

부분 영전류 스위칭이 가능한 AC/AC 2단계 직접형 전력변환시스템의 스위칭 제어기법

조춘호, 김태웅, 민완기*, 최재호**
경상대학교, 조선이공대학교*, 충북대학교**

Partial ZCS Switching Control Scheme for AC/AC Two Stage Direct Power Converter

Choon-Ho Cho, Tae-Woong Kim, Wan Ki Min*, Jaeho Choi**
Gyeongsang National University, Chosun College of Technology & Science*, Chungbuk National University**

ABSTRACT

3상 AC/AC 2단계 직접형 전력변환시스템(TSDPC)의 제어는 입력전류공간벡터와 출력전압공간벡터를 합성한 공간벡터 PWM 스위칭패턴을 통해 제어를 하며, 이를 기반으로 계산된 유효벡터인가시간에 따라 TSDPC를 구성하는 다수 스위칭소자가 절환 뒀을 통해 많은 스위칭손실이 발생하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 스위칭 시퀀스를 간략화하여 스위칭 절환횟수를 줄임과 동시에 부분 영전류 스위칭 제어기법을 도입하여, 스위칭손실 저감 제어기법을 제안한다.

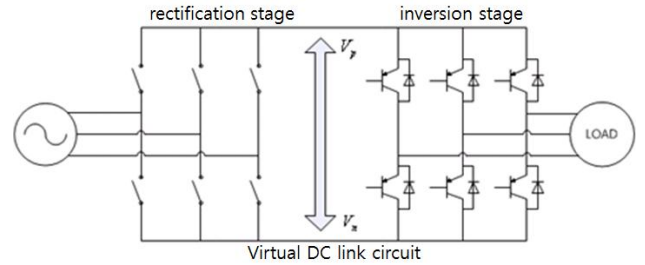


Fig. 1 Structure of 3-Phase TSDPC

1. 서 론

간접형 AC/AC 전력변환시스템이 지니고 있는 직류링크회로를 제거하여 에너지 저장소자를 최소화시킬 수 있는 TSDPC는 많은 수의 스위칭소자를 사용하기 때문에 제어가 복잡하고, 스위칭 손실이 증가하는 문제점을 지니고 있다. TSDPC를 제어하기 위해 입력측 전류공간벡터와 출력측 전압공간벡터를 합성한 SVPWM 제어기법을 사용하며, 기존의 9단계 혹은 11단계 스위칭 시퀀스를 사용할 때, TSDPC를 구성하는 양방향 스위칭소자의 절환 동작이 많고 이는 스위칭 손실과 밀접한 관계에 놓이게 된다. 스위칭 손실을 줄이고자 하는 연구가 진행되고 있지만 정확한 제어기법은 현재 결과가 없는 상태이다^[1].

본 논문에서는 TSDPC의 스위칭 시퀀스 및 스위칭 록업테이블을 새로이 설계하여, 스위칭 절환이 최소로 이루어지며, 부분 영전류스위칭이 가능하도록 제어함으로써 스위칭손실을 저감할 수 있는 SVPWM 스위칭절환기법을 제안한다.

2. TSDPC

2.1 TSDPC 구조

TSDPC는 전력을 교류입력에서 임의 교류출력으로 직접 변환할 수 있는 차세대 AC/AC 전력변환시스템이다. 기존 AC/AC 전력변환시스템은 AC/DC/AC로 AC/DC 전력변환시스템에 의해 중간단계인 직류링크회로에 직류에너지로 저장한 뒤, DC/AC 전력변환시스템으로 임의 교류출력을 얻게 되지만, TSDPC는 직접적으로 AC/AC로 전력을 변환시킨다는 특징을 가지고 있으며 전체적인 시스템의 구조는 그림1에 보여준다.

