공통모드전압 저감을 위한 모델예측제어기법을 적용한 PMSM 구동용 H8 인버터 시스템

추경민*, 김준찬*, 정원상*, 원충연*
성균관대학교*

H8 Inverter System for Driving PMSM applying Model Predictive Contorol Method for Common-Mode Voltage Reduction

Kyung-Min Choo*, Jun-Chan Kim*, Won-Sang Jung*, Chung-yuen Won*,
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

모델 예측전류제어 과정에서 공통모드전압을 저감 하기 위한 기존연구방안들이 제시되어 왔지만 두 상의 스위치 함수가 변동하는 데드 타임 구간이나 영 전압벡터 두 가지를 모두 저감시키지는 못하였다. 본 논문에서 제안한 모델예측전류제어는 영 전압벡터와 데드 타임에서의 공통모드전압을 고려하여 H8 인버터시스템에서 공통모드전압을 저감하였을 뿐만 아니라 영 전압 벡터 사용으로 인한 THD도 개선하였다. 모델예측전류제어를 적용한 H8 인버터 시스템의 공통모드전압의 저감과 출력전류 THD 개선을 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

1. 서 론

최근에 고속 스위칭이 가능한 와이드 밴드 갭 전력 반도체가 많은 시스템에 적용되어 왔으나 모터 구동 시스템에 적용될 때 공통모드전압으로 인한 문제가 발생하였다.

본 논문에서는 두 가지 레벨의 3 상 전압원 인버터 PMSM 구동 시스템에서 공통모드전압 감소 방법을 모델예측제어기법에 적용한다. 모델예측제어기법은 전류 예측과정에서 영 전압벡터는 8개의 스위칭으로 인해 사용되며, 데드 타임에서 발생하는 공통모드전압의 예기치 않은 $\pm 1/2V_{dc}$는 두 상의 스위칭이 이전 벡터에서 다음 벡터로 변경 될 때 발생한다. 이러한 공통모드전압에 의해 발생하는 문제를 저감하기 위해 몇몇 방안이 제시되었는데 [1]에서는 영 전압 벡터를 제거하고 현재 벡터와 이에 상반되는 벡터를 기존 영 전압 벡터 사용 구간에 적용하여 공통모드전압을 저감하였지만 이 경우 두 상 이상의 스위칭 함수가 변화할 때 데드 타임 구간에서 공통모드전압의 급격한 변동이 일어나는 문제점이 생겼다. 이로 인해 데드 타임을 고려하여 인접한 벡터만을 사용하는 방안이 [2]에서 제안되었으나 이를 이용할 경우 공통모드전압은 $\pm 1/6V_{dc}$으로 제한되지만 전류 THD가 급격히 증가하는 문제점이 대두 되었다. 본 논문에서는 영 전압 인가 시에 낮은 공통모드전압을 갖는 H8 인버터 시스템을 이용하여 공통모드전압을 저감하면서도 THD가 개선된 모델예측제어기법을 제안한다.

2. 모델예측제어기법을 적용한 공통모드전압

2.1 6-switch 인버터의 공통모드전압

6개의 IGBT를 갖는 2 레벨 3 상 전압원 인버터 시스템에서 공통모드전압은 그림 1과 같이 측정한다. 표 1은 전압분배법칙에 의해서 유효전압벡터인 경우와 영 전압벡터인 경우로 4개의 전압레벨이 측정되는 것을 나타내었다.

표 1 2레벨 3상 인버터의 공통모드전압
Table 1 Common-mode voltage of 2-level 3-phase inverter

스위치 상태				비교
S_a	S_b	S_a	V_{no}	
0	0	0	$-V_{dc}/4$	영전압
0	0	1	$-V_{dc}/6$	유효전압
0	1	0	$-V_{dc}/6$	
0	1	1	$V_{dc}/6$	
1	0	0	$-V_{dc}/6$	
1	0	1	$V_{dc}/6$	
1	1	0	$V_{dc}/6$	
1	1	1	$V_{dc}/4$	영전압

