

고효율 고밀도 서버용 전원장치의 기술 및 개발 동향

曹奎玟*, 金榮度*, 文建又†

Technology and Development Trend of High Efficiency and High Power Density Server Power System

Kyu-Min Cho, Young-Do Kim, and Gun-Woo Moon

요 약

정보화 시대가 가속화됨에 따라 컴퓨터는 우리 일상 생활에서 없어서는 안 되는 필수품으로 자리잡게 되었다. 특히 방대한 데이터 처리량과 데이터 보안에 대한 인식 증가로 인해 인터넷을 기반으로 하는 클라이언트-서버 시스템이 일반화되고 있으며 그에 발 맞추어 65조원 정도의 시장규모를 가지는 서버 컴퓨터 시장 역시 경기와 상관없이 매년 꾸준히 성장하고 있다. 하지만 국내 서버 시장의 경우 높은 기술력과 생산력을 바탕으로 한 해외제품에 전적으로 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 특집 논문에서는 새로운 블루 오션인 서버 시장에 진입하고자하는 국내 업체에 도움이 되고자 서버용 컴퓨터의 핵심 부품인 서버용 전원 장치의 국내외 기술 및 개발 동향에 대하여 살펴보고자 한다.

ABSTRACT

As the information oriented society is developing, computer is one of the necessities in our daily life. Especially, the client-server system based on internet is widely used due to the enormous amounts of data and the increasing awareness of the data security. Under these circumstances, the market of the server computer with the \$57 billion global market is increasing steadily regardless of economic conditions. However, the domestic server market entirely depends on overseas companies with high technical skills and production power. Therefore, we investigate technology and development trends of the server power system to assist domestic companies in entering the global server power system market in this special paper.

Key Words : Information oriented society, Server computer, Server power system

1. 서 론

서버는 전 세계적으로 가장 빠르게 성장하는 품목으로써 여러 물리적인 장점과 더불어 IT 단순화를 위한 최적의 플랫폼을 제공하고 있다. 과거 소수의 하이엔드 서버 시스템을 직접 운영하던 기업들이 유지 및 관리 비용 감소, 데이터 보안, 그리고 빠른 업그레이드

등의 이유로 자사의 서버 관리 시스템을 아웃 소싱함에 따라 전 세계적으로 수많은 서버용 컴퓨터를 가진 인터넷 데이터 센터(IDC)가 급증하고 있다. 이러한 환경 변화로 인하여 무분별한 서버 시스템의 도입 비용을 절감할 수 있었지만, 막대한 전력 사용에 의한 전력 소비량 및 운영 비용 증가 같은 문제점이 발생하게 되었다. 일례로 현재 전 세계 IDC의 전력사용량은 5년마다 2배씩 증가하고 있으며 2011년에는 약 1천억 kWh의 전력이 필요할 것으로 예상되고 있다. 이는 프랑스 수도인 파리가 16년 동안 사용 가능한 막대한 전력량이다.

현재 서버 시장은 HP, Dell, IBM, SUN, Fujitsu 등

†교신저자 : 정회원, KAIST 전기 및 전자공학과 교수

E-mail : gwmoon@ee.kaist.ac.kr

정회원, KAIST 전기 및 전자공학과 박사과정

접수일자 : 2010. 2. 28 1차 심사 : 2010. 3. 5

심사완료 : 2010. 3. 8

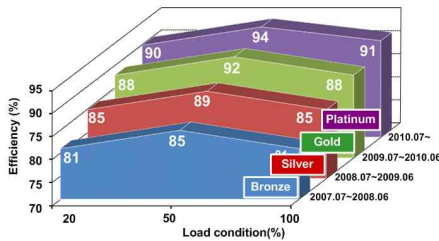


그림 1 CSCI 효율 규제
Fig. 1 CSCI efficiency regulation

의 주요 서버 업체들이 전체 수요량의 70% 이상을 점유하고 있으므로, 서버용 전원장치 시장 진입을 위해서는 이들 업체들의 질적 요구 사항에 맞는 서버용 전원장치의 개발이 필요하다. 하지만 서버용 전원 장치는 고신뢰성, 고전력밀도, 고효율 및 저소음 등을 요구하므로 높은 수준의 전력전자 기술이 필요하다. 따라서 Delta 사, Lite-on 사, Astek 사 등 높은 기술력과 생산력을 바탕으로 한 유수의 외국 기업들이 전체 서버 파워 시장의 75% 이상을 점유하고 있으며, 국내 기업의 시장 점유율은 거의 전무한 상태이다. 특히나 Intel 사, IBM 사와 API 사간의 관계와 같이 업체간 전략적 제휴에 의한 Custom Made 제품 경향이 강하므로 국내 기업들의 시장 진입이 더욱 큰 난관을 겪고 있다.

하지만 최근 서버 시장의 경우 하나의 큰 도전을 맞이하고 있다. 지구 온난화 방지를 위해 이산화탄소를 줄이자는 도쿄 의정서가 체결된 이후, 전 세계적으로 에너지를 보호하기 위한 여러 정책들이 경제 및 사회 각 분야에 걸쳐 진행되고 있다. 서버 파워 시장 역시 CSCI (Climate Saver Computing Initiative) 협회가 이산화탄소 배출을 줄이기 위해서 서버 파워의 효율을 규제하고 있으며, 현재 권고 사항인 CSCI 효율 규제는 앞으로 1~2년 후 필수 사항으로 될 예정이다. 따라서 앞으로 1~2년 후에는 효율 규제를 만족하지 못하는 서버 파워는 수출 및 수입 자체가 금지될 것으로 보인다. 그림 1은 CSCI 효율 규제를 보여주고 있다. 현재 2010년 기준으로 20%-50%-100% 부하 조건에서 각각 88%-92%-88% 의 효율을 갖는 Gold level 의 서버 파워를 요구하고 있으며, 2010년 하반기 혹은 2011년쯤에는 20%-50%-100% 부하에서 각각 92%-94%-92% 의 효율을 갖는 Platinum level 의 효율을 요구할 것으로 예상되어 진다. 이러한 높은 효율 규제는 Power factor correction (PFC) 회로와 절연형 DC/DC 컨버터의 2단 구성으로 이루어진 서버용 전원장치에 큰 부담으로 작용하게 된다. 제어기와 마이크로 컨트롤러등에

전원을 공급하는 스탠바이 회로를 고려할 경우, platinum level 의 효율을 만족하기 위해서는 50% 부하조건에서 PFC 회로는 97.5%, 절연형 DC/DC 컨버터는 97% 이상의 효율을 가져야만 한다. 현재 서버 시장을 점유하고 있는 주요업체의 경우, 대부분 silver level에서 gold level 사이의 효율 특성을 보이고 있다. 따라서 platinum level 에 부합하는 제품을 개발할 경우, 수 년 이내로 서버용 전원장치 시장을 장악할 수 있기 때문에, 높은 기술력을 앞세운 많은 중소기업들이 시장진입을 위해 연구개발에 박차를 가하고 있다.

2. 서버용 전원장치의 일반적 구조

그림 2는 서버용 전원장치의 구조를 보여준다. 일반적으로 90Vac~270Vac의 상용 라인 전압을 입력으로 가지며, 고조파 규제를 만족하기 위한 PFC 회로가 전단에 존재하게 된다. 그 후, 주 출력 12V 를 만들어주는 절연형 DC/DC 컨버터가 위치하게 된다. 그리고 서버 컴퓨터의 각종 제어기 전원을 만들어 주기 위한 보조 출력 5V와 서버용 전원장치의 제어기 및 마이크 컴퓨터 전원을 만들어주는 스탠바이 회로가 존재하게 된다. 출력 전력의 경우 현재 700W급을 주 사양을 이루고 있으며, 점점 출력 사양이 증가하고 있는 추세이다.

일반적으로 상용 라인 입력이 들어오면, 스탠바이 회로가 보조 출력 5V 와 각종 제어기 전원을 만들게 되고, 그 후 PFC 회로가 동작하게 된다. PFC 회로가 정상적인 링크 전압 (일반적으로 400V)를 만들게 되면 DC/DC 컨버터가 주 출력 5V 를 만들어 주게 된다.

부하가 주요 데이터를 처리하는 서버 컴퓨터이기 때문에 전원의 신뢰성이 굉장히 중요하다. 따라서 보통 N+1 의 병렬 운행으로 전력을 공급하게 되므로 각 유닛간의 load-share 기능이 필수적이다. 그리고 입력 AC 상용라인이 새그나 정전으로 인하여 일시적으로 끊어지더라도 출력전압을 일정 시간 (hold-up time, 주로 최대 부하에서 20ms) 동안 유지 시켜 주어야 한다. 또한 유지 보수의 편리성을 위하여 N+1 병렬운행 시 청소나 수리를 위하여 몇 개의 유닛을 분리하더라도 출력에는 영향을 안 끼치게 하는 hot-swap 기능도 요구된다.

PFC 단의 경우 주로 대용량에 적합한 Continuous Current Mode (CCM) Boost 컨버터가 사용되고 있다. 또한 최근에는 기존 average current control 을 단순화시킨 one-cycle control 을 채택한 제어기가 널리 사용되고 있다. 최근에는 700W 근처의 중용량급을 기준으로 Interleaved Boundary Current Mode (BCM)

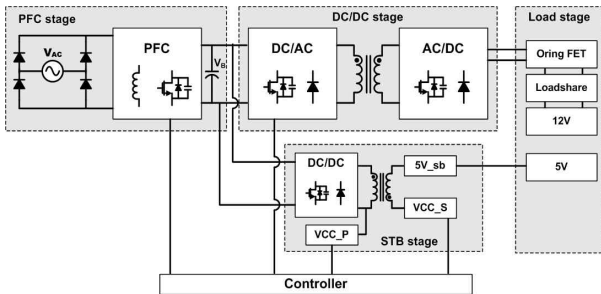


그림 2 서버용 전원장치의 구조
Fig. 2 Structure of server power supply

Boost 컨버터를 적용하고 위해 연구 중에 있으며, 몇몇 반도체 업체들이 전용 제어기들이 선보이고 있다.

DC/DC 전원단의 경우 업체별로 용량에 따라 다양한 토폴로지를 적용하였으나, 현재 대부분의 업체들이 Phase Shift Full Bridge (PSFB) converter 혹은 그 변형된 형태의 풀브리지 컨버터를 사용하고 있다.

현재 대부분의 업체에서는 PSFB 컨버터를 기반으로 도통손실을 줄이거나 코어손실을 줄이기 위한 연구를 진행하고 있으며, 디지털 칩을 이용하여 기존의 아날로그 회로를 없애고 PFC, DC/DC, load-share, hot swap 등 각종 제어를 하나의 칩으로 구현하기 위한 연구 역시 진행되고 있다.

