단계에서 에너지가 C2로 전달되고 나머지 인덕터 전류가 0으로 방전됩니다(방정식 9).

$$d'' = 1 - d - d' = 1 - \frac{V_{out}}{V_{in}} \sqrt{\frac{2 * L * f_{sw}}{R_{load} * \eta}} - \sqrt{\frac{2 * L * f_{sw} * \eta}{R_{load}}} \quad (9)$$

**그림 4**에서는 전압 더블러로 이 컨버터를 구현하는 회로도 예시를 보여줍니다. 이를 통해 각 전력계 부품의 전압 응력이 최대 출력 전압의 절반이 될 수 있습니다. 따라서 부품을 보다 광범위하게 선택할 수 있습니다. 이 애플리케이션에서는 출력 전압이 절반이지만 부하 전류의 두 배인 것처럼 인덕턴스가 계산되었습니다.

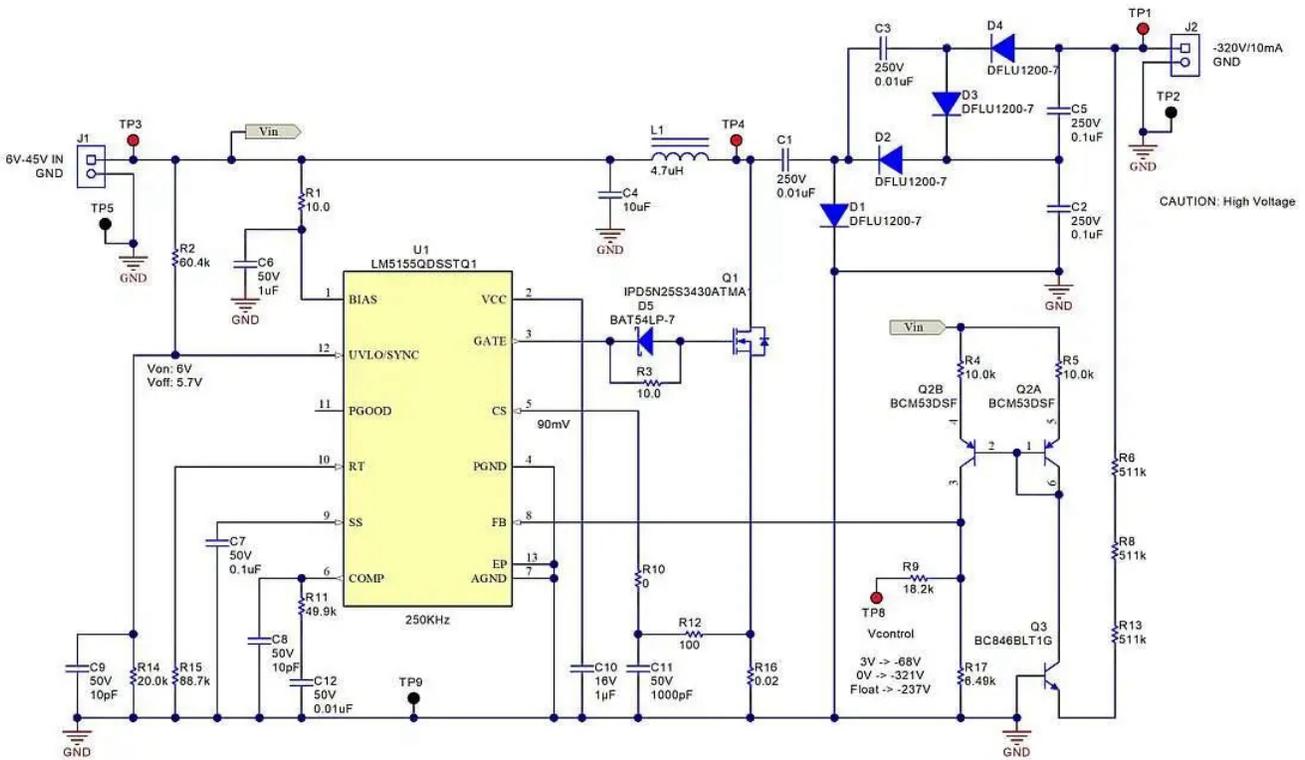


그림 4. 전압 더블러 및 레벨 변환 전류 미러가 있는 인덕터 구동식 반전 충전 펌프 회로도

이 컨버터는 큰 음전압을 생성하는 소형 단일 인덕터 솔루션을 제공합니다. 또한 값이 저렴한 접지 레퍼런스 부스트 컨트롤러를 사용하여 N채널 FET를 구동하도록 해 줍니다.

전원 팀에 대한 자세한 내용은 Power House의 [전원 팀 블로그 시리즈](#)를 확인해 보십시오.

#### 추가 리소스

- [전원 팀: Increase your output voltage with a voltage multiplier](#), EETimes
- [반전 백 부스트 컨버터로 TPS5430 사용하기\(개정 A\)](#), TI 애플리케이션 보고서

#### 관련 문서

- [전압을 두 배로 늘리고, DC 경로를 차단하는 충전 펌프 토폴로지](#)
- [디지털 신호에서 전력을 가져오는 조정된 충전 펌프](#)
- [충전 펌프 컨버터 IC의 입력 및 출력](#)
- [SEPIC/Ćuk 컨버터가 두 번째 출력 생성](#)
- [불연속 전도는 전류 모드 컨버터에 문제를 초래합니다](#)

이전에 EDN.com에 게시되었습니다.

#### 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 침해에 대한 묵시적 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, 규정 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 [ti.com](https://ti.com)에서 확인하거나 이러한 TI 제품과 함께 제공되는 [TI의 판매 약관](#) 또는 기타 해당 약관의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다.

TI는 사용자가 제안했을 수 있는 추가 또는 기타 조건을 반대하거나 거부합니다.

주소: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated