

3상/단상 직접형 전력변환시스템의 소프트스위칭 제어기법

조춘호, 최명수*, 김성곤**, 김태웅
 경상대학교, (주)에스이엠*, 전북자동차기술원**

Soft Switching Control Scheme for 3-Phase to Single Phase Direct Power Conversion System

Choon-Ho Cho, Myeong-Soo Choi*, Sung-Gon Kim**, Tae-Woong Kim
 Gyeongsang National University, SEM Inc.*, Jeonbuk Institute of Automotive Technology**

ABSTRACT

신재생에너지를 이용한 발전 기술 중에 있어서 풍력발전기술은 특히 발전하고 있다. 그 결과, 풍력발전으로 생산한 전력량은 매년 증가하고 있다. 본 논문에서는 풍력발전기의 계통연계를 위한 소프트스위칭이 가능한 3상/단상 직접형 전력변환시스템의 SV PWM 제어기법을 제안한다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 유효성을 검증한다.

1. 서론

2단계 직접형 전력변환시스템은 직류링크회로가 가상으로 이루어짐으로 수동소자를 줄일 수 있다는 장점을 가지지만, 다수 스위칭소자를 사용함에 따른 스위칭손실이 커진다는 단점이 있다.^[1] 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템은 기존 간접형 3상/단상 전력변환시스템과 달리 6개의 양방향 스위칭소자 및 4개의 역병렬 다이오드가 달린 스위칭소자를 제어하기 때문에 제어기법이 복잡하다. 특히 다수의 양방향 스위칭소자를 제어하기 위한 게이트신호의 생성이나 입력/출력의 전력흐름에 따라 양방향으로 제어하기 위한 적절한 스위칭 제어기법이 필요하다. 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템은 6개 양방향 스위칭소자를 입력측 컨버터부로 구성하여 제어하고 역병렬 다이오드가 달린 4개 단방향 스위칭소자를 제어하기 때문에 전체적으로 제어해야 할 반도체 전력스위칭소자는 16개가 되며 스위칭손실 발생이 불가피하다.^[2]

본 논문에서 제안한 SV PWM 제어기법은 3상 교류원에서 가상의 직류링크회로로 전력변환하는 6개의 양방향 스위칭소자가 영진류스위칭으로 동작시켜 스위칭효율을 극대화시킬 수 있으며, 전류흐름에 상관없이 양방향전력제어가 가능하다. 이에 대한 유효성을 시뮬레이션해석을 통해 검증한다.

2. 2단계 직접형 전력변환시스템

2.1 토폴로지

직접형 3상/단상 전력변환시스템인 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템은 직류링크회로 없이 3상 교류입력을 단상 교류출력으로 직접적으로 변환시키는 전력변환시스템이다. 기존 간접형 3상/단상 전력변환시스템과 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템은 직류링크회로에서의 수동소자 유무에 따른 구조적인 차이점이 있다. 구조적인 특성을 살펴보면, 입력측 컨버터부

는 양방향전력제어를 위한 양방향 스위칭소자 6개로 구성되며, 출력측 인버터부는 기존 단상 전압형 인버터의 구조를 가진다. 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템의 주회로는 그림 1에 보여준다. 전력의 양방향흐름에 따른 제어구현과 함께 시스템의 안정성을 확보하기 위해서는 가상직류링크의 검출전류방향을 기반으로 적절한 스위칭 절환절차가 요구된다.^[2] 또한 양방향 전력흐름을 제어하기 위해 많은 반도체 전력스위칭소자 구동용 PWM 게이트신호가 필요하기 때문에 DSP와 FPGA와의 연계를 통해 다수 PWM 게이트신호를 내 보낼 수 있도록 구성함으로써 상기 문제점을 해결 가능하다.

