

MMC 시스템에서 암 전류 센서 스케일링 오차 보상 기법

최재원, Belete, 김장목
부산대학교 전기공학과

Compensation Method of Arm Current Sensor Scaling Error in MMC System

Choi Jae Won, Negesse Belete Belayneh, Kim Jang Mok
Department of Electrical Engineering, Pusan National University

ABSTRACT

MMC 시스템은 각 암의 전류를 측정하기 위해 총 6개의 전류 센서를 사용한다. 이 때 암 전류 센서의 스케일링 오차가 발생하면, 암 전류에 포함된 스케일링 오차 계수로 인해 순환 전류가 효과적으로 제어 되지 않는다. 본 논문에서는 암 전류 센서의 스케일링 오차에 대한 보상 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 실험을 통해 검증하였다.

1. 서 론

일반적인 MMC(Modular Multilevel Converter) 시스템은 그림 1과 같이 병렬로 연결된 3개의 레그로 구성된다. 각 레그는 상단과 하단 암으로 구성되며 각 암은 순차적으로 연결된 N개의 서브 모듈과 암 인덕터로 구성된다. 각 암에 흐르는 암 전류를 통해 순환 전류를 구할 수 있으며, 순환 전류는 소자의 정격 상승 및 출력 전류의 손실을 증가시킨다. 앞서 정의한 순환 전류는 순환 전류 저감 알고리즘(Circulating Current Suppressing Control, CCSC)을 사용하여 억제 할 수 있다. 그러나, 암 전류 센서의 스케일링 오차가 발생한 경우 암 전류에 오차 계수가 포함되어 순환전류를 제어할 수 없다.

2. 본 론

2.1 암 전류 센서 스케일링 오차에 의한 MMC 모델링

MMC 시스템에서 암 전류는 식(1), (2)로 정의할 수 있다. 그리고, 식(3)과 같이 상단과 하단 암 전류의 평균을 통해 순환 전류에 대해 정의할 수 있다.

$$I_{pj} = \frac{I_{dc}}{3} + \frac{1}{2} I \sin(\omega_0 t) + I_2 \sin(2\omega_0 t) \quad (1)$$

$$I_{nj} = \frac{I_{dc}}{3} - \frac{1}{2} I \sin(\omega_0 t) + I_2 \sin(2\omega_0 t) \quad (2)$$

$$I_{\leq g} = \frac{(I_{pj} + I_{nj})}{2} = \frac{I_{dc}}{3} + I_2 \sin(2\omega_0 t) \quad (3)$$

이 때, 암 전류 센서에서 스케일링 오차가 발생하면 식(1)~(3)에서 정의한 상, 하단 암 전류 식과 순환 전류 수식은 스케일링 오차 계수를 포함한 수식으로 다시 정의된다.

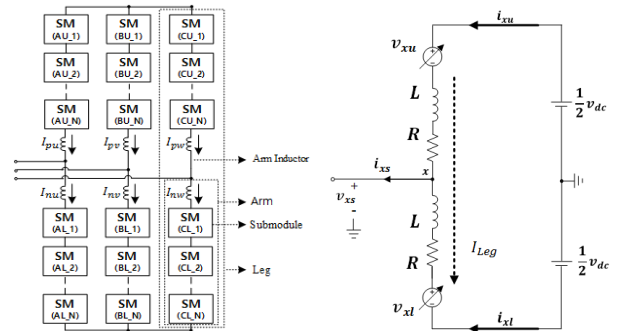


그림 1 N-레벨 MMC 토폴로지

그림 2 MMC 단상 등가모델

$$I_{pj} = K_1 \left[\frac{I_{dc}}{3} + \frac{1}{2} I \sin(\omega_0 t) + I_2 \sin(2\omega_0 t) \right] \quad (4)$$

$$I_{nj} = K_2 \left[\frac{I_{dc}}{3} - \frac{1}{2} I \sin(\omega_0 t) + I_2 \sin(2\omega_0 t) \right] \quad (5)$$

$$I_{\leq g} = \frac{(K_1 + K_2)I_{dc}}{2} + \frac{(K_1 - K_2)I \sin(\omega_0 t)}{4} + \frac{(K_1 + K_2)I_2 \sin(2\omega_0 t)}{2} \quad (6)$$

식(4)~(6)에서 언급된 K_1, K_2 는 각 암에서 측정된 전류 센서 스케일링 오차 계수이다. 식(6)과 같이 스케일링 오차가 발생한 경우 순환 전류는 오차 계수를 가진 형태의 직류와 2차 고조파 성분과 더불어 기본파 성분을 포함하게 된다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이, 기본파 성분은 전류 센서의 스케일링 오차 발생 시 순환 전류 성분 중에 가장 지배적인 요소가 되므로 이를 보상하여 순환 전류를 저감 할 수 있음을 알 수 있다.

