

Active Clamp 방식의 포워드 컨버터를 이용한 소용량 LDC

방효진, 김헌희, 이종혁, 권태석
(주)현대 모비스

A Development of Active Clamp Forward Converter for low Rated Power LDC

HyoJin Bang, HeonHee Kim, JongHyeok Lee, TaeSuk Kwon
HYUNDAI MOBIS

ABSTRACT

전기 자동차 및 하이브리드 자동차는 차량의 12V 부하에 전원을 공급하고 12V 배터리를 충전시키기 위해 DC/DC 컨버터를 사용한다. 이 DC/DC 컨버터를 LDC(Low voltage DC/DC Converter)라 한다. 본 논문에서는 Active Clamp 방식의 포워드 컨버터를 이용하여 소용량 LDC를 개발한 내용을 소개 하였다.

1. 서론

현재 일본, 미국, 유럽 등 주요 자동차업체들은 각국의 정부의 지원을 받아 각 업체에 적합한 새로운 개념의 독특한 하이브리드 시스템을 장착한 차량을 개발 양산하고 있다.

본 논문에서는 다양한 전기 및 하이브리드 자동차의 12V 배터리 충전용 DC/DC 컨버터로 사용할 수 있는 소용량 Active Clamp 방식의 포워드 컨버터(ACF) 개발 내용을 소개 한다. ACF는 하나의 메인 스위치로 전력회로가 구성되어 있어 재료비 및 사이즈 측면에서 장점이 있다.

ACF의 동작모드 분석 및 전력회로의 파워 스위치, 출력 정류 다이오드, 출력필터 등의 주요부품 사양을 선정 하였으며 시뮬레이션 및 실험을 통해 설계 검증 하였다. 또한, 주요 발열소자에 대한 손실분석 결과를 이용해 열 유동해석을 진행하였으며 강제 공냉 조건에 맞는 냉각핀 설계를 통해 제품의 전력밀도를 향상 시켰다. MICOM을 이용하여 디지털 제어를 하였으며, 과온, 과전류, 과전압, CAN통신 이상에 대한 고장 코드를 정의하여 fail-safe 동작을 검증하였다.

2. 시스템 구성

2.1 전력 회로

그림1은 ACF의 전력회로를 나타내고 있다. 일반적으로 자동차용 LDC에 주로 쓰이는 풀브릿지 방식에 비해 ACF는 2개의 MOSFET만을 사용하여 전력 회로를 단순화 시키고 제어가 간단하다. 또한 Active clamp방식을 적용하여 유효 듀티를 증가시키고 변압기 부피를 감소시키는 등 기존의 Forward 컨버터가 가진 단점을 보완하였다.

2.1.1 동작원리

그림2는 ACF의 동작을 전류 흐름에 따라 간략하게 분석한 그림이다. 모드1은 메인 스위치(S1)이 턴-온되어 입력 전류가 S1의 drain-source로 흐르고 변압기를 통해 2차측에 전압을 인가한다.

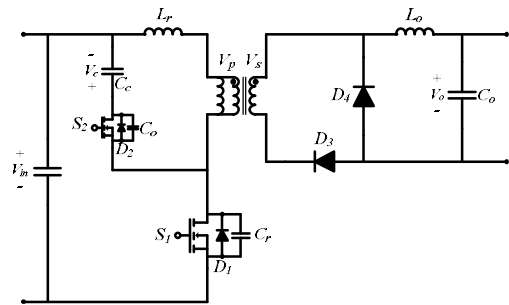


Fig. 1 Active-clamp forward converter (ACF)
그림 1 액티브 클램프 방식의 포워드 컨버터

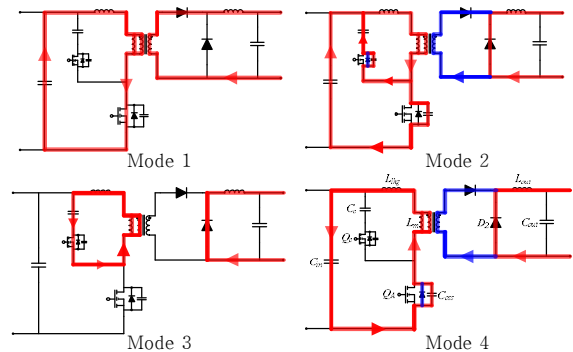


Fig. 2 Mode analysis of ACF operation
그림 2 ACF의 동작 모드 분석

모드2에서는 S1이 턴-오프되고 drain-source 전압이 Vin이상이 되면 S2의 다이오드를 통해 Cc를 충전한다. 이 때 S2가 ZVS 턴-온 하고, Cc에 충전되는 에너지는 S1에 흐르는 와 Llk와 Lm에 의해 결정된다. 모드3에서는 충전된 Cc의 전압이 변압기에 인가되어 3상한 동작을 한다. 모드4에서는 S2가 턴-오프 되고 S1이 ZVS조건이 형성된 후 턴 온 된다.

2.1.2 주요 파워부품

표1은 정격출력 1.1kW 기준으로 선정된 소자의 주요 사양을 나타내었다. MOSFET와 DIODE 등 반도체 소자의 전압 및 전류 설계 값은 입력 또는 출력 조건에 따라 가변적이므로 가장 높은 사양이 요구되는 조건의 값을 선정하였다. Clamp커패시터와 변압기의 누설 및 자화 인덕턴스는 Clamp스위치의 전압 스트레스가 최소가 되도록 선정하였다. 2차측의 다이오드와 필터 인덕터 및 커패시터는 출력 전압 리플이 3% 이하가 되도록 설계하였다.