3. 역률 보상 회로의 기술 및 개발 동향

일반적으로 역률 보상회로(PFC)는 그림 3과 같은 CCM boost 컨버터가 사용된다. CCM Boost 컨버터는 구조가 간단하며 입력전류가 연속적이므로 PFC단으로 적합하지만, 하드-스위칭 및 다이오드의 역회복 특성에 의한 문제점들을 가지고 있다. 특히나 다이오드의 역회복 특성은 과도한 스위치의 전류 썩지름을 야기하여 스위치의 전류 침두치를 더욱 증가시키므로 이는 대용량으로 갈수록 더욱 부담으로 작용한다. 뿐만 아니라 역회복 전류에 의한 스위칭 손실 및 발열문제도 심각하므로 이에 대한 해결책이 필요하다.

그림 4는 일반적인 fast recovery 다이오드를 PFC 회로에 적용 시켰을 때의 전류 파형을 보여준다. 그림 4(a) 를 살펴보면 정상동작에서 다이오드에 2.5A 정도의 전류가 흐르고 있는 상태에서 스위치를 켜주게 되면 다이오드의 역회복 특성에 의하여 역회복 전류가 약 8A 정도 흐름을 알 수 있다. 이를 확대한 그림 4(b) 에서 알 수 있듯이, 역회복 전류는 스위치가 턴 온 시, 인덕터 전류와 더해져서 스위치에 순간적으로

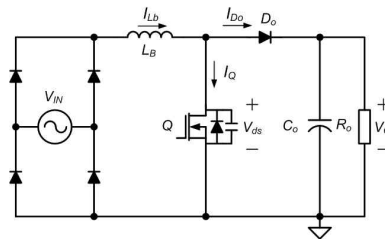


그림 3 CCM 부스트 컨버터
Fig. 3 CCM Boost converter

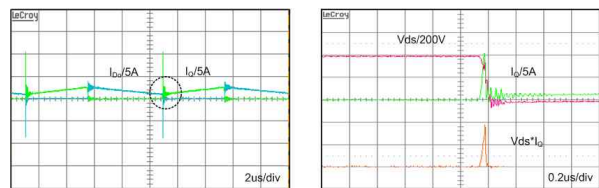


그림 4 V_{ds} , I_Q , and I_{D_o}
Fig. 4 V_{ds} , I_Q , and I_{D_o}

약 10A 의 높은 전류가 흐르게 된다. 따라서 다이오드의 역회복 특성은 PFC 회로에서 주 스위치 턴 온시 큰 스위칭 손실을 유발할 뿐만 아니라, 스위치의 전류 스트레스를 증가시킨다.

이런 다이오드의 역회복 특성을 극복할 수 있는 방법에는 다음과 같이 크게 두가 방법이 있을 수 있다. 첫째는 토폴로지 개발을 통한 무손실 스너버 회로를 이용하는 방법과 둘째는 역회복 전류가 존재하지 않는 새로운 SiC 다이오드를 사용하는 방법이다.

3.1 무손실 스너버 회로

일반적으로 다이오드의 역회복 전류는 다이오드의 턴-오프 시 흐르던 전류 값과 전류의 기울기에 비례한다. 여기에서 더 중요한 요소는 전류의 턴-오프 기울기이다. 다이오드의 턴-오프 전류의 기울기가 100A/us 이하가 되면 다이오드의 역회복 전류를 줄일 수 있는 것이 널리 알려져 있다. 그림 5는 스너버를 사용한 PFC 회로의 개념도를 나타내고 있다. 일반적으로 다이오드의 턴-오프 기울기를 제한하기 위해서 턴-온 전류 스너버로써 스위치와 다이오드 사이에 작은 인덕터를 이용한다. 턴-온 전류 스너버는 스위치 턴-온 시 다이오드 전류의 감소 기울기를 완만하게 함으로써 다이오드의 역회복 특성 문제를 향상시킬 수 있으나, 스위치 턴-오프 시 스위치 양단에 과도한 전압 썩지름 야기시키며 스위치와 다이오드의 전압 스트레스를 크게 증가시키게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위

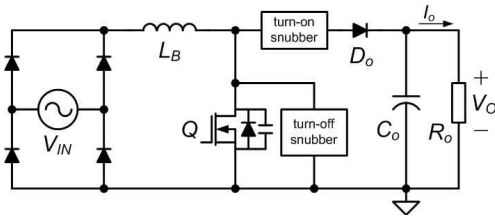
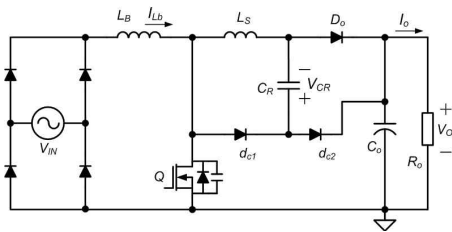


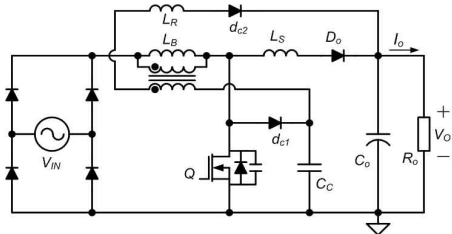
그림 5 무손실 스너버회로의 일반적인 구조
Fig. 5 General structure of lossless snubber

해서는 스위치와 병렬로 턴-오프 전압 스너버가 필요하게 된다.

