

3상 6펄스 PWM 정류기의 D-Q 제어 기반 출력전압 제어 알고리즘 및 EMTP-RV 시뮬레이션 연구

고윤석*

A Study on the D-Q Control based Output Voltage Control Algorithm and EMTP-RV Simulation of Three-phase 6-Pulse PWM Rectifier

Yun-Seok Ko*

요 약

3상 PWM 정류기에 대한 공간벡터제어 기반 전압제어방식은 스위칭 구간에 대한 스위칭 패턴을 설계해야 하기 때문에 최적의 스위칭 패턴을 설계하는데 많은 노력이 요구된다. 본 연구에서는 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기를 위한 D-Q 제어에 기반 한 SPWM 출력전압 제어 알고리즘을 연구하였다. 출력전압제어 알고리즘에서 3상 기준신호들은 공간벡터 표시법에 기반 한 D-Q 변환으로부터 얻어지며 스위칭 패턴 대신에 SPWM 방식을 이용하여 정류기 스위칭 제어 신호들을 생성하도록 하였다. 다음으로, EMTP-RV를 이용하여 D-Q 제어 기반 SPWM 방식을 가지는 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기를 모델링하였다. 끝으로, EMTP-RV 시뮬레이션을 통해 얻어지는 출력전압파형을 기준 값과 비교, 출력전압이 기준전압을 정확하게 추종함을 확인함으로써 D-Q 제어기반 SPWM 전압제어 알고리즘의 유효성을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

The space vector control based voltage control method for a three-phase PWM rectifier requires a lot of effort to design an optimal switching pattern since a switching pattern for the switching section must be designed. In this study, a D-Q control based SPWM output voltage control algorithm was studied for the three-phase six-pulse CVS type rectifier. In the output voltage control algorithm, three-phase reference signals are obtained from the D-Q transformation based on the space vector representation method, instead of the switching pattern, SPWM method is used to generate rectifier switching control signals. Next, a three-phase six-pulse CVS PWM rectifier based on D-Q transformation and SPWM was modeled using EMTP-RV. Finally, the validity of the D-Q control-based SPWM voltage control algorithm was confirmed by comparing the output voltage waveform obtained through EMTP-RV simulation works with a reference value and confirming that the output voltage accurately follows the reference voltage.

키워드

AC-DC Converter, Three-phase 6 Pulses Rectifier, Output Voltage Control, SPWM Control Algorithm
교류 직류 변환기, 3상 6펄스 정류기, 출력 전압 제어, 정현파 PWM 제어 알고리즘

* 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과
• 접수일 : 2020. 10. 19
• 수정완료일 : 2020. 12. 18
• 게재확정일 : 2021. 02. 17

• Received : Oct. 19, 2020, Revised : Dec. 18, 2020, Accepted : Feb. 17, 2021
• Corresponding Author : Yun-Seok Ko
Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University,
Email : ysko@nsu.ac.kr

I. 서 론

토머스 에디슨이 제안한 직류(DC) 송전 방식은 낮은 전압을 송전전압으로 하기 때문에 전압강하와 송전손실 증가로 인해 공급 가능한 송전 범위가 수 km로 제한된다. 반면에 니콜라 테슬라가 제안한 교류(AC) 송전 방식은 비록 교류손이 존재하지만 변압기의 원리를 적용하여 송전전압을 가변, 송전 효율성을 제고하고 장거리 대전력 송전을 가능하게 함으로서 1880년대 후반 송전방식으로 채택되어 현재까지 폭넓게 사용되고 있다.

