

저가형 Hot Swap Controller를 가지는 병렬 구동 서버용 전원 장치

Parallel Driven Power Supply with Low Cost Hot Swap Controller for Server

이 강 현*
(KangHyun Yi)

Abstract - This paper proposes a low cost hot swap operation circuit of a parallel operation power supply for servers. Hot swap function for server power system is essential in 24 hour operation system such as internet data center, server, factory and etc. Server power supplies used in internet data centers have two or more parallel operations with the hot swap operation. However, the cost of the power supply is high because the controller IC for hot swap operation is very expensive. Therefore, this paper proposes a parallel-operated power supply with a low-cost hot swap controller for servers. The proposed system can operate hot swap function by using discrete devices and reduce the cost by more than 50%. A 1.2kW prototype system is implemented to verify the proposed low cost hot swap controller.

Key Words : Hot swap, Parallel Operation, Phase shift full bridge converter, Oring FET

1. 서 론

최근 4차 산업 혁명 시대에 IT(Information Technology) 분야에 막대한 정보 및 모든 기기들이 네트워크로 연결되고 있다. 이에 데이터 센터가 급증하게 되고 이는 서버 컴퓨터, 네트워크 컴퓨터, 통신용서버 등의 급격한 증가가 예상되고 있다. 동시에 정보처리와 통신을 위한 서버의 전원 장치의 중요성이 커지고 있다. 서버와 같은 장치의 전원 장치는 에너지 절약과 환경보호를 위해 고효율, 높은 신뢰성, 낮은 노이즈 성능을 요구하고 있다. 또한 고장 시 산업에 미치는 영향이 매우 위험하여, 그림 1과 같이 전원장치의 N+1 redundant 병렬 구동을 하여, 1개가 문제가 생겨도 다른 1개로 시스템을 보호한다.

서버용 전원 장치에 특별히 요구되는 기능은 Load share와 Hot swap 기능이다[1-2]. Load share 기능은 N+1 병렬 구동 시 각 전원 장치에 전력이 동등하게 배분되어야 방열이나 시스템 효율성 측면에서 유리하다. 이에 서버용 전원 장치에서는 특별하게 Load share라는 기능을 요구하고 있다. Load share 기능은 Droop 기법과 Active Load share 기법으로 하고 있으며, 저가형 시스템에서 Droop 기법을 사용하고 좀 더 높은 성능을 요구하는 시스템에서는 Active Load share 기법을 사용한다[3]. 두 번째 Hot swap 기능은 1대의 전원 장치가 문제가 생기는 경우, 서버 시스템을 정지시키지 않고, 전원 장치를 바꾸기 위해 필요한 기능으로 반드시 요구되는 기능이다.

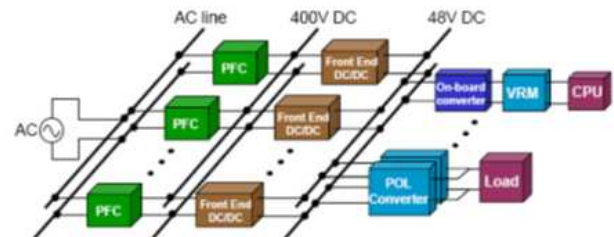


그림 1 전원 장치의 N+1 redundant 병렬 구동.
Fig. 1 N+1 redundant power supply parallel operation.

본 논문은 서버 전원 장치에서 요구하는 특별한 기능 중 Hot swap 제어기에 대한 연구이다. 기존 연구에서 Hot swap과 관련된 연구는 배터리를 사용하는 응용 분야에 Hot swap 기능을 위한 시스템 전압 제어에 대한 기존 연구가 진행되었다[4-5]. 다른 연구에서는 Hot swap 기능을 위한 집적 회로 설계에 대한 연구가 진행되었다[6]. 기존 연구에서는 Hot swap 동작을 위해 시스템 전압 제어와 IC 설계에 대한 연구였지만, Hot swap 기능을 위한 대용량 서버용 전원 장치의 경우 고효율과 더불어 저가격을 요구하고 있다. AC/DC와 DC/DC 전력 변환 회로에 관한 연구는 효율 개선은 가능하나 가격을 낮추기는 쉽지 않다. Hot swap 기능은 전용 IC를 사용하는 경우 높은 가격을 차지하여 서버 전원 장치의 가격 상승 요인이 된다. 본 연구에서는 대용량 서버 전원 장치에 전용 IC를 사용하지 않고, 개별 소자를 이용하여 저가형 Hot swap 제어기를 제안한다. 서버용 전원 장치의 필요한 Hot swap 기능을 분석하고, 필요한 전원과 동작 회로를 설계한다. 1.2kW 전원 장치를 제작하여 제안한 Hot swap 제어기 동작 검증을 위한 실험을 수행한다.