다양한 턴-오프 전압 스너버 형태에 따라 무손실 스너버는 크게 커패시터 타입과 트랜스포머 타입으로 나눌 수 있다. 그림 6(a)는 커패시터 타입의 무손실 스너버 회로 중 플라이-캡 무손실 스너버를 보여준다. 이 회로의 경우 간단한 구조 (L_S , C_R , d_{c1} , d_{c2})로 턴-온 전류 스너버와 턴-오프 전압 스너버의 역할을 동시에 한다는 장점을 가지고 있다. 하지만 C_R 의 전압을 이용하여 턴-오프 시 d_{c1} , d_{c2} 를 통해 흐르던 전류를 주다이오드 D_o 를 통해 흐르게 하는데, C_R 의 전압은 D_o 의 역회복 전류의 도움을 받아서 형성되는 특징을 가진다. 즉, 스너버의 정상적인 동작을 위해서는 어느 정도의 역회복 전류가 필요하게 되므로 다이오드의 역회복 특성을 충분히 제거할 수 없다는 단점을 가지게

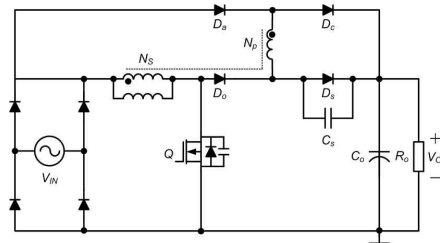


(a) 플라이-캡 무손실 스너버

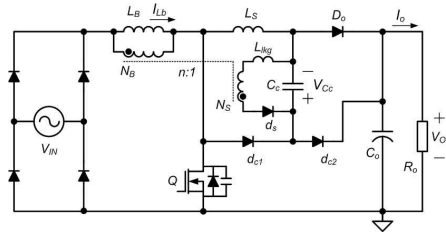


(b) Coupled inductor 를 이용한 무손실 스너버

그림 6 무손실 스너버
Fig. 6 Lossless snubbers



(a) 낮은 전압 스트레스를 가지는 무손실 스너버 1



(b) 낮은 전압 스트레스를 가지는 무손실 스너버 2

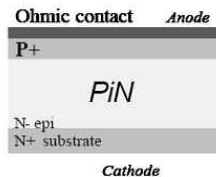
그림 7 낮은 전압 스트레스를 가지는 무손실 스너버
Fig. 7 Lossless snubbers with low voltage stress

된다. 만약 역회복 전류가 충분히 작도록 L_S 가 설계된다면, C_R 의 전압이 충분하지 않아서 d_{c1} , d_{c2} 로 흐르던 전류를 주다이오드 D_o 로 흐르게 하지 못하게 된다.

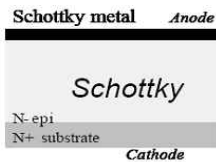
이런 문제점을 해결하기 위하여 그림 6(b)와 같은 트랜스포머 타입의 coupled inductor 를 이용한 무손실 스너버가 제안되었다. 이 회로의 경우 부스트 인덕터에 2차 권선을 감아 C_R 전압을 만들어 줌으로써 C_R 의 전압을 다이오드의 역회복 전류와 상관없이 만들어 준다. 그 결과 역회복 전류가 충분히 작도록 L_S 를 설계할 수 있다. 하지만 실제 적용시 다이오드 D_o , d_{c2} 가 높은 전압 스트레스를 가지기 때문에 이를 해결하기 위하여 다이오드 양단에 부가적인 클램프 회로가 필요로 하게 된다. 그림 7은 낮은 전압 스트레스를 가지는 coupled inductor 를 사용한 무손실 스너버를 보여준다. 그림 7(a)의 회로 경우, 모든 반도체 소자가 출력 전압과 입력 전압 사이에 연결되어 있기 때문에, 모든 반도체 소자의 전압 스트레스가 출력 전압으로 잡히게 된다. 하지만 주 스위치 턴 오프시 부스트 전류가 항상 2개의 다이오드를 통하여 출력에 전달되어야 하는 단점을 가지고 있다. 그림 7(b)의 회로 경우, 그림 6(a)의 회로에서 coupled inductor를 이용하여 클램프 전압을 만들어 줌으로써, 커패시터 타입의 무손실 스너버 회로의 단점을 극복하였다. 또한 모든 다이오드가 출력 전압 혹은 클램프 전압에 묶여 있기 때문에 낮은 전압 스트레스를 가지게 된다.

3.2 SiC 다이오드

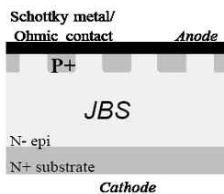
최근 반도체 기술의 발달로 인해 과거 실리콘 기반으로 만든 fast recovery 다이오드나 메탈-실리콘 접합을 이용한 쇼트키 다이오드와 다른 실리콘 카바이드 (SiC) 기반으로 만든 SiC 다이오드가 양산되기 시작하여 판매되고 있다. 그림 8(a)에서 보여지듯이 fast recovery 다이오드의 경우 p-i-n 접합을 이용하여 고전압에서 동작이 가능하고 빠른 스위칭 동작 특성을 가지지만 턴 오프시 insulator 영역에 남아있는 소수 캐리어로 인하여 역방향으로 전류가 흐르는 역회복 전류 특성을 가지고 있다. 쇼트키 다이오드의 경우 그림 8(b)에서 보여주듯이 메탈 실리콘 접합을 이용하여 턴 온시 낮은 전압강하를 가지고 절연 영역이 없기 때문에 fast recovery 다이오드에 비하여 적은 역회복 전류 특성을 가지나 절연 영역이 중간에 존재하지 않기 때문에 200V 이하의 낮은 전압 영역에서만 동작이 가능하다. 최근 양산되기 시작하여 판매중인 SiC 다이오드의 경우 그림 8(c)에서 보여지듯이 fast recovery 다이오드와 쇼트키 다이오드의 구조를 혼합한 구조를 가지고 있으며, 쇼트키 다이오드의 낮은 전압강하, 영역회복 전류 특성과 fast recovery 다이오드의 높은 전압스트레스를 동시에 가지고 있다. 현재 SiC 다이오드



