

공심 리액터를 이용한 DC-DC 컨버터

주홍주, 이화춘, 김세민, 남해곤, 박성준
전남대학교 전기공학과

DC-DC Converter Using Air Core Reactor

Hong-Ju Ju, Hwa-Chun Lee, Se-Min Kim, Hae-Kon Nam, Sung-Jun Park,
Chonnam University

Abstract - This paper deals with the DC-DC converter with high efficiency using the minimum reactor. In this paper, the proposed convert uses the air core reactor for ZCS(zero current switching) which can minimize the core losses and removes the over switching losses by soft switching. The proposed converter is verified by the modes analysis and computer simulation to prove the theoretical background and adequacy.

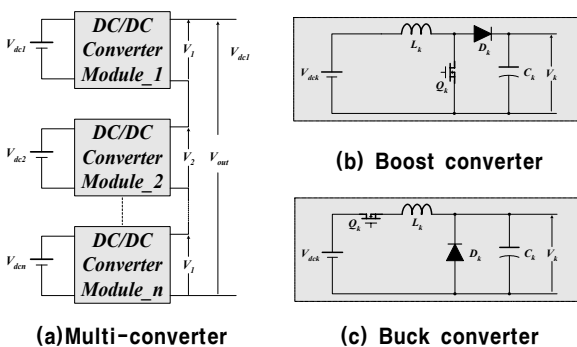
1. 서론

전기·전자 및 제어기의 직류 안정화 전원으로 널리 이용되고 있는 DC-DC 전력 변환기인 기존의 승압 컨버터는 반도체 소자의 고속스위칭에 의해 고효율, 소형 및 경량화 되어가고 있지만, 전류 평활용으로 철심 리액터 및 콘덴서가 존재하여 한계가 있다^[1]. 기존의 승압용 DC/DC 전력 변환기는 에너지 전달을 위해 하나 이상의 인덕턴스가 필요로 하며, 이는 철손으로 인한 효율 저하 및 경제성에 큰 단점이 되고 있다. 일반적으로 DC/DC 컨버터에서 리액터의 추가는 1개당 1~2[%]의 효율저하를 초래한다. 따라서 최근 고효율 DC/DC 컨버터에서 리액터의 제거 및 최소화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[2]. 본 논문은 공심 리액터를 이용한 DC/DC 컨버터에 대한 연구로서, ZCS용 공심 리액터를 사용하는 새로운 구조의 다중레벨 DC/DC 컨버터를 제안하고, PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 DC/DC 변환 시스템의 기술

그림 1(a)은 일반적으로 사용되는 비절연 방식의 다중레벨 컨버터의 구조를 나타내고 있다. 다중레벨 컨버터는 다수의 DC/DC 컨버터 모듈에 의해 구성되며, 각 모듈은 그림 1(b)와 같은 승압형 컨버터 또는 그림 1(c)와 같은 강압형 컨버터로 구성된다.

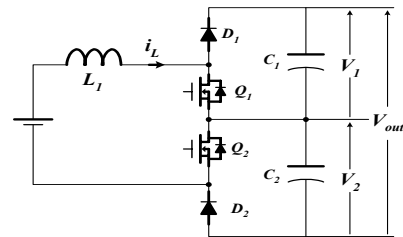


〈그림 1〉 다중레벨 컨버터의 구조

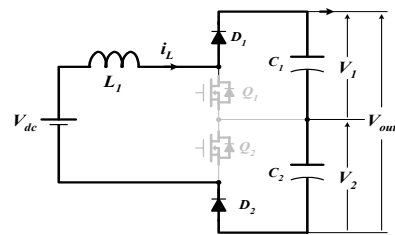
일반적으로 DC/DC 컨버터 모듈에는 최소 한 개 이상의 리액터가 포함되게 되고, 이로 인한 철손으로 시스템 전체 효율 저하의 주된 원인이 된다. 또한 DC/DC 컨버터 모듈은 일반적으로 hard-switching 방식을 사용함으로써 시스템 효율을 저하시킨다.

