

간략형 SVPWM을 적용한 매트릭스컨버터의 제어기법

이건식, 모동영, 이상철, 최창영, 조춘호, 김태웅, 박귀근*,
경상대학교, *LG전자

Simplified SVPWM Scheme for Matrix Converter

Geon-Sik Lee, Dong-Yeong Mo, Sang-Cheol Lee, Chang-Young Choi, Chun-Ho Cho,
Tae-Woong Kim, Gwi-Geun Park*
Gyeongsang National University, *LG Electronics

ABSTRACT

매트릭스컨버터의 제어기법은 입력측의 전류형과 출력측의 전압형의 조합에 의해 구성된 미래지향형 AC/AC 전력변환시스템이다. 이를 제어하기 위해서 기존 SVPWM을 적용하면 섹터정보 및 인가시간의 계산과정이 복잡해지고 계산량이 많아지는 단점이 있다. 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해 전압형 인버터에 사용하고 있는 기존 간략형 SVPWM과 함께 입력측 전류형에도 이를 변형하여 적합한 간략형 SVPWM을 동시에 적용하여 전체의 PWM에 관련된 계산과정을 단순화시키고 계산량을 저감시킬 수 있는 제어기법을 제안한다.

1. 서론

교류전동기의 사용이 보편화되면서 3상 AC/AC 전력변환시스템의 이용이 점차적으로 증가되고 있으며, 매트릭스컨버터는 직류링크회로가 없는 직접형 AC/AC 전력변환시스템이며 차세대 전력변환시스템으로서 대두되고 있다. 매트릭스컨버터는 기존 간접형 AC/AC 전력변환시스템과 비교하였을 때 더 많은 반도체스위칭소자가 필요로 하지만 직류링크회로가 없어 시스템의 소형화 및 긴 수명을 기대할 수 있다. 이를 제어하기 위해서는 입력측에 전류형 SVPWM 기법, 출력측에 전압형 SVPWM 기법을 각각 적용하여 조합해야 한다. 이때 적용되는 전류형 및 전압형 SVPWM은 자유도가 높고 효율적인 제어가 가능하기 때문에 많이 사용된다. 그러나 기존 SVPWM 기법은 계산과정이 복잡하고 삼각함수 등을 사용함으로써 마이크로프로세서에 계산량 부담을 주게 된다. 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해 전압형 인버터에 사용되고 있는 간략형 SVPWM^[1]과 함께 입력측의 전류형 컨버터에도 이를 변형하여 적합한 간략형 SVPWM을 동시에 적용하여 전체 SVPWM에 관련된 계산과정을 단순화시키고 계산량을 저감시킬 수 있는 매트릭스컨버터 구동용 간략형 SVPWM 기법을 제안한다. 제안된 스위칭기법의 타당성을 입증하기 위하여 PSIM 시뮬레이터를 이용하여 수행한다.

2. 전류형 컨버터의 SVPWM 제어기법

3상 전류형 컨버터에 적용된 기존 SVPWM 기법은 PLL 혹은 \tan^{-1} 에 의해 추정된 입력전압의 각도정보를 기반으로 입력 섹터를 구분하고, SVPWM에 필요한 인가시간은 아래의 식을 이용하여 계산하게 된다.

$$T_1 = T_s \cdot \frac{|V^*| \sin(\pi/3 - (\alpha + 30))}{2V_{dc}/3 \sin(\pi/3)} \quad (1)$$

$$T_2 = T_s \cdot \frac{|V^*| \sin(\alpha - 30)}{2V_{dc}/3 \sin(\pi/3)} \quad (2)$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2) \quad (3)$$

입력전압이 이상적이라고 할 때에는 PLL 대신에 \tan^{-1} 를 사용하여 입력전압의 각도정보를 추정하여 입력섹터를 구분하지만, 본 논문에서는 표 1에 보여주듯이 섹터구분하기 위해 필요한 각도정보를 추정하기 위해 삼각함수 \tan^{-1} 를 사용하지 않고 고정좌표계의 2상 입력전압정보를 이용하여 입력섹터를 구분할 수 있는 방법, 그리고 식 (4) 및 (5)를 통해 삼각함수를 사용하지 않고도 SVPWM에 필요한 인가시간을 계산할 수 있는 방법을 전류형 컨버터에 적용하여 검토하였다.