* Corresponding Author : School of Electronic and Electrical Engineering, Daegu University, Korea.

E-mail: khyi@daegu.ac.kr

Received : March 12, 2018; Accepted : May 30, 2018

2. 제안하는 저가형 Hot swap controller

2.1 서버용 전원 장치

서버 전원 장치의 블록도는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 서버 전원 장치는 일반적으로 2단 구조 전력 변환 구조를 사용한다. 첫째 전력 변환 단계는 하모닉 규제와 역률 보상을 위해 EMI(Electromagnetic interference) 필터를 포함한 PFC 전력 변환 회로가 필요하다. PFC 컨버터는 대부분 전류 연속 모드 Boost 컨버터를 사용하여, AC 입력 전류와 입력 전압의 위상차를 보정하게 되며, 2단계 전력 변환 단계인 DC/DC 컨버터의 입력 전압을 일정하게 유지하는 역할을 한다[7-8]. 둘째 전력 변환 단계는 DC/DC 컨버터로 서버 시스템에 필요한 직류 전압으로 변환하는 역할과 계통 과의 절연 역할을 한다. DC/DC 컨버터는 중용량(300~700W) 서버용 전원 장치에서는 Half-bridge LLC 컨버터가 주로 사용된다[9-11]. PFC 출력 전압이 400V로 고전압이기 때문에 DC/DC 컨버터의 1차 측 MOSFET 스위치는 전 부하에 걸쳐, 영전압 스위칭이 되어야 하고, 2차 측 정류기의 전압 내압이 낮으며 변압기에 offset 자화 전류가 없어 LLC 컨버터로 높은 효율을 얻을 수 있다 [10-11]. 반면, 대용량(700W~) 서버용 전원 장치의 DC/DC 컨버터는 PSFB(Phase Shifted Full Bridge) DC/DC 컨버터를 사용한다[12-13]. 출력전압 12V이고 출력 전류가 매우 크기 때문에, 1차 측 MOSFET의 영전압 스위칭을 이루면서 도통 손실을 최소화 할 수 있는 컨버터를 사용해야 한다. PSFB 컨버터는 출력 인덕터가 존재하여, 2차 측 전류의 리플을 작게 가져갈 수 있어 도통 손실을 저감시킬 수 있다. 기존 연구에서는 영전압 스위칭 특성을 개선시키기 위한 연구와 더불어 도통 손실을 저감하기 위한 많은 연구가 수행되었다. 다른 한 가지 전력 변환 회로는 전원 장치에 필요한 전압들과 대기 모드에서 동작하기 위한 Standby 전력 변환 회로이다[14]. Standby 전력 변환 회로는 잘 알려진 Flyback 컨버터가 사용된다. 부가적으로 상시 동작하는 서버 시스템의 경우 매우 집적도가 높게 제작되므로 방열을 위한 팬이 필요하며, 전원의 On/off 시퀀스 제어 및 메인 시스템과의 전원 장치 상태 정보 공유를 위한 마이콤이 필요하다. 이상에서 살펴본 전력 변환 단계는 일반적으로 모든 전기기기에서 적용하는 구조로서 서버용 전원 장치의 경우 전력 변

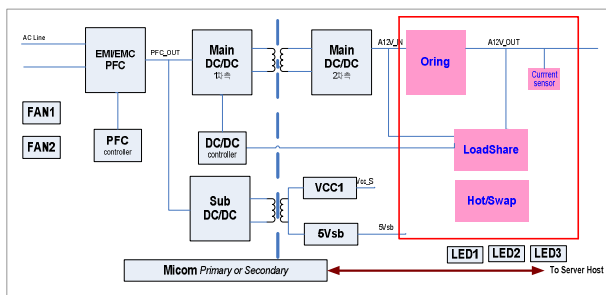


그림 2 서버 전원 장치의 구성도

Fig. 2 Power supply structure for server or communication devices

환 단계의 효율 증가가 매우 중요한 사항이다.

서버 전원 장치의 Hot swap 기능은 운영 중인 시스템에서 시스템 전체 동작에 아무런 영향 없이 전원 장치를 교환할 수 있는 필수 기능이다. 두 전원 장치 간에 출력 전압 단락이 이루어지지 않고, 안정적으로 결합하기 위함과 동시에 Load share 기능에 영향을 주지 않아야 하고, 효율 저하가 작아야 한다. 이러한 Hot swap 기능은 그림 3과 같이 Oring 스위치를 구현 할 수 있다. 오어링 스위치는 다이오드로 간단하게 구현할 수 있으나 효율 감소가 매우 크다. 이에 MOSFET으로 오어링 스위치를 구현할 수 있다. MOSFET으로 구현하게 되면 효율 저하는 적지만 MOSFET의 켜고 끄기 위한 제어가 필요하다. 제어기 전용 IC는 가격이 매우 비싸기 때문에, 이번 장에서는 전용 IC를 사용하지 않고 저가형 Hot swap 제어기를 제안한다. Hot swap 기능에 필요한 동작을 분석하고 각 블록 설계에 대해서 살펴보고자 한다.

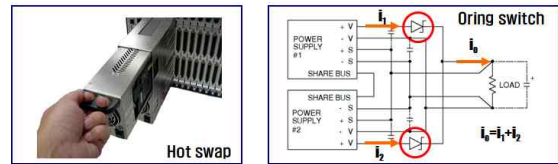


그림 3 오어링 다이오드를 통한 Hot swap 동작

Fig. 3 Hot swap operation with oring diode

2.2 Hot swap 기능 분석

기존 전용 IC를 분석하여, 그림 4와 같이 Hot swap 제어기에 필요한 기능을 블록도로 나타내었다. 그림 4에서 R_{sense} 저항은 Load share 기능을 위한 전류 감지용이다. Hot swap 동작의 핵심은 MOSFET의 소스-드레인 간 양단 전압을 감지하여 전압을 비교 분석하는 것이다. 단독 운전 서버용 전원 장치에서 DC/DC 컨버터에서 출력 전류가 흐르면 MOSFET의 내장 다이오드가 도통이 되면서 소스-드레인 간 전압이 내장 다이오드의 전압강하

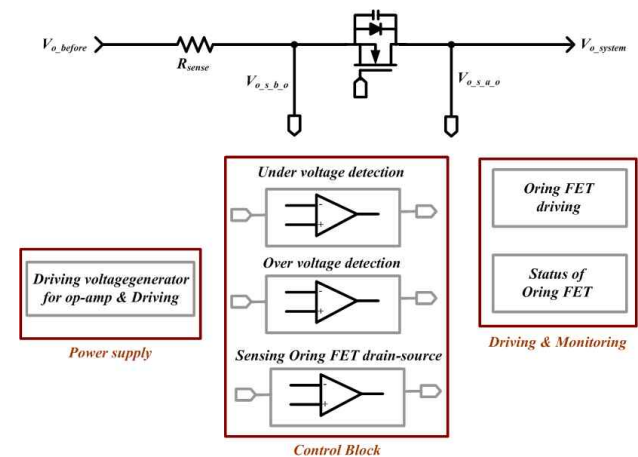


그림 4 Hot swap 제어기 기능

Fig. 4 Hot swap controller function

로 나타난다. 이때, 부하에 전력이 공급된다고 판단하여 오어링 MOSFET를 켜다. 만약 소스-드레인간 전압이 음으로 나타나는 경우는 시스템에 문제가 발생한 것이고, 역전류가 발생했다고 판단해 오어링 MOSFET를 끈다. 1대의 전원 장치가 동작하고 있는 상태에서 전원 장치를 교체 시 MOSFET의 내부 다이오드로 인해 두 전원 장치 사이에 간섭 없이 전원 장치를 교체 할 수 있다. 이에 필요한 기능 블록은 그림 4와 같이, 소스-드레인 양단 전압을 감지하는 부분과 판단하는 회로로 구성된다. 일반적으로 서버용 전원 장치의 출력 전압은 12V이다. 하지만, MOSFET의 소스-드레인간 전압을 감지하기 위해서는 출력 전압보다 높은 구동 전압이 필요하다. 또한 오어링 FET를 구동하기 위한 전압은 12V 이상이 되어야 채널 저항이 작아져 효율 저하를 줄일 수 있다. 따라서 중요한 블록은 Hot swap 제어기에는 서버용 전원 장치의 출력 전압보다 높은 전압을 생성하기 위한 컨버터가 필요하다. 기존 IC에서는 인덕터가 있는 Boost 컨버터나 Charge pump형태의 회로를 이용해 전압을 생성하였다. 마지막으로 Hot swap controller의 상태 감지를 위한 블록과 오어링 MOSFET를 구동하기 위한 구동 회로가 필요하다.