그림 2는 본 연구에서 제안된 다중레벨 DC/DC 컨버터 전력회로도이다. 본 전력회로는 기본적으로 2개의 콘덴서와 스위치를 사용하여 교번적으로 각 콘덴서에 입력전압을 인가하는 방식이다. 출력전압은 두 콘덴서 전압의 합으로 나타나며, 각 콘덴서의 평균전압은 입력전압과 동일하므로 승압비가 2인 컨버터가 된다. 이 방식에서 콘덴서 충전 시 입력전압과 콘덴서 전압에는 미소한 전압차가 발생하며 충전전류는 선로의 임피던스에 의해 결정된다. 선로의 등가 임피던스는 일반적으로 매우 적은

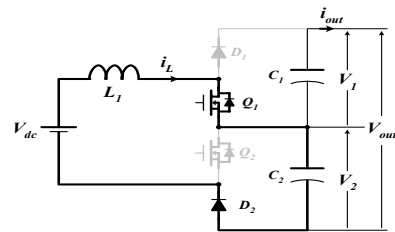
값이 되어, 충전 시 피크성 전류가 흐르게 된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고, soft-switching을 구현하기 위해 입력단에 용량이 매우 적은 공심 리액터를 삽입하여, 충전시 공진형 타입이 되도록 하였다.



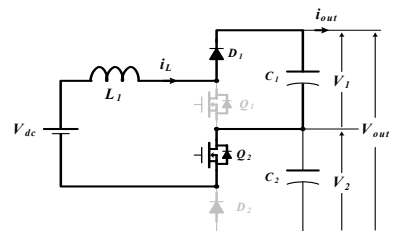
〈그림 2〉 제안된 다중레벨 DC/DC컨버터의 전력회로도



(a) Mode 0



(b) Mode 1



(c) Mode 2

〈그림 3〉 제안된 DC/DC컨버터의 스위칭 모드

본 컨버터의 동작모드는 그림 3과 같이 크게 3가지 모드로 나눌 수 있으며, 각 모드는 아래와 같다.

Mode 0 : 이 모드는 그림 3(a)와 같이 직렬로 연결된 두 개의 콘덴서와 입력전압이 병렬로 연결된 것으로, 초기 전원 투입시 또는 스위칭 없이 승압비가 1인 경우에 나타난다.

Mode 1 : 이 모드는 스위치 Q1이 on하는 시점에서부터 시작되며, 입력

전원으로 콘덴서(C2)를 충전하게 된다. 이때 충전전류는 L1-C2를 통한 직렬 공진형태가 되며, 공진 주파수는 아래와 같다.

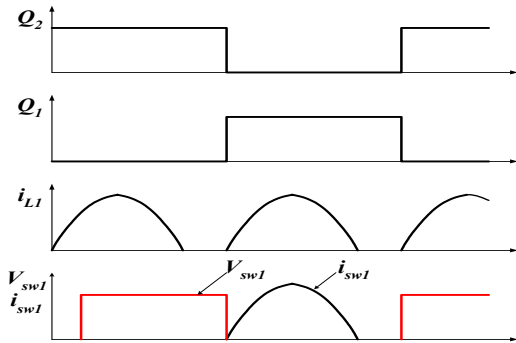
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}} \quad (1)$$

본 모드는 공진주기의 절반이 되는 시간에서 끝난다. 만일 공진 주파수가 스위칭 주파수보다 크다면 리액터에 흐르는 전류는 불연속이 되며, 이 조건을 만족하는 리액터 값은 아래와 같다.

$$L_1 \leq \frac{1}{(2\pi)^2 C_2 (f_0)^2} \quad (2)$$

공진용 인덕턴스 값이 식 (2)를 만족한다면, 리액터에 흐르는 전류는 불연속이 되며, 그림 4에서 보는 바와 같이 Q1 스위치가 on하는 순간 리액터의 전류는 0에서 시작되어 ZCS동작이 되고, Q1 스위치가 off하기 전에 공진모드가 끝나 스위치에 흐르는 전류는 0이 되고, Q1 스위치가 off시에도 ZCS가된다.

