

정전압, 정전류 온보드 직류전원장치

김계범*, 박주원**, 김종현**, 류명효**, 김홍근*

경북대학교* 한국전기연구원**

Constant Voltage and Constant Current On-board DC Power Supply

Jae-Beom Geum*, Ju-Won Baek**, Jong-Hyun Kim**, Myung-Hyo Ryoo**, Heung-Geun Kim*
Kyungpook national univ.* KERI**

초록

최근 컴퓨터 및 통신, 정보화산업 발전 및 수요에 따라 전원장치의 고집적화, 고효율화 및 고기능화를 통한 소형화 기술 수요가 증가하고 있다. 스위칭모드 전원장치는 반도체 소자의 스위칭을 이용하여 전력변환을 하며 이를 보다 소형화하고 고밀도화시키며 시스템에 직접 장착할 수 있는 구조로 설계한 전원장치가 온보드 전원장치이다.

본 논문에서는 온보드 전원의 고밀도, 고집적화와 더불어 정전압 온보드 전원엔 기능을 추가하여 정전류원으로 동작하는 온보드 전원을 제안한다. 제안한 회로는 능동 클램프 파워 컨버터를 사용하였으며 2 차측 동기스위치를 이용하였다. 또한 정전압원과 정전류원으로 동작시 입력의 변화와 부하의 변화에 따른 빠른 응답속도를 가지는 제어기를 설계하였다. 제안회로는 이론적인 해석과 100W 실험장치를 통해 시험하며 그 타당성을 검증한다.

1. 서론

전자, 통신기기의 직류 안정화 전원으로서 폭넓게 사용되고 있는 스위칭모드 변환장치는 외부로부터 공급되는 전기를 각종 전자기기에 맞도록 변환하여 주는 전원장치이다. 스위칭모드 전원장치는 반도체 소자의 스위칭을 이용하여 전력변환을 하며 이를 보다 소형화하고 고밀도화시켜 시스템에 직접 장착할 수 있는 구조로 설계한 전원장치가 온보드 전원장치이다. 온보드 전원장치는 전자통신 기기에 있어서 안정되는 전력을 공급해 주어야 한다는 의미에서 시스템의 심장부라고 할 수 있으며, 많은 경우에 있어서 시스템의 고장이 안정된 전력을 공급해 주지 못하는데 기인한다는 사실을 고려 할 때 정밀한 전원장치 기술은 매우 중요하다 할 수 있다.

본 논문에서는 온보드 전원의 고밀도, 고집적화와 더불어 정전압 온보드 전원엔 기능을 추가하여 정전류원으로 동작가능한 온보드 전원을 제안하였다. 정전류 기능은 반도체 소자의 성능시험을 위한 버닝 테스트에 사용될 수 있고 정전류 부하인 LED 조명소자의 구동전원으로 활용된다. 고밀도 온보드 전원을 구성하기 위해 300kHz 스위칭 주파수를 사용하였으며 스위칭 주파수가 높아짐에 따른 손실을 줄이기 위해 영전압 스위칭 구조의 회로와 출력 도통 손실을 줄이도록 동기정류 회로를 채택하였다. 또한 평균전류모드 제어기를 구성하여 정전압, 정전류원 모드에서 스텝부하 인가시 빠른 응답 특성을 가지도록 설계하여 실험을 통해 타당성을 검증한다.

2. 회로 구성 및 동작원리

본 논문에서는 소형의 고효율 고밀도 전원공급장치를 제작하기 위하여 파워 능동 클램프 방식 DC-DC 컨버터를 구성하였다. 능동클램프 회로는 전압 전류를 공진시키는 소프트 스위칭

기법이며 동기정류 방식을 역시 채택하여 추가적인 손실을 줄였다. 그림 1은 제안하는 고밀도 온보드 전원의 기본적인 회로도이다.

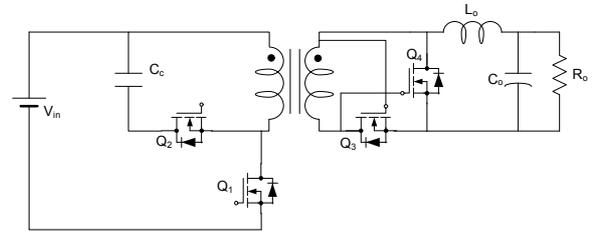


그림 1. 능동 클램프 파워 컨버터의 회로도

다음 그림 2는 제안한 회로의 주요 동작 파형과 동작 모드를 나타낸 것이다. 동작원리를 간단하게 하기 위해 인덕터 전류가 연속이고 출력은 일정하며 모든 소자들은 이상적이라 가정하였다.

