

Technical Article

어려운 방식으로 스위칭하지 말고 PWM 풀 브리지를 사용하여 ZVS를 달성하십시오



John Dorosa

풀 브리지 컨버터

풀 브리지 컨버터는 절연 전력 변환을 위한 효율적인 솔루션을 제공합니다(그림 1). 이 토폴로지 내에서 제어 방법을 선택하면 컨버터의 전체 성능에 영향을 미칩니다. 대부분의 엔지니어는 HSFB(하드 스위치 풀 브리지) 또는 PSFB(위상 변이 풀 브리지)만 고려합니다. 이 전원 팁에서는 ZVS(제로 전압 스위칭)를 달성하여 효율성을 높이고 변압기 권선의 공진 링잉을 제거할 수 있는 PWM(펄스 폭 변조) 제어 풀 브리지에 대한 간단한 수정을 보여드리겠습니다.

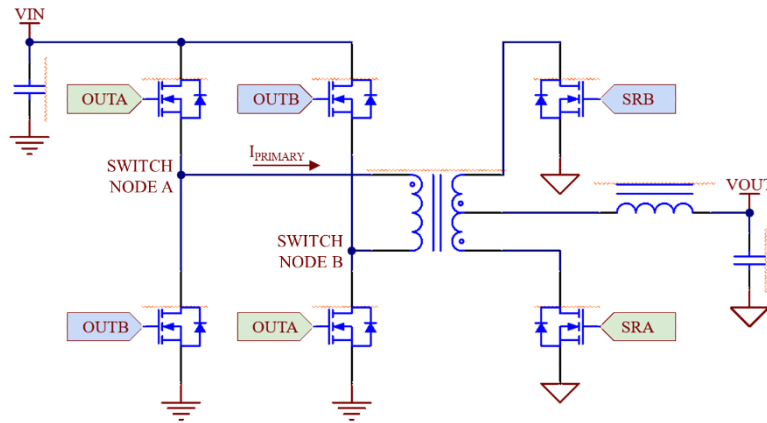


그림 1. 동기 HSFB 컨버터 전력계의 예. 출처: 텍사스 인스트루먼트

HSFB

HSFB 컨버터는 위상이 180도 다른 두 개의 출력 신호(OUTA와 OUTB)를 사용하여 1차 측 브리지의 대각선 쌍을 제어합니다(그림 1 참조). 컨트롤러는 1차 측 FET에 대해 3가지 상태 즉, OUTA 높음과 OUTB 낮음, OUTB 높음과 OUTA 낮음, OUTA와 OUTB 모두 낮음을 허용합니다. 조절을 유지하기 위해 컨트롤러는 각 상태에서 소요되는 시간 비율을 조정합니다.

그림 2에서는 (아래에서 위로) OUTA 및 OUTB 신호, 1차 브리지의 각 측면에 있는 스위치-노드 전압, 1차 권선 전류를 보여 줍니다. 스위치 노드는 OUTA와 OUTB가 모두 낮을 때 데드 타임 동안 입력 전압의 절반으로 복귀합니다.