(a) Fast recovery diode



(b) Schottky diode



(c) Sic diode

그림 8 다이오드별 구조
Fig. 8 Physical structures of diodes

경우, PFC 회로에 적합한 전압 스트레스 (600V) 를 가지는 제품이 많이 나오고 있으며, 가격 역시 급격히 낮아지고 있으므로 SiC 다이오드를 이용하는 것도 앞으로의 시장상황을 고려해 보았을 때 합리적임을 예측할 수 있다.

4. 절연형 DC/DC 컨버터의 기술 및 개발 동향

절연형 DC/DC 컨버터의 경우, 입력전압으로는 PFC 단의 출력 전압인 400V를, 출력 전압으로는 12V의 낮은 전압을 가지게 된다. 현재 주로 700W 급의 출력 전력을 가지는 제품이 주를 이루고 있으며, 1.2kW 와 1.6kW 급의 출력 전력을 가지는 제품도 다수 개발 및 출시되고 있다. 따라서 서버용 전원장치의 절연형 DC/DC 전원단은 고입력전압, 대출력전류 사양으로, 1차측에서는 전압 스트레스, 2차측에서는 전류 스트레스가 주된 고려사항이 된다. 높은 입력전압의 대용량 사양의 경우 1차측 소자의 전압 내압을 고려하면 풀브릿지 형태가 가장 적합하며, 2차측의 경우 대전류로 인한 도통손실 및 출력 캐패시터의 전류 용량을 고려하였을 경우 연속적인 출력 전류 형태를 가지는 벅 컨버터 타입의 토폴로지가 적합하다. 또한 일반적으로 스위칭 주파수가 높아질수록 전원 장치의 크기는 줄어드는 경향을 보이는 반면 스위칭 손실로 인하여 효율이 감소하게 되므로 고효율을 위하여 영전압-스위칭이 필수 사항이 된다. 또한 전원 장치의 고전력밀도를 위해서는 단순한 구조 및 작은 부피를 가져야 한다. 뿐만 아니라 주어진 저출력전압 사양에서는 2차측 다이오드의 도통손실이 고효율화에 치명적인 걸림돌로 작용하게 되므로 동기정류기의 사용이 필수이다. 위의 사항들을 고려하였을 때, 이차측 동기 정류기를 가지는 Phase Shift Full Bridge (PSFB) 컨버터가 서버용 전원장치와 같은 고입력전압, 대출력전류 사양에 가장 적합함을 알 수 있다.

PSFB 컨버터의 2차측은 일반적으로 center-tap rectifier (CTR), full bridge rectifier (FBR), current

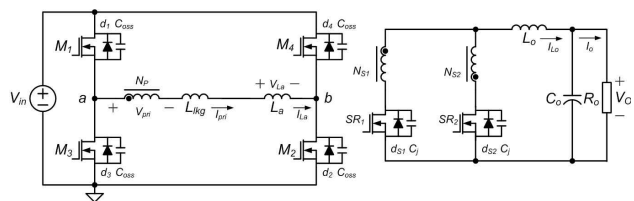


그림 9 이차측 동기 정류기를 가지는 PSFB 컨버터
Fig. 9 PSFB converter with synchronous rectifiers

doubler rectifier (CDR) 등을 사용할 수 있다. 대출력 전류 사양의 경우 반도체 소자에 의한 도통손실을 최소화하기 위하여 CTR 또는 CDR의 사용이 일반적이며, 전체적인 특징은 유사하나 이 둘은 다음과 같은 차이점을 가진다.

첫째, CDR는 CTR에 비하여 변압기의 2차 권선에 흐르는 rms전류가 작아서 변압기의 크기가 작다.

둘째, 동일한 출력 전류 리플을 위하여 CDR의 인덕턴스는 CTR의 2배가 되어야 한다.

셋째, 동일한 출력 전류 리플 시 CDR의 개별 인덕터의 전류 리플은 CTR보다 크다

넷째, CDR은 개별 인덕터의 전류 리플이 1차측으로 투영되므로 CTR에 비하여 1차측 전류 리플이 크다.

다섯째, CDR은 개별 인덕터 전류간의 불균형이 발생할 수 있다.

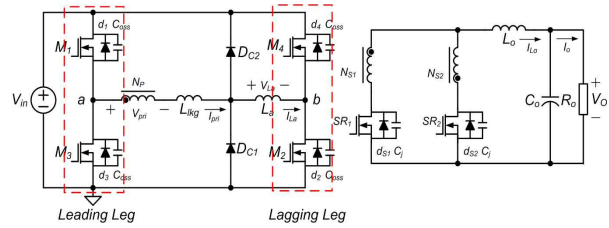
대출력전류 사양의 경우 일반적으로 출력전류의 리플을 설계 지표로 삼는데, 이 경우 CTR이 CDR에 비하여 전체적인 회로의 도통 손실 측면에서 유리한 점을 가지게 되며, 자기소자의 숫자 측면에서도 유리한 점을 가지게 되므로 서버용 전원 장치와 같은 고효율 및 고전력밀도 실현을 위해서는 CTR이 적합하다고 볼 수 있다.