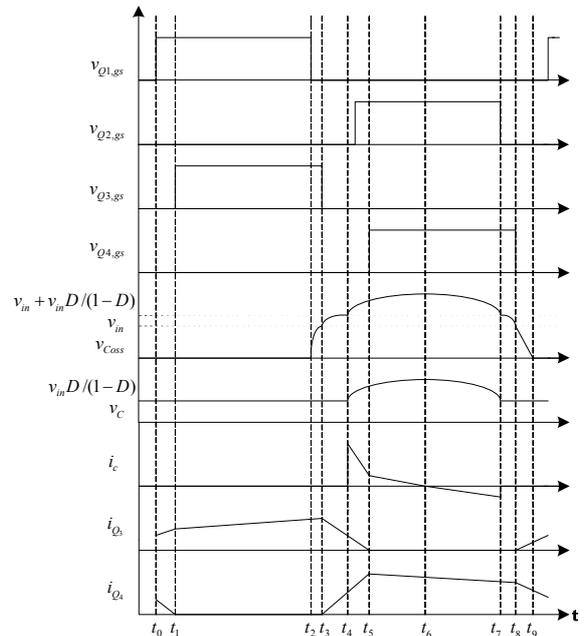


그림 2. 능동 클램프 파워 컨버터의 동작 파형

위로부터 Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 의 게이트 전압, 주 스위치 양단 전압과 전류, 변압기의 자화전류와 동기 스위치에 흐르는 전류를 나타낸다. Q_2 와 C_c 는 변압기의 자화에너지 리셋시키면서 Q_1 의 전압 스트레스를 $V_{in} + V_c$ 에 클램프 시키는 역할을 한다.

Q_1 은 시비율 D 로 동작하며 Q_2 는 1-D 로 동작한다. 이때 Q_2 스위치의 ZVS-on 동작을 위해 Q_1 과 Q_2 사이에 충분한 데드타임이 존재하여야 한다. 2 차측 동기 스위치는 각각 Q_1 과 Q_2 에 동기되어 있으며 ZVS-on 동작을 한다.

3. 제어기 설계

본 논문에서 제어기는 정전압원과 정전류원 모드로 동작 가능하게 설계되었다. 제어기는 캐스캐이드로 동작하는 두 개의 제어 루프로 나뉘어진다. 제어루프에서 보상기를 설계하기 위해 소신호 모델 해석과 평균전류모드 제어 방식이 적용되었다. 아래 그림 3 은 평균전류모드 제어의 소신호 블록 다이어그램이고 그림 4는 파워부와 출력 필터에 대한 소신호 등가 회로이다.

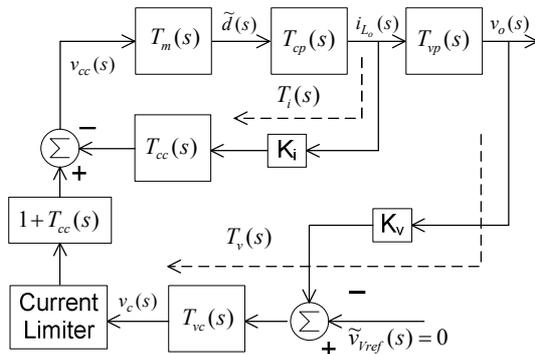


그림 3. 전체 캐환루프 블록 다이어그램

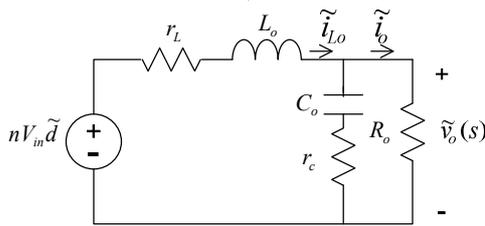


그림 4. 파워부와 출력 필터 소신호 등가회로

- L_o : 필터 인덕터, C_o : 필터 커패시터, r_L : L_o 의 기생저항
- r_c : C_o 의 기생저항, K_i : 전류센싱이득, K_v : 전압센싱이득

그림 4의 소신호 등가회로를 이용하여 전달함수 $T_{cp}(s)$, $T_{vp}(s)$ 를 구하였다. 전체 시스템은 내부 전류 루프와 외부 전압 루프로 나뉘어진다. 각각의 전달함수를 이용해 다음과 같이 두가지 모드로 나뉘어진다.

i) 정전류원 모드: $f(s)$ 가 전류 제한기의 전압보다 높으면 전류 제한기의 전압에 걸리게 되어 전류 제한기의 전압이 전류의 지령 전압이 된다. 따라서 전원공급장치는 정전류원으로 동작한다. 전체 시스템은 내부루프로 동작되고 전체 시스템의 전달함수는 $T_i(s)$ 이다. 전류 보상기의 전달함수는 $T_{cc}(s)$ 이다.

ii) 정전압원 모드: $f(s)$ 가 전류 제한기의 전압보다 낮으면 전류 제한기를 그대로 통과하여 전류의 지령전압은 전압 보상기의 출력 전압이 된다. 따라서 전원공급장치는 정전압원으로 동작한다. 전체 시스템은 외부루프로 동작되고 전체 시스템의 전달함수는 $T_v(s)/(1+T_i(s))$ 이다. 전압보상기의 전달함수는 $T_{vc}(s)$ 이고

전압보상기 설계시 전류 보상기 $T_{cc}(s)$ 가 영향을 주게 된다.