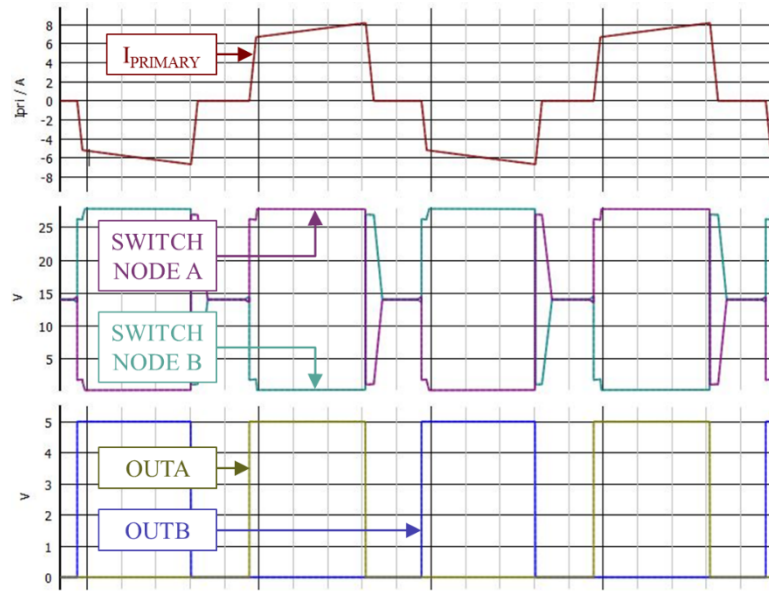


그림 2. 1차 측의 반대 FET를 구동하기 위한 기준 구성(1 μ s/div). 출처: 텍사스 인스트루먼트

데드 타임 중에 1차 측 FET가 꺼져 있는 경우 2차 전류는 동기 정류기를 통해 계속 프리휠링됩니다. 이때 1차 측에 저장된 누설 에너지는 1차 측 FET의 출력 커패시턴스와 공진하여 OUTA 또는 OUTB가 낮아질 때 큰 누설 스파이크를 생성합니다. 이 공진은 1차 측의 4개 FET 모두에 영향을 미칩니다. 그림 3에서는 누설 스파이크가 얼마나 커질 수 있는지 보여줍니다. 실제로 큰 누설 스파이크는 고전압 부품을 사용해야 할 수 있습니다.

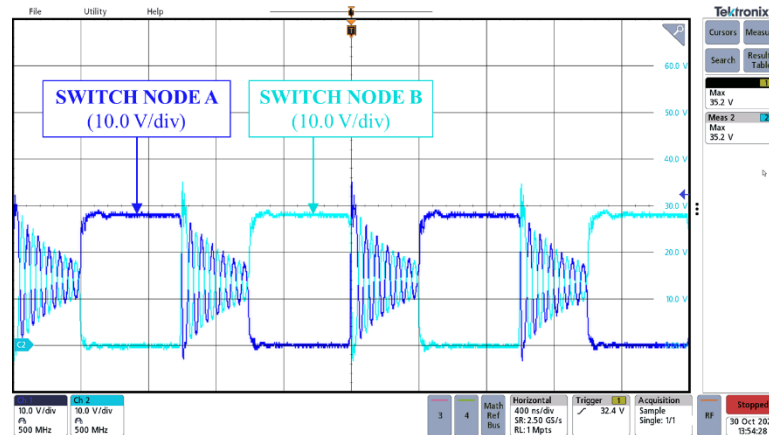


그림 3. 기준 구성이 있는 1차 스위칭 노드(400ns/div). 출처: 텍사스 인스트루먼트

보완 로직을 지원하는 대체 접근 방식

대체 접근 방식은 브리지의 각 절반에서 보완 로직으로 1차 FET를 제어하는 것입니다. 이 방법으로 PWM 높음은 고압측 FET를 켜고 PWM 낮음은 저압측 FET를 켭니다. 그림 4에서는 이 접근 방식을 사용한 다이어그램을 보여줍니다.

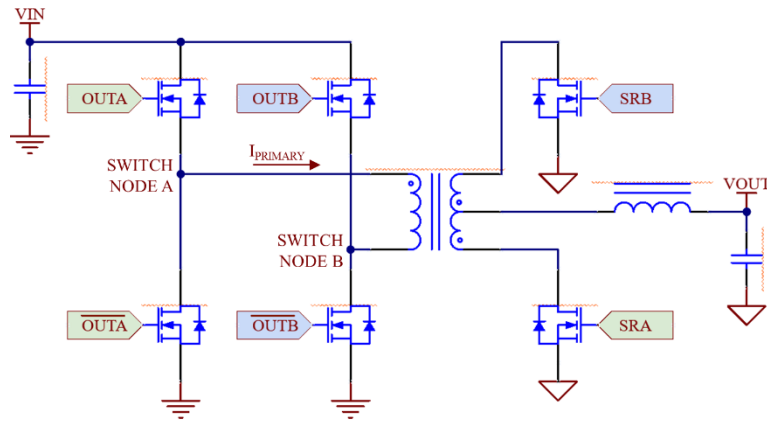


그림 4. 동기 ZVS 풀 브리지 컨버터 전력계의 예. 출처: 텍사스 인스트루먼트

그림 5에서는 이 접근 방식의 PWM, 스위치 노드 전압 및 1차 전류를 보여줍니다. 1차 브리지의 각 측에서 보완 신호를 통해 이제 두 개의 저압측 FET가 데드 타임 동안 모두 켜집니다. 이를 통해 1차 전류가 기존의 접근 방식에서 데드 타임이었던 기간 동안 2개의 저압측 FET를 통해 계속 프리휠링할 수 있습니다.

