

소프트스위칭이 가능한 저압 직류배전용 100kW급 고강압 DC-DC 컨버터

오승열*, 홍승표*, 최정식*, 임영철**
전자부품연구원*, 전남대학교**

High Step-down 100kW DC-DC Converter in Soft-Switching for LVDC Distribution

Seung-Yul Oh, Seung-Pyo Hong*, Jung-Sik Choi, Young-Chul Lim**
Korea Electronics Technology Institute*, Chonnam National University**

Abstract - 본 논문은 저압 직류배전의 시스템에 적용하기 위한 ZVS 방식의 100kW 고강압 DC-DC 컨버터를 제안하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다. 제안된 시스템은 저압 직류배전 설비에 구성되는 시스템으로 1500Vdc가 송전될 때 가정이나 공업용으로 사용 가능한 380Vdc로 강압시켜주는 장치이다. 고압 특성상 하드 스위칭시 손실이 커 ZVS 동작이 가능하도록 구성하였고, 구성된 시스템에 대해 정격 실험 결과 100kW 부하에서 95.8%의 효율을 보였다.

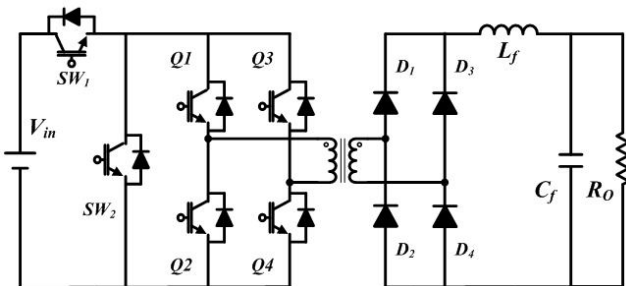
에서 풀브릿지단의 전위가 0이 되도록 턴온 하는 역할을 하고 있다. 낮은 부하의 시스템에서는 고속 스위칭을 위해 MOSFET으로 구성되었으나 IGBT에 비해 대전력 소자가 부족하여 IGBT로 구성하고 변압기의 크기를 키우는 식으로 구성 하였다.

1. 서 론

최근 디지털 가전기기 및 신재생 에너지원 발달과 함께 직류기반의 송전 및 배전에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 계통은 교류기반으로 구성되어 있어 신재생 에너지원에서 발생하는 직류 전원을 교류로 변환하여 주고 디지털 기기의 사용을 위해 다시 직류로 변환하는 과정이 요구된다. 이러한 변환과정은 변환손실을 야기하게 되어 계통의 효율성이 떨어지게 된다. 이에 직류 송, 배전에 대한 연구가 진행되고 있다. 직류 계통을 구축하면 불필요한 전력변환이 줄어들어 계통 효율 향상될 수 있고, 3상 교류 배전에 비해 표피효과를 무시하더라도 33%의 손실 저감이 가능하여 계통 전반의 효율적인 운영이 가능해 진다[1-2]. 이러한 직류 배전설비의 경우 하나의 변환기에 의해 시스템 전체효율이 차이나 배전용 DC/DC 컨버터의 효율이 중요하다. 기본형 풀 브릿지 컨버터를 이용하여 컨버터를 구성하면 각각의 IGBT에 인가되는 전압이 커짐에 따라 손실이 증가하고 이는 열로 방출되어 방열시스템이 커지고 효율이 감소하는 단점이 발생 한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 저감하기 위해 ZVS방식의 컨버터를 구성하였다. 구성된 컨버터는 1차측 풀 브릿지단이 전위가 0이 되는 구간에서 스위칭을 교번함으로써 리액터와 커패시터의 추가 없이 영전압 스위칭을 하여 시스템 효율 및 신뢰성을 향상시키는 구조이다. 제안된 ZVS 방식의 DC-DC컨버터를 구성하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 ZVS 방식의 고강압 DC-DC 컨버터