4. 실험결과

본 논문에서 제작된 온보드 전원은 100W출력으로 정격은 입력전압 24V, 출력전압5V, 출력전류 20A이다. 그림 5는 실험에 사용된 회로이다.

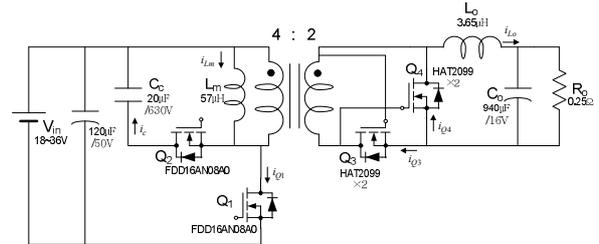


그림 5. 실험에 사용된 회로

다음 그림 6은 주 스위치 게이트 전압과 클램프 스위치의 게이트, 양단전압 파형이며 클램프 스위치의 ZVS-on동작을 확인하였다. 그림 7은 주 스위치와 동기인 2차측 Q_3 의 게이트와 양단전압 파형이며 Q_3 의 ZVS-on 동작을 확인하였다. 그림 8은 클램프 스위치와 동기인 2차측 Q_4 의 게이트와 양단전압 파형이며 Q_4 의 ZVS-on 동작을 확인하였다. 그림 9는 클램프 커패시터의 전압과 주스위치의 양단전압 파형이며 클램프 회로의 안정된 동작을 확인하였다. 그림 10은 정전압원으로 동작시 1A/ μ s 스텝변화를 주어 50%출력 가변을 통해 빠른 응답속도와 낮은 오버슈트를 확인하였다. 그림 11은 정전류원으로 동작시 2V/ms 스텝변화를 주어 50%출력 가변을 통해 정전류원으로 안정되게 동작됨을 확인하였다.