표 1. 전류형컨버터의 간략형 SVPWM의 섹터구분 방법

sector	conditions
1	$V_\alpha > \sqrt{3} \times V_\beta > (-V_\alpha)$
2	$\sqrt{3} \times V_\beta > V_\alpha > (-V_\alpha)$
3	$\sqrt{3} \times V_\beta > (-V_\alpha) > V_\alpha$
4	$(-V_\alpha) > \sqrt{3} \times V_\beta > V_\alpha$
5	$(-V_\alpha) > V_\alpha > \sqrt{3} \times V_\beta$
6	$V_\alpha > (-V_\alpha) > \sqrt{3} \times V_\beta$

$$T_1 = \frac{\sqrt{3} T_s}{V_{dc}} \left[\sin\left(\frac{n\pi}{3} - 30\right) V_\alpha - \cos\left(\frac{n\pi}{3} - 30\right) V_\beta \right]$$

(4)

$$T_1 = \frac{\sqrt{3} T_s}{V_{dc}} \left[-\sin\left(\frac{\pi}{3}(n-1) - 30\right) V_\alpha + \cos\left(\frac{\pi}{3}(n-1) - 30\right) V_\beta \right] \quad (5)$$

각도정보를 사용하지 않고 섹터를 구분하는 방법을 표 1에 보여주고, 식 (4) 및 (5)에 추정된 섹터정보를 대입하면 SVPWM에 필요한 인가시간을 삼각함수를 사용하지 않고도 간단하게 구할 수 있게 되어 전류형 컨버터의 간략형 SVPWM 기법을 구현할 수 있다.

3. 매트릭스컨버터의 간략형 SVPWM 제어

매트릭스컨버터의 공간벡터변조방식은 PWM 인버터에 사용되는 공간벡터변조방식과 개념적으로 동일하지만 입력직류를 출력교류로 변환하는 PWM 인버터와는 달리 매트릭스컨버터는 입력교류를 출력교류로 직접적으로 전력변환하게 된다. 매트릭스컨버터의 SVPWM 제어기법은 입력측에 대해 전류형 컨

버터용 SVPWM, 출력측에 대해 전압형 인버터용 SVPWM을 각각 조합하여 복잡한 제어기법으로 구성된다.

기존의 SVPWM 기법에서는 삼각함수를 사용하여 인가시간을 식 (6)~(10)에 의해 계산하였지만, 본 논문에서는 매트릭스 컨버터 구동에 적합한 간략형 SVPWM 기법을 도입하여 삼각함수 사용을 억제하여 마이크로프로세서의 계산량 부담을 저감시킬 수 있도록 하였으며, 매트릭스컨버터를 구동시키기 위한 간략형 SVPWM의 일반화 된 인가시간은 식 (11)~(14)를 통해 구하게 된다.

$$T_{M1} = MI \cdot T_s \cdot \sin[60 - \theta_o + (k-1) \times 60] \cdot \sin[60 - \theta_i + (i-1) \times 60] \quad (6)$$

$$T_{M2} = MI \cdot T_s \cdot \sin[\theta_o - (k-1) \times 60] \cdot \sin[60 - \theta_i + (i-1) \times 60] \quad (7)$$

$$T_{M3} = MI \cdot T_s \cdot \sin[\theta_o - (k-1) \times 60] \cdot \sin[\theta_i - (i-1) \times 60] \quad (8)$$

$$T_{M4} = MI \cdot T_s \cdot \sin[60 - \theta_o + (k-1) \times 60] \cdot \sin[\theta_i - (i-1) \times 60] \quad (9)$$

$$T_{M0} = T_s - (T_{M1} + T_{M2} + T_{M3} + T_{M4}) \quad (10)$$

where MI : 변조지수, i : 입력섹터, k : 출력섹터

$$T_{M1} = MI \cdot T_s \left[\sin\left(\frac{i\pi}{3} - 30\right) V_\alpha - \cos\left(\frac{i\pi}{3} - 30\right) V_\beta \right] \cdot \left[\sin\left(\frac{k\pi}{3}\right) V_\alpha - \cos\left(\frac{k\pi}{3}\right) V_\beta \right] \quad (11)$$

$$T_{M2} = MI \cdot T_s \left[\sin\left(\frac{i\pi}{3} - 30\right) V_\alpha - \cos\left(\frac{i\pi}{3} - 30\right) V_\beta \right] \cdot \left[-\sin\left(\frac{\pi}{3}(k-1)\right) V_\alpha + \cos\left(\frac{\pi}{3}(k-1)\right) V_\beta \right] \quad (12)$$

$$T_{M3} = MI \cdot T_s \left[-\sin\left(\frac{\pi}{3}(i-1) - 30\right) V_\alpha + \cos\left(\frac{\pi}{3}(i-1) - 30\right) V_\beta \right] \cdot \left[-\sin\left(\frac{\pi}{3}(k-1)\right) V_\alpha + \cos\left(\frac{\pi}{3}(k-1)\right) V_\beta \right] \quad (13)$$

$$T_{M4} = MI \cdot T_s \left[-\sin\left(\frac{\pi}{3}(i-1) - 30\right) V_\alpha + \cos\left(\frac{\pi}{3}(i-1) - 30\right) V_\beta \right] \cdot \left[\sin\left(\frac{k\pi}{3}\right) V_\alpha - \cos\left(\frac{k\pi}{3}\right) V_\beta \right] \quad (14)$$