따라서 현재 대부분의 서버 파워 업체에서는 그림 9에서 보인 것과 같은 이차측 동기 정류기를 갖는 CTR 타입의 PSFB 컨버터 혹은 그 변형된 형태의 토폴로지를 주로 사용하고 있다.

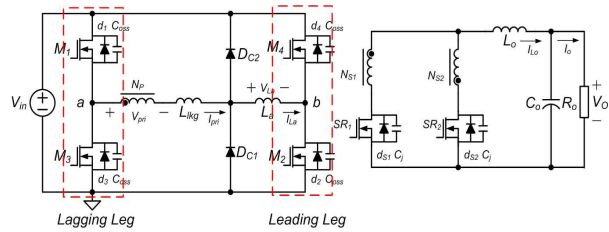
4.1 토폴로지 관련 기술 및 개발 동향

4.1.1 낮은 이차측 전압 스트레스를 가지는 PSFB 컨버터

기존 PSFB 컨버터의 경우, 이차측 전류 커뮤테이션이 끝난 후 누설 인덕터와 동기 정류기의 출력 커패시터의 공진에 의하여 동기 정류기가 높은 전압 스트레스를 가지게 된다. 일반적으로 MOSFET 의 온 저항은 그것의 전압 스트레스에 비례하여 증가하게 되는데, 이는 대출력전류를 가지는 서버 파워에 높은 도통손실을 유발하게 된다. 따라서 일반적으로 RCD 스너버를 동기 정류기 양단에 적용하여 전압 스트레스를 클램프하게 된다. 하지만 RCD 클램프 회로의 경우 정상적인 동작을 위해서는 저항을 통하여 계속 에너지를 소비 시켜 주어야 하기 때문에 높은 효율을 기대하기 어렵다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 그림 10에서 보인 것과 같은 일차측 클램프 다이오드를 적용한 PSFB 컨버터가 제안되었다. 그림 10(a) 회로의 경우, 이차측 전류 커뮤테이션이 끝난 후 트랜스포머의 일차



(a) 일차측 클램프 다이오드를 가지는 PSFB 컨버터 1



(b) 일차측 클램프 다이오드를 가지는 PSFB 컨버터 2

그림 10 일차측 클램프 다이오드를 가지는 PSFB 컨버터
Fig. 10 PSFB converter with primary clamp diodes

측 전압이 누설 인덕터와 동기 정류기의 출력 커패시터의 공진에 의해서 증가하게 된다. 그 후, 트랜스포머 일차측 전압이 입력 전압에 다다르게 되면 클램프 다이오드가 턴 온이 됨으로써 추가 공진 인덕턴스 양단에 영전압이 걸리게 된다. 따라서 트랜스포머 내부의 작은 누설 인덕턴스만이 동기 정류기의 전압 공진 매커니즘에 기여하게 되어 낮은 전압 스트레스를 유지할 수 있게 된다. 그림 10(b) 회로의 경우, 그림 10(a)의 회로에서 리딩 레그와 레깅 레그를 바꾼 형태로서 그림 10(a)의 회로에서 ZVS 영역을 약간 포기하는 대신, 클램프 다이오드의 도통 손실을 줄인 회로이다.

4.1.2 넓은 ZVS 영역을 가지는 PSFB 컨버터

기존 PSFB 컨버터의 경우, 누설 인덕터의 에너지만을 이용하여 레깅 레그의 ZVS가 이루어지기 때문에 레깅 레그 스위치는 좁은 ZVS 영역을 가지게 된다. 이를 해결하기 위한 가장 간단한 방법은 추가 공진 인덕터를 크게 가져가는 것이다. 하지만 이는 이차측에 전력을 공급하는 유효튜터의 감소를 가져와 일차측 도통 손실 증가, 나쁜 트랜스포머 턴 비, 높은 이차측 전압 스트레스등을 유발하게 된다. 따라서 트랜스포머의 보조권선을 이용하여 넓은 ZVS 영역을 가지는 그림 11과 같은 PSFB 컨버터가 제안되었다. 이 회로의 경우, 트랜스포머의 보조권선을 이용하여 주 전류 패스와 병렬로 ZVS에 필요한 전류를 축적하기 때문에,

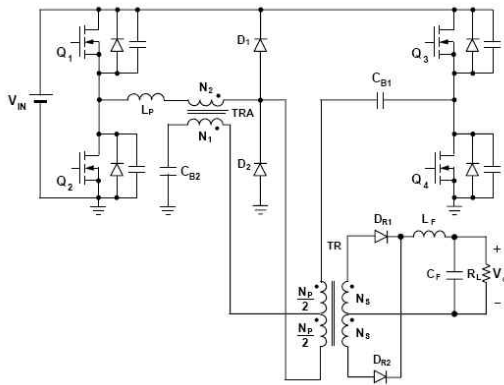


그림 11 넓은 ZVS 영역을 가지는 PSFB 컨버터
Fig. 11 PSFB converter with wide ZVS ranges

작은 누설 인덕턴스를 가지면서 넓은 ZVS 영역을 가질 수 있다. 또한 freewheeling 구간동안 ZVS 에 필요한 전류를 축적하기 때문에 보조 회로에 의한 도통손실도 크게 증가하지 않는 장점을 가질 수 있다.

