

DC/DC 컨버터와 통합된 구조를 가진 고효율 스탠바이 컨버터

조신영, 김재국, 이일운, 김문영, 문건우

KAIST

Department of Electrical Engineering

Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-701, KOREA

Abstract

서버시스템

최근 IT 산업의 CO₂ 배출량의 증가로 고효율 시스템의 개발이 중요시되고 있다. 이에 따라 많은 고효율 시스템에 대한 연구들이 큰 파워를 담당하는 PFC단과 DC/DC단을 중심으로 진행되어 왔고, 고효율의 시스템을 개발되었다. 하지만 스탠바이단에 대한 연구가 부족하였고 현재 낮은 효율에 머물러 있다. 그러므로 본 논문에서는 고효율 스탠바이컨버터를 통해, 전체효율의 향상시키는 연구하였다.

기존의 스탠바이 컨버터인 flyback 컨버터의 단점인 스위치의 높은 전압스트레스, 스너버 손실 그리고 Hard switching하는 단점을 DC/DC 컨버터와 통합된 구조를 가짐으로써, 추가적인 소자의 사용 없이 해결한다. 본 논문에서는 제안한 구조를 통해 경부하 효율이 향상되는 것을 결합원리, 동작원리 및 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

IT 산업의 CO₂배출량의 항공업계의 CO₂배출량을 넘어설 정도로 빠른 증가세를 보이고 있다[1]. 그러한 증가세에 약 1/4정도는 서버시스템과 관련된 것이다. 그러므로 고효율 서버시스템의 개발은 CO₂배출량의 감소와 직결된다. 현재 많은 노력으로 PFC단과 DC/DC단의 효율은 매우 높은 효율을 가지게 되었으며, 효율 상승세가 거의 변화가 없는 추세이다. 반면, 스탠바이 단의 효율은 현재 매우 낮은 효율을 가지고 있으므로 개선의 여지가 많다.

기존의 스탠바이컨버터는 flyback 컨버터가 많이 사용되고 있으며, 그림 1의 Q_A스위치가 꺼질 때에는 높은 전압스트레스와 스너버 손실이 발생하고 켜질 때에는 hard switching하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점으로 인하여 낮은 효율을 가지게 된다. 특히 경부하 조건에서 이러한 단점의 비중이 증가하므로 경부하에서 더욱 낮은 효율을 가진다. 그러므로 two-switch flyback(TSF) converter과 같은 구조로 클램핑을 하여 전압스트레스를 줄이고 스너버를 제거할 수 있으며, 추가적인 소자를 사용하여 soft switching하여 스위칭 손실을 줄여 고효율을 달성할 수 있다. 하지만 이러한 방법들은 추가적인 소자의 사용으로 크기 면에서나 가격 면에서 문제가 된다. 현재 스탠바이 컨버터는 DC/DC 컨버터에 비하여 매우 낮은 전력밀도를 가지고 있는 상황이기 때문에 크기가 커지면서 추가적인 소자를 사용하는 것을 좋은 방법이 아니다. 그러므로 본 논문에서는 크기의 큰 변화도 없으며, 추가적인 소자를 사용하지 않고 기존 스탠바이 컨버터의 3가지 단점인 높은 전압스트레스, 스너버 손실 및 hard switching을 해결하는 방법으로 DC/DC 컨버터와 통합된 구조의 스탠바이컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터의 효과를 분석과 실험을 통하여 검증하였다.

2. 제안한 방법의 결합원리, 동작원리 및 분석

2.1 결합원리

일반적으로 DC/DC 컨버터로 널리 사용되고 있는 Phase-shift full bridge (PSFB) 컨버터와 전압스트레스가 입력전압으로 클램핑되는 TSF 컨버터를 통합하였다.

