

대용량 3상 전류형인버터의 스위칭손실저감 변조기법

백운길, 조춘호, 변철홍, 최재호*, 김태웅
경상대학교, 충북대학교*

Switching Loss Reduction Modulation Scheme for Large-Capacity 3-Phase Current Source Inverter

Woon Gil Baek, Choon Ho Cho, Cheol Hong Byeon, Jaeho Choi*, Tae Woong Kim
Gyeongsang National University, Chungbuk National University*

ABSTRACT

본 논문에서는 대용량 3상 전류형인버터의 효율향상을 위해 스위칭손실을 저감시킬 수 있는 3단계 스위칭시퀀스 기반 SVPWM 제어기법을 제안하고, 기존 SPWM 혹은 SVPWM 제어기법과 비교/검토하여 시뮬레이션 해석을 통해 유효성을 검증한다.

1. 서론

현재 대체에너지인 태양광발전, 풍력발전, 연료전지 등 신재생에너지의 관심이 높아지면서 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 연료전지는 가변 직류전압에서 가변 직류전류를 출력하므로 교류계통과 연계하기 위해서는 직류입력을 받아 교류출력을 하는 인버터에 대한 연구가 지속되고 있다. 전류형인버터는 전류 용량 제어가 되며, 정현파 전류를 출력할 수 있다^[1]. 특히 전류형인버터는 계통 연계 시 출력전압이 계통 전압보다 낮아도 무관하며, 부하단락 및 사고 시 단락에 대한 돌입전류가 없다는 장점을 가진다^[2]. 본 논문에서는 3상 전류형인버터를 스위칭시퀀스를 간략화 및 적절한 스위칭테이블의 구성을 통해 스위칭손실을 저감하는 변조기법을 제안한다.

2. 3상 전류형인버터의 변조기법

2.1 전류형인버터의 SVPWM 제어기법

공간벡터변조방식의 기본원리는 한주기 내에서 기준벡터와 평균적으로 동일한 전압에 대한 유효벡터들을 이용하여 합성하는 기법으로 한 주기 동안에 걸리는 제어시간을 T_s 라 하고 유효벡터 인가시간을 각각 T_1, T_2 라 할 때, 공간벡터를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같이 표현되고, 유효벡터 인가시간은 식 (2)와 같이 표현 된다.

$$\vec{i} = \frac{2}{3}(i_{ab} + i_{bc}e^{j2\pi/3} + i_{ca}e^{j4\pi/3}) = Ie^{j\theta} \quad (1)$$

$$\int_0^{T_s} \vec{I} dt = \int_0^{T_1} I_n dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} I_{n+1} dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} I_0 dt \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 합성하여 최종 벡터 인가시간에 대한 수식은 식 (3)~(5)와 같이 표현된다^[3].

$$T_1 = T_s \cdot \frac{|I^*|}{2I_{dc}/3} \frac{\sin(\pi/3 - (\theta + 30))}{\sin(\pi/3)} \quad (3)$$

$$T_2 = T_s \cdot \frac{|I^*|}{2I_{dc}/3} \frac{\sin(\theta - 30)}{\sin(\pi/3)} \quad (4)$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2) \quad (5)$$

3상 전류형인버터를 SVPWM 기법으로 제어할 경우 설계시에 필요한 6개 섹터는 지령출력전류공간벡터를 통해 결정하게 된다. 6개 섹터는 3상 지령출력전류의 위상에 따라 6가지 유효벡터 스위칭상태를 가지며, 영벡터는 3상 전류형인버터의 보호특성상 개방회로가 구성되는 것을 피하도록 스위칭 록업테이블을 구성해야 한다. 3상 전류형인버터의 공간벡터표현 및 섹터에 대한 스위칭패턴은 그림 1에 나타낸다.

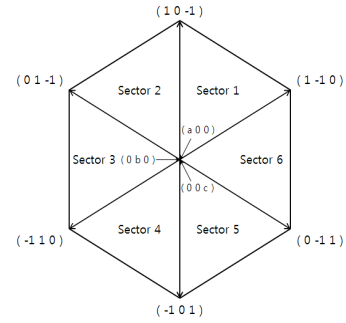


그림 1. 3상 전류형인버터의 공간벡터표현

2.2 제안된 SVPWM 제어기법

본 논문에서는 3상 전류형인버터의 SVPWM 기법을 설계함에 있어 기존 5단계 스위칭시퀀스를 통한 변조기법 대신 공간벡터 제어에 반드시 필요한 최소 스위칭시퀀스인 3단계 스위칭시퀀스를 통한 변조기법을 설계한다.

스위칭시퀀스는 유효벡터 및 영벡터 인가시간에 따라 각기 다른 스위칭상태를 가지며, 이를 통해 스위칭시퀀스 단계가 줄어들면 스위칭절환 또한 저감된다. 기존 5단계 스위칭시퀀스 변조기법의 스위칭테이블 및 스위칭절환을 최소로 하기 위한 3단계 스위칭시퀀스 변조기법의 스위칭테이블은 표 1과 2에 보여준다.

