

LVDC 배전을 위한 75kW급 양방향 컨버터 연구

이정용, 김호성¹, 조진태², 김주용², 조영훈
건국대학교 전력전자 연구실, 한국전기연구원¹, 한전 전력연구원²

A Study on 75kW Bidirectional Converter for LVDC Distribution

Jung Yong Lee, Ho Sung Kim¹, Jin Tae Cho², Ju Yong Kim², Younghoon Cho
Konkuk Univ. KOPEL, KERI¹, KEPRI²

ABSTRACT

A new DC DC converter circuit for LVDC(Low Voltage Direct Current) distribution is proposed. DC DC converter consists of two stage which are voltage balancer and converter stage. The balancing circuit adjust balance input voltage of converter circuit and compensate for unbalanced loads and short circuits. The converter circuit control the bipolar output voltage $\pm 750V$. Simulation is carried out for this DC DC converter system.

1. 서론

신재생 에너지 및 분산전원 그리고 에너지 저장장치(ESS)에 대한 연구와 수요가 증가하고 있다. 태양광 발전과 같이 분산 전원을 이용한 발전은 직류전력을 생산하고 직류 기반의 디지털 부하 등의 수요가 증가함에 따라 직류 배전에 대한 필요성이 부각되고 있다. 교류를 직류로 변환하기 위해서는 여러 스테이지의 전력변환 장치를 거쳐야하기 때문에 손실이 발생하여 효율이 낮다. 교류 배전을 직류 배전으로 대체할 경우 교류를 직류로 변환하는 정류 과정이 필요 없으므로 전력효율을 높일 수 있다.^[1]

기준에 구축된 배전망의 교류를 받아 LVDC 배전망을 구축하기 위한 방안으로 SST(Solid Stage Transformer)가 각광받고 있다. SST는 교류계통에서 사용하고 있는 배전용 변압기를 대체하는 전력변환 장치이다. 배전용 변압기는 상용주파수에서 동작하며, 출력되는 전력은 입력되는 전력의 품질에 의존하게 된다. 반면, SST는 높은 대역의 주파수에서 작동하므로, 시스템의 소형화가 가능하고, 출력 전력을 제어하기 때문에 고품질의 전력을 공급할 수 있다.^[2]

일반적으로 SST시스템은 크게 AC DC정류기 와 DC DC 컨버터로 나뉜다. 본 논문에서는 고압의 교류 전압 13.2kV를 정류하여 생성된 1800V전압을 양극성 LVDC 배전망에 적용하기 위한 DC DC 컨버터 토폴로지 및 제어방안을 소개하고 시뮬레이션을 통해 검증한다.^[1]

2. 양극성 컨버터 설계

2.1 토폴로지

본 논문에서는 LVDC 배전을 위한 컨버터의 새로운 토폴로지를 제안하였다. $\pm 750V$ 의 양극성 출력을 갖는 배전용 컨버터를 설계하기 위해 불균형 부하에서도 컨버터가 안정적으로 전력을 공급과 전압의 균형 제어를 하는 전압 균형회로와 양극 $\pm 750V$ 를 제어하는 DC DC컨버터로 나뉜다.

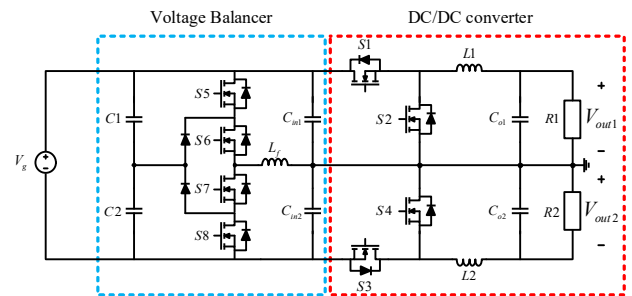


그림 1 양극성 컨버터 토폴로지
Fig. 1 A bipolar converter topology

전압 균형회로는 3 레벨 NPC(Neutral Point Clamping)컨버터 회로구조로 되어있으며, DC DC컨버터에 입력되는 전압을 $\pm 900V$ 로 제어한다. 전압 균형회로는 DC DC컨버터 입력 커패시터 전압의 균형을 제어하는 역할을 수행함과 동시에 컨버터의 부하가 불균형한 경우에도 안정적인 동작을 할 수 있도록 한다. 특히 단일 극전압 출력 부하가 단락과 같은 사고 상황에서도 컨버터의 동작을 안정화 한다.

DC DC컨버터는 두 개의 동기 벽 컨버터가 중성점을 공유하는 대칭의 구조로 구성되어 있다. 일반적으로 사용하는 동기 벽 컨버터의 설계 방법과 동일하게 수동소자의 용량을 선정할 수 있다. 또한 동일한 구조의 컨버터를 가지기 때문에 동기식 벽 컨버터의 제어기 구성과 동일하게 제어기를 설계한다.

2.2 제어방법

2.2.1 전압 균형 회로 제어

그림 2 는 전압 균형 회로의 제어기이다. 제어기는 2중 루프로 되어있다. 외부 루프는 PI제어기를 이용해 C_{in1} 과 C_{in2} 전압의 차를 0으로 제어하고, 내부 루프는 L_f 의 전류를 PI제어기를 이용해 제어한다.

양극성 컨버터의 양극 전압 출력 중 하나의 부하에 단락 사고가 발생했을 경우 부하의 단락 사고가 해결된 후 정상적인 양극 전압 제어위해 전압 균형 회로의 각 제어 루프에는 반드

시 anti windup이 포함되어야 한다.