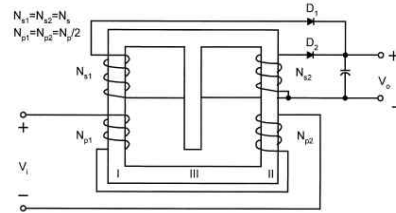
4.2 자기소자 관련 기술 및 개발 동향

4.2.1 트랜스포머와 출력 인덕터를 결합한 방식

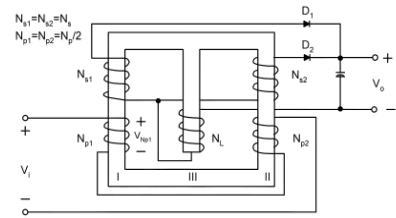
서버용 전원장치의 경우 대출력전류를 가지기 때문에 출력 인덕터로 인하여 PCB 패드이나 배치상 큰 어려움을 겪게 된다. 이런 문제점을 해결하고자 그림 12 와 같은 트랜스포머와 출력 인덕터를 하나의 자기 소자로 구현한 Integrated magnetics (IM) 를 이용한 PFBS 컨버터가 제안되었다. 일반적으로 EI 코어를 이용하여 각 레그에 권선을 감음으로서 각 레그의 자속이 링크되는 것에 따라 각각 트랜스포머와 출력 인덕터로서 동작을 하게 된다. 실제 미국의 COLDWATT 사 경우 IM 을 적용한 700W 급의 제품을 2008년에 출시한 바 있다. 하지만, 출력 인덕터가 트랜스포머에 결합된 형태를 가지기 때문에 출력 인덕터를 구현하기 위해서는 매우 굵은 권선이 필요하며 포화를 방지하기 위해서는 매우 큰 에어 갭이 필요하게 된다. 따라서, 실제 양산시 생산성이 떨어지는 단점을 가질 수 있다.

4.2.2 추가 누설 인덕터와 트랜스포머를 결합한 방식

일반적으로 PSFB 컨버터는 작은 트랜스포머의 누설 인덕턴스로 인하여 좁은 레그 레그의 ZVS 영역을 가진다. 따라서 실제 적용시, 추가적인 공진 인덕터가 필요하게 된다. 하지만 이차측 전류가 커뮤테이션 하는 짧은 순간에 입력 전압이 걸리기 때문에, 추가 공진 인덕터는 매우 빠른 자속 밀도 변화를 가지게 된다.



(a) 트랜스포머와 출력 인덕터를 결합한 IM 1



(b) 트랜스포머와 출력 인덕터를 결합한 IM 2

그림 12 트랜스포머와 출력 인덕터를 결합한 IM
Fig. 12 Integrated magnetics (Trans.+ L_o)

일반적으로 코어 손실은 hysteresis loss, eddy current loss, excess eddy current loss 로 구성되어 있다. 이 중 eddy current loss 와 excess eddy current loss 는 자속 밀도의 변화율에 비례하게 된다. 그 결과, PFBS 컨버터의 추가 공진 인덕터는 매우 큰 코어 손실을 가지게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 그림 13과 같이 추가 공진 인덕터와 트랜스포머가 결합된 IM 이 제안되었다. 그림 13(a)의 IM 의 경우 트랜스포머의 일차측 권선을 각각의 레그에 나누어 감음으로써 누설 인덕턴스를 조절하게 된다. 따라서 코어 손실 없이 추가 공진 인덕터를 삽입할 수 있게 된다. 하지만 추가 공진 인덕터와 트랜스포머가 분리될 수 없기 때문에 그림 10과 같이 일차측 클램프 다이오드를 이용하여 이차측 동기 정류기의 전압 스트레스를 잡을 수 없다. 이런 문제점을 극복하기 위해서 그림 13(b)와 같은 IM 이 제안되었다. 기존 트랜스포머의 외각에 추가 권선을 감음으로써 추가 공진 인덕터를 구현한 형태이다. 이 회로는 추가 공진 인덕터와 트랜스포머가 분리되어 있기 때문에 일차측 클램프 다이오드를 적용할 수 있고 외곽 턴 수를 조절하여 쉽게 추가 공진 인덕턴스를 제어할 수 있다. 또한 트랜스포머의 큰 단면적과 큰 에어갭을 이용하기 때문에 매우 작은 자속 밀도 변화량을 가져 코어 손실이 거의 발생하지 않는 장점을 가지고 있다.

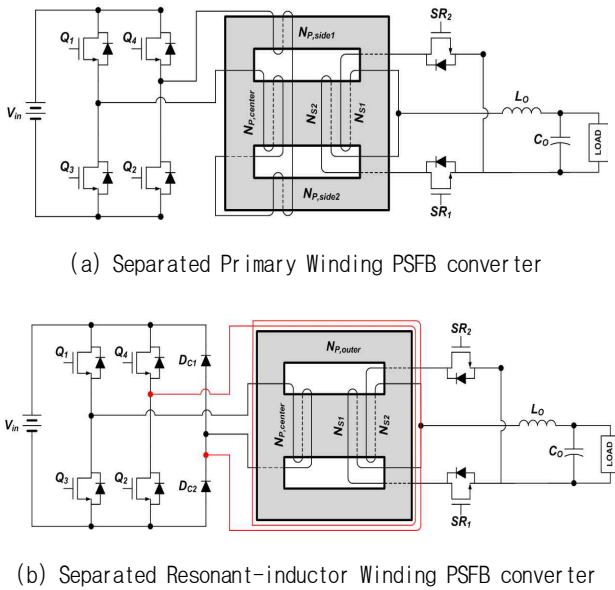


그림 13 추가 누설 인덕터와 트랜스포머가 결합된 IM
Fig. 13 Integrated magnetics ($L_a + \text{Trans.}$)