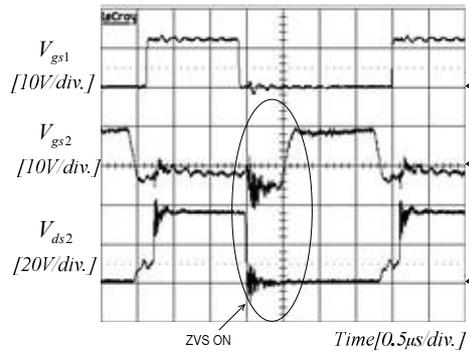


그림 6. 클램프 스위치의 전압파형

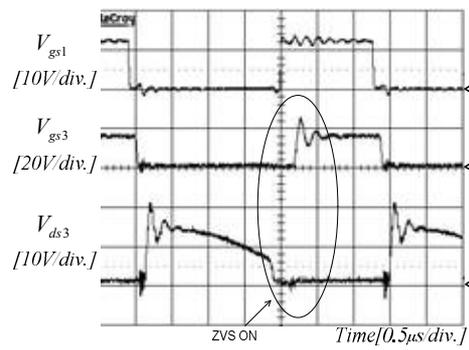


그림 7. 2차측 동기 스위치 Q_3 의 전압파형

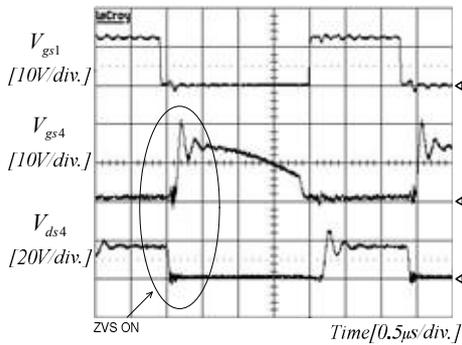


그림 8. 2차측 동기스위치 Q_4 의 전압파형

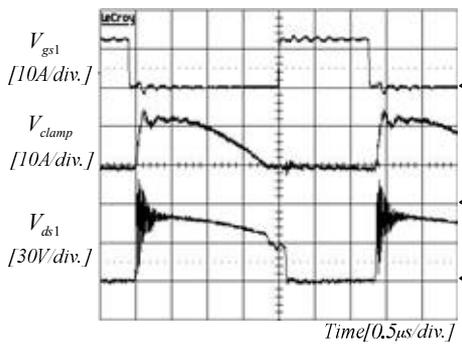
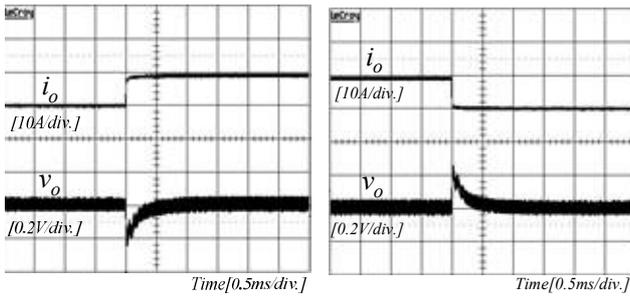
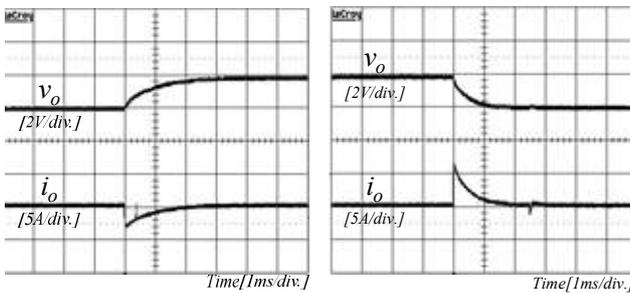


그림 9. 클램프회로의 전압파형



(a) 50% 부하 상승 (b) 50% 부하 하강
그림 10. CV-mode 50%부하가변



(a) 50% 부하 상승 (b) 50% 부하 하강
그림 11. CC-mode 50%부하가변

그림 12는 제안된 전원장치의 부하에 따른 효율을 나타낸 것이다. 전원 장치의 부하가 50W이상일 때 90%에 가까운 효율이 나옴을 확인하였다.

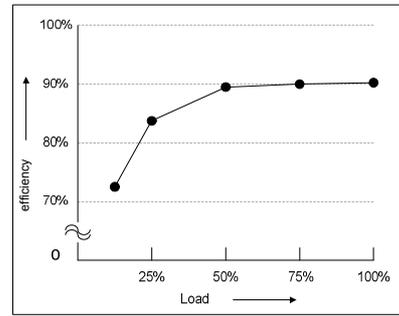


그림 12. 부하에 따른 효율 분포도

5. 결론

본 논문에서는 능동 클램프 회로를 가지는 파워 컨버터를 이용하여 여러 가지 기법을 적용한 고밀도 전원공급장치를 설계하였다. 고집적, 소형화를 위해 높은 주파수를 이용해 수동소자의 크기를 줄였고 스위칭 주파수가 높아지면서 발생하게 되는 많은 손실을 능동 클램프 회로와 2차측 동기정류를 통해 손실을 줄여 높은 효율을 달성하였다. 또한 제어기를 두 가지 모드에서 동작이 가능하도록 설계하였다. 정전압원과 정전류원 두 가지 모드로 동작하도록 제어기를 설계하였고 각각의 모드에서 스텝부하변화를 주어 실험한 결과 빠른 응답속도와 낮은 오버슈트를 확인하였다.

본 논문에서 설계된 전원장치는 정전압 직류 안정화를 위한 전원을 요구하는 분야뿐 아니라 정전류원 직류 전원을 요구하는 분야에도 적용 가능하여 많은 응용이 가능하다.

본 연구는 한국전기연구원의 연구결과를 토대로 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-067)주관으로 수행된 과제임

REFERENCES

- [1] Bor-Ren Lin, Kevin Huang and David Wang, "Analysis, Design, and Implementation of an Active Clamp Forward Converter With Synchronous Rectifier" IEEE Transactions on Circuits and Systems-I:Regular Papers, Vol.53, No.6, June 2006.
- [2] Marcelo Brunoro and José Luiz F. Vieira, "A High-Performance ZVS Full-Bridge DC-DC 0-50-V/0-10-A Power Supply with Phase-Shift Control" IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 14, No. 3, May 1999
- [3] W. Tang, F. C. Lee, and R. B. Ridley, "Small-signal modeling of average current-mode control," IEEE Trans. Power Electron., vol. 8, pp. 112-119, Apr. 1993
- [4] Byung-Cho Choi : 'Step Load Reponse of a Current-Mode-Controlled DC-to-DC converter', IEEE Transactions on aerospace and electronic systems., Vol. 33, No. 4 October 1997
- [5] N. Mohan, T. M. Undelad, and W. P. Robbins, Power Electronics: converter, application, and design, 3rd ed., New York: John Wiley, 2003.
- [6] H. Dean Venale, Rancho Palos Verdes, ' The K factor: A new mathematical tool for stability analysis and synthesis.' Proceedings of Powercon 10., H-1., Page 1-12.
- [7] P. Cooke, "Modeling Average Current Mode Control," to appear IEEE Applied Power Electronics Conference, 2000.