

계통 불평형시 다중 터미널을 갖는 MMC의 순환전류 저감 제어

홍시형, 이동춘
영남대학교Circulating Current Reduction Control of MMC with Multi-Port
under Unbalanced Grid ConditionSihyeong Hong and Dong-Choon Lee
Yeungnam University

ABSTRACT

본 논문은 다중 터미널을 갖는 모듈형 다단 컨버터(Modular Multilevel Converter)에서 전원전압 불평형 시 제어방법에 대하여 제안한다. MMC의 불평형 전원전압 운전 시 입력 3상 전류 불평형, DC링크의 전력 리플 증가의 문제가 발생한다. 본 논문의 MMC는 서브모듈에 DC-DC 컨버터를 통해 다중 터미널을 갖는 형태로 구성되어 있으며 전원전압 불평형 조건 하에서 DC-DC 컨버터를 사용하여 MMC의 순환전류를 제어하여 불평형 전원의 영향을 감소시키는 제어기를 제안하며 시뮬레이션을 통하여 그 유효성을 입증한다.

1. 서론

MMC의 낮은 dv/dt , 총고조파왜율 등의 장점으로 인해 고전압(HV), 중전압(MV) 시스템에서 매력적인 기술로 연구되어왔다. 또한 서브모듈을 이용하여 LVDC 계통을 추가할 수 있어 다중 터미널 MMC는 신재생 에너지 혹은 ESS 등과 연결된 마이크로 그리드 시스템에서 관심도가 증가하고 있다.^[1] 본 논문의 MMC는 각 서브모듈에 CLLC 공진형 컨버터를 결합하여 LVDC를 구성하고 MVDC, MVAC, 2개의 LVDC의 다중 터미널을 갖도록 구성하였다.

3상 전원 시스템에서 비선형 부하가 연결되어 MMC의 전원 전압이 불평형 될 수 있으며 이는 AC 그리드의 전류 불평형, DC 링크의 전력 리플 증가를 야기시켜 순환전류의 왜곡, 서브모듈 커패시터의 전압 리플 증가, 소자의 온도 불평형, 성능 저하 등의 문제를 발생시킨다.^[2] 이에 본 논문에서는 다중 터미널을 갖는 MMC에서 전원 불평형으로 생기는 순환 전류를 CLLC 공진형 컨버터로 제어하는 제어방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 유효성을 입증한다.

2. MMC 회로 모델링 및 불평형 전원시 분석

2.1 MMC 회로 분석

Fig. 1은 다중 터미널을 가진 MMC의 회로도이다. MMC 컨버터에서 각 상은 레그라고 칭하며 하나의 레그는 상단 압과 하단 압으로 구성된다. 각 압을 구성하는 서브모듈은 하프브리지이며 CLLC 공진형 컨버터와 연결된다.

Fig. 2은 CLLC 공진형 컨버터의 회로도이다. CLLC 공진형 컨버터의 1차측은 각 레그의 i 번째 서브모듈과 연결되며 2차

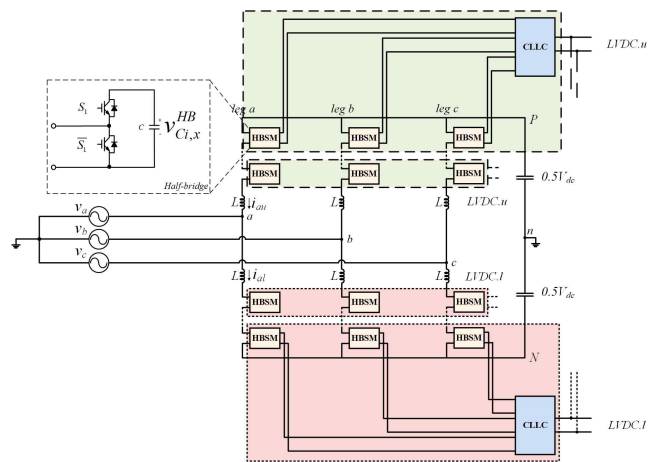


Fig. 1 MMC with multi-port.

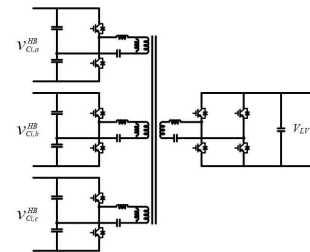


Fig. 2 CLLC resonant converter.

측은 상단 압, 하단 압 각각의 CLLC 공진형 컨버터와 연결된다.

