

응답성 향상을 위한 직류배전용 3상 AC/DC PWM 컨버터 출력전압 전향보상 기법

최형준*, 이춘복*, 현승욱*, 홍석진*, 원충연*
성균관대학교*

Feedforward Compensation Method of Output Voltage with 3Phase AC/DC PWM Converter on DC Distribution System for Improved Response

Hyeong Jun Choi*, Chun Bok Lee*, Seok Jin Hong*, Seung Wook Hyun*, Chung Yuen Won*
SungKyunKwan University*

ABSTRACT

This paper proposes the feedforward compensation method of output voltage with 3phase AC/DC PWM converter on DC distribution system for improved response. AC/DC PWM converter on DC distribution is required power supply of high quality because of renewable energy sources and load links. In general, Feedforward compensation method of 3phase AC/DC PWM converter receives the sensor input to the output current, load power. Resulting, error of the sensing values and communication cause time delay. Therefore, Feedforward compensation method through only the output voltage is proposed in this paper. The feedforward compensation method through only the output voltage can be applied to the two level AC/DC PWM converters, as well as multi level converter or inverter.

1. 서 론

최근 화석연료 고갈로 인한 유가상승, 환경오염 등의 문제가 대두되고 있다. 이로 인해, 최근 태양광 발전과 같은 분산전원의 연계가 용이한 직류배전 시스템이 각광받고 있다.

차세대 직류배전 시스템에서의 부하는 전압 변동물에 민감한 디지털 부하와 같은 신규 전력 수요들로 구성된다.^[1] 따라서 부하전력 변동에 따른 DC link 출력전압의 응답성 향상을 위한 제어가 필요하다. 본 논문에서는 3상 양방향 AC/DC PWM 컨버터를 이용한 새로운 전향보상기법을 제안하고 그에 대한 타당성 및 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 3상 AC/DC PWM 컨버터

그림 1은 3상 양방향 AC/DC PWM 컨버터의 회로도이다. 입력측의 인덕턴스 L_a, L_b, L_c 를 이용해 교류를 직류로 승압하여 출력하는 전압형 컨버터이다. 이러한 3상 양방향 AC/DC PWM 컨버터를 이용하면 교류계통 측 전류의 전고조파 왜율 (THD: Total Harmonic Distortion)이 적은 정현파 제어가 가능하고 역률 제어로 진상부터 지상까지 자유롭게 제어가 가능하다는 장점이 있다.

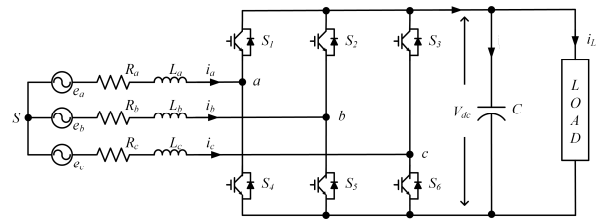


그림 1 3상 양방향 AC/DC PWM 컨버터의 회로도
Fig. 1 3Phase AC/DC PWM Converter schematic

2.1.1 정상상태 SVPWM

정상상태에서의 DC link 출력전압 제어 시 그림 2와 같이 일정한 공간 전압 벡터의 형태를 갖는다. 공간 전압 벡터 변조 방식(SVPWM)은 다른 변조방식에 비해 전압 이용률이 크며 전고조파 함유량이 적다는 장점을 가지고 있다. $V_1 - V_6$ 은 부하에 유효한 전압을 인가하는 유효 전압 벡터이고 그 크기는 모두 $2/3 V_{dc}$ 으로 고정되고 각각의 위상은 60° 의 차이를 가진다. V_0 와 V_7 은 무효벡터로써 영 전압 벡터라 한다.

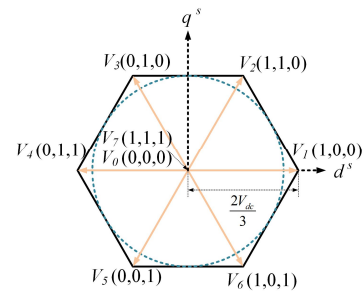
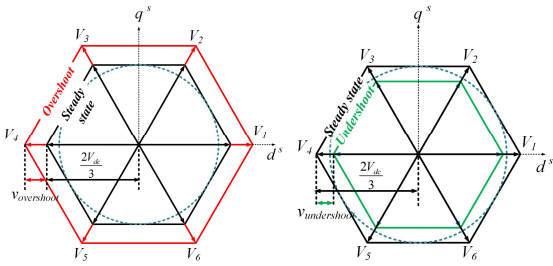


그림 2 복소수 공간에서 표현한 출력전압 벡터
Fig. 2 Output voltage represented in complex space

2.1.2 과도상태 SVPWM

2.1.1절에서의 설명과 같이 정상상태에서 SVPWM은 컨버터가 출력할 수 있는 8개의 스위칭 상태에 기준을 둔다. 하지만 과도상태에서 출력전압 V_{dc} 는 그림 3과 같이 시변하게 되고 과도상태에서의 유효전압 벡터는 식 (1)와 같이 오버슈트, 언더슈트전압을 내포 한다. 따라서 스위칭 상태에 따른 각 상전압은 식(2)와 같이 시변의 함수로 변화한다.

$$v_{\text{transient state}} = v_{\text{overshoot}} + v_{\text{undershoot}} \quad (1)$$