2.3 Hot swap controller 동작 설계

그림 5와 그림 6은 개별 소자를 이용한 Hot swap 제어기의 동작 순서와 순서도이다. $v_{sd_oringFET}$ 센싱 값은 오어링 MOSFET의 소스-드레인간 검출 전압이고, S_{UV} 는 최소 전압 판단 신호이다. S_{OV} 는 과전압 판단 신호이며, S_{SD} 는 오어링 MOSFET를 켜기 위한 신호이다. 전원 장치가 켜지게 되면, 오어링 MOSFET의 내부 다이오드가 켜지게 되고 Oring MOSFET 소스-드레인간 양단 전압은 다이오드 내장 전위가 검출된다. 아직 출력 전압이 최소 전압 이하이므로 오어링 MOSFET는 켜지지 않는다. 출력 전압이 최소 전압과 과전압 사이에 존재할 때, 오어링 MOSFET이 켜지게 되고, 과전압이 발생하면 꺼지게 된다. 그림 6과 같은 순서도

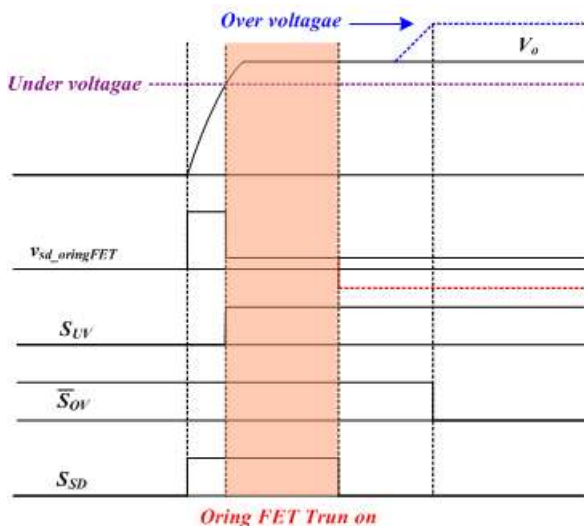


그림 5 Hot swap 제어기 동작 파형
Fig. 5 Operational waveform of the hot swap controller

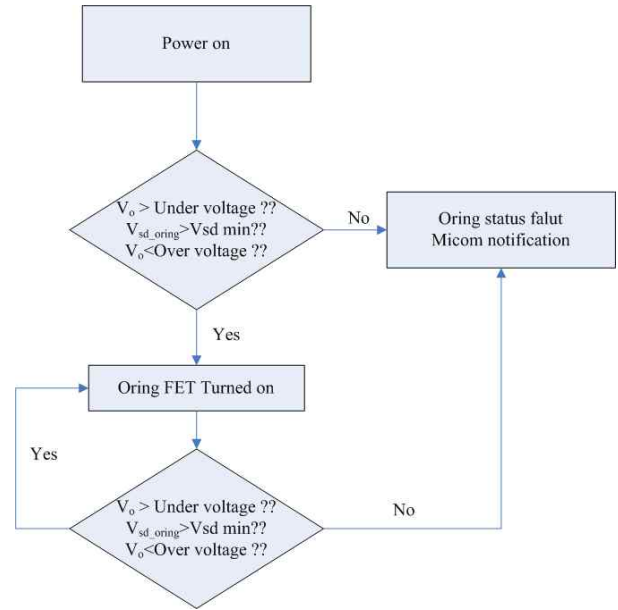


그림 6 Hot swap 제어기 순서도
Fig. 6 Flow chart of the hot swap controller

Table 1 실험 조건
Table 1 Experimental specification

구 분	값 or Part
출력 전압	12V
출력 전력	1.2kW
Comparator	LM393(3EA)
Op-Amp	LM318(2EA)
Logic	4075(1EA)
Oring MOSFET	BSC022N03S

로 전원 장치의 메인 시스템에 상태를 전달하게 된다.

2.4 개별 소자를 이용한 Hot swap 제어기

개별 소자를 이용한 Hot swap 제어기를 그림 7과 같이 제안한다. 동작 설계를 기반으로 전압 검출 회로 및 신호 판단 회로는 히스테리시스 비교기를 사용하였다. 전압 검출 회로를 통해 오어링 MOSFET 소스-드레인간 전압을 검출 및 증폭을 하여 검출된 전압 값을 바탕으로 오어링 MOSFET 내부 다이오드의 켜진 상태를 파악한다. 오어링 MOSFET의 소스-드레인 전압을 검출하여, 최소 전압과 과전압 상태를 결정한 후 오어링 MOSFET의 켜짐과 꺼짐을 결정한다. 마지막으로 검출된 모든 신호를 바탕으로 로직을 거쳐 오어링 MOSFET을 구동한다. 제어기에 필요한 구동 전압과 오어링 MOSFET 구동 전압은 그림 8과 같이 생성한다. 대용량 서버 전원 장치의 DC/DC 컨버터는 PSFB 컨버터를 사용한다. 이에 2차 측 변압기의 전압을 살펴보면, 그림 8과 같이 12V 출력 전압인 경우 약 35V 이상 발생하게 되며, 이를