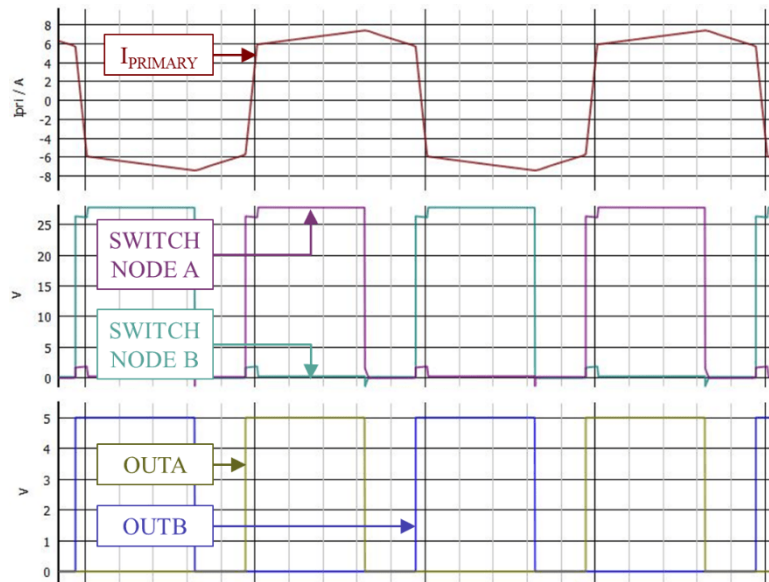


그림 5. 1차 측의 FET를 구동하기 위한 보완 PWM($\mu\text{s}/\text{div}$). 출처: 텍사스 인스트루먼트

1차 측의 프리휠링 전류는 많은 이점이 있습니다. 첫째, 1차 측 FET는 ZVS를 달성합니다. 그림 6에서는 ZVS 이벤트 중 풀 브리지의 한쪽에 대한 1차 스위치 노드 및 PWM 로직을 보여줍니다. ZVS를 나타내는 게이트-드라이브 신호가 도입되기 전에 드레인-소스 전압은 0으로 떨어집니다.

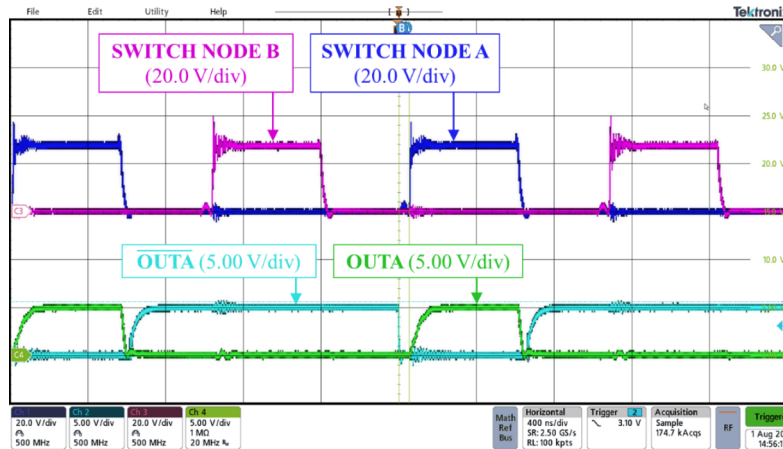


그림 6. 보완 PWM 구성을 지원하는 1차 스위칭 노드(400ns/div). 출처: 텍사스 인스트루먼트

또 다른 이점은 컨버터 전반에 걸쳐 잡음이 적다는 것입니다. 그림 3의 1차 스위치- 노드 파형에서 그림 6(으)로 이동할 때 큰 누설 스파이크와 공진 링잉이 제거됩니다. ZVS를 달성하기 위해 1차 측을 변경한 후 2차 정류기에서도 잡음이 감소했습니다.

그림 7에서는 두 설계 옵션 모두에 대한 2차 정류기의 드레인-소스 전압을 비교합니다. HSFB 변형은 눈에 띄게 더 많은 링잉 현상이 발생하며, 이를 완화하기 위해 스너버가 필요하지만 그 결과 전체 시스템 효율이 감소합니다. 1차 측에서 ZVS로 변경하면 2차 FET에서 링잉이 줄어듭니다. 여전히 누설 스파이크가 있지만 이 경우에는 다이오드 클램핑 회로가 스너버보다 더 적합합니다.

