

# 3상 계통연계형 컨버터의 선형화를 위한 전향보상 기법

최형준\*, 현승욱\*, 원충연\*  
성균관대학교

## Feedforward Compensation Method for Linearization of Three-Phase Grid connected converter

Hyeong Jun Choi\*, Seung Wook Hyun\*, Chung Yuen Won\*  
SungKyunKwan University\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 3상 계통형 컨버터의 비선형성을 제거하기 위한 전향보상 기법을 제안하였다. 기존 제어방식은 출력전압 지령을 램프함수 형태로 인가하는 기법을 사용하여 오버슈트 전압을 저감해 주었다. 또는 램프함수의 초기 시작점에 대한 오차를 보완하기 위해 오프셋을 램프함수 초기에 더해주어, 제어 시작 시 발생하는 약간의 리플 전류를 저감해주었다. 하지만 이러한 리플 전류의 근본적인 원인은 제어기의 시작이 0에서부터 증가하여 과변조가 발생하기 때문이다. 이로 인한 순간적으로 큰 리플 전류는 더 높은 정격의 커패시터를 필요로 하게 되고, 이는 커패시터의 크기, 가격을 높이며 뿐만 아니라 소자의 수명을 단축시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 없애기 위해 제안하는 전향보상 기법을 적용하여 보다 선형적인 제어기를 구성하였다.

### 1. 서 론

최근 화석 연료의 고갈로 인해 신·재생 에너지에 대한 관심이 높아지면서 전 세계적으로 신·재생 에너지 발전량 또한 증가할 것으로 전망 하고 있다. 이와 더불어 태양광 발전, 풍력 발전과 같은 분산전원의 연계가 용이한 직류배전시스템에 대한 관심도 증가 하고 있다. 따라서 직류배전시스템에 적용되는 계통연계형 컨버터의 선형성을 위한 전향보상 기법을 제시함에 따라 비선형적 요소를 저감 시킨다. 이로 인해 출력 왜곡, 소음, 진동과 같은 문제점이 제거된다. 본 논문은 제안하는 전향보상 기법을 적용하여 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 계통연계형 AC/DC PWM 컨버터

그림 1은 계통연계형 AC/DC PWM 컨버터의 회로도이며 초기 충전 회로, LCL 필터 회로, AC/DC PWM 컨버터 회로로 3단계로 구성된다. 초기 충전회로는 DC Link(C)에 과도한 전류가 흐르는 것을 방지하여 RC시상수로 DC Link(C)전압을 충전시킨다. LCL 필터는 계통측에 고조파 전류가 흐르는 것을 방지하기 위한 필터 작용을 하며 L의 크기가 작아 다양한 장점을 지닌다. 마지막으로 AC/DC PWM 컨버터는 입력전압 승압이 가능하고 양방향 제어를 통해 역률, 전력 제어가 가능한 전압원 컨버터 이다.

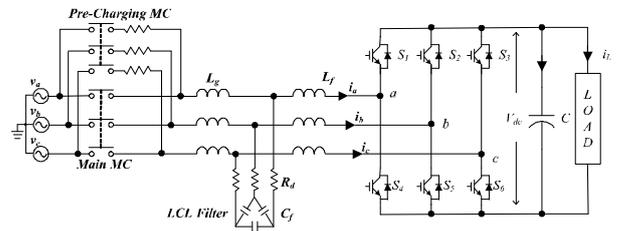


그림 1 계통연계형 AC/DC PWM 컨버터 회로도  
Fig. 1 Schematic of Three-Phase Grid connected AC/DC PWM converter

#### 2.2 기존 계통연계형 컨버터 제어

기존 계통연계형 컨버터의 제어 방식은 출력전압 지령의 형태에 따라 2가지로 나뉜다. 첫번째는 Soft starting 제어 방식이다. 식 (1)과 같이 현재 DC Link에 충전되어 있는 값( $v_{AB,pk}$ )부터 램프함수로 증가하여 출력전압 지령( $V_{dc}^*$ )을 얻는다. 이는 간단한 스텝함수 으로 출력전압 지령을 입력하는 방식과 비교하여 오버슈트가 매우 줄어든다. 그러나 DC Link에 흐르는 리플 전류가 커져 소자의 수명을 단축시키는 원인이 된다.