2.1.1 정상상태일때의 회로 분석

정상상태의 MMC의 3상 전원전압은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있고 3상 전류는 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_x = V_m \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

$$i_x = I_m \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

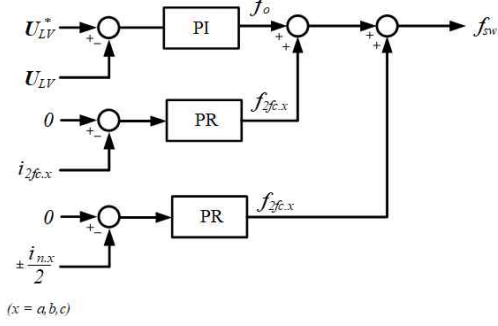


Fig. 3 Control block diagram of resonant converter

이 때의 각 압 전류 수식은 식 (3),(4) 과 같다.

$$i_{x,u} = \frac{i_{dc}}{3} + \frac{i_x}{2} \quad (3)$$

$$i_{x,l} = \frac{i_{dc}}{3} - \frac{i_x}{2} \quad (4)$$

컨버터 내부의 전력손실이 없다고 가정할 때 식 (5)는 MMC 입력과 출력의 전력 관계식을 나타내며, 식 (6)은 순환전류의 수식을 나타낸다.

$$P = v_x i_x = V_{dc} I_{dc} + P_{LVDC} \quad (5)$$

$$i_{dc} = I_{dc} + I_{2rd,x}^- \quad (6)$$

2.1.2 불평형 전원일 때의 회로 분석

전원전압이 불평형 할 시 3상 전압과 전류는 식 (7),(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_x = V_m^+ \cos(\omega t + \phi_x^+) + V_m^- \cos(\omega t + \phi_x^-) \quad (7)$$

$$i_x = I_m^+ \cos(\omega t + \phi) + I_m^- \cos(\omega t + \phi) \quad (8)$$

이 때 순환전류의 수식은 식 (9)와 같다.

$$i_{dc} = I_{DC} + I_{DC,x} + I_{2rd,x}^+ + I_{2rd,x}^- + I_{2rd}^0 \quad (9)$$

그림 3은 전원전압 불평형에 의해 생성되는 $I_{DC,x}$ 와 $I_{2rd,x}^+$ 를 제어하기 위한 제어 블록도이며 각 3상 전류는 CLLC 공진형 컨버터의 변압기에서 서로 상쇄되어 LVDC측에 영향을 미치지 않는다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 제어를 검증하기 위해 시스템을 구성하고 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

Fig. 3은 다중 터미널을 갖는 MMC의 전원전압 불평형 시 전원전압, 3상 전류, 3상 역상분 전류에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 제어기로 인해 3 상 전류의 평형이 달성되며 LVDC측에는 큰 리플이 나타나지 않는다..

Table 1 Parameters of simulation

V_m	97 V	V_{MV}	200 V
V_{LV}	23 V	V_c	50 V
L_{arm}	1.5mH	R_{arm}	0.1 Ω
f_{tri}	2000Hz	N	4

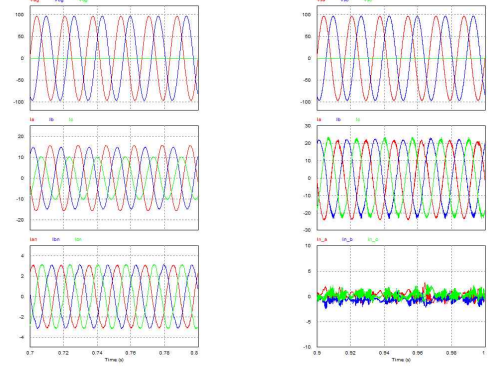


Fig. 4 MMC under unbalanced condition (a) without control (b) with control

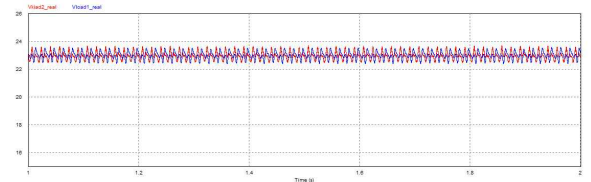


Fig. 4 LVDC Voltage

4. 결론

본 논문에서는 계통 불평형시 멀티터미널을 갖는 MMC의 순환전류 제어를 통하여 불평형 전원의 문제점을 감소시키는 방법을 제안하였다. 그에따라 시뮬레이션을 진행하여 3상 전류 불평형 감소를 확인하였다.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea Government (MSIT) (No. 2022R1A4A1031885).

참 고 문 헌

- [1] Fei Zhang, G. Joós and Wei Li, "A multiport modular multilevel DC-DC converter," 2016 IEEE 7th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Vancouver, BC, Canada, 2016, pp. 1-7,
- [2] Won-Seok Do, Si-Hwan Kim, "A study of Circulating Current in MMC based HVDC System under an Unbalanced Grid Condition.", IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Dallas, TX, USA, 2014, pp. 4146-4152