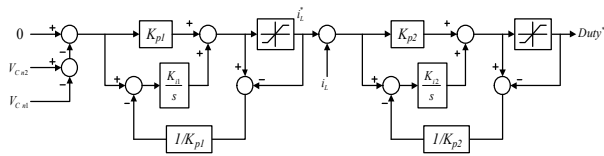


그림 2 전압 균형 회로 제어
Fig. 2 controller of voltage balancing circuit

2.2.2 DC-DC컨버터 회로 제어

그림 3 은 DC DC 컨버터의 V_{out1} 의 전압 제어기 구조를 보여준다. DC DC 컨버터는 V_{out1} 과 V_{out2} 의 전압을 동일한 게인을 갖는 제어기로 양극성 전압을 각각 제어한다.

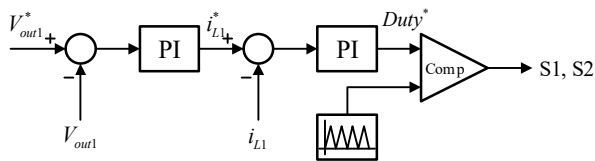


그림 3 DC-DC 컨버터 제어기
Fig. 3 controller of DC-DC converter

3. 시뮬레이션

표 1은 제안한 양극성 컨버터의 시스템 파라미터이며, 인덕터의 용량은 벡 컨버터와 부스트 컨버터의 인덕터 전류식 (1), (2)를 통해 설계하였다. 양극 출력이 37.5kW인 전부하 조건에서 인덕터의 평균전류에 10%내로 전류 리플이 제한되도록 설계하였다. 이외의 시스템 파라미터 역시 동기 벡 컨버터의 설계 공식에 따라 선정하였다.

$$\Delta i_{l-buck} = \frac{V_{dc} - V_{out}}{L} DT \quad (1)$$

$$\Delta i_{l-boost} = \frac{V_{out}}{L} DT \quad (2)$$

Psim 시뮬레이션 툴을 이용해 설계한 시스템을 검증하였다. 그림 4는 컨버터 부하의 불균형 조건에서 출력 전압 제어에 대한 시뮬레이션 파형이다. 양극에 각각 37.5kW 출력 제어가 이루어지고 있을 때, 0.5초 시점에서 40% 불균형 부하가 생길 때 시뮬레이션 결과를 보여준다. 급격한 부하의 변동에서도 안정적인 균형제어와 출력 전압 제어를 확인하였다.

그림 5는 컨버터에 단락 사고가 발생했을 때의 시뮬레이션 파형이다. 단락 사고가 발생했을 때, 단락 사고가 발생된 회로에 흐르는 전류가 제한되고 다시 정상 작동되는 파형을 보여준다.

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System parameters

L_f	1.25mH	$L1, L2$	1.25mH
C_{in1}, C_{in2}	0.5mF	C_{o1}, C_{o2}	0.75mF
f_{sw}	20kHz	$R1, R2$	15Ω
$C1, C2$	0.25mF		

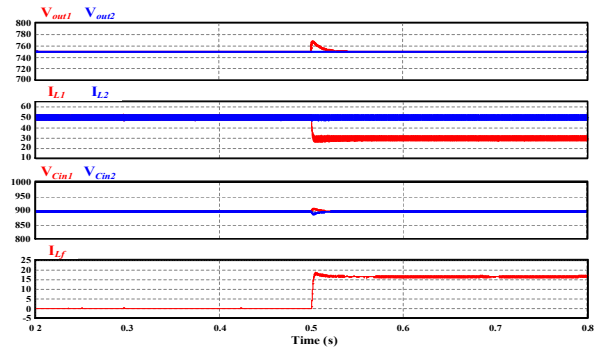


그림 4 불평형 부하 조건에서의 출력 파형
Fig. 4 The output waveforms in unbalance load condition

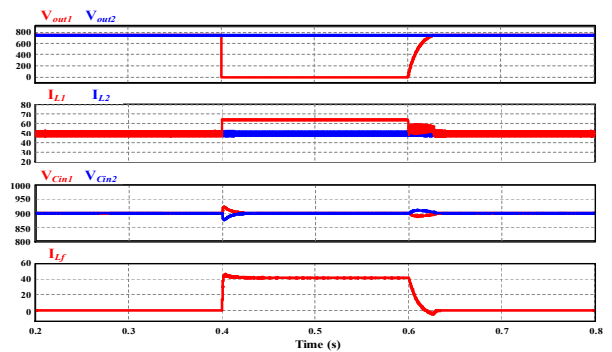


그림 5 단락 사고 시 출력 파형
Fig. 5 The output waveforms in short-circuit accident

4. 결론

본 논문에서는 직류 배전용 SST시스템의 새로운 DC DC 컨버터 토폴로지를 소개하였다. 또한 전압균형회로와 컨버터의 제어기 구조를 소개하였으며 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 향후에는 시스템을 제작하여 시뮬레이션을 기반으로 실험을 진행할 계획이다.

본 연구는 한국전력공사 전력연구원에서 수행중인 "저압 직류배전망 독립성 실증 연구" 과제의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(D3080)

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다. (No.20174030201660)

참고 문헌

[1] Hualei Wang and M. A. Redfern, "The advantages and disadvantages of using HVDC to interconnect AC networks," 45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010, Cardiff, Wales, 2010, pp. 1-5.

[2] Hyeok Jin Yun, Myoung-ho Kim, Ju Won Baek, Ju Yong Kim, Hee Je Kim. "A Study of the Three Port NPC based DAB Converter for the Bipolar DC Grid." THE TRANSACTIONS OF KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS, 22.4 (2017.8): 336-344.