

10kW급 산업용 DC-DC 컨버터 개발

김기선*, 박병우*, 박성준*, 이태원**, 오동성**

*전남대학교 전기공학과, **삼성전기

A development of 10kW DC-DC Converter for industrial

Kim ki seon, Park byoung woo, Park sung jun, Lee tae won, Kim jin wook, Oh dong sung
Chonnam national university, SAMSUNG electro-mechanics

ABSTRACT

향후 대용량 SMPS시장은 가전, 군사, 우주산업등에 널리 필요 할 것으로 생각되고 있으며 또한 DC 송배전 인프라 구축과 맞물려 크게 성장 할 분야로 사료된다. 국내외적인 시장 상황을 보면 국외 업체들이 세계적인 시장을 선점하고 있으며, 국내에서는 삼성전기가 선도하고 있다. 본 연구에서는 대용량 DC-DC 컨버터의 효율 향상을 위하여 Conducting loss 최소화 와 공진형 ZCS기법을 이용하여 제안된 회로의 고효율화를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

현재 AC전원의 경우 변환 효율 90%시 3번의 전력변환으로 약 27% 전력 손실이 발생한다. 그러나 DC전원은 단 한번의 전력변환으로 변환 손실이 크게 감소할 것으로 기대되고 있다. SMPS관련 산업은 현재 및 미래형 DC전원의 안전성, 편의성, 정보활용 용이성을 가능케 할 수 있는 분야로서 텔레메틱스, 능동제어기술, 스마트 센서 및 작동기와 관련한 기능성 부품을 모두 포함한 산업으로 관련 부품업체가 많고 파급효과가 크며 그 추정치만 해도 약 30조원이 넘을 것으로 예측하고 있다. 업계에선 ‘전원공급장치(power supply) 시장이 D램 시장보다 더 크다’라는 말로 그 규모를 짐작하며, 글로벌 선도기업으로는 델타가 세계시장의 대부분을 선점하고 있다. 최근 데이터센터나 산업 의료기기 시스템은 SMPS 모듈의 좋은 시장으로 꼽히고 있으며 또한 현재 플러그-인 하이브리드 차량(PHEVs)의 충전 장치에 초점이 맞춰져 있으며 그에 따라 48[V] 대용량 SMPS의 수요가 증가할 것으로 예상하고 있다. 본 논문에서는 산업용 10kW급 DC-DC Converter에 목표로 하여 새로운 토폴로지 제안과 ZCS를 통한 고효율의 DC-DC Converter를 개발하고자 한다. 제안된 본 토폴로지의 1차측은 3상 전압의 정류를 통해 약 700V의 DC 링크로 운용되며, 2차측 최종 출력전압은 앞서 밝힌바와 같이 충전시장을 타겟으로 하여 48V로 결정하였다. 제안된 토폴로지는 시뮬레이션을 통해 성능과 효율을 검증하고자 한다.

2. 제안된 DC-DC Converter 구조

그림 1은 제안된 DC-DC Converter의 계략도이다. 1차측은 동기 정류기를 통해 3상 전압을 정류하여 DC 링크단 전압을 약650~800V사이 전압으로 충전한다. 본 논문에서는 700V로 결정하였다. 또한 계통측 3상 전압을 센싱하여 위상각을 계산하

고, 이를 바탕으로 인버터를 제어하여 계통 전압, 전류를 단위 역률로 제어한다. 또한 단일 변압기를 사용하여 절연 및 강압을 이루었으며 2차측은 FET를 사용하여 동기형 정류기 타입의 Full bridge회로를 구성하여 Conducting loss를 최소화하여 고효율화를 이루도록 하였다. 또한 1차측 스위칭 손실을 줄이기 위해 ZCS동작이 가능하도록 하였으며 별도의 리액터 없이 트랜스 자체의 누설 리액턴스를 이용하였다. 이러한 ZCS 통해 스위칭 주파수를 증가시킬 수 있으므로 출력측 필터단 리액터의 소형화를 이룰 수 있게 된다. 결국 시스템에서 큰 부피를 차지하는 2개의 리액터를 소형화 및 완전히 제거 할 수 있게 되어 시스템 전체의 사이즈를 줄일 수 있다.