표 1. 기존 5단계 스위칭시퀀스 SVPWM의 스위칭 룩업테이블

T1/2	T2/2	T0	T2/2	T1/2
1	1	a	1	1
0	1	0	1	0
1	0	0	0	1
스위칭 절환 = 8회(1제어주기 당)				

표 2. 3단계 스위칭시퀀스 SVPWM의 스위칭 룩업테이블

스위칭시퀀스 1			스위칭시퀀스 2		
T1	T0	T2	T2	T0	T1
1	a	1	1	a	1
1	0	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0
스위칭 절환 = 8회(2제어주기 당)					

표 2의 3단계 스위칭시퀀스를 사용하는 경우, 스위칭절환은 최소화 할 수 있지만, 출력전류의 리플이 2배가 되며 스위칭고조파가 증가하기 때문에 이에 본 논문에서는 5단계 스위칭시퀀스 변조기법의 출력특성에 대한 장점과 3단계 스위칭시퀀스 변조기법의 스위칭절환 감소에 대한 장점들을 가지는 3상 전류형 인버터의 SVPWM 기법을 설계하였다. 섹터별 스위칭시퀀스는 표 3에 나타내며 제안 변조기법의 스위칭테이블은 표 4에 나타낸다.

표 3. 제안 SVPWM 제어기법의 스위칭시퀀스

sector	switching sequence
1, 3, 5	$T_1 \rightarrow T_0 \rightarrow T_2$
2, 4, 6	$T_2 \rightarrow T_0 \rightarrow T_1$

표 4. 제안 SVPWM 스위칭 룩업테이블

T1	T0	T2	T2	T0	T1
1	a	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0
0	0	1	1	c	1
스위칭 절환 = 12회(2제어주기 당)					

3. 시뮬레이션 해석

3.1 시뮬레이션 해석

3상 전류형인버터는 그림 2와 같이 구성되며 입력전압은 100V 직류전원, 입력측 L부하(18mH)를 사용하고 6개의 스위칭소자 및 다이오드를 사용하고 출력측 3상 C부하(100uF)와 3상 R부하(10Ω)을 사용하였으며, 시스템의 스위칭 주파수는 10kHz로 설정하였다.

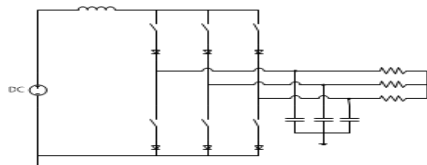
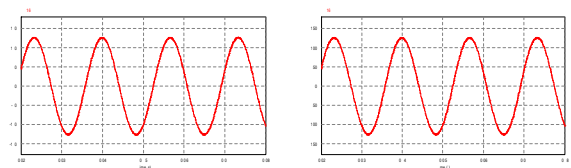


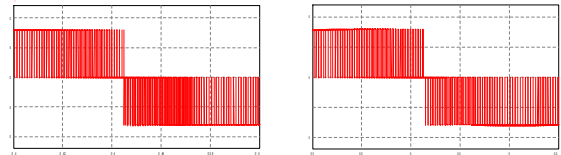
그림 2 시뮬레이션 구성회로

기존 5단계 SVPWM 제어기법과 제안 SVPWM 제어기법의 각 출력선간전압, 출력상전류 및 FFT 파형을 비교하였다. 출력선간전압 비교 시 출력파형이 동일함을 그림 3과 같이 보이며, 출력상전류 비교 시 스위칭절환이 저감됨을 그림 4와 같이 확인하였다. 또한 출력상전류의 FFT 파형이 그림 5와 같고 비교 시 각 주파수 고조파성분이 감소함을 확인하였다.



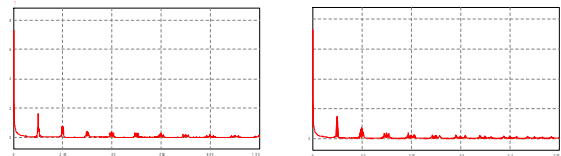
(a) 기존 변조기법 (b) 제안 변조기법

그림 3 출력 선간전압 파형



(a) 기존 변조기법 (b) 제안 변조기법

그림 3 출력 상전류 파형



(a) 기존 변조기법 (b) 제안 변조기법

그림 4 출력 상전류 FFT 분석

4. 결론

본 논문에서는 대용량 3상 전류형인버터의 효율향상을 위해 스위칭절환을 340회(25%) 저감 시킬 수 있는 3단계 스위칭시퀀스 기반의 SVPWM을 제안하였다. 스위칭절환을 최소화하고 출력파형의 고조파 성분이 크기가 줄어들도록 설계하였다. 그 결과 2가지 형태의 스위칭시퀀스를 사용하게 되었고 이에 대한 유효성을 시뮬레이션을 통해 스위칭절환이 저감되었고 고조파 감소를 검증하였다. 추후 3상 전류형인버터를 구성하여 제안한 SVPWM 제어기법으로 실험 해석을 할 예정이다.

이 논문은 호남광역경제권 선도산업 육성사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

참고 문헌

- [1] Malte Mohr, Friedrich W.Fuchs, "Comparison of Three Phase Current Source Inverters and Voltage Source Inverter Linked with DC to DC Boost Converters for Fuel Cell Generation Systems", IEEE/EPE, pp.1 10, 2005.
- [2] Johanna M.A, Myrzlk, "Novel Inverter Topologies for Single Phase Stand Alone or Grid Connected Photo voltaic Systems", IEEE/PEDS, pp.103 108, 2001
- [3] 조준호, 김동현, 최창영, 변철홍, 김성근, 김태웅, "3상 전압형 인버터의 최소스위칭절환 SVPWM 제어기법 제안", 전력전 자학술대회논문집, pp.228 229, 2012