이에 반해 현대산업에서는 교류부하들 뿐만 아니라 전철, 생산 시스템, 로봇 등에 사용되는 직류 전동기와 컴퓨터, 인버터 등과 같은 직류부하들을 가지기 때문에 교류전원으로부터 이들 부하들에 직류를 공급할 수 있는 정류기가 개발되어 활용되고 있다 [1]. 정류기는 단상 반파, 단상 전파, 3상 반파, 3상 전파 정류기들로 분류되는데, 특히, 3상 전파 정류기는 다른 정류기 타입들에 비해 최대 전압을 얻을 수 있기 때문에 산업용 직류 전원으로 널리 활용되고 있으며 3상 6펄스 정류기로 불린다. 3상 6펄스 정류기는 다이오드 정류기, 위상제어 정류기 그리고 PWM 정류기로 구분되는데, 다이오드 정류기의 경우 출력 제어와 4상한 운전이 어렵고 위상제어 정류기의 경우 전고조파 왜율(THD)이 크기 때문에 고조파 및 출력제어 그리고 4상한 운전이 가능한 3상 PWM 정류기가 큰 관심을 받고 있다. 지금까지 3상 PWM 정류기의 운전효율을 제고하기 위한 수개의 연구들이 수행되었는데, 참고문헌들 [2-4, 8-11]는 고조파 해석과 개선을 위한 방법론을 제시하며, 참고문헌 [5]는 6펄스 PWM 정류기의 출력전압제어 방법론, 그리고 참고문헌 [6]은 출력전류 제어 방법론을 제시한다. 특히 [5]에서 제시되는 공간벡터제어 기반 출력전압제어방식은 스위칭 구간에 대한 스위칭 패턴을 설계해야 하기 때문에 최적한 스위칭 패턴을 설계하는데 상당한 노력이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기를 위한 D-Q 제어 기반 SPWM 출력전압 제어 알고리즘을 연구한다. 출력전압제어 알고리즘에서 3상 기준신호들은 공간벡터 표시법에 기반 한 D-Q 변환으로부터 결정되도록 하며 스위칭 패턴 대신에 SPWM 방식을 이용하여 인버터 스위칭 제어 신호들

을 생성하도록 한다. 다음으로, EMTP-RV를 이용하여 D-Q 제어기반 SPWM 방식을 가지는 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기를 모델링하며, EMTP-RV 시뮬레이션을 통해 얻어지는 출력전압파형을 기준 값과 비교, D-Q 제어기반 SPWM 전압제어 알고리즘의 유효성을 확인한다.

II. 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기

3상 6펄스 PWM 정류기는 전압형과 전류형으로 구분되는데, 직류 모터 구동시 요구되는 4상한 운전이 가능하도록 하기 위해서 본 논문에서는 6펄스 전압형 PWM 정류기를 설계한다[5]. 그림 1은 3상 6펄스 PWM 정류기의 회로 구성을 보인다.

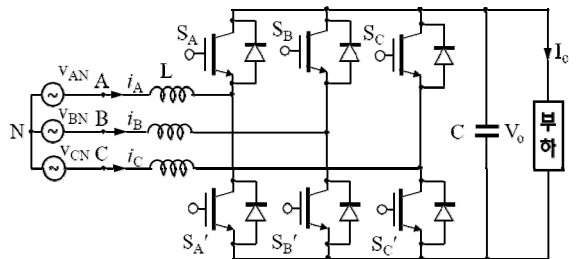


그림 1. 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기의 구성

Fig. 1 Configuration of a three phase CVS PWM rectifier

3상 6펄스 전압형 PWM 정류기는 입력단의 3상 인덕터 L, 3개의 브리지로 구성되는 인버터, 그리고 출력단의 커패시턴스 C로 구성된다. 인덕터 L은 입력전류의 평활을 위해 구성되며 출력단의 C는 출력전압의 평활을 위해 설계된다. 3 브리지 인버터에서 각 브리지는 그림 1에 보이바와 같이 2개의 스위치로 구성된다. 즉, A상 브리지는 스위치 쌍 $\{S_A, S_{A'}\}$, B상 브리지는 스위치 쌍 $\{S_B, S_{B'}\}$ 그리고 C상 브리지는 스위치 쌍 $\{S_C, S_{C'}\}$ 로 구성된다. 특히, 3 브리지 인버터의 6개의 스위치들은 게이트 신호들에 의해 On/Off 동작을 반복함으로써 3상 교류로부터 직류를 출력하게 된다. 그림 1에 보인 3상 6펄스 전압형 정류기의 각 브리지는 단락을 피하기 위해서 반드시 하나의 스위치만이 도통되어야 한다는 조건을 만족해야만 한다. 따라서 각 상 브리지의 스위칭 변수를 u, v, w로 표

시하면 각 선간전압은 식 (1)로 표시될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_{AB} \\ v_{BC} \\ v_{CA} \end{bmatrix} = V_i \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (1)$$

부하공통점 N의 전압은 식 (2)로 표시될 수 있다.

$$v_N = \frac{1}{3}(v_A + v_B + v_C) \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 각 상 전압을 스위칭 변수 u, v, w 로 표시하면 식 (3)를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_{AN} \\ v_{BN} \\ v_{CN} \end{bmatrix} = \frac{V_i}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (3)$$

3상 6펄스 전압형 정류기의 출력전압 제어문제는 바로 식(3)으로 표시된 스위칭 변수의 상태를 결정하는 문제이다.