$$V_{dc}^* = v_{AB,pk} + \int_{t_0}^t u dt \quad (1)$$

두번째로 Soft starting 제어 방식의 단점을 보완하고자 식 (2)와 같이 초기 출력전압 지령에 임의의 오프셋( $V_{offset}$ )을 인가하여 제어하는 방식이 있다. 이는 Soft starting 제어 방식에 비해 리플 전류는 약간 감소하지만 완전히 개선되진 않는다.

$$V_{dc}^* = v_{AB,pk} + \int_{t_0}^t u dt + V_{offset} \quad (2)$$

#### 2.3 제안하는 전향보상 기법을 적용한 컨버터 제어

그림 2 (a)는 SVPWM의 정상상태에서의 공간 전압 벡터를 나타낸다. SVPWM의 전압 지령 벡터는 시계 반대 방향으로 회전하며 한주기 동안 한 바퀴 회전한다. 전압 지령 벡터는 인접한 두 유효벡터와 영전압 벡터를 이용하여 일정 변조 주기동안 평균적으로 동일한 전압을 만든다. 즉, 계통연계형 AC/DC PWM 컨버터의 DC Link전압이 안정화가 되었을 때, q축 PI전류제어기의 출력값을 레퍼런스로 하여 일정한 공간 전압 벡터를 만든다. 반대로 과도상태에서의 공간 전압 벡터도는 그림 2(b)와 같다. q축 PI전류제어기의 출력값이 점차 증가함에 따라 SVPWM의 공간 전압 벡터도 크기가 점차 증가하여 정상상태로 도달하는 시간이 지연됨을 확인할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션

계통연계형 AC/DC PWM 컨버터의 파라미터는 표 1과 같고 기존 컨버터 제어기법인 윗셋을 인가한 Soft starting 기법과 제안하는 전향보상 기법을 PSIM 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다.

표 1 계통연계형 컨버터 파라미터

Table 1 Parameters of three-phase grid connected converter

시스템 용량	50[kW]	DC link Capacitance	10200[μF]	
LCL Filter	$L_g$	120[μH]	Output voltage	700[V <sub>dc</sub> ]
	$C_f$	50[μF]	스위칭 주파수	5[kHz]
	$L_f$	500[μH]	초기 충전 저항	2[Ω]

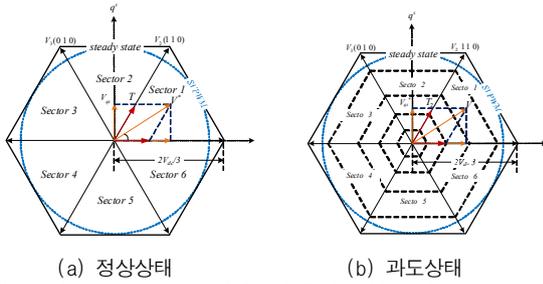


그림 2 정상상태와 과도상태에서의 공간 전압 벡터  
Fig. 2 Steady state and transient state in space voltage vector

본 논문에서 제안하는 제어 블록도는 그림 3과 같다. 따라서 앞에서 언급 한 q축 전류제어기의 출력에 전향보상하여 0에서부터 증가해 정상상태에 도달하는 것이 아니라 바로 계통 전압과 동기되어 제어 될 수 있다. 즉, 전향보상함에 따라 계통연계형 AC/DC PWM 컨버터가 MI값에 선형적으로 제어가능하다.