〈그림 1〉 ZVS 방식의 고강압 DC-DC컨버터 구조

그림 1은 본 논문에서 구성된 100kW급 고강압 DC-DC 컨버터의 구조를 나타내고 있다. 제안된 컨버터는 변압기를 중심으로 1차 측에 영전압 스위칭을 위한 벡 스위치와 풀 브릿지 스위치가 구성되어있고 2차 측에 다이오드 및 LC필터가 구성되었다. 기본적인 동작은 풀브릿지 컨버터와 동일하게 일정시간마다 Q1,4와 Q2,3이 교번하여 동작한다. 이때, 교번하기전 벡 스위치(SW1)을 턴 오프 시켜 풀브릿지단에 전위가 0이 된 상태에서 스위칭을 하여 ZVS스위칭이 가능한 시스템이다. 이 시스템은 벡 스위치의 턴 온오프 시간에 따라 출력전압의 제어가 가능하다. 동기형 컨버터 방식의 스위치인 SW2는 벡 스위치가 턴 오프가 되는 상황



〈그림 2〉 모드별 스위칭 패턴 및 변압기 1차측 전압

그림 2는 모드별 스위칭 동작과 그에 따른 변압기 전압 인가 패턴도이다. 모드는 크게 전압이 인가되는 구간과 영전압 제어구간의 두가지 모드가 있다. 모드 1에서는 벡스위치가 턴 온이되고 Q1, Q4 스위치가 턴 온 됨에 따라 입력전압이 변압기에 인가되는 구간이다. 모드 2는 영전압 제어 구간이다. 벡 스위치가 턴 오프가 되면 풀 브릿지단의 전위는 영전압이 된다. 이때, 풀브릿지 단의 스위치를 교번하여 스위칭 손실을 줄여주는 구간이다. 이후에 일정시간 뒤에 벡 스위치를 턴 온하여 변압기에 역전압이 인가된다. 이러한 스위칭을 반복하여 2차측에 전압을 인가하게 되고 벡 스위치의 턴 온 시간의 변화에 따라 출력전압이 변화하게 된다.

2.2 ZVS 방식의 고강압 DC-DC 컨버터용 변압기

제 원		단위	Sample	
Core	재질	-	PM7	
	두께	[mm]	122.5	
	저항율	[Ω m]	2.454	
	해석온도	[$^{\circ}$ C]	25	
Coil	재질	-	Litz Wire	
	단면적	1차측	[mm ²]	22
		2차측	[mm ²]	30.5
	턴 수	1차측	턴	60
2차측		턴	20	
저항	1차측	[m Ω]	16.9	
	2차측	[m Ω]	4.3	

〈그림 3〉 변압기 설계제원

본 시스템에 구성될 변압기는 고주파로 동작하는 변압기로서 코어에 히스테리시스손과 와류손에 의한 높은 철손이 발생되는 것이 예상되어 전기 강판을 적층하는 구조가 아닌 ferrite 코어를 선정하였고 Wire도 고주파에 의한 표피효과를 줄이기 위해 Liz-Wire로 선정하여 설계하였다. 설계제원은 그림 3과 같이 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램을 통하여 코어의 자속밀도를 0.3[T]이하로 하여 크기를 산정하였다.

3. 실험 결과

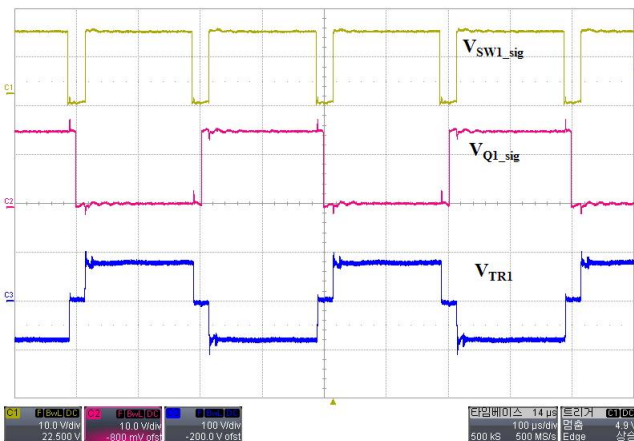
표 1은 본 시스템에서 사용된 ZVS DC-DC컨버터의 파라미터이다. 제어기는 DSP(TMS320F28335)를 사용하여 제어 및 게이트 회로를 구성하고 그림 4와 같이 구성하였다.

