

VICOR기반의 소형 기지국용 48V Bus PoL 전원 강압 솔루션

본 기술 문서는 주로 소형 기지국 도입과정에서 기존 전원 아키텍처가 직면한 과제와 문제들을 언급했다. 아울러 VICOR가 제공하는 ZVS-BUCK을 비롯해 48V에서 5V로 전환하는 신형 강압기의 부피 축소 및 효율 향상 등 특징을 언급하며 문제 해결 방식을 다루어 보았다.

글/민 마오(Min Mao), 바이코 코퍼레이션

개요

소형 기지국의 전력밀도의 요구 사항이 증가하면서 이를 위한 전원 설계 과제는 새로운 도전에 직면하고 있다. 전원부 효율 및 동작 주파수 개선 및 효율적인 방열 설계의 향상만으로는 날로 높아지는 현재 소형 기지국의 기술적 요구를 만족시킬 수 없으므로 전반적인 전원공급 아키텍처에 대한 혁신만이 전력 밀도 요구 사항을 근본적으로 해결할 방안이다.

전체 시스템 체적을 빠르게 줄일 수 있는 가장 효과적인 방법은 기존 48V → 12V → PoL(ex, 5V) 전원구조에서 12V버스 전원을 제거하여 48V를 PoL 전원으로 직접 강압 처리하여 사용하는 것이다. VICOR는 고객이 제품 사이즈를 쉽게 줄여서 신뢰성이 높은 전원 공급기 설계와 효과적으로 비용을 절감할 수 있도록 48V Input to PoL 응용 회로용 고효율 ZVS(제로 전압 스위칭) 벽 컨버터를 제공한다.

서론

어려운 부지선정 및 많은 비용 투입 등 문제로 인해 향후 LTE배치 과제의 가장 큰 문제는 매크로셀의 부지

선정이라고 할 수 있다. 특히 도시화가 빠르게 진행된 대도시일 수록 더욱 그렇다. 현재 도시 사각지대 커버, 데이터 처리량 향상, 고객 체험 개선 등 문제를 해결할 수 있는 가장 효과적인 방법은 소형 기지국을 도입하는 것이다.

건물 디자인의 수요에 따라 기지국의 부피도 계속해서 줄어들고 있으므로 전원 공급기기 역시 효율, 주파수, 방열 등에서 꾸준히 개선되는 추세이다. 현재 기술 수준을 통한 전원 부피 축소는 이미 한계에 이르렀으므로 전원공급 아키텍처에 대한 효과적인 개선안이 향후 부피 축소의 유일한 방법이라고 할 수 있다.

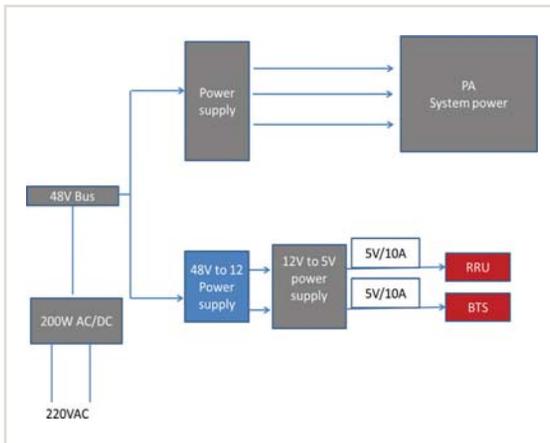
12V 버스 전원을 없애고 48V 전원을 강압 처리한 후 직접 단말기에 전원을 공급함으로써 전압 전환 공간 축소를 통해 부피를 축소하는 것은 가장 효과적인 방법이다. 소형 기지국의 핵심 전원은 RRU 기반의 5V/50W와 BTS에 필요한 5V/50W이다.

VICOR의 PI354X 시리즈의 ZVS(제로전압스위칭) 벽 컨버터는 48V 를 2.5V, 3.3V, 5V, 12V로 직접 강압 처리(10A, 최대 출력 전류) 가 가능한 고집적도(집적상층/하층 스위칭 소자 포함), 고효율(93% 이상의 최대 효율, 48V → 5V 강압 조건), 소형 패키지 솔루션(10 x 10mm) 등의 장점을 통합한 솔루션이다.