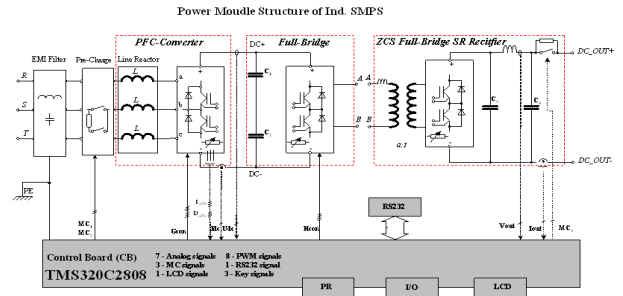


그림 1 제안된 DC-DC Converter의 계략도
Fig. 1 A schematic diagram of a proposed DC-DC Converter

단위 역률 제어를 위한 위상각 추정 제어기는 3상 전압을 d-q 변환을 위하여 PI제어를 통해 위상각을 검출한다. 제어기의 빠른 동특성을 위해 피드 포워드항과 적분제어기의 적분포화를 방지하기 위한 Anti-windup을 추가 하였다.[1] 제어기의 블록도는 그림 2와 같다

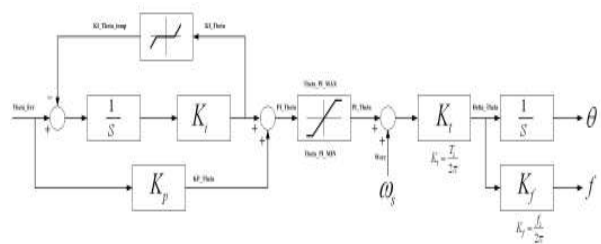


그림 2 위상각 추정을 위한 제어기 블록도
Fig. 2 A block of control for phase estimation

그림 3은 필터부의 등가회로를 나타내고 있다. 트랜스의 2차측을 전파정류된 전류원으로 간주하고 필터의 입력력특성을 살펴보면 그림 4와 같이 간략화 시켜 표현할 수 있다.

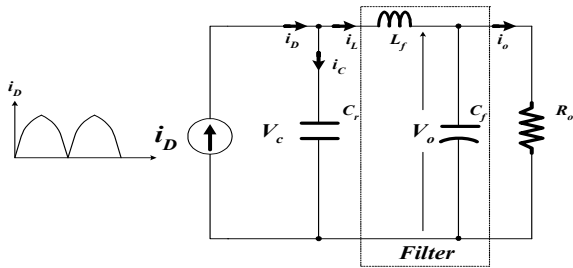


그림 3 필터부 등가회로
Fig. 3 A equivalent circuit of filter

출력측 필터 평균 전류는 출력전압과 컨버터의 정격이 정해지면, 그림 4에서 면적 A와 면적 B가 같은 점에서 동작 평행점이 된다. 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$I_{out} = \frac{P_o}{V_{out}} \quad (1)$$

$$I_{max} = \frac{\pi}{2} I_{out} \quad (2)$$

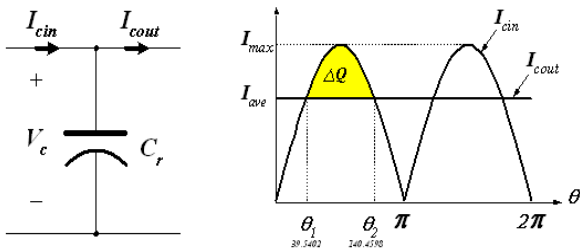


그림 4 입출력 특성 해석
Fig. 4 A analysis characteristic of input and output

식(1)과 식(2)를 이용하여 공진 커패시터의 범위를 결정하기 위해서는 아래와 같은 수식으로 표현 될 수 있다.