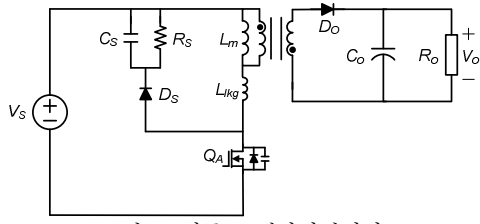


그림 1. 기존 스탠바이컨버터

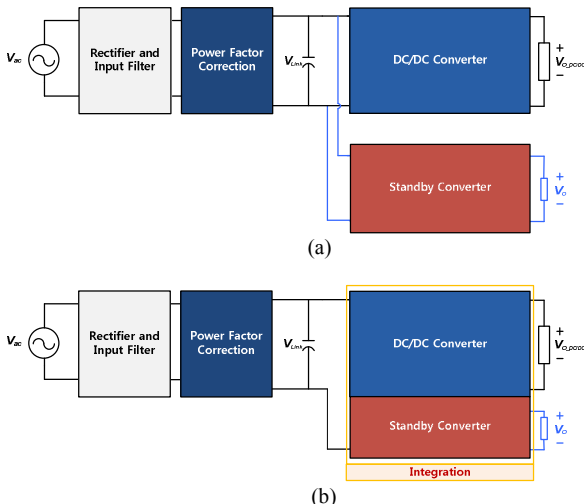


그림 2. (a) 기존 서버시스템 (b) 제안된 스탠바이 컨버터를 가진

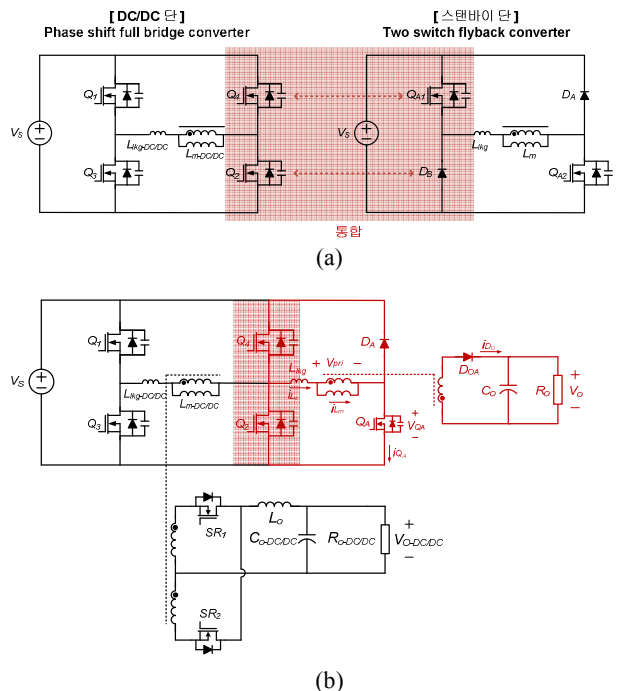


그림 3. (a) 결합원리 (b) 제안된 회로

3. 실험결과

Table 1. 디자인 사양

The proposed standby converter	
Output power	DC/DC – 700W(12V/58A) Standby – 16W(5V/3.2A)
Switching frequency	95kHz
Core	PQ 1714
Device	Q _A : FQP4N60 D _A : IDT06S60 D _{O_A} : MBR30H45
ZVS	Under half load condition

PSFB 컨버터의 Q₄스위치가 TSF 컨버터의 Q_{A1}스위치의 역할을 하도록 통합되며, D_A 다이오드에 의하여 입력전압으로 클램핑된다. 또한 Q₂스위치가 D_B스위치의 역할을 함으로써, 다이오드에서 스위치로 바뀌었기 때문에 전류의 방향을 반대로 흘러 보낼 수 있어서 Q_{A2}스위치의 Zero-voltage switching(ZVS)을 할 수 있다. 그러므로 DC/DC 컨버터와 스탠바이 컨버터의 통합된 구조를 통하여 스탠바이 스위치의 전압스트레스를 입력전압의 전압스트레스를 가지며 스너버가 필요 없게 된다. 또한 ZVS를 하기 때문에, 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

2.2 동작원리

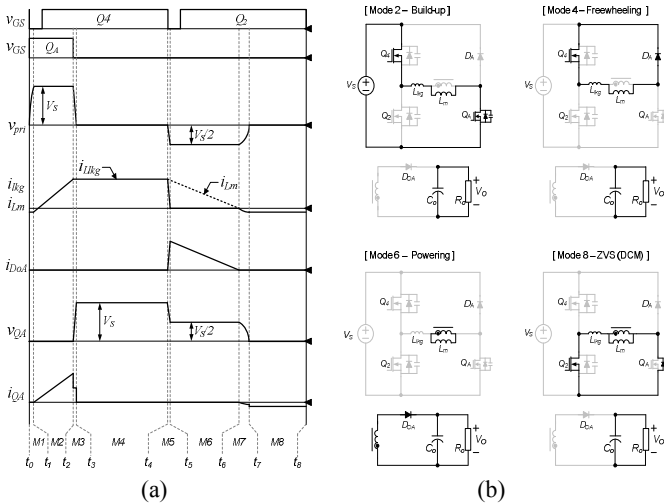


그림 4. (a) 제안한 회로의 동작파형 (b) 제안된 회로 동작 모드

동작원리를 간단히 살펴보면 다음과 같다.