기존 소형 기지국의 전원 구성

그림 1은 기존 소형 기지국의 전원 아키텍처를 나타낸다. 여기에서 파란색으로 표시된 것은 12V, 즉 버스 전원 공급선이지만 직접 단말기에 전원을 공급하지는 않는다. 48V를 12V로 전환하는데 약 10평방 센티미터에 달하는 PCB면적을 차지하며 방열시스템까지 더해지게 되면 부피는 더 커진다.

그림 1. 기존 소형 기지국의 전원 구성도



이미 여러 차례 최적화 된 셋톱 박스 크기의 소형 기지국 제품을 추가로 더 작게 축소하는 것은 매우 어려운 일이다. 이런 상황에서 공간을 축소하는 유일한 방법은 중간 단계인 12V 버스선을 없애고 48V에서 5V로 직접 전환하는 것이다. 그러나 48V를 직접 5V로 전환하기 위해서는 다음과 같은 문제를 해결해야 한다.

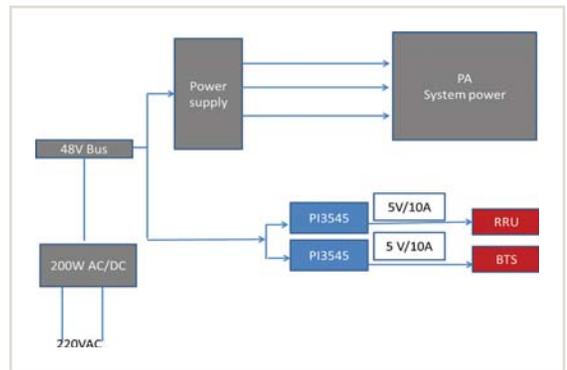
- Ⓐ 낮은 전력 변환 효율(일반적으로 88% 미만)
- Ⓑ 낮은 스위칭 주파수(일반적으로 500kHz 미만)
- Ⓒ 인덕터의 부피

기존의 동기식 정류 강압기(Synchronous rectifier buck converter)의 구조에서는 부피 축소가 매우 어려울 뿐만 아니라 낮은 전력 효율로 인한 방열문제와 시스템 안정성 저하 등의 문제가 발생한다. 따라서, 기존의 전원 아키텍처는 2단계의 전압 강압 방식, 즉 48V에서 12V로 전환 후 12V에서 5V로 전환하는 방식을 이용할 수 밖에

없기 때문에 소형 기지국의 부피 축소는 거의 불가능한 상황이다.

그림 2는 48V에서 5V로 전환되는 VICOR의 전원 아키텍처를 나타낸다. 고효율 ZVS 스위칭 방식을 통해 12V 버스 전원 구성의 필요 없이 BTS와 RRU의 전원공급을 실현했으며 PCB의 부피를 4평방 센티미터로 축소했다.

그림 2. VICOR의 소형 기지국 전원 구성도



다음은 VICOR의 48V Input to 5V 강압기가 갖는 장점들을 기존의 동기 정류 강압기와의 비교를 통해 분석해 보려 한다.

VICOR의 ZVS(Zero Voltage Switching) 강압기와 기존 동기 정류 강압기의 토폴로지 비교

동기 정류 방식의 BUCK(강압) 회로는 하층 MOSFET의 기생 다이오드를 통한 제로 전압 스위칭 방식이 가능하다. VICOR의 ZVS 강압기에는 48V 입력 전원 사용 시 상층 MOSFET의 기생 다이오드를 통한 제로 전압 스위칭 방식이 가능한데 전반적인 효율, 출력 밀도, 동작 주파수 등이 매우 크게 개선된다.

하드 스위칭 방식의 경우,

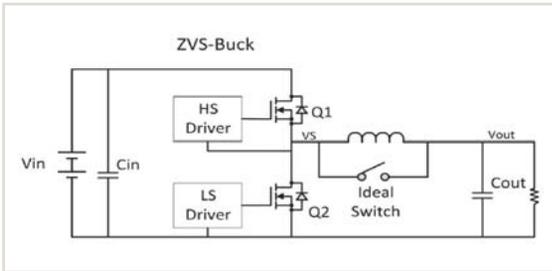
- Ⓐ 턴온 및 오프 기간 중 MOSFET은 고전류와 고전압으로부터의 내력을 가져야 할 뿐만 아니라 스위칭 주파수와 입력 전압이 높아질 때 그에 따른 손

실도 커지므로 작동 주파수와 효율 및 출력 밀도의 최대화에 악영향을 미친다.