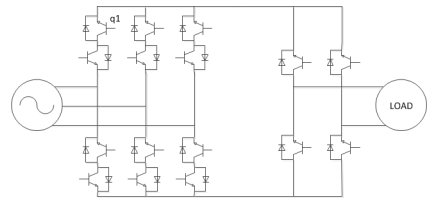
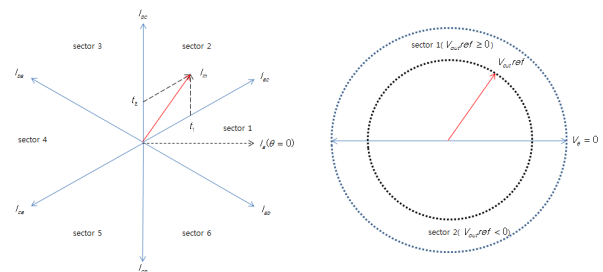


그림 1. 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템

2.2 제안 SV-PWM 제어기법

3상/단상 직접형 전력변환시스템의 입력전류와 출력전압은 그림 2와 같이 공간벡터로 도시되며, 식 (1)과 같이 표현된다.



(a) 입력전류벡터

(b) 출력전압벡터

그림 2. 입력전류 및 출력전압의 공간벡터표현

$$\vec{i}_i = \frac{2}{3}(i_a + i_b e^{j2\pi/3} + i_c e^{j4\pi/3}) = I_i e^{j\theta_i} \quad (1)$$

$$\vec{v}_o = (v_{ab} + v_{ba} e^{j\pi/2}) = V_o e^{j\theta_o}$$

상기 입력전류와 출력전압에 대해 공간벡터 변조기법을 구현

하기 위한 유효벡터인가시간은 다음과 같이 계산된다. 그리고 식 (2)를 통해 입력측 전류벡터의 인가시간과 출력측 전압벡터의 인가시간을 구한 후, 식 (3)을 통해 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템에 사용될 합성벡터인가시간을 계산한다.

$$\begin{aligned}
 T_{i1} &= \sin[(\theta_i - 30^\circ) - (i-1)60^\circ] \\
 T_{i2} &= \sin[(\theta_i + 30^\circ) - (i-1)60^\circ] \\
 T_o &= MI \cdot \sin[180 - \theta_o - (k-1)180^\circ] \\
 T_0 &= T_o - (T_1 + T_2) \\
 T_1 &= MI \cdot \sin[180 - \theta_o - (k-1)180^\circ] \cdot \sin[60^\circ - \theta_i - (i-1)60^\circ] \\
 T_2 &= MI \cdot \sin[180 - \theta_o - (k-1)180^\circ] \cdot \sin[\theta_i - (i-1)60^\circ]
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\tag{3}$$

제안한 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템의 영전류스위칭기반 SV PWM 제어기법은 입력측 컨버터부는 유효벡터만으로 구성된 2단계 스위칭시퀀스를 기본적으로 적용한다.

직류링크회로없이 입력과 출력이 직접적으로 연결되어 있는 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템의 경우, 입력측 컨버터부의 영벡터 혹은 출력측 인버터부의 영벡터 중에 1개 영벡터만 사용하더라도 입력전원과 출력부하 사이의 전력흐름을 차단할 수 있다. 출력측 인버터부의 영벡터만 사용하기 때문에 입력측 컨버터부는 영벡터를 사용하지 않은 유효벡터만으로 구성된 스위칭시퀀스를 사용할 수 있다. 그리고 유효벡터만으로 구성된 2개 스위칭패턴을 사용함으로써 스위칭시퀀스를 최소화 할 수 있으며, 최소한 스위칭절환만으로 입력측 컨버터부를 구동할 수 있다. 입력측 컨버터부의 스위칭시퀀스와 이에 따른 스위칭상태는 표 1에 보여준다.

출력측 인버터부의 제어는 입력측 컨버터부를 영전류스위칭이 가능하도록 스위칭시퀀스 및 스위칭테이블을 설계한다. 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템은 직류링크회로없이 입력과 출력이 직접 연결되어 있으므로 출력(크기 및 출력주파수)에 대한 제어는 출력측 인버터부에서 담당하도록 제어기를 설계한다. 입력측 컨버터부에서 일어나는 모든 스위칭동작에 대해 영전류스위칭을 도입하기 위해 출력측 인버터부에서는 컨버터부의 스위칭절환이 일어나는 시점에 영벡터 구간을 만들어 준다. 전압형 인버터가 영벡터 스위칭상태로 제어가 되는 시점이 입력측 컨버터부와 출력측 인버터부 사이의 전력흐름이 차단되는 시점에 컨버터부에서의 모든 스위칭 동작은 영전류스위칭으로 이루어지며, 전류방향검출없이 양방향전력제어가 가능하다. 본 논문에서 채택한 인버터부의 스위칭시퀀스는 5단계 스위칭시퀀스이며, 인버터부의 스위칭시퀀스와 이에 따른 스위칭상태는 표 2에 보여준다.

