

사각형 파형 드라이브 방식을 이용한 3상 양방향 컨버터 연구

최종원, 남광희
포항공과대학교

3-phase Bidirection Converter for Using Square-Wave drive

Jongwon Choi, Kwanghee Nam
POSTECH

ABSTRACT

본 논문은 사각형 파형(Square wave) PWM 방식을 사용한 3상 양방향 그리드 연결 컨버터에서 사용할 수 있는 제어 방법을 제안하였다. 사각형 파형 드라이브 방식은 정현파와 파형 방식보다 스위칭 손실이 작은 장점이 있다. 본 논문에서는 먼저 사각형 파형 방식으로 양방향 그리드 컨버터 회로 구성과 스위칭 패턴을 설명하고 입력 전압 동기화할 때 유의 사항을 분석하였다. Psim 시뮬레이션을 통하여 양방향 컨버터 기능의 유효성을 확인하였다.

1. 서론

최근 산업에서 에너지의 효율성이 주목을 받으면서 전기기기의 제어에 인버터가 사용이 증가되고 있다. 특히 수직부하를 다루는 항만 건설 크레인, 산업용 리프트 등에서는 4상한 운영이 가능한 인버터를 요구된다. 4상한 운전 시 모터링과 회생 에너지가 발생하며 가장 간단하고 방법으로 다이오드 정류기와 Dynamic Brake를 이용하며, 회생에너지가 발생 할 때 저항으로 태워버리는 방법이 있다. 그러나 고출력 인버터로 갈수록 산업 현장에서는 저항의 부피와 열이 문제가 되며 이와 같은 방법은 회생에너지를 낭비하게 된다. 그래서 최근에는 산업에서 3상 ac dc 양방향 컨버터의 수요가 증가 되고 있으며 이에 따라 해외 메이저 회사인 Siemens社, Yaskawa 社, 또한 한국 유수의 회사 등이 양방향 ac dc 컨버터를 생산하고 있다.

그 방식은 크게 PWM 방식으로 사각파, 정현파와 파형으로 구분 할 수 있다. 사각파와 파형 120도 통전 방식이며 정현파와 파형 방식은 180도로 통전 방식이다. 3상에서 사각형 파형과 정현파 파형의 특징을 비교한 결과가 표1에 있다^{[1][2]}. 사각파형 방식은 정현파 방식과 비교하여 역율은 안 좋지만 효율과 리액터의 사이즈를 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 사각형 파형 방식에는 전류에 많은 하모닉을 가지게 되고 특히 5차 7차 하모닉 성분이 큰 단점이 있으며, 하모닉 보상하기 위해서는 캐패시터와 인덕터를 이용한 수동필터들이 사용 되고 있다^[2].

본 논문에서는 사각형 방식 3상 컨버터의 회로 구성을 설명하고 스위칭 패턴을 설명하였다. 또한 컨버터 운전에서는 필수적인 알고리즘은 입력전압과 동기화를 위해 유의점과 어려움 점을 설명하였다. 그리고 Psim 시뮬레이션을 통하여 양방향 컨버터 기능의 확인하였다.

표 1 정현파 PWM방식과 사각파 PWM방식 특징 비교^{[1][2]}
Table 1 Comparison siunsoidal wave and square wave^{[1][2]}

항목	Line 리액터	효율	역율
사각형 파형	4 %	>98.5%	>0.96
정현 파형	8 %	>97%	1

2. 사각파 이용한 3상 AC-DC 양방향 컨버터

2.1 회로구성

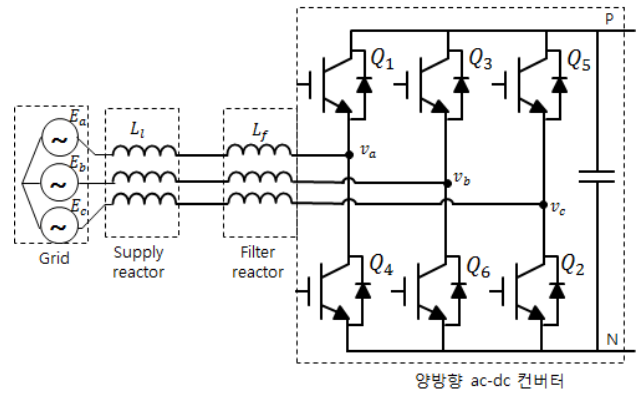


그림 1 회로 구성.

Fig. 2 Circuit configuration.

그림 1.에서는 양방향 ac dc 컨버터의 구성 그림을 볼수 있다. L_l 은 그리드의 라인 인덕턴스 값을 뜻하며, L_f 은 전류의 하모닉을 줄이기 위한 인덕터를 뜻한다. 본 논문에서는 라인 저항 값은 무시하였다. 3상 라인의 각 인덕스 값이 동일하다고 가정하면 전압 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_a = (L_l + L_f) \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (1)$$

$$v_b = (L_l + L_f) \frac{di_b}{dt} + e_b \quad (2)$$

$$v_c = (L_l + L_f) \frac{di_c}{dt} + e_c \quad (3)$$

2.2 스위칭 패턴

그림 2와 같이 본 ac dc 양방향 컨버터는 입력 Grid 전압과 동기화 되어서 동작하게 된다. 또한 세 개상 암(arm) 중에서는 한 암은 모든 스위치가 개방되어 있게 된다.

