

전압형 PWM컨버터의 무효성분 해석

°김 제 홍, 정 환 명, 최 재 호
 충북대학교 전기공학과

Analysis of Reactive Elements on The Voltage Source PWM Converter.

Je-Hong Kim, Hwan-Myung Jung, Jae-Ho Choi
 Dept. of Electrical Engineering, ChungBuk National University

ABSTRACT

A PWM forced-commutated converter with DC voltage source is studied in this paper. This PWM-VSC using space vector modulation permits to control bi-directional power exchange between the AC mains and the DC source. The principle of the active and reactive power control is presented. In transient operation, the analysis of reactive component current is performed. Finally, the simulation results are also presented and discussed.

1. 서 론

지금까지, AC/DC전력변환장치로 위상제어정류기들이 주로 사용되어 왔다. 그러한 위상제어 정류기들은 점화각이 증가할 때 역률이 감소하는 교유의 결점을 가지고 있다. 또한 그들은 교류입력측 선로상에 막대한 양의 고조파전류를 발생시켜 이들이 전력계통내로 유입하여 전원전압의 왜형을 초래하여 타부하기에 악영향을 미치므로 전력변환장치의 특성을 보다 양호하게 개선할 필요가 있다. 더우기, 대부분의 전력변환장치들은 정류동작과 회생동작시 빠른 다이내믹 특성을 요구하고 있다. 이러한 요구조건들을 만족시켜주기 위해서는 전압형 컨버터가 적합하다고 할 수 있다. 이 전압형 PWM컨버터는 DC출력전압을 제어하면서 AC측 입력전류를 정현파로 유지시킬 수가 있으며 단위역률, 전상및 지상역률 동작을 할 수 있다. [1], [2], [3]

그리고 전력용 반도체 기술의 발전은 AC/DC전력용 컨버터에서 역률개선및 고조파 억제를 위해 사용되는 무효성분의 중요성을 유발시켰다. 따라서 무효성분을 줄이기 위하여 종래의 위상제어정류기를 강제전류형 PWM 컨버터로 대체시키고 있는 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 동기회전좌표계와 전압공간벡터(Voltage Space Vector)에 기초하여 유효성분전류와 무효성분전류를 각각 독립적으로 제어할 수 있음을 보였으나 전압공간벡터에 대한 고려는 제외시켰다. 그리고 전압제어기에 부하전류 전향(feedforward)제어기를 부가하여 부하변동의 과도상태시에 전압형 PWM컨버터의 응답을 시뮬레이션에 의해 검토함으로써 유효성분전류와 무효성분전류의 과도상태 특성을 제시한다.

2. 전압형 컨버터의 모델링

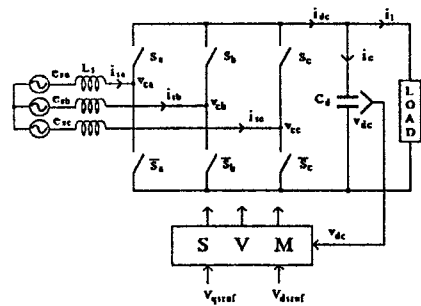


그림 1. 전압형 PWM컨버터의 구조

그림 1은 본 연구에서 제시한 전압형 PWM컨버터의 전력회로도를 보여준다. 전원전압은 다음의 식(1)로 주어진다.

$$\begin{aligned} e_{sa} &= E \cos \omega t \\ e_{sb} &= E \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ e_{sc} &= E \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \quad (1)$$

컨버터의 입출력측 회로방정식은 다음의 식(2)로 주어진다.

$$\begin{aligned} e_{sa} &= (L_s p + R_s) i_{sa} + v_{sa} \\ e_{sb} &= (L_s p + R_s) i_{sb} + v_{sb} \\ e_{sc} &= (L_s p + R_s) i_{sc} + v_{sc} \end{aligned} \quad (2)$$

$$v_{dc} i_{dc} = v_{sa} i_{sa} + v_{sb} i_{sb} + v_{sc} i_{sc} \quad (3)$$

$$v_{dc} = (i_{dc} - i_i) / p C_d$$

단, $p = \frac{d}{dt}$: 미분연산자

전기적 회전각 ωt 로 회전하는 동기회전 d-q좌표계에서 컨버터의 상태방정식을 나타내면 식(4)로 주어진다.

$$\begin{bmatrix} e_{sq} \\ e_{sd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s p + R_s & \omega L_s \\ -\omega L_s & L_s p + R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{cq} \\ v_{cd} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$v_{dc} i_{dc} = v_{cq} i_q + v_{cd} i_d$$

단, e_{sq}, e_{sd} ; e_{sa}, e_{sb}, e_{sc} 의 d-q축 성분
 v_{cq}, v_{cd} ; v_{ca}, v_{cb}, v_{cc} 의 d-q축 성분
 i_q, i_d ; i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} 의 d-q축 성분