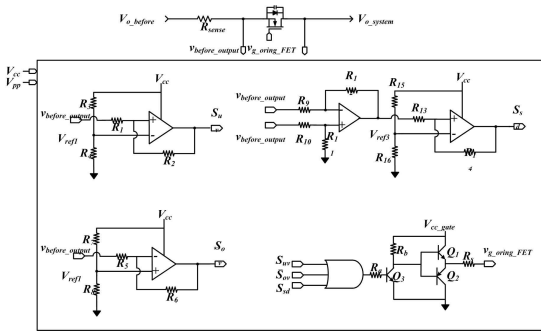


그림 7 개별 소자를 이용한 Hot swap 제어기
Fig. 7 Hot swap controller with discrete parts

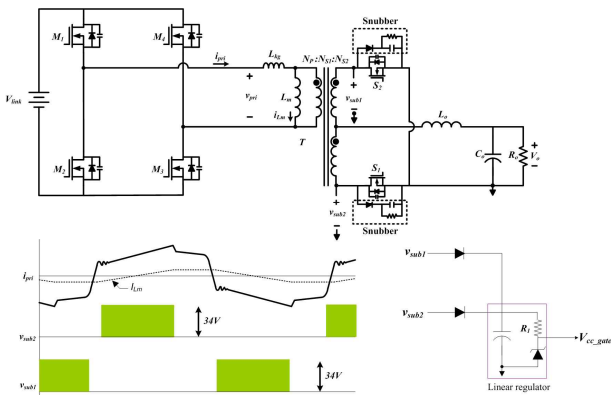


그림 8 PSFB DC/DC 컨버터에서 Hot swap 제어기 전원
Fig. 8 Power supply for the hot swap controller in the PSFB DC/DC converter

바탕으로 필요한 전압을 생성할 수 있다. 이렇게 전압을 생성하게 되면 동기식 정류기의 스너버 역할도 하게 되어, 동기식 정류기의 전압 스트레스를 줄일 수 있는 부가적인 효과도 있다.

3. 실험 동작 검증

개별 소자를 이용하여 설계한 Hot swap 제어기의 동작 검증을 위하여 프로토타입을 제작하였다. 대용량 1.2kW 서버용 전원 장치를 동작 검증 실험 세트로 결정하고, 주요 소자는 표 1과 같다. 그림 9에서 보듯이 주요 블록을 제작하였으며 오어링 MOSFET은 도통 손실 저감을 위하여 4개를 병렬로 구동하였다. 실험 검증은 구동용 전압 생성, 단독 운전, 병렬 운전으로 수행하였다.

3.1 오어링 MOSFET 구동 전압 생성 및 전압 값 결정

오어링 MOSFET의 구동 전압에 따라 MOSFET의 채널 저항이 변화하기 때문에, 구동 전압을 결정하기 위한 사전 실험을 수행

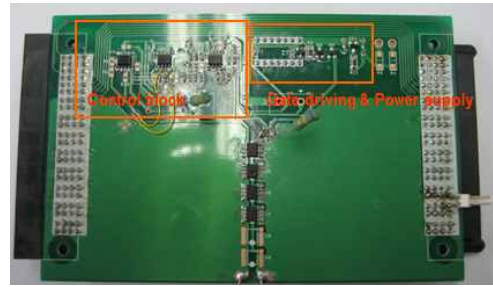


그림 9 개별 소자 Hot swap 제어기 실험 세트
Fig. 9 Experimental set of the hot swap controller with discrete devices

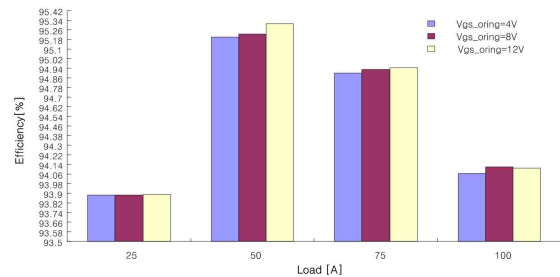


그림 10 오어링 MOSFET 게이트-소스 전압에 따른 부하별 효율
Fig. 10 Efficiency with the oring MOSFET gate-source voltage according to load variation

하였다. 그림 10은 1.2kW 서버용 전원 장치의 효율을 오어링 MOSFET 구동 전압에 대해서 부하별로 측정한 실험 결과이다. 구동 전압이 6V이상 되면, 효율 차이가 미비하여 게이트-소스간 구동 전압을 6V로 결정하였다. Source 전압이 전원 장치의 출력 전압인 12V이므로 구동 전압은 18V가 되어야 한다. 구동 전압을 그림 7에서 제안한 방법으로 생성할 때, PSFB DC/DC 컨버터를 100A 부하에서 실험한 결과를 그림 11에서 보이고 있다. 18V 출력 전압에 출력 전력을 약 2W로 공급한다 하더라도 PSFB DC/DC 컨버터 정상 동작에 영향을 주지 않음을 확인하였다.