5. 결 론

본 특집 논문에서는 서버용 전원 장치의 기술 및 개발 동향에 대하여 살펴보았다. 역률 보상 회로의 경우, 회로 개발을 통한 토폴로지적 접근 방법과 반도체 기술 개발을 통한 소자적 접근 방법이 있다. 토폴로지적 접근 방법인 무손실 스너버 회로의 경우, 스너버 인덕터의 리셋 문제를 가지지 않고 낮은 전압 스트레스를 가지는 다양한 coupled inductor 를 사용한 스너버가 연구 개발 중이다. 하지만 가격 문제만 해결 된다면 역회복 전류가 없는 SiC 다이오드의 사용이 수년내로 대중화될 것으로 예상된다. 절연형 DC/DC 컨버터의 경우, 다양한 토폴로지와 자기소자 관련 기술이 연구 개발되고 있으며, 낮은 이차측 동기 정류기의 전압 스트레스, 넓은 ZVS 영역, 그리고 여러 자기 소자를 하나의 자기 소자로 구현 할 수 있는 다양한 IM 이 연구 개발 중에 있다.

앞서 설명하였듯이 현재 서버용 전원장치 시장은 기존의 가격 경쟁력과 생산력을 바탕으로 한 높은 진입 장벽을 고효율로써 극복할 수 있는 환경으로 변모하고 있다. 따라서 앞서 설명한 연구 방향으로 서버용 전원 장치에 대한 연구가 진행된다면 국내 전력전자 기술로도 새로운 블루 오션인 서버용 전원장치 시장을 선도 할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Hanan Levy, Isaac Zafrany, Gregory Ivensky, and Sam Ben-Yaakov, "Analysis and evaluation of a lossless turn-on snubber", in Proc. APEC, pp. 757-763, 1997.
- [2] Brian T. Irving and Milan M. Jovanovic, "Analysis, design, and performance evaluation of flying-capacitor passive lossless snubber applied to PFC boost converter", in Proc. APEC, pp. 503-508, 2002.
- [3] Paulo J. M. Menegaz, Jose L. F. Vieira, and Domingos S. L. Simonetti, "A magnetically coupled regenerative turn-on and turn-off snubber configuration", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 47, No. 4, pp. 732-728, 2000, Aug.
- [4] Wei Dong, Qun Zhao, Jinjun Liu, and F. C. Lee, "A boost converter with lossless snubber", in Proc. APEC, pp. 509-515, 2002.
- [5] 조규민, 박기범, 문건우, "낮은 전압 스트레스를 가지는 새로운 무손실 스너버 역률 보상 회로", *전력전자학술대회 논문집*, pp. 243-245, 2009.
- [6] G. Spiazzi, S. Buso, M. Citron, M. Corradin, and R. Pierobon, "Performance evaluation of a schottky SiC power diode in a boost PFC application", *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 18, pp. 1249-1253, 2003.
- [7] M. Janicki, D. Makowsk, P. Kedziora, L. Starzak, G. Jablonsk, S. Bek, "Improvement of PFC boost converter energy performance using silicon carbide diode", in Proc. IEEE MIXDES, pp. 615-618, 2006.
- [8] R. Redl, N. O. Sokal, and L. Balogh, "A novel soft-switching full-bridge DC/DC converter: analysis, design considerations, and experimental results at 1.5 kW, 100 kHz", *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 6, No. 3, pp. 408-418, 1991, July.
- [9] Xinbo Ruan and Fuxin Liu, "An improved ZVS PWM full-bridge converter with clamping diodes", in Proc. PESC, pp. 1478-1481, 2004.
- [10] Yungtaek jang and M. M. Jovanovic, "A New PWM ZVS Full-Bridge Converter", *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 22, pp. 987-994, 2007, May.
- [11] P. Xu, Q. Wu, P. Wong, and F. C. Lee, "A novel integrated current doubler rectifier", in Proc. APEC, pp. 735-740, 2000.
- [12] Liang Yang, Dayu Qu, and Lehman B, "Integrated magnetic full wave converter with flexible output inductor", in Proc. APEC, pp. 824-830, 2003, Mar.
- [13] Young-Do Kim, Chong-Eun Kim, Kyu-Min Cho, Ki-Bum Park, Gun-Woo Moon, "ZVS phase shift full bridge converter with separated primary winding", in Proc. ECCE, pp. 484-489, Sept.

- [14] Kyu-Min Cho, Young-Do Kim, In-Ho Cho, Bong-Chul Kim, Gun-Woo Moon, "A new separated resonant-inductor winding phase shift full bridge converter for server power system", in Proc. ECCE, pp. 2089-2094, 2009, Sept.

저 자 소 개



조규민(曹奎玟)

1978년 3월 3일생. 2003년 경북대 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2005년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



김영도(金榮度)

1983년 11월 2일생. 2006년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업. 2008년 한국과학기술원 자동차 기술대학원 졸업. 현재 전기 및 전자공학과 대학원 박사과정.



문건우(文建又)

1966년 10월 3일생. 1990년 한양대 전자공학과 졸업. 1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기및전자공학과 졸업(공학박사). 1996년~1998년 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원. 1998년~2000년 (주)키테크놀러지 대표이사. 2000년 3월~8월 세종대 전자공학과 조교수. 2000년 9월~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수. 당 학회 국문지 편집위원.