- ⓑ 대출력 MOSFET 게이트 드라이버 회로에서 발생하는 미러 전하 손실이 커지는데 이는 또한 게이트 드라이버 손실도 매우 커지게 한다.
- ⓒ 상층 MOSFET의 온·오프 변화 시 대량의 펄스 전류가 하층 MOSFET의 기생 다이오드를 통해 흐르며 다이오드를 통해 전류가 흐르는 시간이 길수록 더 큰 역방향 회복 전력 손실과 하층 MOSFET의 기생 다이오드의 도통 손실도 커진다.

그림 3과 그림 4는 VICOR의 고압 입력(48V모선) PI354X시리즈 ZVS 강압기와 기존의 동기 정류 강압기 토폴로지를 비교 분석한 내용이다.

그림 3. VICOR의 ZVS강압기의 토폴로지

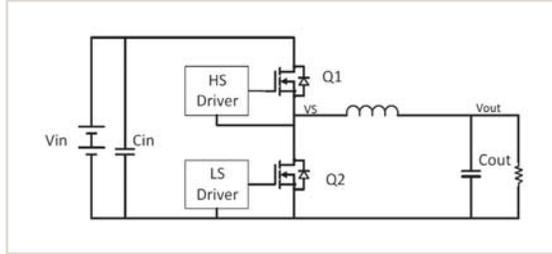


VICOR의 ZVSto폴로지의 특징:

- Ⓐ 최고 입력 전압 상황에서의 높은 주파수 동작이 가능
- ⓑ 제로전압 공진을 통한 소프트 기동방식(고효율, 소음)
- ⓒ 클램프 스위치를 통한 ZVS에너지 확보
- Ⓓ MOSFET 턴온 시 기생 다이오드의 매우 짧은 도통 시간
- Ⓔ 동작 인덕턴스 최소화 가능
- Ⓕ 스위칭 손실과 게이트 드라이버 손실 최소화
- Ⓖ 사인 파형에 가까운 출력 리플과 피크성 노이즈 없음

기존의 동기 정류 강압기 토폴로지는 그림 4를 참고 하면 된다.

그림 4. 기존 동기 정류 강압기의 토폴로지



기존의 동기 정류 강압기 토폴로지는 다음과 같은 단점을 가지고 있었다:

- Ⓐ 낮은 동작 주파수 사용으로 인해 인덕터의 크기를 줄일 수 없음
- ⓑ MOSFET 하드 스위칭 손실이 큼
- ⓒ MOSFET 기생 다이오드의 도통 시간이 길어 스위칭 손실이 매우 큼
- Ⓓ 게이트 드라이버의 스위칭 손실이 큼
- Ⓔ 출력 인덕터의 인덕턴스와 크기가 비교적 큼
- Ⓖ 출력 리플과 노이즈가 비교적 큼

그림 5/그림 6/그림 7/그림 8의 동작 파형은 각각 VICOR의 ZVS 강압기와 기존 동기 정류 강압기 토폴로지들의 장단점을 나타낸다.

그림 5. VICOR의 ZVS 강압기 파형 설명 및 회로도

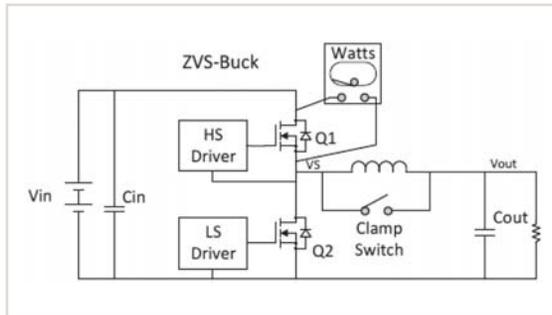


그림 4의 파형을 보면 Q1은 제로전압에서 턴온을 시작하는데 손실은 주로 RDson으로 인해 발생한다. 클램프 회로의 적용으로 인해 VS단자는 상층 MOSFET가 턴온 되기 전까지 발진(공진)을 하지 않게 되므로 발진