3.2 전원 장치 단독 운전 Hot swap 제어기 동작

1.2kW 서버용 전원 장치 Hot swap 제어기 동작 검증 실험을 수행하였다. 실험은 부하가 없는 경우와 최대 부하인 100A에서 전원 장치를 켜는 경우 동작을 검증하였다. 그림 12에서 보듯이, 부하가 없을 때와 100A 부하인 경우 모두 오어링 MOSFET의 내부 다이오드가 켜지게 되면 제어기가 동작하여 오어링 MOSFET이 켜지게 됨을 확인할 수 있다. 또한 과전압이 발생하는 경우와 부하를 강제 단락하는 경우, Hot swap 제어기의 동작을 그림 13과 같이 검증하였다. 과전압 발생하면 바로 오어링 MOSFET은 꺼지게 되며, 강제 단락인 경우 최소 전압과 거꾸로 전류가 흘러 들어옴을 판단하여 오어링 MOSFET이 꺼지게 된다. 출력 전압이 진동하게 되면 이에 따라서 오어링 MOSFET도 과전압과 최소 전압을 판단하여 꺼짐과 켜짐이 반복하게 된다.

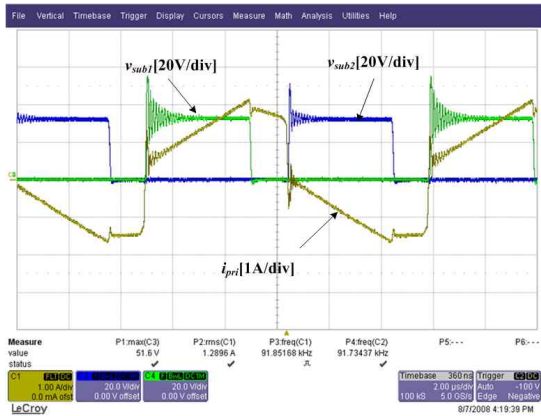


그림 11 2W Hot swap 제어기 전원부 생성 PSFB DC/DC 컨버터 동작 파형

Fig. 11 Experimental waveform of the PSFB DC/DC converter in 2W power supply for the Hot swap controller

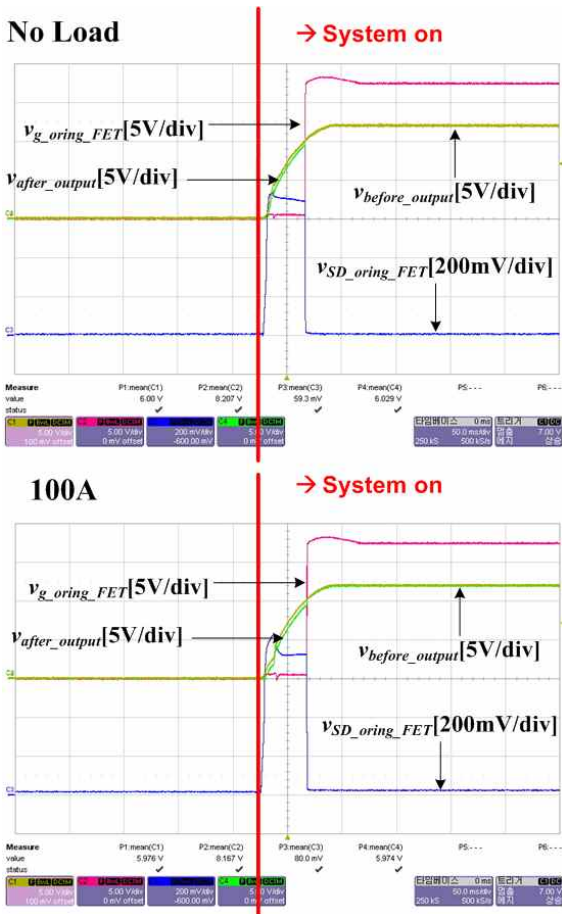


그림 12 Hot swap controller 과전압 및 출력 단락 동작.

