

단상 PWM 컨버터에 적용한 공간 벡터 PWM

이 희면, 이 동명
홍익대학교 전자 전기 공학부

Adaptation of Space Vector Modulation to Single-Phase High Power PWM Converters

Hee Myun Lee, and Dong Myung Lee,

School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

ABSTRACT

In this paper, a voltage control method based on DQ transformation and Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) for a single phase three level converter is proposed. This control method is designed to use DC values instead of using instantaneous values of current which are usually used in single phase application, so that it results in a fast and robust voltage control response. Simulation results demonstrate the validity of the control strategies.

Keywords: Single Phase converter, PWM.

1. 서론

기존의 고속철도의 추진 시스템은 단상 컨버터를 병렬로 운전하는 방식이다^{[1][2]}. 이러한 병렬 운전 단상 컨버터간에는 간섭현상이 발생한다. 따라서 본 논문은 기존 철도 시스템에 사용하는 2레벨 컨버터보다 고조파 특성이 우수한 3레벨 컨버터^{[3][4]}를 적용한 단상 컨버터를 제안한다. 일반적으로 단상 컨버터에서는 DC 링크 전압을 제어하기 위해 인덕터 전류를 조절하는 지령전압은 인덕터 전류의 순시치와 입력전압의 위상과 지령치 전류치를 곱함으로써 생성되는 지령 사인 전류를 비교함으로써 발생된다. 순시치 전류제어를 하는 경우에는 제어기 게인을 증가시키지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 DC 링크전압 제어성을 향상하기 위해 DQ 변환을 통하여 회전자 좌표로 변환된 값을 통해 DC화된 전류치를 통해 발생한 지령전압과 공간 벡터변조 방식을 적용한다.

2. 제어기법

고조파를 줄이기 위한 기존의 병렬운전 단상 컨버터간 90도 위상 이동된 PWM 기법을 가진 2개의 PWM 컨버터를 사용한다. 그러나, 2개의 컨버터는 서로 연결되었고 순시값은 전류 제어기의 입력에 사용되므로 각각 컨버터 사이에 원치 않는 방해와 제어 이득의 증가가 어려워진다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 그림. 1.에서 나타난 것처럼 동기좌표계 전류 제어기를 적용한 단독 운전하는 3레벨 컨버터를 사용하는 제어방식을 제안한다. 또한, 본 논문에서는 단상 3레벨 컨버터 시스템을 위한 시뮬레이션 모델링과 SVPWM 방법을 제안한다.

단상으로부터 회전자좌표계 DQ값을 발생하기 위하여, 단상 입력 전압과 인덕터 전류는 가상의 정지좌표계 DQ값을 생성하기

위하여 90도 위상 천이기를 사용하여, 고정자 좌표계 dq 전류치 i_{ds} 와 i_{qs} 를 발생된다, 이 값들은 PLL 블록으로부터 얻어진 입력 전압의 위상각을 이용하여 회전자 좌표계 dq 전류, i_d 와 i_q 가 얻어진다. 단상 컨버터이나 제어 로직은 3상 컨버터 로직과 동일하므로 이 시스템의 전압 방정식은 삼상 컨버터와 같은 식 (1)로 표현할 수 있다..

$$\begin{aligned} v_{cq}^* &= -\left(k_p + \frac{k_I}{s}\right) \cdot (i_{qs}^* - i_{qs}) - \omega L_s i_{ds} + e_{qs}, \\ v_{cd}^* &= -\left(k_p + \frac{k_I}{s}\right) \cdot (i_{ds}^* - i_{ds}) + \omega L_s i_{qs} + e_{ds} \end{aligned} \quad (1)$$

역률을 1로 제어하기 위해서는 D축 전류는 영으로 제어되며, DC링크단 전압크기는 Q축 전류의 PI 제어기에 의해 제어된다.

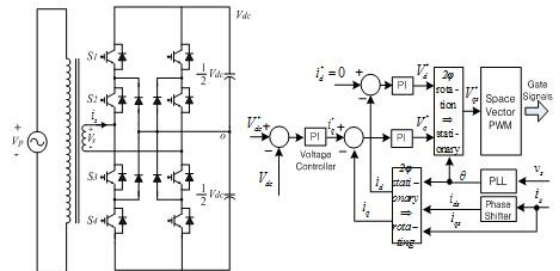


그림.1. 3레벨 단상 PWM 컨버터와 제안된 기법의 제어블록 다이어그램

Fig.1. Three-level single phase PWM converter and control block diagram of the proposed method.

멀티레벨 시스템의 경우 2개의 반송파와 기준파를 비교하여 스위칭을 하는 방식을 택할 수 있으나, 본 연구에서는 공간 전압 벡터 PWM 방식을 택하였다. 단상 컨버터의 A상과 B상 사이에 위상각의 차이는 180도이다. 3레벨 3상 컨버터에 지령전압은 24개 영역과 27개 벡터를 가진다. 이에 비하여, 단상 SVPWM의 경우 전압벡터는 그림. 2.에 보여진 것과 같이 $V_{dc} \sim V_{dc}/2$, $V_{dc}/2 \sim 0V$, $0V \sim -V_{dc}/2$, 또는 $V_{dc}/2 \sim -V_{dc}$ 같이 네 개 중에 하나에 놓여진다. 3상 어플리케이션과 같이, 지령전압은 식 (2) 처럼 단상 컨버터에서 인접한 전압의 할당된 스위칭 시간에 의해 발생되어 질 수 있다. T_1 은 오른쪽 벡터에 스위칭

시간을 의미하고, T_2 은 왼쪽 벡터에 스위칭 시간이고, T_s 샘플링 시간을 나타낸다. 나머지 영역들에서도 같은 절차를 적용하여 각 영역에 해당하는 T_1 과 T_2 는 표 1처럼 요약될 수 있다.

$$V_{dc}T_1 + \frac{1}{2}V_{dc}T_2 = V_{ref}T_s \quad (2)$$

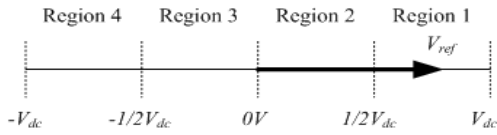


그림.2. 단상 3레벨 컨버터에 영역구분
Fig.2. Discrimination of regions in a single-phase three-level converter.