그림 6. VICOR의 ZVS 강압기 동작 파형 및 장점

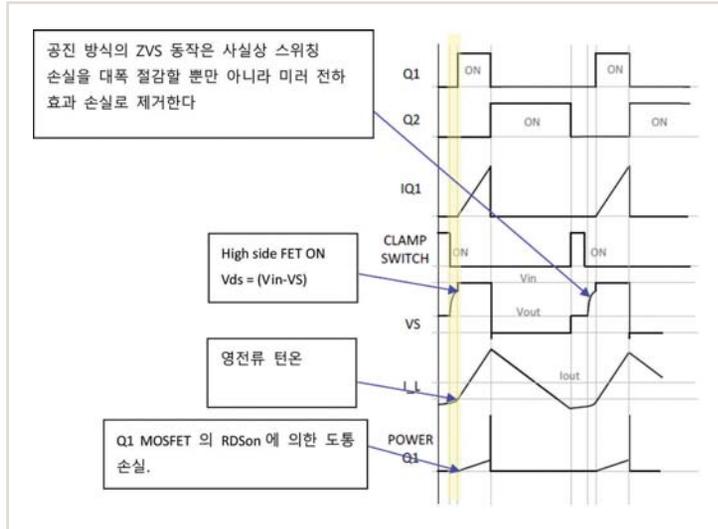


그림 7. 기존의 동기 정류 강압기 파형 설명 및 회로도

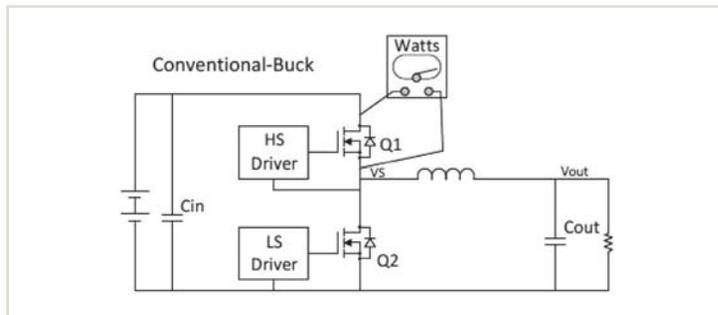
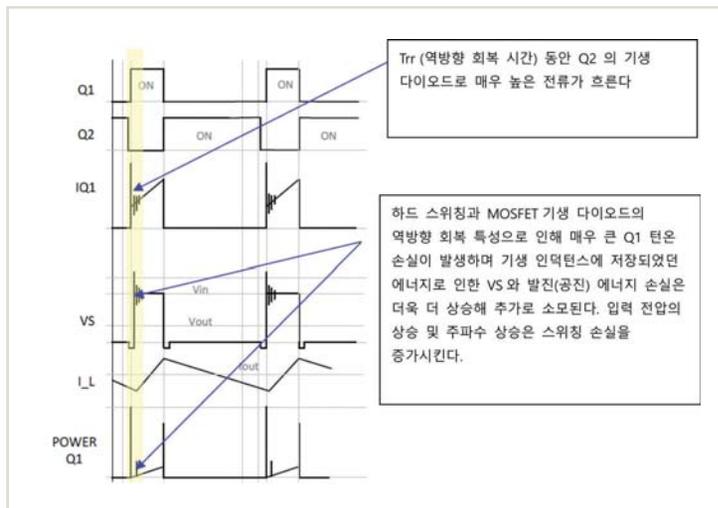


그림 8. 기존 동기 정류 강압기의 동작 파형 및 단점



(공진)으로 인해 소비되는 에너지를 저장할 뿐 아니라 미러 전하 에너지 손실도 줄일 수 있다.

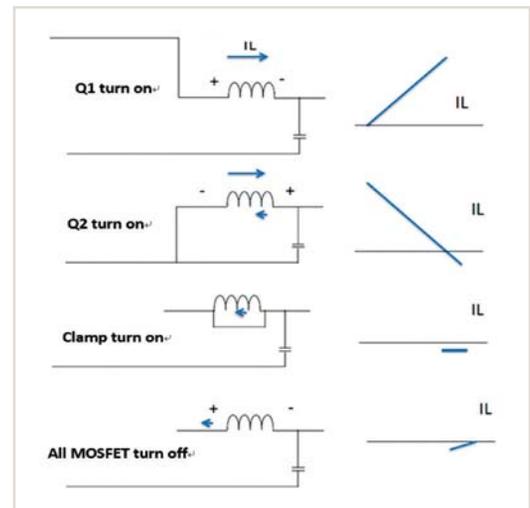
그림 8에서 볼 수 있듯이 하드 스위칭으로 인한 손실은 스위칭 주파수 증가와 효율 향상을 가로막는 중요한 걸림돌이다.