3. 전압형 PWM컨버터의 제어시스템

식(4)에서 q축을 ac전원과 일치시키면 $e_{sd}=0$ 이 성립한다. 이 식에서 $i_d=0$ 으로 제어함으로써 기본파 역률이 1로 유지될 수 있음을 알 수 있다. 즉, $v_{cd} = \omega L_s i_q$ 가 되도록 제어하면 역률 '1'이 된다.

v_{cq} 와 v_{cd} 는 다음 (6)식에 의해서 제어된다.

$$\begin{aligned} v_{cq} &= k_{pi}(i_{dq} - i_q) - \omega L_s i_d + e_{sq} \\ v_{cd} &= k_{pi}(i_{dq} - i_d) + \omega L_s i_q \end{aligned} \quad (6)$$

단, k_{pi} : 전류제어의 피이드백 gain

i_{dq} : 유효성분 전류 i_q 의 기준치

i_{drq} : 무효성분 전류 i_d 의 기준치

식(6)을 식(4)에 대입하여 정리하면 다음의 식(7)과 같이 decoupling된 형태로 주어진다.

$$p \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(R+k_{pi})/L_s & 0 \\ 0 & -(R+k_{pi})/L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} + \frac{k_{pi}}{L_s} \begin{bmatrix} i_{dq} \\ i_{drq} \end{bmatrix} \quad (7)$$

따라서, 식(7)에서 알수있는 바와같이 coupling항이 0이 되므로 i_q 와 i_d 는 각각 독립적으로 제어할 수 있다.

만약, $i_{drq}=0$ 이라 놓으면 i_d 는 0으로 제어되어 ac입력축 역률은 거의 단위역률로 제어된다.

ac전원으로부터 컨버터입력단으로 공급되는 무효전력과 유효전력은 다음 식(8)로 주어진다.

$$q_r = -\frac{3}{2} \cdot E \cdot i_d \quad (8)$$

$$p_a = -\frac{3}{2} \cdot E \cdot i_q$$

식(8)에서 알수있는 바와같이 i_d 와 i_q 의 크기를 제어함으로써 무효전력과 유효전력의 크기를 제어할 수 있다.

따라서, 전압형 PWM컨버터의 무효전력이 0일때 최로방정식은 다음 3개의 식으로 주어진다.

$$(L_s p + R) i_q = e_{sq} - v_{cq} \quad (9)$$

$$v_{cq} i_q = v_{dc} i_{dc} \quad (10)$$

$$p v_{dc} = (i_{dc} - i_n) / C_d \quad (11)$$

식(10)에서 알수있는 바와같이 v_{dc} 의 크기를 제어하여 i_q 를 제어함으로써 v_{dc} 의 크기를 원하는 값으로 제어할 수 있다. 그런데, dc전압의 과도상태특성은 부하전류가 갑작스럽게 변화하면 요동이 크기때문에 간과해서는 안된다. 그러한 현상은 부하로 초퍼나 인버터가 연결될 때

발생한다.

즉, dc전압은 평활용 커패시터나 스위칭디바이스의 전압정격을 초과하여 파괴를 초래할 수 있다.

본 제어시스템에서는 부하변동에 대하여 보다 빠르게 대처할 수 있도록 전압제어기에 feedforward제어기가 부가되어 있는 PWM컨버터의 과도상태 응답을 고찰한다. 그림 2는 전압형 컨버터의 제어시스템을 보여준다.

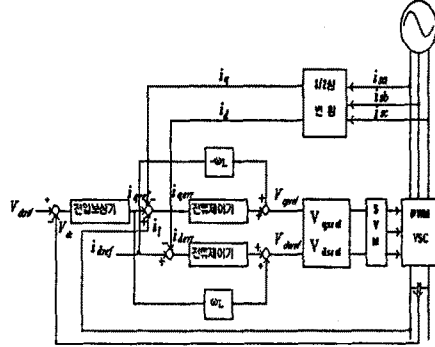


그림 2. 전압형 컨버터의 제어시스템

4. 시뮬레이션

그림 3은 컨버터의 스위칭 주파수를 10kHz로 하고 전압 기준치를 380[V]로 하였을 경우 전원전압과 교류축 a상 입력전류가 동상이며 역률 '1'로 제어되고 있음을 보여 주고 있다. 그림 4는 출력측 전압기준치를 10%증가시켰을 경우의 q축 성분전류 i_q 를 보여주고 있다. 그림 5는 출력측 전압기준치를 10%증가시켰을 경우의 d축 성분전류 i_d 를 보여주며 무효성분 전류가 과도상태에서 급증하였다가 다시 0으로 제어되고 있음을 보여준다.

그림 6은 출력측 전압기준치를 10% 증가시켰을 경우 전압파형을 보여주고 있으며 그림4의 유효성분 전류와 비슷한 형태를 보이고 있다. 즉 전압기준치의 변동에 대하여 입력측 전류가 얼마나 잘 공급되는가에 따라 dc전압의 응답이 결정되고있음을 보여주고 있다. 따라서 dc전압의 크기를 제어하기 위하여 교류입력측 전류를 전원전압과 동상으로 유지시키며 제어하면 된다는 것을 알 수 있다. 그림 7은 전압기준치를 50% 증가시켰을 경우의 유효성분 전류 i_d 의 파형을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 10% 변동시보다 무효성분 전류가 더 컸음을 알 수 있다.