$$\Delta Q = I_{max} \int_{t_1}^{t_2} (\sin(2\pi ft) - \frac{2}{\pi}) dt \quad (3)$$

식(3)를 커패시터 공식에 대입하면 다음과 같다.

$$\Delta V = \frac{I_{max}}{C_r} \int_{t_1}^{t_2} (\sin(2\pi ft) - \frac{2}{\pi}) dt \quad (4)$$

그 결과 필터측 커패시터에 걸리는 전압을 범위와 공진 커패시터의 값이 다음 수식과 같이 구해진다.

$$V_c = V_{avg} - \frac{\Delta V}{2} > 0.0, \Delta V < 2V_{avg} \quad (5)$$

$$C_r \geq \frac{I_{max}}{2V_{out}} \int_{t_1}^{t_2} (\sin(2\pi ft) - \frac{2}{\pi}) dt \quad (6)$$

3. 시뮬레이션 및 결과

앞서 구해진 공식을 이용하여 그림 5와 같은 시뮬레이션을 구성하였다.

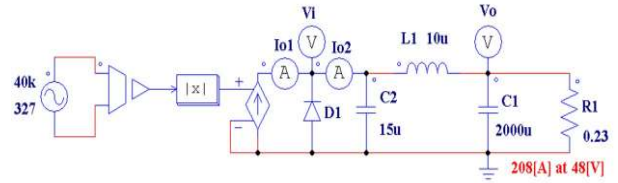


그림 5 트랜스 2차측 시뮬레이션
Fig. 5 A second part simulation of DC-DC converter

시뮬레이션 파라미터는 다음 수식을 통하여 구하였다.

$$R_o = \frac{48^2}{10000} = 0.2304 \quad (7)$$

$$I_{avg} = \frac{10000}{48} = 208.333 \quad (8)$$

$$I_{peak} = I_{avg} \frac{\pi}{2} = 327.2492 \quad (9)$$

시뮬레이션 결과를 보면 전파정류된 전류의 주파수는 80kHz이며 인덕터에 흐르는 전류는 약 200A, 출력전압은 약 48V를 보이고 있으며 리플률은 약 0.244[%]이다.

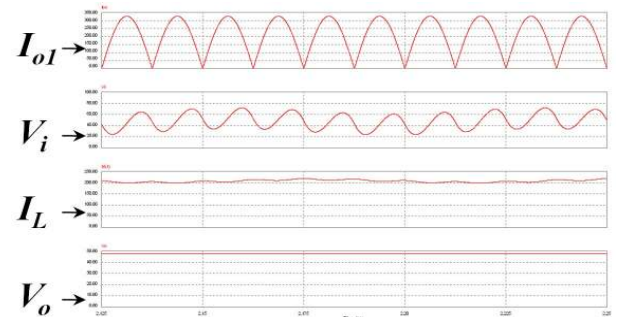


그림 6 시뮬레이션 결과 파형
Fig. 6 A result of simulation

4. 결론

본 논문은 산업용 고효율 DC-DC Converter에 관한 연구로 향후 하이브리드 전기자동차의 충전장치에 맞추어 3상 입력 전압을 이용하여 48V의 출력전압을 발생하도록 하였으며 과위스위치 소자의 Conducting loss 최소화 및 ZCS를 통한 고효율 전력변환기를 제안하였으며 시뮬레이션을 통해 그 성능을 확인하였다.

본 논문은 삼성전기 산학연구센터사업의 "전남대학교 EPRC센터"과제의 지원으로 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 지준근, 김효성, 설승기, 김경환, "무정전전원장치에 적합한 주파수 제한기와 안티 와인드업을 가지는 PLL방식", 전력전자학술대회 논문집, pp. 778~782, 2004, 7.