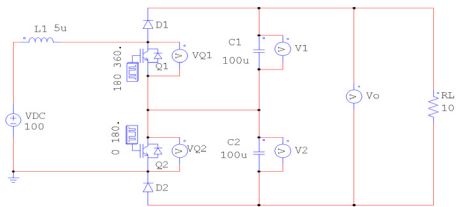
Mode 2 : 이 모드는 스위치 Q2가 on하는 시점에서부터 시작되며, 입력 전원으로 콘덴서(C1)를 충전하게 된다. 동작은 mode 1과 동일하다.



〈그림 4〉 제한된 DC/DC컨버터의 동작원리

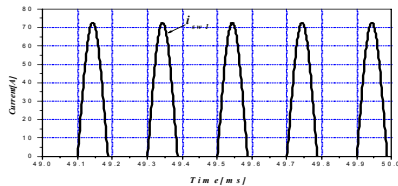
3. 시뮬레이션 결과

그림 5는 본 컨버터의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로도이다. 입력전압은 100[V]이며, 출력전압은 200[V]인 경우이다. 공진용 리액터스 및 커패시터스는 각각 5[μH], 100[μF]로 설정하였으며, 스위칭 소자 및 다이오드의 포화전압을 1[V]로 설정 하였다.

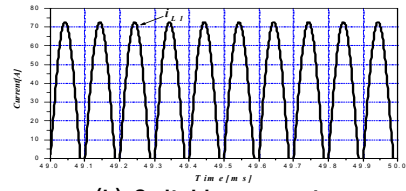


〈그림 5〉 시뮬레이션 회로도

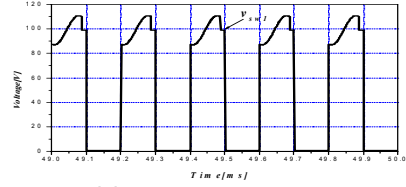
그림 6은 4 [kW] 출력인 경우의 본 컨버터 시뮬레이션 결과로, 리액터 전류 피크치는 73[A]나타났으며, 전압 리플은 약 25[V]로 나타났다. 그림 6(c) 및 (d)로부터 스위치 on-off시 양호한 ZCS동작을 확인할 수 있으며, 그림 6(e)에서 보는 바와 같이 스위칭 소자의 손실은 도통 손실만 나타남을 알 수 있다.



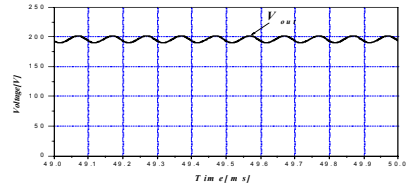
(a) Reactor current



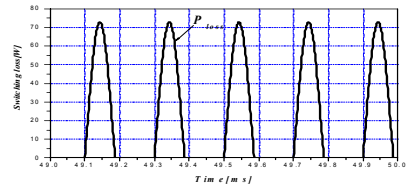
(b) Switching current



(c) Switching voltage



(d) Output voltage



(e) Switching power loss

〈그림 6〉 시뮬레이션 결과

4. 결 론

본 연구는 soft-switching 및 리액턴스 최소화 멀티레벨 DC/DC 컨버터에 관한 것으로, 제한된 컨버터의 타당성은 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 또한 전력변환기의 전력손실을 분석하였다. 본 연구에서는 스위칭 주파수를 5[kHz]로 동작하였으나, 스위칭 주파수를 증가시킨다면 기판 및 선로의 기생 리액턴스만으로도 동작이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

본 연구는 지식경제부의 에너지자원 인력양성사업을 통한 지원으로 수행되었음

[참 고 문 헌]

- [1] Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [2] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: converters, applications, and design, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [3] B. K. Bose, Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications, IEEE Press, 1997.
- [4] 박성준, 강필순, 박노식, 김철우, “변압기 직렬 결합을 이용한 새로운 멀티 레벨 인버터”, 전력전자학회 논문지, 제 8권, 제 1호, PP. 9-16, 2003년 2월.
- [5] 김윤호, 문현욱, 김수홍, 광영찬, 원중연, “멀티레벨 컨버터를 기반으로 하는 고출력 연료 전지 시스템의 전압강하 대책”, 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 696-700, 2003년 7월.