2.2 TSDPC SVPWM 스위칭절환기법

3상 TSDPC는 입력측 전류형 컨버터에 양방향 스위칭소자 6개, 출력측 전압형 인버터에 역병렬 다이오드가 달린 스위칭소자 6개로 구성된다. 전류형 컨버터 부의 스위칭 상태가 개방회로 방지 및 전압형 인버터 부의 스위칭 상태가 단락회로 방지의 2가지 규칙을 모두 만족시키는 상태에서 입력전류공간벡터와 출력전압공간벡터를 기반으로 36개 합성섹터와 벡터인가시간을 계산하여 TSDPC를 구동하게 된다. 본 논문에서는 전압공간벡터를 기준으로 전류공간벡터를 조합한 섹터를 합성하여 36개 섹터를 만들어 제어한다, 합성한 제어주기를 T_s 라고 하면, 제어주기 동안에 걸리는 전체 유효벡터인가시간 (T_1, T_2, T_3, T_4) 및 영벡터인가시간 T_0 을 다음 수식을 기반으로 제어기법이 설계된다.^[2]

$$\begin{aligned} T_0 &= T_s - (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \\ T_1 &= MI \cdot \sin[60^\circ - \theta_0 + (k-1) \times 60^\circ] \cdot \sin[60^\circ - \theta_i - (i-1) \times 60^\circ] \\ T_2 &= MI \cdot \sin[\theta_0 + (k-1) \times 60^\circ] \cdot \sin[60^\circ - \theta_i - (i-1) \times 60^\circ] \\ T_3 &= MI \cdot \sin[\theta_0 + (k-1) \times 60^\circ] \cdot \sin[\theta_i - (i-1) \times 60^\circ] \\ T_4 &= MI \cdot \sin[60^\circ - \theta_0 + (k-1) \times 60^\circ] \cdot \sin[\theta_i - (i-1) \times 60^\circ] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, (T_1, T_2, T_3, T_4): 합성된 유효벡터 인가시간, MI: 변조 지수, T_0 : 합성 영벡터인가시간, k: 출력섹터, i: 입력섹터

2.3 제안 SVPWM 스위칭절환기법

-
- 컨버터측** : 영벡터가 없는 2 스위칭시퀀스 제어
 - 인버터측** : 섹터를 고려한 5 스위칭시퀀스 제어
 - 전체시스템** : 컨버터측/인버터측을 조합한 6 스위칭시퀀스 제어
-

Table 2. Switching patton for rectification stage(secter 1)

	Ti1	Ti2
phase a	1	1
phase b	0	-1
phase c	-1	0

Table 3. Switching patton for inversion stage(secter 1)

	Tv1/2	Tv2/2	Tv0	Tv2/2	Tv1/2
phase a	1	1	1	1	1
phase b	0	1	1	1	0
phase c	0	0	1	0	0

Table 4. Switching patton for TSDPC(secter 1)

	T1	T2	T0/2	T0/2	T2	T1
input a	1	1	1	1	1	1
input b	0	0	0	-1	-1	-1
input c	-1	-1	-1	0	0	0
output a	1	1	1	1	1	1
output b	0	1	1	1	1	0
output c	0	0	1	1	0	0

제안 제어기법의 설계는 입력측과 출력측의 관계를 고려한 상태로 이루어진다. 입력측인 전류형컨버터부는 스위칭 절환을 최소로 하기위한 스위칭 룩업테이블을 설계한다. TSDPC의 경우, 입력단과 출력단 사이에 가상의 DC링크구간으로 직접적으로 연결되어 있기 때문에 전압형 인버터 측에서만 영벡터로 동작하면 전체 시스템을 영벡터 상태로 동작시킬 수 있게 된다. 이에 스위칭 절환을 최소로 줄이기 위해 입력측은 영벡터인 구간을 제거하고 출력측에서 영벡터구간 제어를 실시하였다. 전체 시스템을 제어하기위해 입력측 전류형컨버터부의 2개 스위칭시퀀스와 출력측 전압형인버터부의 5개스위칭 시퀀스를 합성하여 6개 시퀀스로 제어하였다. 섹터 1의 경우, 컨버터와 인버터 및 전체시스템의 스위칭패턴은 표 2 4에 나타낸다.