- Mode2:** Q_A스위치가 켜져서 에너지를 build-up한다.
- Mode4:** Q_A스위치가 꺼진 후에 D_A를 타고 전류가 순환을 한다.
- Mode6:** Q₄가 꺼졌을 때, build-up했던 에너지를 2차측으로 넘겨준다.
- Mode8:** Powering이 끝나고 L_m과 L_{lkg}가 기생커패시터와 공진하면서 Q_A의 바디다이오드의 출력 커패시터를 방전시켜 바디다이오드가 켜진다.

2.3 해석

2.3.1 소자수

전체적으로 소자의 수는 저항 1개와 커패시터 1개가 감소한다.

2.3.2 Q_A의 전압스트레스

기존의 스탠바이 스위치의 전압스트레스가 다음과 같다.

$$V_{Q_{A,max}} = V_S + NV_O + I_{L_{lkg,peak}} \sqrt{\frac{L_{lkg}}{C_{oss}}}$$

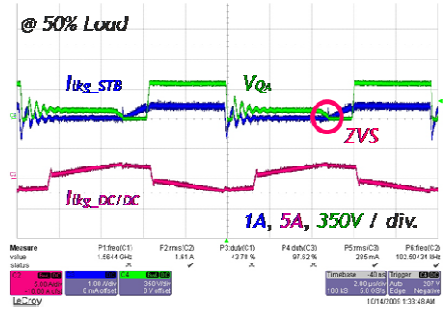
반면, 제안된 스탠바이 컨버터의 스위치 전압스트레스는 입력전압으로 클램핑되어, 낮은 전압스트레스를 가진다.

$$V_{Q_{A,max}} = V_S$$

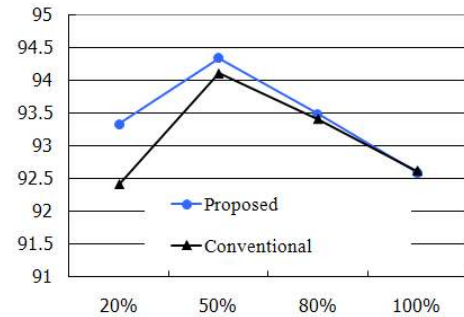
2.3.3 ZVS 조건

제안된 컨버터는 DCM flyback converter와 같이 동작을 하며, powering을 하고 끝났을 시 공진을 통해 ZVS를 한다. 그러므로 powering 구간과 공진구간이 반주기보다 작으면 ZVS를 한다. 식은 다음과 같다.

$$\frac{DV_S T_S}{NV_O} + \frac{\pi}{2} \sqrt{(L_{lkg} + L_m)(C_{oss} + C_j)} \leq \frac{T_S}{2} - T_{dead}$$



(a)



(b)

그림 5. (a) 제안된 회로의 동작파형 (b) DC/DC 컨버터와 함께 측정된 기존 스탠바이 컨버터와 제안된 컨버터의 부하별 효율

그림 5.(a)는 주요실험파형이다. 스탠바이스위치의 전압과 전류와 함께 DC/DC 컨버터의 전류를 나타낸다. 50%부하에서 DCM flyback 동작에 의하여 ZVS가 하는 것을 확인할 수 있으며, 입력전압의 낮은 전압스트레스를 가지는 것을 확인하였다.

그림 5.(b)는 DC/DC 컨버터와 함께 측정된 기존의 스탠바이컨버터와 제안된 스탠바이컨버터의 부하 별 효율을 나타낸다. 전 부하에서 기존의 스탠바이컨버터의 비하여 높은 효율을 가지며, 특히 50%이하 부하에서 높은 효율을 가지는 것을 검증했다.

4. 결론

본 논문은 DC/DC 컨버터와 통합된 구조를 가진 스탠바이 컨버터를 제안하였다. 추가적인 소자를 사용하지 않고 기존의 스탠바이 컨버터의 높은 전압스트레스, 스너버 손실 및 hard switching하는 단점을 해결하였다. 그러므로 제안된 회로는 낮은 전압스트레스를 가지며 스너버가 필요 없어서 스너버 손실이 없다. 또한 ZVS를 해서 스위칭 손실을 줄여서 높은 효율을 가졌다. 특히 50%이하 로드에서 높은 효율을 가지는 것을 실험을 통해 확인했다.

Acknowledgment

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 20100009888)

Reference

[1] "http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=503867"