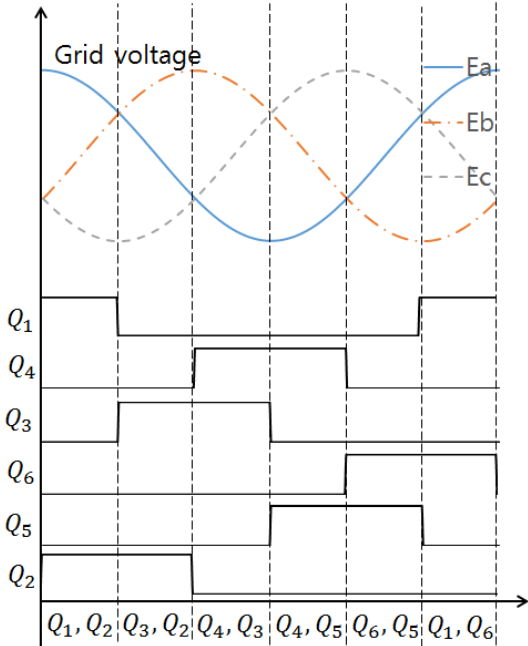


그림 2 입력 그리드 전압에 따른 게이트 신호
Fig. 2 Grid voltage and Gate signal.

2.3 입력 전압동기화 방법

그림 2.에서 입력 Grid 전압과 동기화 되어 제어 되므로 입력 전압과의 동기화는 매우 필수적인 요소 이다. 일반적으로 입력 전압의 선간전압을 추정하여 Phase Locked Loop (PLL) 알고리즘을 통하여 입력 전압의 각도성분을 얻어 낸다.^[3] 그러나 실제 사각형 파형을 이용하여 스위치를 하게 되면 그림 3.과 같이 선간전압 그림을 보여주게 되며 표2에서는 FFT분석 결과를 보여준다. 특히 5차, 11차, 17차 23차 하모닉 성분이 매우 크며 이는 PLL 알고리즘에서 대역폭을 제한 하게 되는 결과를 가져온다.

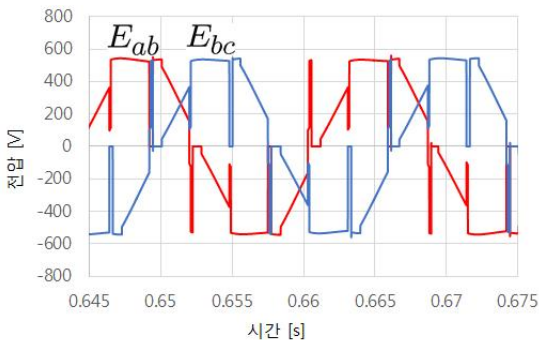


그림 3 중 부하시 전형적인 선간전압
Fig. 3 Typical line voltage with heavy load

표 2 전형적인 선간전압 FFT 분석 (그림. 3)
Table 2 FFT analysis of typical line voltage (Fig. 3)

차수	1	5	7	11	13	17	19	23	25
값[V]	529	75	30	60	33	50	30	40	20

표 2 시뮬레이션 파라미터

Table 2 Simulation parameters

항목	값	항목	값
입력 선간전압	380 Vrms	입력주파수	60 Hz
공급라인 인덕턴스(L_l)	300 μ H	필터 인덕턴스 (L_f)	40 μ H

3. 시뮬레이션 결과

그림 4. 그림 5에서 모터링과 회생 운전 시 두 가지 상황에서 양방향 컨버터로서 성공적으로 동작함을 보여준다.

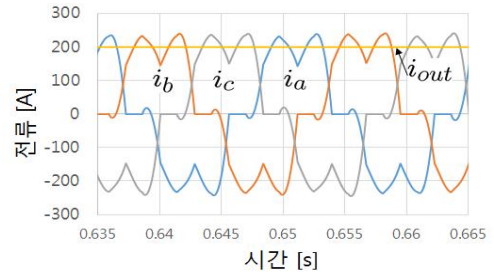


그림 4 모터링($P > 0$)으로 구동시 전류 파형

Fig. 4 Phase current and output current with motoring

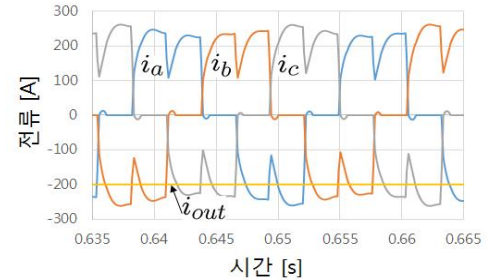


그림 5 회생운전시($P < 0$) 상전류와 출력 전류 파형

Fig. 5 Phase current and output current with regenerate operation

4. 결론

본 논문은 3상 사각파를 이용한 양방향 컨버터의 구동을 위한 스위칭 패턴 및 입력 전압 동기화 방법을 연구하였다. 그리고 시뮬레이션을 양방향 컨버터로서 성능을 확인하였다. 본 연구의 한계점은 본 논문에서는 입력 전압동기화 방법으로 기존 PLL 알고리즘을 사용하였지만 다음 연구에는 하모닉을 고려한 PLL 알고리즘 개발이 필요할 것으로 보인다.

이 논문은 포항공과대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] Sinamics Low Voltage Engineering Manual (Sinamics G130, G150, S120, Chassis, S120 Cabinet Modules, S150 Supplement to catalogs D11 and D21.3.
- [2] Sinamics S120 Cabinet Modules Equipment Manual
- [3] Rodriguez .et al., "Decoupled Double Synchronous Reference Frame PLL for Power Converters Control," Power Electron., IEEE Tran, vol.22, no.2, pp.584,592, Mar 2007.