3. 시뮬레이션

3.1 시스템 구성

3상 TSDPC를 구동하기 위한 제안된 SVPWM 스위칭절환기법에 대한 유효성을 검증하기 위해 PSIM기반 시뮬레이션해석을 수행하였다. 시뮬레이션 해석을 위한 전체 시스템 회로구성은 그림1을 참고하며, 시스템 사양은 표 5와 같다.

Table 5. Simulation conditions

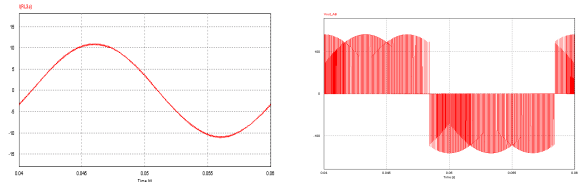
input source		100V/50Hz
switching frequency		10kHz
input filter	capacitor	25.4μF
	inductor	10μH
main circuit	switch	18
	diode	18
load	resistor	5Ω
	inductor	5mH

3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

고정된 벡터인가시간을 사용하는 기존 스위칭절환기법과 달리 벡터인가시간을 섹터 조건에 따라 변경하여 최적인 스위칭시퀀스로 배치하여 시뮬레이션을 수행한 결과 그림2의 출력파형을 확인하였다. 또한 제안된 3상 TSDPC의 SVPWM제어기법

을 사용할 경우, 가상의 DC링크단의 전압과 전류를 그림6에 나타낸다. 가상의 DC링크단의 전류에 대해 전류가 0인 구간에 스위칭을 함으로 ZCS 스위칭 동작을 함을 그림 3에 나타낸다.

TSDPC의 구동에 본 논문에서 제안된 3상 TSDPC의 SVPWM제어기법을 적용한 결과, 3상 직접형 전력변환시스템과 동일한 역할을 수행할 수 있음을 확인하였으며, 스위칭 절환횟수를 최소화 할 수 있고, 부분적인 ZCS 스위칭 동작을 수행함으로써, 스위칭 손실을 최소화할 수 있음을 확인하였다.



(a) output current (b) output voltage

Fig.1 output graph(phase a)

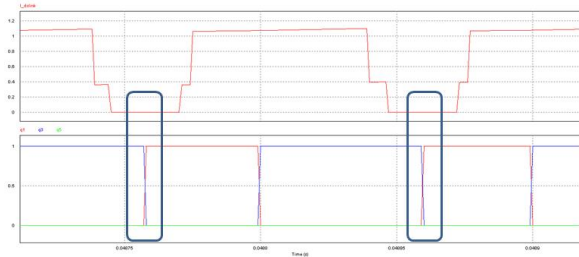


그림 3. ZCS operation graph (top:DC-link current, bottom:gate signals for converter)

4. 결론

본 논문에서는 3상 TSDPC의 최적 SVPWM 스위칭절환기법을 고찰하였다. 스위칭절환 횟수를 최소화 시킬 수 있으며, 부분적으로 ZCS 스위칭 동작을 함으로 스위칭 손실에 대한 강점을 가지는 스위칭절환기법을 제안하였다. 입력측 컨버터부와 출력측 인버터부의 합성에 있어 최소의 스위칭 절환이 일어도록 스위칭 룩업테이블을 구성하여 스위칭 손실을 최소로 줄이는 제어기법을 제안하였다. 제안된 논문으로 TSDPC를 구동할 경우 스위칭 절환 횟수를 약 40%이상 줄일 수 있다. 또한 영벡터구간의 스위칭 상태를 두 가지 형태로 분할하여 ZCS 소프트스위칭을 가능케 함으로 더 효율적인 시스템의 구동이 가능케 된다.

참고 문헌

- [1] P. W. Wheeler, J. Rodriguez, J. C. Clare and L. Empringham: "Matrix Converters: A Technology Review", IEEE Transactions on Industry Electronics, Vol. 49, No. 2, pp.274 288 (2002).
- [2] Y. Tadano, S. Hamada, S. Urushibata, M. Nomura, Y. Sato and M. Ishida: "Direct Space Vector PWM Strategy for Matrix Converters with Reduced Number of Switching Transitions", IEEJ Trans., Vol.124 D, No.4, pp.550 559 (2008).