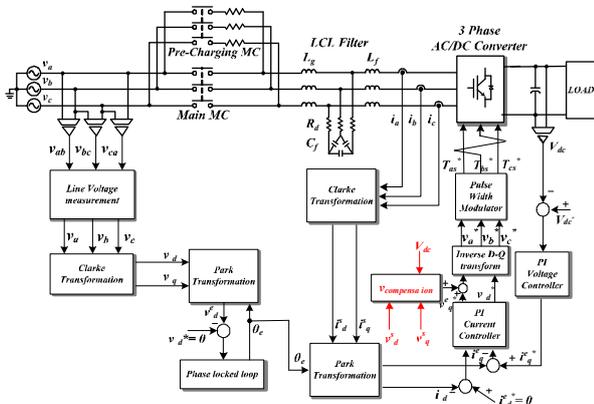


그림 3 전향보상 기법이 적용된 제어 블록도  
Fig. 3 Control block diagram applied feedforward compensation method

먼저 DC/AC 인버터의 MI(Modulation Index)는 식 (3)과 같이 계산된다. 하지만 본 회로는 AC/DC 컨버터이기 때문에 입력과 출력의 관계가 반대로 된다.

$$MI = \frac{2\sqrt{v_{ds}^2 + v_{qs}^2}}{V_{dc}} \quad (V_{dc} = V_{out}, \sqrt{v_{ds}^2 + v_{qs}^2} = v_{in}) \quad (3)$$

AC/DC PWM 컨버터는 구조적으로 Boost converter를 기반으로 설계되었다. 따라서 AC/DC PWM 컨버터의 전압전달비를 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$G_V\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right) = \frac{1}{1-D} \quad (4)$$

PI제어기의 출력은 듀티비이고 식(3), (4)를 정리하여 제어기의 출력을 계산할 수 있다. 식 (5)를 q축 전류제어기에  $v_{compensation}$ 을 보상하여 제어기의 출력을 선형적으로 구현할 수 있다.

$$v_{compensation} = \frac{\sqrt{v_{ds}^2 + v_{qs}^2}}{V_{dc}} \quad (5)$$

따라서 전류제어기의 출력에 가변 값은 제거되고 상수항만 남는다. 이로 인해 그림 2(b)와 같은 과도 상태는 없어지게 되고 그림 2(a)와 같이 안정적으로 제어된다. 때문에 스위칭에 과변조가 없어져 커패시터에 리플 전류가 사라진다

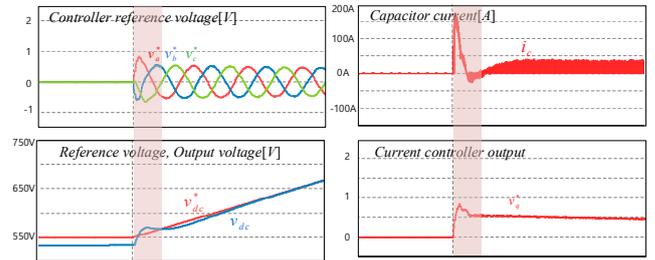


그림 4 윗셋을 인가한 Soft starting 제어 기법 파형  
Fig. 4 Waveform of soft starting control method applied offset

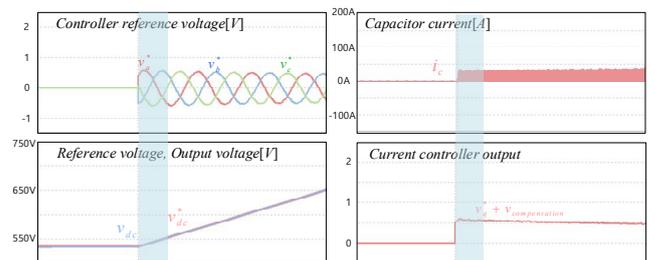


그림 5 선형화를 위한 전향보상기법 파형  
Fig. 5 Waveform of feedforward compensation method for linearization

### 4. 결론

본 논문은 3상 계통연계형 컨버터의 선형화를 위한 전향보상기법을 제안했다. 전향보상 기법을 적용할 시, 기존 제어방식과 비교하여 커패시터의 리플 전류 감소를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

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

### 참고 문헌

- [1] Dong choon Lee, "DC Bus Voltage Control of Three Phase AC/DC PWM Converter Using Feedback Linearization", Proceedings of the IEEE, Vol. 36, No. 3, pp. 826-833, 2000, MAY.
- [2] Vladimir Blasko, "A New Mathematical Model and Control of a Three Phase AC DC Voltage Source Converter", Proceedings of the IEEE, Vol. 12, No. 1, pp. 116-123, 1997, January.