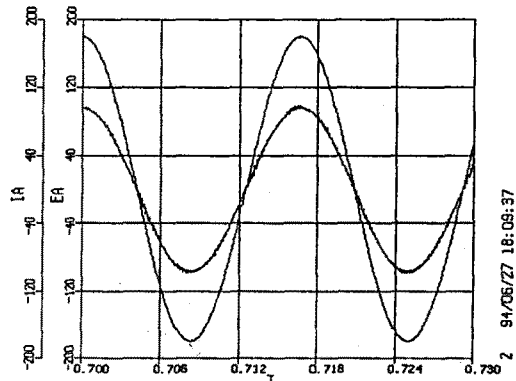


그림 3. 전원전압과 교류축 입력전류

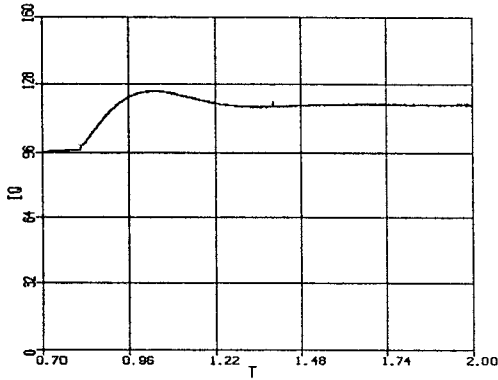


그림 4. 입력전류의 q축 성분(유효전류)

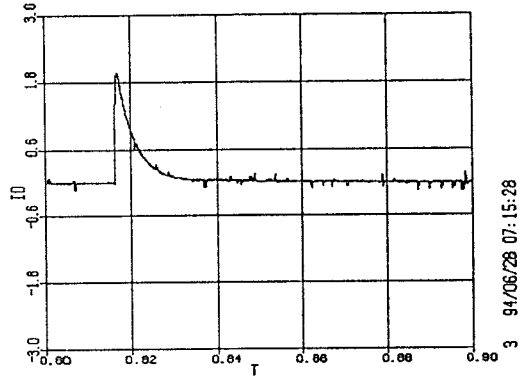


그림 7. 입력전류의 d축 성분(50%의 부하변동)

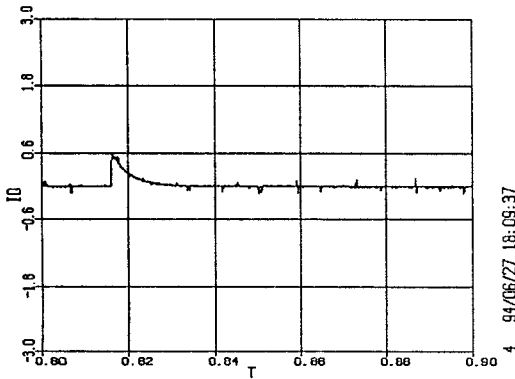


그림 5. 입력전류의 d축 성분(무효전류)

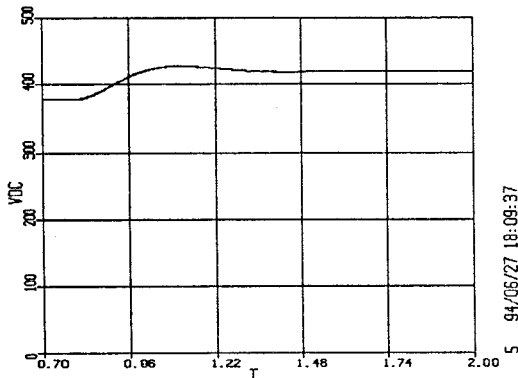


그림 6. 직류측 출력전압

5. 결론

제안된 3상 PWM전압형컨버터의 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

동기회전좌표계에 기초해서 $i_d=0$ 으로 제어하여 역률을 거의 단위역률로 할 수 있었으며 무효성분전류와 유효성분전류를 독립적으로 제어할 수 있었다. 이때 미소량의 무효성분 전류가 부하변동시의 과도상태에서 잠시 존재하다가 컨버터가 정상상태에 도달함으로써 다시 0으로 제어되고 있음을 알 수 있었다. 또한 부하변동이 클수록 무효성분전류가 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

6. 참고 문헌

1. S.SAADATE, "PWM Forced-Commutated GTO converter in Four Quadrant Operation", IECON'91, pp.600-pp.605.
2. Jae-Ho Choi, etc, "Analysis and Design of PWM-VSC for Reactive power control", proc. of ISPE,1989, PP.321-PP.225.
3. J.J.Boys, "Current-forced single-phase reversible rectifier", IEE proc. vol 136, No.5, sept.1980, pp.205-pp.211
4. H.SUGIMOTO, etc, "A high performance control method of a voltage-type PWM converter", PESC'88, PP.360-PP.368.
5. G.Habetler, "A space vector-based rectifier regulator for AC/DC/AC converters", EPE, FIRENZE, vol.2, 1991, pp.101-pp.107.