VICOR의 ZVS 강압기 동작 파형 및 인덕턴스 전류 파형 분석

VICOR의 ZVS 강압기의 간이 회로도도 그림 5와 같다. 세부적인 동작 파형은 그림 6을 참조하면 된다. 본 ZVS 회로를 이해하려면 먼저 인덕턴스 전류의 상태를 파악해야 한다. 그림 9는 전반적인 동작 주기에서의 인덕턴스 전류 변화 상황을 나타낸다.

클램프 스위치가 도통되면 인덕터가 단락되어 VS 발진(공진)이 발생하지 않으며 인덕터에 흐르는 전류도 일정하게 유지된다. 모든 MOSFET이 오프 상태일 때 Q1에 대한 역방향 인덕터 전류는 MOSFET의 드레인-소스 전압을 영전압으로 만들기 위해 충전 시작하며 DS 전압이 제로가 될 때까지 충전은 계속된다. 아울러 다음 단계에서 Q1의 제로 전압 턴온을 위한 조건을 만든다.

그림 9. 전 주기에서의 인덕턴스 전류 변화



VICOR의 PI3545참조 회로 및 레이아웃

그림 12에서 볼 수 있듯이 입력 전압이 48V인 경우 최대 효율을 93%까지 확보할 수 있다.

다음 그림은 PI354X와 12V버스 전원 솔루션 및 타사들의 48V에서 5V전환 솔루션이 제공하는 장점을 비교

그림 10. PI3545 간이 회로도

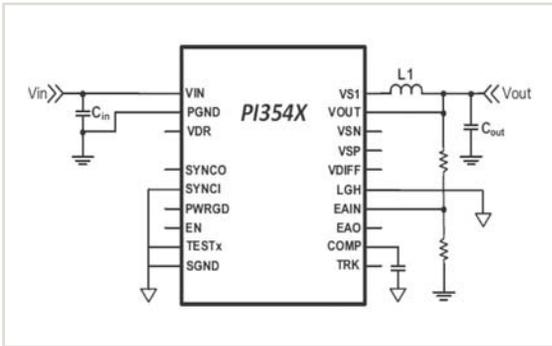


그림 11. 레이아웃 배치. 4평방 센티미터의 PCB공간이면 충분하다.

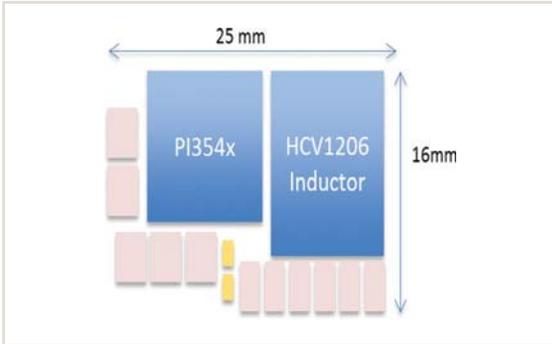


그림 13. PI3545장점 대조표

방안	PI3545	12V버스 전원 솔루션	타사의 48V에서 5V전환
전반 효율	높음	높음	낮음
PCB패널 부피	소	대	중
작동 주파수	높음	높음	낮음
출력 노이즈	낮음	높음	높음
안정성	높음	높음	중
외장 부품	적음	많음	많음
디자인 난이도	쉬움	중	어려움
가성비	높음	높음	낮음

분석한 내용이다.

결론

본 기술 문서는 주로 소형 기지국 도입과정에서 기존 전원 아키텍처가 직면한 과제와 문제들을 언급했다. 아울러 VICOR가 제공하는 ZVS-BUCK을 비롯해 48V에서 5V로 전환하는 신형 강압기의 부피 축소 및 효율 향상 등 특징을 언급하며 문제 해결 방식을 다루어 보았다. **SN**

참고문헌

- [1].VICOR, PI354x-00 Evaluation Board User Guide, www.vicorpower.com
- [2].VICOR, PI354x-00 데이터시트, www.vicorpower.com
- [3].VICOR, Picor Cool-power ZVS소개, Ken Lau, 2013

그림 12. PI3545 5V출력 효율 그래프