Table 1. 각 영역에 해당하는 T_1 과 T_2

Region	T_1	T_2
1	$T_s(2V_{ref}/V_{dc}-1)$	T_s-T_1
2	$2T_s(V_{ref}/V_{dc})$	
3	$T_s(1+ 2 V_{ref}/V_{dc})$	
4	$2T_s(V_{ref}/V_{dc}+1)$	

3. 시뮬레이션 결과

그림 3은 제안한 단상 3레벨 컨버터에 전체적인 시뮬레이션 모델이다. 그림 3은 입력 전압의 위상을 얻기 위해 사용 되어진 전역동과 필터를 가진 PLL 블록을 포함한다. 또한, 그림 3은 SVPWM의 한 개의 블록에 T_1 과 T_2 위한 스위칭 시간 계산 블록을 가지고 있다. 각 스위치의 스위칭 시간은 영역에 대하여 T_1 과 T_2 에 의해 결정된다. 그림 4는 제안된 방법의 결과 파형을 보여준다. 그림 4(a)로부터 역률은 1로 DC링크 전압은 지령치인 550V로 잘 제어됨을 볼 수 있다. 그림 4(b)는 3레벨 컨버터의 출력 전압 파형을 나타낸다.

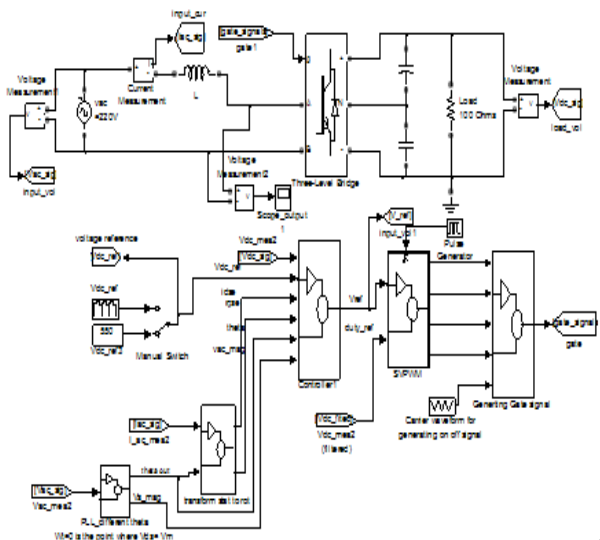


그림.3. 단상 3레벨 컨버터 시뮬레이션 모델
Fig.3. Simulation model for a single phase three level converter

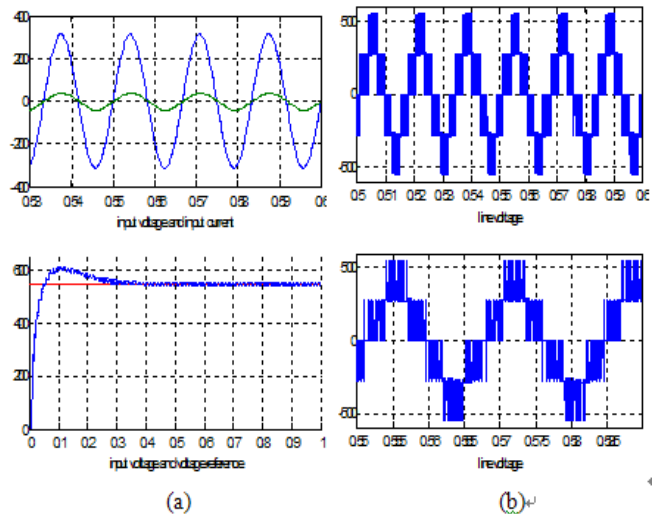


그림.4. 시뮬레이션 결과(a. 입력 AC 전압과 입력전류, DC링크전압과 기준전압(550V) b.컨버터 선간 출력전압)

Fig.4. Simulation results (a. input AC voltage and input current, DC-link voltage and its reference(550V), b. line to line converter output voltage)

4. 결론

본 논문은 기존의 철도시스템에 적용된 병렬운전 2레벨 단상 컨버터를 대신한 단독운전 단상 3레벨 PWM 컨버터를 제안했다. 컨버터의 제어 능력을 개선하기 위해 회전좌표계 dq 값을 사용했고 단상 3레벨 컨버터들을 위한 SVPWM 방법의 동작성을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (No.2011-0004693)

참고 문헌

- [1]이태형, 박찬경, "한국형 고속열차 전기시스템 특성 연구," 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.7-10, 2006.
- [2]이광주, 조성준, 우명호, 장성영, 김두식, "한국형 고속전철용 추진제어장치 개발," 전력전자학회 학술대회논문집, pp. 872-875, 2003.
- [3]이동명, 홍찬희, "고속전철 추진시스템을 위한 멀티레벨 전력변환기의 제어기법 및 SVPWM 모델링," 조명·전기설비학회 논문지, 제23권 제12호, pp. 136-145, 2009.
- [4]J. Salaet, S. Alepuz, A. Gilabert, and J. Bordonau, "Comparison between two methods of DQ transformation for single phase converters control application to a 3-level boost rectifier," Power Electron. Special. Conf., vol.1 ,pp214-220, 2004