<표 1> 시스템 파라메타

입력 전압	1500[Vdc]	출력 전압	380[Vdc]
정격 전력	100[kW]	스위칭 주파수	3[Khz]
L_f	300[uH]	C_f	6600uF
변압 비	3:1	인덕턴스	15[mH]

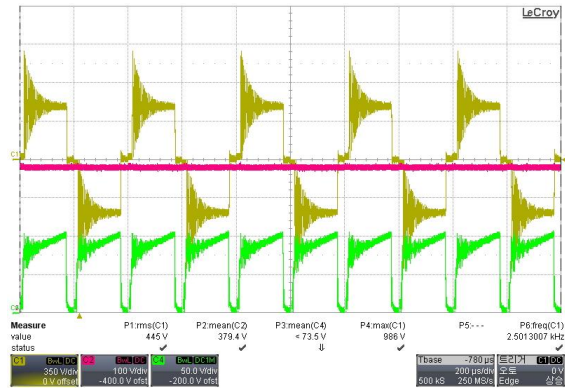


<그림 4> 고강압 DC-DC 컨버터 사진



<그림 5> 게이트 신호 및 변압기 입력 파형

그림 5는 SW1, Q1의 스위칭 신호 및 변압기 1차측 전압 파형이다. 풀브릿지단 스위치가 일정 간격마다 턴 온오프 동작을 하고 있으며 Q1의 스위칭 전에 SW1스위치가 턴 오프 동작을 하여 ZVS동작이 정상적으로 가능하였으며 스위칭에 따라 변압기의 1차측 전압이 인가되고 있음을 확인할 수 있다.



<그림 6> 입력전류, 출력전압, 2차측 전압 출력파형



<그림 7> 고강압 DC-DC 컨버터 입, 출력 결과

그림 6은 변압기 2차측 전압 및 출력전압, 입력전류 파형이다. 스위칭이 됨에 따라 상하로 교번하는 파형이 인가되지만 스너버 커패시터 영향으로 링잉이 발생하고 있으며 추후 스너버 최적 설계를 통해 개선할 예정이다. 이의 출력전압 380[Vdc]가 정상적으로 출력되고 있고 입력전류는 그림과 같은 파형을 보이고 있다.

그림 7은 고강압 DC-DC 컨버터 입, 출력 결과로서 100[kW]부하에 대해 1500[Vdc]입력에서 정상적인 동작이 가능하였으며 효율은 95.82%를 보이고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 저압직류 배전을 위한 ZVS방식의 100kW급 DC-DC컨버터를 제안하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다. 그 결과 직류 1500[Vdc]의 조건에서 380[Vdc]의 출력이 가능하였으며 100[kW]의 부하에서 95.8%의 효율을 보이며 정상적인 동작이 가능하였다. 본 시스템의 경우 스너버 최적 설계가 되지 않아 출력에 손실이 발생하고 있으며 출력단 필터조정을 통하여 백 스위치 ZCS동작을 하게 되면 좀 더 고효율의 전력변환기 구성이 가능할 것으로 생각 된다.

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.
(No.2013T100200060)

[참고 문헌]

- [1] Kyoung-Ho Lee, "Low Voltage DC Distribution Technology for the Green Building", KIEP Magazine, Vol.15, No.5, pp.32-39, 2010.
- [2] Byung-Moon Han, Seung-Il Moon, Jin-Boo Choo, "Resonant Fly-back Converter for Direct-Current Distribution System", The Trans. of KIEE, Vol.47, No.12, pp.2121-2126, 1998.
- [3] Seung-Ruong Kim, Han-Geol Sum, Man-Seung Han, Sung-Jun Park, "Novel ZVS Switching Method of Full-bridge Converter", The Trans. of KIEP., Vol.16, No.5, pp.477-483, 2011.