Fig. 12 Hot swap controller's operation in over voltage and load short

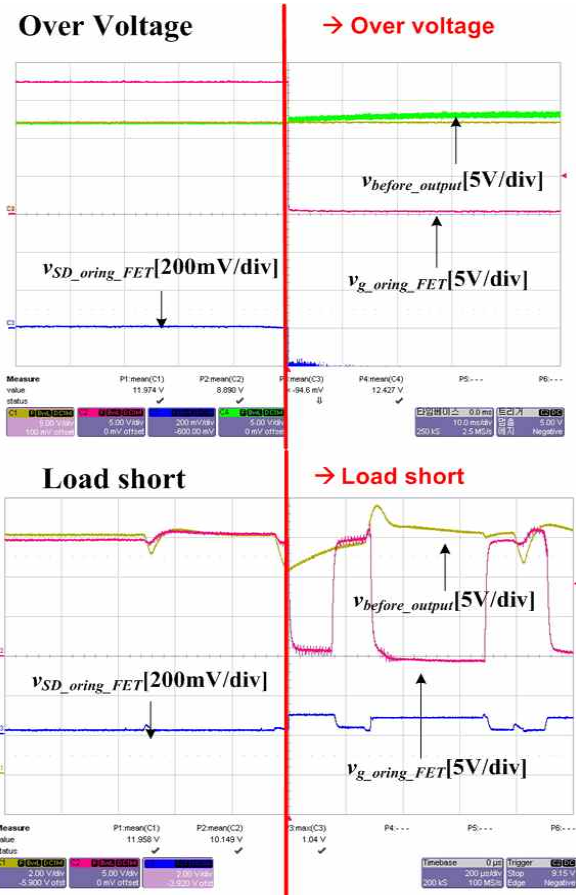


그림 13 Hot swap controller Over voltage 및 단락 동작.

Fig. 13 Hot swap controller operation in over voltage and load short.



그림 14 Hot swap controller 병렬 동작 실험 세트.

Fig. 14 Experimental set for parallel hot swap controller operation.

3.3 전원 장치 병렬 운전 Hot swap 제어기 동작

Hot swap 제어기의 중요 동작인 병렬 운전 시 탈부착 동작 검증을 수행하였다. 그림 14는 서버용 전원 장치를 병렬 운전하기 위한 실험 사진이다. 실험 조건은 전원장치 1이 동작 중 전원

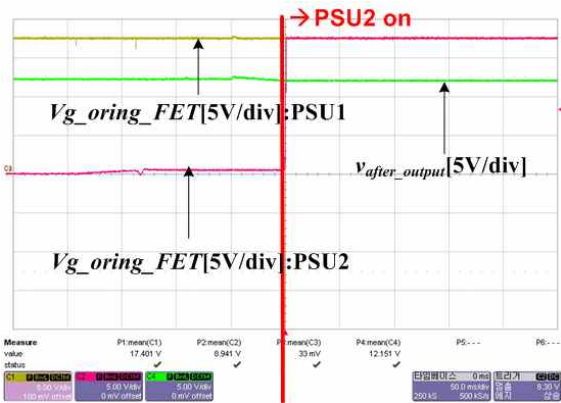


그림 15 Hot swap 제어기 병렬 동작 파형
 Fig. 15 Experimental waveform in the parallel hot swap controller operation

장치 2를 부착시키면 각각의 Hot swap 제이기가 정상 동작을 확인하였다. 그림 15에서 보듯이 전원 장치 1의 오어링 MOSFET은 이미 켜져 정상 동작을 하고 있는 상태에서 전원 장치 2를 부착 및 전원을 켜다. 시스템의 출력 전압은 12V로 유지되고 있으며, 전원 장치 2의 Hot swap 제이기가 정상 동작하여 전원 장치 2의 오어링 MOSFET이 켜짐을 실험 파형에서 확인 할 수 있다. 제안한 Hot swap 제이기가 전원장치를 병렬 운전 시에도 정상 동작함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

Hot swap 제어기는 서버전원 장치에서 반드시 요구하는 기능으로 기존 서버 전원 장치는 전용 IC를 사용하여 구현하였다. 서버 수요가 증가하면서 서버 전원 장치의 생산 가격을 저감하기 위한 노력이 필요하다. 이에 본 논문에서는 전용 IC의 경우는 높은 제조 단가를 차지하므로 제조 가격을 저감시키기 위해서 개별 소자로 성능 검증을 위한 연구를 수행하였다. 대용량 서버 전원 장치에 적합한 Hot swap 제어기를 설계하기 위하여 Hot swap 동작 분석 및 필요한 블록을 설계하였다. 또한 제어기 및 간단한 구조로 제어기에 필요한 전원을 생성하기 위한 방법을 제안하였다. 동작 검증을 위하여 프로토타입을 제작하여, 구동 전압 생성, 단독 운전, 병렬 운전을 실험적으로 검증하였다. 기존 전용 IC와 동일한 기능 동작을 확인하였고, 보호 동작도 검증하였다. 이에 제안한 시스템은 서버용 전원 장치의 가격을 낮출 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2017년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