2.2 제안하는 스케일링 오차 보상 방식

Leg의 상, 하단 암 스케일링 오차는 한 주기 $[0, 2\pi]$ 동안 검출된다. 이러한 방식으로 유도된 상, 하단 암 전류의 수식을 서로 감산하여 한 주기에 대해 적분을 취하면 다음과 같은 결과를 유도할 수 있다.

$$I_{nj} - I_{pj} = (K_2 - K_1) \frac{I_{dc}}{3} + \frac{1}{2} (K_2 - K_1) I \sin(\omega_0 t) + (K_2 - K_1) I_2 \sin(2\omega_0 t) \quad (7)$$

$$\int_0^{2\pi} (I_{nj} - I_{pj}) d(\omega t) = (K_2 - K_1) \frac{I_{dc}}{3} * 2\pi \quad (8)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (I_{nj} - I_{pj}) d(\omega t) = (K_2 - K_1) \frac{I_{dc}}{3} \quad (9)$$

식(8)과 (9)에서 확인 할 수 있듯이, 상, 하단 암 전류의 차를 한 주기에 대해 적분하면 기본과 성분과 2차 고조파 성분이 소거되어 직류 성분만이 존재하는 것을 확인 할 수 있다. 최종적으로 추출 된 스케일링 오차 계수의 차이를 통해 0으로 제어 하여, 발생한 스케일링 오차를 보상한다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서는 MATLAB/Simulink에서 5 레벨 MMC 시스템을 설계하여 제안 된 전류 센서 스케일링 오차 보상 알고리즘의 유효성을 검증하였다. 설계한 MMC 시스템은 입력 측에 일정한 직류 전압과 출력 단에 R, L 부하를 연결한 인버터 모드로 동작한다. 시뮬레이션 검증은 알고리즘 유무에 따른 순환 전류의 크기 비교, 스케일링 계수 비교, 서브 모듈 전압의 오차 비교, THD 비교 등을 통해 제안하는 알고리즘의 타당성을 검증했다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

DC Voltage	150V	No. of SM	4EA
SM Capacitance	2200uF	Cap Voltage	37.5V
Arm Inductor	5mH	Sampling freq.	10KHz
Load Resistor	10Ω	Load Inductor	5mH

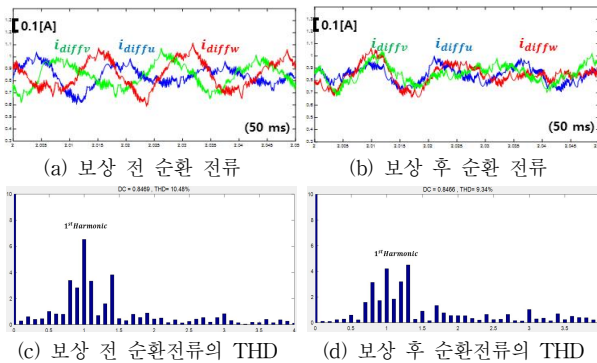


그림 3 시뮬레이션 파형

4. 실험

본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 검증을 위해 5 레벨 Back to Back MMC 시스템을 사용하여 알고리즘의 유효성을 검사하였다. 사용한 실험 장비는 입력 측에 DC Power Supply를 통해 일정한 직류 전압을 인가 받고, 출력 단에 R, L 부하를 연결한 인버터의 형태로 실험을 진행하였다. 실험을 통한 알고리즘 검증 과정은 보상 알고리즘이 없는 상태에서 전류 제어와 순환 전류 제어기를 통해 실험 장비의 정상 상태 동작을 검증한 후, 암 전류 센서 스케일링 오차에 대한 실험을 진행하였다.



그림 4 5-레벨 MMC 시스템 실험 세트

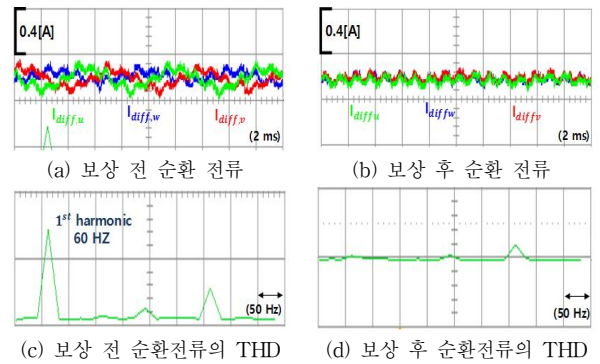


그림 5 실험 파형

5. 결론

기존의 순환전류 저감 제어를 통해, 6개의 전류센서로부터 측정된 상 하단 암 전류를 이용하여 2차 순환전류 성분을 효과적으로 억제 할 수 있다. 하지만 전류 센서에 스케일링 오차가 포함된 경우 기존의 제어방식으로는 순환전류에 2차 이외에 추가적으로 발생하는 성분에 대하여 제어가 불가능 하다. 따라서, 스케일링 오차를 발생시키는 계수를 추출하여 제안하는 알고리즘을 통해 보상하였다. 그 결과 기존의 제어로 보상하지 못하는 성분들을 0으로 제어하는 확인했다. 그리고 제안한 알고리즘을 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Han-Su Jung, Seon-Hwang Hwang, Jang-Mok Kim, Cheul-U Kim and Cheol Choi, "Diminution of current measurement error for vector controlled AC motor drives," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 42, No. 5, 2006, Sep./Oct
- [2] A. Lesnicar, R. Marquardt, "An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range," IEEE Bologna powertech conference, June 23-26
- [3] Qingrui TU, Zheng Xu, Jing Zhang, "Circulating current suppressing controller in modular multilevel converters," Annual conference on IEEE industrial electronics society, 2010
- [4] Ji-Woo Moon, Chun-Sung Kim, Jang-Woo Park, Dae-Wook Kang, Jang-Mok Kim, "Circulating current control in MMC under the unbalanced voltage," IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 28, No 3, 2013, July.
- [5] Qingrui Tu, Zheng Xu, Yong Chang, Li Guan, "Suppressing DC voltage ripples of MMC-HVDC under unbalanced grid conditions," IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 27, No 03, 2012, July.