III. D-Q 기반 출력전압제어 알고리즘

정류기 출력전압제어 알고리즘은 그림 2에 보인 공간벡터 표시법을 기반으로 하는 D-Q 제어 알고리즘으로 그림 3의 기본 절차를 따르되[5], PLL 기법을 이용하여 계통의 전압공간벡터 위상각 ρ 를 구하는 단계, 스위칭 패턴들을 공간벡터 방법론 대신에 SPWM을 이용하여 직접적으로 결정하는 단계 등 총 9개의 단계들을 기반으로 출력전압이 제어되도록 한다.

단계 1] 먼저, PLL 블록으로부터 3상 전원 측으로부터 각 상전압들 v_A, v_B, v_C 를 센싱, 그림 2에 보인 바와 같이 회전 기준 프레임의 기준벡터로 취하고 이때, 위상각 ρ 를 계산한다[8].

단계 2] 좌측 ADC/dq 변환블록으로부터 3상 전류 값 i_A, i_B, i_C 를 센싱한 후, 식 (4)를 통해 3상 고정 프레임을 2상 기준 고정 프레임으로 변환함으로써 전류 공간벡터 i_d 와 i_q 를 얻는다.

단계 3] 고정 프레임으로 표시된 i_d, i_q 를 PLL회

로로부터 얻어지는 ρ 값을 기반으로 식 (5)를 통해 회전 기준 프레임으로 표시된 i_D, i_Q 를 얻는다.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} i_D \\ i_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \rho & \sin \rho \\ -\sin \rho & \cos \rho \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (5)$$

단계 4] 출력전압 V_o 를 센싱하여 기준 출력 전압 V_o^* 와의 오차신호 $V_o^* - V_o$ 를 계산한 다음 PI제어기로 보상하여 기준신호 i_D^* 를 계산한다.

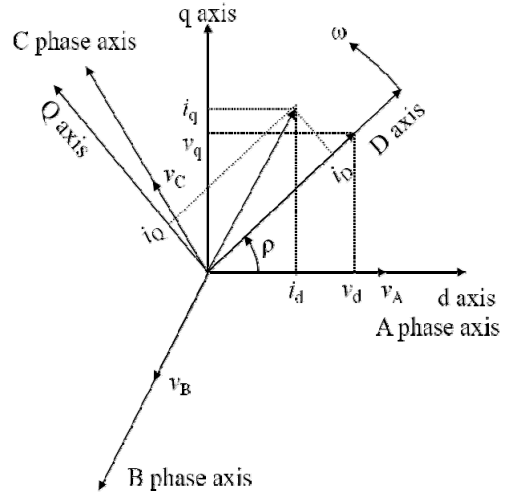


그림 2. 공간 벡터 표시법

Fig. 2. Space vector representation method

단계 5] $i_D^* = i_D^* - i_D$ 와 $i_Q^* = i_Q^* - i_Q$ 를 계산한 다음 각각을 PI 제어기로 보상하여 전압 기준 값 v_d^* 와 v_q^* 를 구한다.

단계 6] 좌측 DQ/dq 변환 블록을 이용하여 회전 기준 프레임으로 표시된 신호들을 고정 기준 프레임으로 변환하여 v_d^* 와 v_q^* 를 계산한다.

단계 7] dq/ABC 변환을 통하여 2상 고정 기준 프레임의 v_d^* 와 v_q^* 를 3상 고정 프레임 신호로 변환하여 SPWM을 위한 기준신호들 v_A^r, v_B^r, v_C^r 를 결정한다.

단계 8] PWM 변조과와 기준신호들 v_A^r, v_B^r, v_C^r 를 비교함으로써 스위칭 변수들 u, v, w, u', v', w' 를 결정한다.