References

- [1] L. H. Mweene, C. A. Wright, and M. F. Schlecht, "A 1 kW 500 kHz front-end converter for a distributed power supply system," IEEE Trans. Power Electron., vol. 6, no. 3, pp. 398-407, Jul. 1991.
- [2] www.linear.com/
- [3] J. Shi, L. Zhou, X. He, "Common-duty-ratio control of input-parallel output-parallel (IPOP) connected DC-DC converter modules with automatic sharing of currents," IEEE Trans. Power Electron., vol. 27, no. 7, pp. 3277-3291, Jul. 2012.
- [4] J.S. Choi, K.C. Jeong, D.S. Cha, J.H. Kang, and S.Y. Oh, "A Study on Converter Control of Modular ESS for Hot Swap," in Proc. of The Korean Institute of Electrical Engineers Annual conference, pp. 118, 2017.5.
- [5] J.J. Park, J.J. Lee, and B.H. Kwon, "A Study about the Hot-Swap Function for Prevention of Trouble in PLC Power Supplies," in Proc. of The Korean Institute of Electrical Engineers Annual conference, pp. 237-239, 2005.10.
- [6] X. Yuan, X. Wu, M. Zhao and X. Yan, "A Smart Hot Swap Controller IC design," in Proc. of 2005 IEEE Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits, pp. 293-296, 2005.
- [7] J. W. Kim, G. W. Moon, "Minimizing effect of input filter capacitor in a digital boundary conduction mode power factor corrector based on time-domain analysis," IEEE Trans. Power Electron., vol. 31, no. 5, pp. 3827-3836, May 2016.
- [8] H. S. Youn, J. S. Park, K. B. Park, J. I. Baek, G. W. Moon, "A digital predictive peak current control for power factor correction with low-input current distortion," IEEE Trans. Power Electron., vol. 31, no. 1, pp. 900-912, Jan. 2016.
- [9] J.-H. Kim, C.-E. Kim, J.-B. Lee, Y.-D. Kim, H.-S. Youn, G.-W. Moon, "A simple control scheme for improving light-load efficiency in a full-bridge LLC resonant converter," in Proc. 2014 Int. Power Electron. Conf., pp. 1743-1747, May 2014.
- [10] Y. Jeong, G. W. Moon, and J. K. Kim, "Analysis on half-bridge LLC resonant converter by using variable inductance for high efficiency and power density sever power supply," in Proc. Appl. Power Electron. Conf. Expo., 2017, pp. 170-177.
- [11] J. B. Lee, J. K. Kim, J. I. Baek, J. H. Kim, and G. W. Moon, "Resonant capacitor on/off control of half-bridge LLC converter for high-efficiency server power supply," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 9, pp. 5410-5415,

Sep. 2016.

- [12] Y.-D. Kim, K.-M. Cho, D.-Y. Kim, and G.-W. Moon, "Wide-range ZVS phase-shift full-bridge converter with reduced conduction loss caused by circulating current," Trans. Power Electron., vol. 28, no. 7, pp. 3308-3316, Jul. 2013.
- [13] I.-H. Cho, K.-M. Cho, J.-W. Kim, and G.-W. Moon, "A new phase-shifted full-bridge converter with maximum duty operation for server power system," Trans. Power Electron., vol. 26, no. 12, pp. 3491-3500, Dec. 2011.
- [14] S.-Y. Cho, I.-O. Lee, J.-K. Kim, and G.-W. Moon, "A new standby structure based on a forward converter integrated with a phase-shift full-bridge converter for server power supplies," Trans. Power Electron., vol. 28, no. 1, pp. 336-346, Jan. 2013.

저 자 소 개



이 강 현 (KangHyun Yi)

1978년 1월 20일생. 2003년 한양대 전자전기공학부 졸업. 2006년 한국과학기술원 전기 및 전자공학 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기 및 전자공학 졸업(공학박). 2009년~2012년 삼성전자 영상디스플레이 사업부 책임연구원. 2012년~현재 대구대학교 전자전기공학부 부교수.

Tel : 053-850-6652

E-mail : khyi@daegu.ac.kr