제안한 간략형 SVPWM의 인가시간 계산방법에 있어서, 입력 및 출력섹터정보를 식 (11)~(14)에 각각 대입하여 섹터에 따른 인가시간을 계산할 수 있고, 입력 및 출력 섹터정보에 따라 입력측 전류공간벡터와 출력측 전압공간벡터를 조합함으로써 4개의 삼각함수를 사용하지 않고도 인가시간을 구할 수 있다. 따라서 계산량 부담이 적어지게 되어 저가 마이크로프로세서를 사용할 수 있는 장점이 있다.

4. 시뮬레이션

4.1 시스템 구성

PMSM 구동용 매트릭스컨버터에 대한 시스템 구성은 그림 1에 보여준다. 속도제어기 및 전류제어기에 대한 응답주파수는 각각 100Hz, 1000HZ로 설정하였다. 매트릭스컨버터를 제어하기 위해 입력측과 출력측에 각각 공간벡터변조방식을 사용하였

으며, 샘플링 주기마다 입력전압, 출력전류, 그리고 PMSM의 속도를 검출한다. 입력전류공간벡터와 출력전압공간벡터의 조합에 의해 36개 섹터정보와 인가시간을 계산한 후, 이미 설정된 look-up 테이블을 이용하여 1 주기의 스위칭시퀀스에 따라 양방향 스위칭소자에 인가될 18개의 PWM 게이트신호를 발생시킨다.

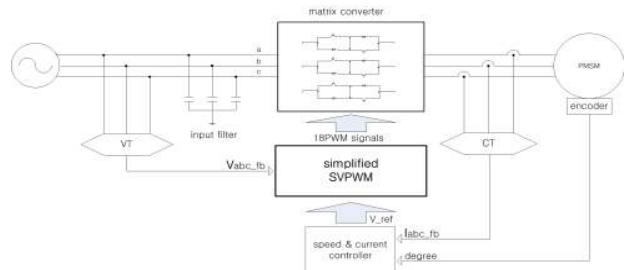


그림 1. PMSM의 속도제어를 위한 매트릭스컨버터 회로 구성도

4.2 시뮬레이션 분석

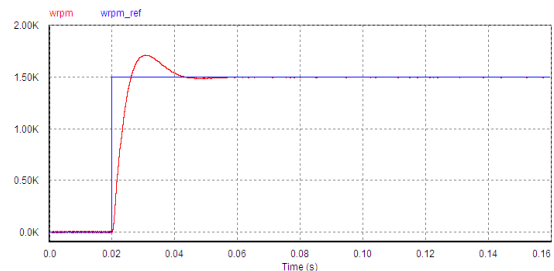


그림 2. PMSM의 속도 파형

그림 2는 제안된 간략형 SVPWM을 적용한 매트릭스컨버터 제어기법에 의해 PMSM을 속도제어한 결과를 보여준다. 지령 속도 1500rpm에 대해 실제속도가 잘 추종하고 있음을 보여준다. 본 시뮬레이션 결과를 통해 기존 SVPWM과 비교하여 삼각함수 계산이 없어지므로 계산과정이 단순화되고 계산량이 작아지지만 동일한 성능을 보여준다.

5. 결론

전류형 컨버터에 전압형 인버터에 사용되고 있는 간략형 SVPWM을 수정하여 적용할 수 있는지에 대한 타당성을 검토하였고, 이로 인해 인가시간을 계산할 때에 삼각함수를 사용하지 않고도 가능성을 보여 주었다. 그리고 입력측 전류형 SVPWM과 출력측 전압형 SVPWM의 조합으로 이루어진 매트릭스컨버터에 적절한 간략형 SVPWM을 각각 도입하여 이에 대한 타당성을 검토하였고, 이에 대한 유효성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 따라서 인가시간을 계산할 때에 필요한 삼각함수를 사용하지 않고도 구현할 수 있고, 또한 계산량 부담을 경감시킬 수 있다.

참고 문헌

[1] Ma Fengmin, Yang Tao, Bu LePing, and Wu Zhengguo, "A Novel Simplified SVPWM Control Scheme for 3 ϕ AC/DC Voltage-Source Converters", in proceedings of Asia-Pacific Conference on CEEM, pp. 242-2462, 2000.