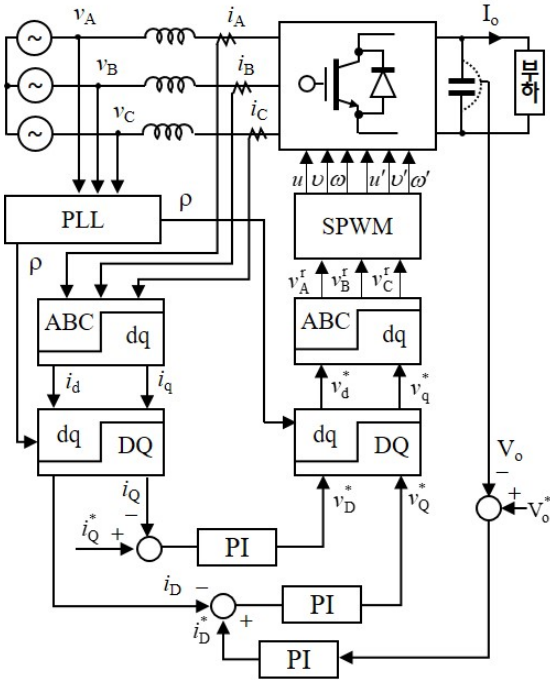


그림 3. D-Q기반 출력전압 제어 알고리즘
Fig. 3 D-Q based output voltage control algorithm

단계 9] 스위칭 변수들 u, v, w, u', v', w' 로부터 제공되는 스위칭 신호들을 인버터 3 브리지의 6개의 스위치들의 게이트들에 인가함으로써 인버터 출력전류를 제어, 궁극적으로 출력전압을 제어한다. 이 과정을 출력전압이 기준입력과 허용된 오차범위 내에 있도록 연속적으로 이루어진다.

IV. EMTP 모델링 및 고장모의 결과

4.1 EMTP-RV 모델링

본 연구에서 제안된 D-Q 제어기반 SPWM 출력전압제어 알고리즘의 유효성을 확인하기 위해서

EMTP-RV를 이용하여 D-Q제어 기반 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기를 모델링한다. 그림 4는 EMTP-RV 모델링 결과를 보인다. D-Q제어 기반 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기에 대한 EMTP-RV 모델링은 크게 5개의 블록 즉, PLL회로, ABC/DQ 변환회로, DQ/ABC 변환회로 그리고 PI CONTROLLER 회로, PWM 회로, INVERTER 회로로 구성된다. PLL회로는 인버터 교류전원의 각 상전압 v_A, v_B, v_C 로부터 상전압 공간벡터 \vec{v} 의 위상각 ρ 를 결정하도록 모델링한다. ABC/DQ 변환회로는 식(3)을 이용하여 3상 전류 i_A, i_B, i_C 로부터 2상 고정 기준 프레임으로 표시되는 i_d 와 i_q 를 결정한 다음, PLL회로부터 제공되는 ρ 와 (4)를 이용하여 회전 기준 프레임으로 표시되는 i_D, i_Q 를 출력하도록 모델링한다. PI CONTROLLER 회로는 i_D, i_Q, V_o^*, V_o 를 입력으로 받은 후, 먼저, 기준 출력전압과 실제 출력전압의 차 즉, 오차신호 $V_o^* - V_o$ 를 계산한다. 다음, PI 제어기로 보상된 i_D^* 를 계산하고, i_D^* 와 i_Q^* 를 계산한 다음 각각 PI 제어기들에 의해서 보상된 회전 기준 프레임으로 표시된 v_D^* 와 v_Q^* 를 출력하도록 모델링한다.

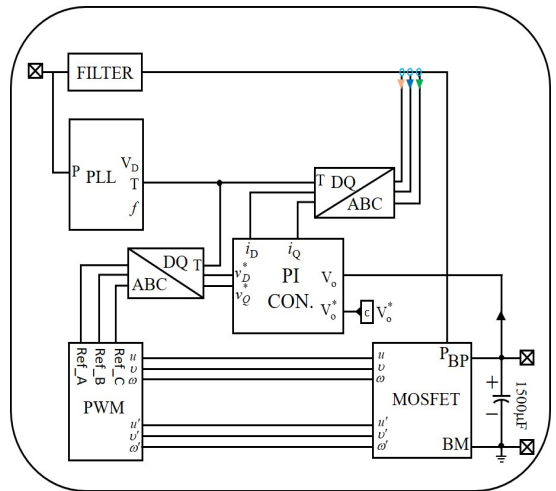


그림 4. AC/DC 컨버터의 EMTP-RV 모델링 결과
Fig. 4 EMTP-RV modelling result of AC/DC converter