표1 선정된 소자의 주요 스펙

Table 1 Calculated specifications of each parts

구분	소자 Spec.
Main FET	650V, 27A
Clamp FET	650V, 11A
Clamp Cap.	68nF
Trans. L _k , L _m	0.5uH, 238uH
Trans. Turn Ratio	11:2
Rect. Diode 1 and 2	170V, 100A
Filter Inductor	4.5uH
Filter Cap.	57uF

2.2 기계기구

전력밀도를 높이기 위해 부품배치를 최적화 하였으며, 방진방수 등급은 IP50로 설계하였다.

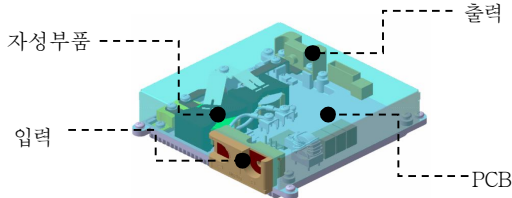
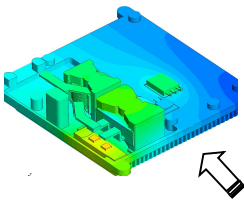


Fig. 3. 1.1kW Low voltage DC/DC 컨버터
그림 3. 1.1kW Low voltage DC/DC 컨버터

2.2.1 열유동 해석

주변공기온도는 50°C 풍량 55CMH의 강제 공냉조건으로 열유동 해석을 하였다.



구분	손신(W)	온도(°C)
Main FET	38	100.1
DIODE 1	32	128.3
DIODE 2	32	129.1
Trans.	10.3	105.8
Inductor	8.8	101.0

Fig. 4 Heat flow distribution
그림 4 열 해석 결과

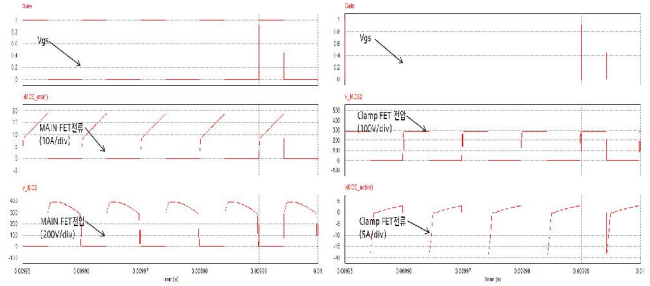
3. 시뮬레이션 결과

3.1 회로 시뮬레이션 결과

시스템의 검증에 위해 PSIM 8.0을 이용하여 표2의 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 메인 MOSFET와 Clamp MOSFET등 각 소자의 전압 및 전류를 확인하여 실험 결과를 미리 예측 할 수 있었다.

표 2 시뮬레이션 및 실험 조건
Table 2 Simulation and experimental condition

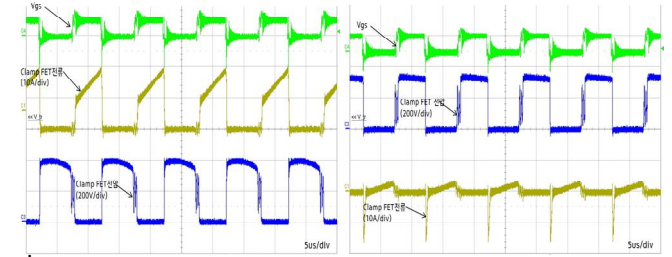
구분	값
출력 전력	1.1 kW
입력 전압	200 V
입력 전류	6.2 A
출력 전압	14 V
출력 전류	80 A



(a) 메인 MOSFET (b) Clamp MOSFET
Fig. 5 Simulation result of significant parts
그림 5 주요 소자의 시뮬레이션 파형

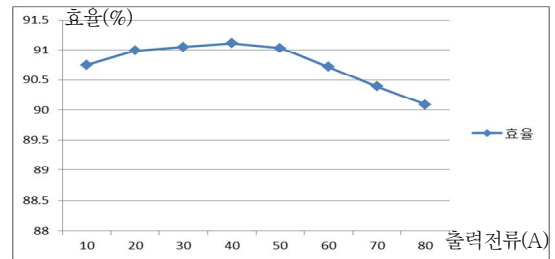
4. 실험결과

설계된 시스템의 검증을 위해 시제품을 제작하여 표2의 조건으로 실험을 수행하였다. 시뮬레이션과 마찬가지로 각 소자의 전압 및 전류가 예측된 형태로 동작함을 확인할 수 있다.



(a) 메인 MOSFET (b) Clamp MOSFET
Fig. 6 Experimental result of significant parts
그림 6 주요 소자의 실험 파형

아래 그림은 출력전류에 따른 시스템의 효율을 나타낸 그래프이다. 정격 입력전압, 전 부하에서 90%이상의 효율을 보인다.



5. 결론

1차 시제품을 이용해 기능 및 성능검증을 완료하였다. 향후 원가절감, 전력밀도 개선, 출력용량 증가를 위해 개선설계를 진행할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Bor-Ren Lin, "Analysis of an Active Clamp Forward Converter", IEEE PEDS 2005, pp. 140~145
- [2] Dhaval Dalal, "Design Considerations for Active Clamp and Reset Technique", Seminar 1100 Topic 3