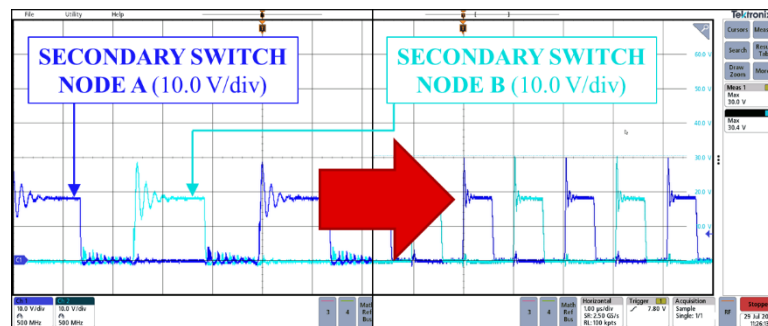


그림 7. 기존 구성(400ns/div)(왼쪽), 보완 PWM 신호 사용(1.00 μ s/div)(오른쪽). 출처: 텍사스 인스트루먼트

수정된 HSFB 레퍼런스 설계

ZVS만 도입하면 부하 조건에서 효율성이 향상됩니다. 그림 8에서는 1차 측의 ZVS 로직을 사용하는 수정된 HSFB 레퍼런스 설계, "100kRad 애플리케이션을 위한 100W, 5V 출력 하드 스위치 풀 브리지 컨버터 레퍼런스 설계"를 HSFB였던 초기 데이터와 비교합니다. 1차 FET에 대한 로직이 유일한 변경이었고, 1차 측 FET 드라이버에 대한 최적화와 2차 측 보호 회로의 개선으로 이 접근 방식의 이점이 더욱 높아졌습니다.

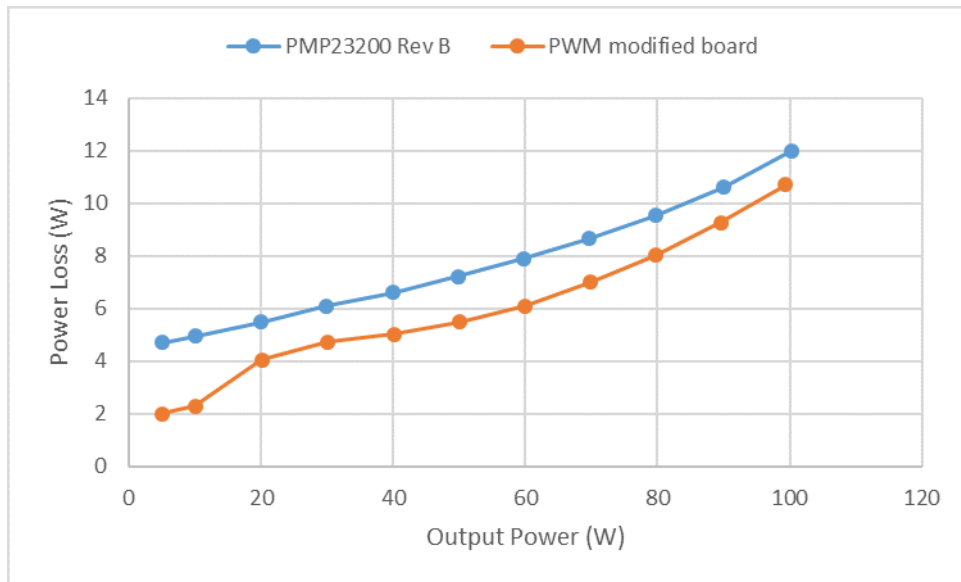


그림 8. 기존(TI HSFB 레퍼런스 설계 개정 B) 구성과 PWM(수정 보드) 구성의 총 전력 손실 대 출력 전력. 출처: 텍사스 인스트루먼트

보완 로직 사용

풀 브리지 컨버터에서 보완 로직을 사용하면 1차 FET가 ZVS를 달성할 수 있습니다. 이 접근 방식은 시스템 효율성에 많은 이점이 있으며, 접근 방식을 쉽게 구현할 수 있습니다.

테스트 사례의 경우, 표준 동기 풀 브리지 컨버터는 보완 신호를 생성하기 위해 조정된 로직만 필요합니다. 로직 NOR 게이트를 사용하여 이 조정을 수행할 수 있습니다. 또는 HSFB 레퍼런스 설계에 사용되는 텍사스 인스트루먼트의 [TPS7H6003-SP](#) 게이트 드라이버 같은 일부 드라이버의 경우 단일 입력 신호가 높을 때 고압측 FET를 구동하고 신호가 낮을 때 저압측 FET를 구동하는 PWM 모드를 사용합니다. 보시다시피, 제어 로직에서 이러한 미묘한 변화가 시스템 성능 향상에 큰 영향을 미칠 수 있습니다.

관련 콘텐츠

- [전원 팁 #133: TLVR의 총 누설 인덕턴스를 측정하여 성능 최적화](#)
- [전원 팁 #123: 이중 부스트 컨버터를 사용하여 높은 변환 비율 설계의 전력 범위 확장](#)
- [전원 팁 #117: 전체 작동 조건에서 테스트하기 전에 LLC 공진 탱크 측정](#)
- [전원 팁 #97: 배터리 충전기 요구 사항을 충족하는 LLC-SRC 게인 곡선 형성](#)
- [전원 팁 #94: 업사이드 다운 벅이 비절연 플라이백의 대체 토폴로지를 제공하는 방식](#)

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 비침해에 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://www.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