DQ/ABC 변환회로는 v_D^* 와 v_Q^* 를 입력으로 받아 고정 기준 프레임으로 변환한 다음 3상 공간 성분으로

변환하여 SPWM을 위한 기준신호들 v_A^r, v_B^r, v_C^r 를 출력하도록 모델링한다. PWM 회로는 v_A^r, v_B^r, v_C^r 를 입력으로 받아 기 설정된 스위칭 주파수에 따라 발생되는 톱니파와 비교함으로써 스위칭 변수들 u, v, w, u', v', w' 를 결정, 출력하도록 모델링한다. 인버터 회로는 3 브리지로 구성, PWM 회로로부터 발생되는 신호들 $\{u, u'\}, \{v, v'\}, \{w, w'\}$ 를 입력으로 받아 6 개의 스위치들 $\{S_A, S_A'\}, \{S_B, S_B'\}, \{S_C, S_C'\}$ 의 게이트 신호로 인가함으로써 3상 회로를 스위칭하여 출력단에 직류가 얻어질 수 있도록 모델링한다.

4.2 시뮬레이션 결과

D-Q제어 기반 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기 출력전압 알고리즘과 EMTP-RV 모델링의 유효성을 확인하기 위해서 다음과 같은 시험평가회로를 구성하였다. 시험회로에서 교류전원회로는 23kV의 배전선로로부터 23kV/380V 변압기를 통해 380V가 공급되도록 구성하였다. 변압기는 Y-Y_g 결선 방식으로 설계되며, 공급전원 측에 연결되는 인덕터 L은 12mH, 부하 측에 연결되는 정류기 커패시터 C는 1500μF 그리고 정류기 부하는 50Ω 저항부하로 하였다. 그림 5는 EMTP-RV로 구현된 성능 평가회로를 보인다.

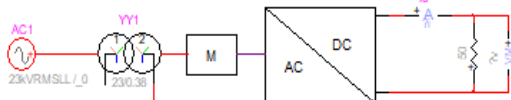


그림 5. EMTP-RV 기반 성능 평가 회로 구성
Fig. 5 Performance evaluation circuit configuration based on EMTP-RV

제안된 전압제어 방법론의 유효성을 확인하기 위해서 2개의 기준출력전압에 대한 경우를 모의하였다. 첫 번째 경우는 기준출력전압 V_o^* 를 200V로 설정한 경우이다. 그림 6은 기준출력전압 V_o^* 가 200V일 때 EMTP-RV 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 정류기 출력전압 V_o 의 파형을 보인다. 그림 6에서 정류기 출력전압 V_o 가 기준출력전압 V_o^* 을 정확하게 추종함을 확인할 수 있다. 그림 7은 그림 6에 보인 정류기 연속 출력전압에 대한 고조파 성분들의 크기 변화를 보

인다. 기본파, 2조파, 3조파 순으로 고조파 성분들의 크기의 변화가 현저함을 확인할 수 있다. 그리고 모든 고조파 성분 크기들이 정상상태에 다다를수록 점차적으로 감소함을 확인할 수 있다.

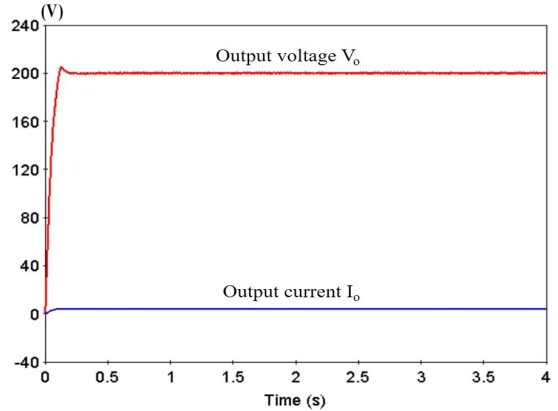


그림 6. EMTP-RV 시뮬레이션 작업으로부터 얻어진 PWM 정류기의 출력전압 및 전류 파형
Fig. 6 Output Voltage and current waveform of PWM rectifier obtained from EMTP-RV simulation work