(a) overshoot 시 (b) undershoot 시

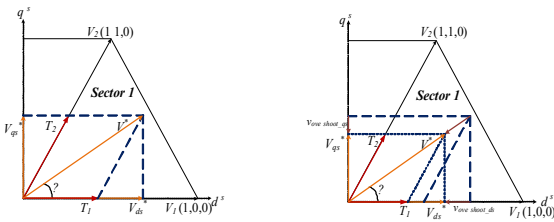
그림 3 과도상태 시 공간 전압 벡터 변화

Fig. 3 Space voltage vector changes in the transient state

$$\begin{aligned}
 V_{as} &= \frac{V_{dc} + v_{transient\ state}}{3} (2S_a - S_b - S_c) \\
 V_{bs} &= \frac{V_{dc} + v_{transient\ state}}{3} (2S_b - S_c - S_a) \\
 V_{cs} &= \frac{V_{dc} + v_{transient\ state}}{3} (2S_c - S_a - S_b)
 \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 응답성 향상을 위한 출력전압 전향보상기법 구현

일반적으로 식 (2)의 V_{dc} 크기는 MCU에서는 carrier 크기와 동기화 한다. carrier의 크기는 MCU에서 스위칭 주파수와 비례하기 때문에 식 (2)의 $v_{transient\ state}$ 전압을 보상하기 위해선 그림 4와 같이 지령전압을 가변 해야 한다.



(a) 정상상태 (b) 오버슈트 시 보상

그림 4 Sector1의 제안한 출력전압 전향보상기법을 적용한 벡터도

Fig. 4 Voltage vector diagram in the sector1

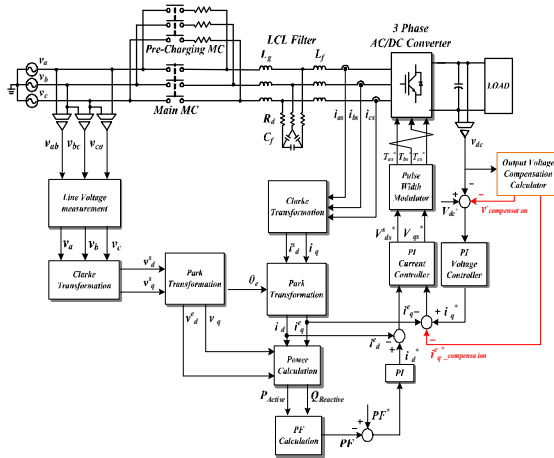


그림 5 제안하는 출력전압 전향보상기법을 적용한 3상 AC/DC 컨버터 제어 블록도

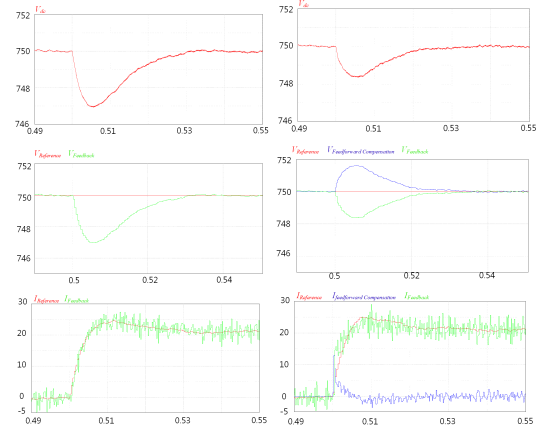
Fig. 5 3Phase AC/DC converter's controller scheme of proposed feedforward compensation method

따라서 과도상태 전압을 통하여 전압제어기 지령전압에 전향보상 한 수식은 식 (3)과 같다. 또한 전류제어기는 일반적으로 주파수 대역폭 등의 이유로 전압제어기 보다 10배 이상 빠르게 가져간다. 그러므로 과도상태 전압을 출력전류 즉, 유효전력 성분으로 모델링 하면 식 (4)와 같이 전류제어기의 전향보상 한다.

$$v_{compensation}^* = v_{transient\ state} \quad (3)$$

$$i_{q-compensation}^* = C \frac{dv_{transient\ state}}{dt} \quad (4)$$

2.3 시뮬레이션



(a) 적용 전 (b) 적용 후

그림 6 제안하는 출력전압 전향보상기법 비교 파형

Fig. 6 Waveform comparison of proposed output voltage feedforward compensation method

그림 6은 제안된 출력전압 전향보상기법을 적용하기 전과 후의 3상 AC/DC PWM 컨버터의 제어기의 값과 출력전압의 비교 파형이다. 보상 후 전류의 파형은 응답속도가 빠르고 출력전압은 과도상태에서 오버슈트 및 언더슈트 전압이 약 50% 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 논문은 부하 연결에 대한 응답성 특성을 개선하기 위한 출력전압 전향보상기법을 제안하였다. 제안한 출력전압 전향보상기법을 적용할 시 컨버터 DC link의 출력전압 변동률이 감소하는 것을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

이 논문은 2014년도 정부 (미래창조과학부) 의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2014R1A2A2A05006744)

참고 문헌

[1] H. Kakigano, Y. Miura, T. Ise: "Low Voltage Bipolar Type DC Microgrid for Super High Quality Distribution" in IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 25, pp. 3066-3075, Dec.2010