상기 내용을 기반으로 구성된 합성 벡터는 표 3에 보여준다. 컨버터부의 양방향스위칭소자가 영전류스위칭 동작을 하도록 6 단계 스위칭시퀀스를 적용하였으며, 시스템의 안정성확보를 위해 적절한 스위칭시퀀스를 선택해서 사용하여야 한다.

표 1. 섹터 1에 있어서 컨버터부의 스위칭패턴

	Ti1	Ti2
phase R	1	1
phase S	0	-1
phase T	-1	0

표 2. 섹터 1에 있어서 인버터부의 스위칭 패턴

	Tv0/4	Tv1/2	Tv2/2	Tv1/2	Tv0/4
phase A	0	1	1	1	0
phase B	0	0	1	0	0

표 3. 섹터 1에 있어서 전체시스템의 스위칭패턴

	T0/4	T1	T0/4	T0/4	T2	T0/4
input R	1	1	1	1	1	1
input S	0	0	0	-1	-1	-1
input T	-1	-1	-1	0	0	0
output A	0	1	1	1	1	0
output B	0	0	1	1	0	0

3. 시뮬레이션 해석

본 논문에서 제안한 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템의 SV PWM 제어기법에 대한 유효성을 검증하기 위해 PSIM 기반 시뮬레이션해석을 수행하였다. 입력전원은 3상 220V를 인가하였으며, RL(100Ohm, 10mH)부하를 적용하였다.

시뮬레이션을 수행한 결과, 출력전류, 출력선간전압의 파형은 그림 3에 보여주고, 컨버터부의 ZCS 동작이 수행되고 있음을 그림 4에 보여준다.

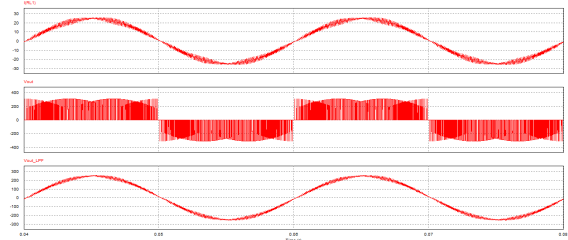


그림 3. 출력파형: (상) 출력전류, (중) 출력선간전압, (하) 출력선간전압(LFP)

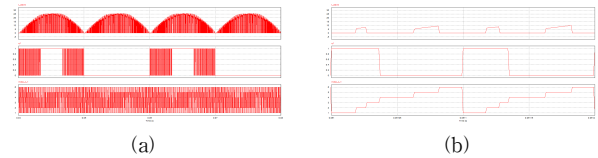


그림 4. ZCS 동작파형: (상) 직류링크전류, (중) q1 스위칭신호, (하) 스위칭시퀀스

4. 결론

제안한 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템의 SV PWM 제어기법을 통해 입력측 전류형 컨버터부의 양방향 스위칭소자의 스위칭손실을 최소화 시킬 수 있으며, 기존 전류방향 검출회로 없이 스위칭절환이 가능하다. 그리고 3상/단상 2단계 직접형 전력변환시스템을 구동할 경우, 입력측 컨버터부의 모든 스위칭절환은 영전류스위칭으로 동작하기 때문에 스위칭손실을 최소화하여 전체 시스템의 효율을 높일 수 있는 장점을 가진다.

본 연구는 경상대학교 링크사업단의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] 김태웅, 최재호 “전력전자회로”, 일본전기학회 반도체 전력변환 시스템 조사전문 위원회 편, pp. 137 207, 2005.
- [2] C. Klumpner, T. Wijekoon, and P. Wheeler, “ A new class of hybrid ac/ac direct power converters,” Proc. of IEEE Industry Applications Conference, vol. 4, pp. 2374 2381, 2005.