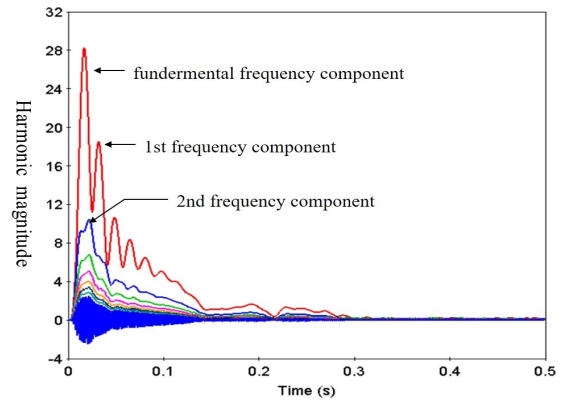


그림 7. 연속출력전압에 대한 고조파들의 크기 변화
Fig. 7 Magnitude variations of harmonics for continuous output voltage over past period

반면에 그림 8은 그림 6에 보인 PWM 정류기의 연속 출력전압에 대한 THD(전고조파 왜율)의 변화를 보인다. 과도상태에서는 THD의 변화가 현저하지만 정상상태에 이를수록 THD의 비가 점차 감소하는 것을 확인할 수 있다.

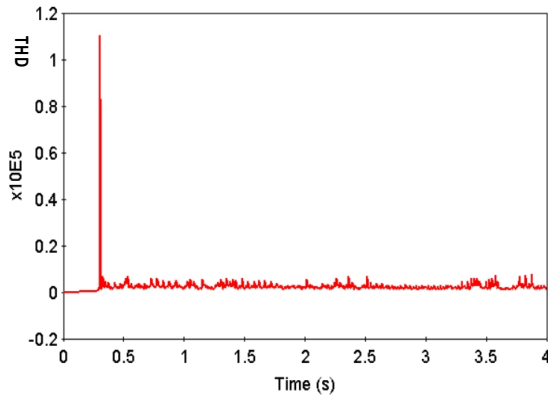


그림 8. 연속된 주기에 대한 THD의 변화
 Fig. 8 Magnitude variation of THD over past period

그림 9는 정상 상태에서 출력전압에 대한 고조파 크기들을 보인다. 기본파 성분이 다른 고조파 성분들에 비해 가장 큰 요소임을 확인할 수 있다.

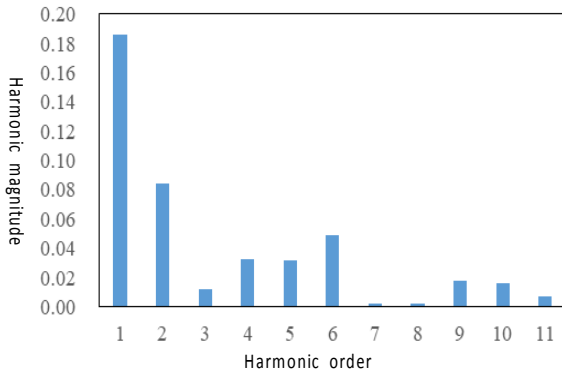


그림 9. 정상상태에서 출력전압의 고조파들의 크기
 Fig. 9 Magnitude of harmonics at steady state

두 번째 경우는 기준출력전압 V_o^* 를 100V로 설정한 경우인데, 그림 10은 EMTP-RV 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 출력전압 V_o 의 파형을 보인다. 그림 10을 통해서 알 수 있듯이, 그림 6에 비해 과도상태에서는 다소 큰 오버슈트를 보이지만 정상상태에서는 정류기 출력전압 V_o 가 기준출력전압 V_o^* 을 정확하게 추종함을 확인할 수 있다. 따라서 기준전압을 첫 번째 경우의 1/2로 설정한 경우에 대해서도, 두 개의 그림들, 즉, 그림 6과 그림 10을 통해, 3상 6펄스 PWM

정류기에 대한 D-Q 제어 기반 SPWM 출력전압 제어 알고리즘의 유효성을 확인할 수 있다.

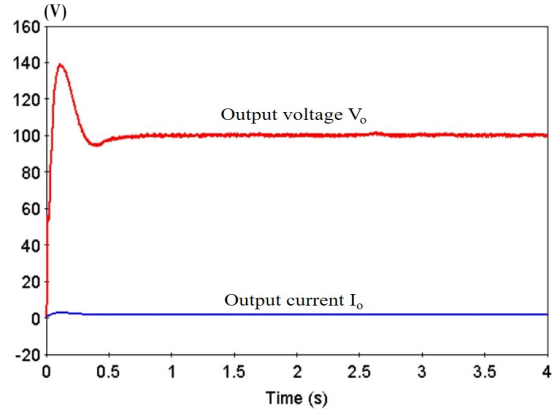


그림 10. EMTP-RV로부터 얻어진 출력전압 및 전류 파형
 Fig. 10 Output voltage and current waveform obtained from EMTP-RV simulation work

V. 결 론

3상 6펄스 정류기에서 공간벡터제어 기반 출력전압 제어방식은 전압의 품질과 스위칭 손실을 고려하여 스위칭 구간에 대한 스위칭 패턴을 설계해야하기 때문에 정교한 스위칭 패턴을 설계하는데 많은 노력이 요구된다. 본 연구에서는 3상 6펄스를 전압형 정류기를 위한 D-Q 제어기반 SPWM 출력전압 제어 알고리즘을 연구하였다. 출력전압 제어 알고리즘에서 3상 기준신호들은 D-Q 제어 방법론으로부터 얻어지며 공간벡터 기반 스위칭 패턴 대신에 SPWM 방식을 이용하여 인버터 스위칭 제어 신호들을 생성하도록 하였다. 다음으로, EMTP-RV를 이용하여 D-Q 제어기반 3상 6펄스 전압형 PWM 정류기를 모델링하였으며, EMTP-RV 시뮬레이션을 통해 출력전압과 역률 제어의 유효성을 검증하였다. 검증결과, 출력전압이 기준전압을 정확하게 추종함으로써 D-Q 제어기반 SPWM 전압제어 알고리즘의 3상 6펄스 PWM 정류기에 대한 유효성을 확인할 수 있었다.

이 논문은 2020년도 남서울대학교 교내 연구비의 지원에 의하여 연구되었음

References

- [1] A. W. Kelley and W. F. Yadusky, "Rectifier Design for Minimum Line-current Harmonics and Maximum Power Factor," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 7, no. 2, Apr. 1992, pp. 332-341.
- [2] H. A. Kazem, B. Zahawi and D. Giaouris, "Modeling of Six-pulse Rectifier Operating under Unbalanced Supply Conditions," *J. of Engineering and Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, Feb. 2009, pp. 72-75.
- [3] G. Abbott-Frey and J. Crook, "Transformation from Six-Pulse to Low Harmonic, Three-Level, Active Rectification Technologies," *ATV 680/980 Technical Reprot*, 2017.
- [4] S. K. Pyakuryal, "Control of Harmonics in 6-Pulse Rectifiers," *Electronic Theses and Dissertations*, Nov. 2013.
- [5] A. M. Trzynadlowski, "Introduction to Modern Power Electronics : Second Edition, New Jersey: John Wiley and Sons Inc., Mar. 2010.
- [6] P. S. Ajesh, P. J. Kuruvila, R. Anasraj, "Analysis and Control of Three Phase PWM Rectifier for Power Factor Improvement of IM Drive," *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, vol. 10, no. 2, May 2018, pp. 124-130.
- [7] N. Jaalam, N. A. Rahim, A. H. A. Bakar, C Tan, and A. M. A. Haidar, "A Comprehensive Review of Synchronization Methods for Grid-connected Converters of Renewable Energy Source," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, 2016, pp. 1471 - 1481.
- [8] Y. Ko and J. Park, "A Study on the Voltage Control of a Single Phase Full-bridge Inverter using SPWM Driving Method," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 5, Oct. 2017, pp. 851-858.
- [9] J. Joo and J. Oh, "Efficient Grid-Independent ESS Control System by Prediction of Energy Production Consumption," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 1, Feb. 2019, pp. 155-160.
- [10] J. Park, "AMI System Using Smart Electricity Meter Embedded with Home Concentrate Unit," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 3, June 2019, pp. 537-546.
- [11] B. Lim, J. Lee, H. Nguyen, V. Tran, and Y. Ko, "A Study on the Synchronization Methodology for Grid-connection of Three Phase Inverter," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 5, Oct. 2019, pp. 951-958.

저자 소개



고윤석(Yun-Seok Ko)

1984년 2월 광운대 공대 전기공학과 졸업(공학사).

1986년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사).

1996년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).

1986년~1996년 한국전기연구소 선임연구원.

1996년~1997년 포스코 경영연구소 연구위원.

1997년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수.

2012년~2013년 University of Utah 방문교수

※ 관심분야 : 전력시스템 자동화, 배전자동화, 스마트그리드, 주택자동화, 인공지능, 로봇제어