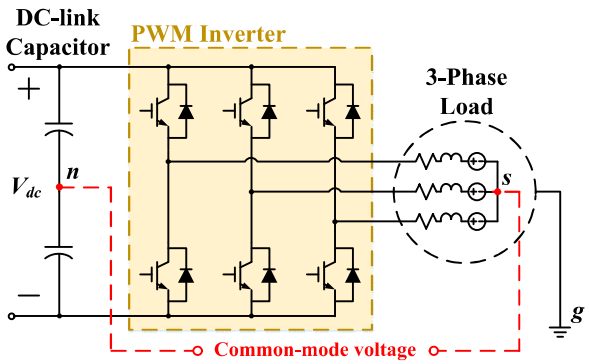


그림 1 2 레벨 3 상 인버터의 공통모드전압 측정
Fig. 1 Common-Mode Voltage Measurement of 2-Level, 3-Phase Inverters

2.2 유한요소 모델예측제어기법

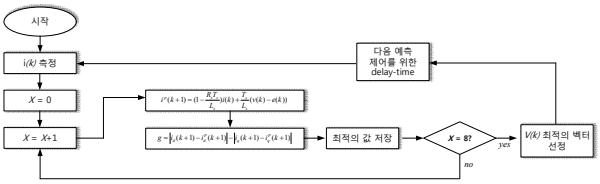


그림 2 모델예측제어기법 알고리즘
Fig. 2 Model predictive control algorithm

모델예측제어기법은 제어기를 이용하여 다음 샘플링에서 전류를 예측하고 유한한 전압벡터로 전류를 제어한다. 6개의 유

효전압벡터와 2개의 영 전압벡터를 포함한 8개의 전압 벡터는 부하 전류를 조정할 수 있다. 동일한 출력 전압은 그림 2에 도시된 바와 같이 공간 벡터 상에서 알고리즘을 통해 다음 전류를 예측한다. 모델예측제어의 시스템 구성도는 예측된 미래의 부하 전류 식을 구하는 과정과 비용함수를 구하여 최적의 전압 벡터를 출력하는 과정으로 구성된다. 모델예측제어 기법을 사용할 시 지연성분과 스위칭 손실을 개선하지만, 전류 THD 문제로 고속 스위칭이 요구된다. 그래서 고속스위칭 시 발생되는 공통모드전압의 영향을 많이 받기 때문에 저감하는 방안이 필요하다.

3. H8 인버터에 모델예측제어기법을 적용한 공통모드전압

기존의 H7 인버터 시스템은 V_0를 사용하지 않는 공통모드 전압 저감 방안에 대해서 제안하였다[3]. V_0 벡터를 사용하지 않으므로 공간벡터 상의 자유도가 감소하며 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 H8 인버터 시스템을 구성하여 V_0, V_7의 영 전압 벡터가 사용되었다. 스위치 패턴은 그림 3과 같이 V_7벡터가 인가되었을 때 7번째 스위치를 개방시키기 위해 구현하였고 V_0벡터가 인가되었을 때 8번째 스위치를 개방시키기 위해 구현하였다. V_0, V_7의 영 전압 벡터 인가 시 $\pm 1/4V_{dc}$의 공통모드 전압이 형성되어 영 전압 벡터 사용 시의 공통모드전압을 저감시킨다.

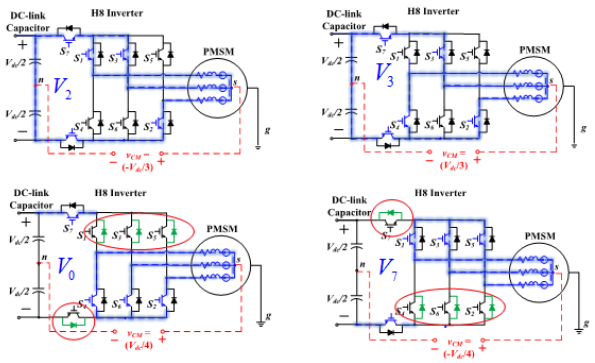


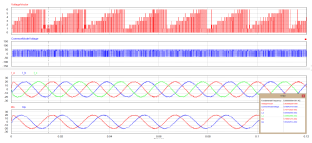
그림 3 H8 인버터의 스위칭 패턴에 따른 공통모드전압
Fig. 3 Common mode voltage according to the switching pattern of H8 inverter

표 2 H8 인버터의 스위칭 패턴에 따른 전압벡터
Table 2 Voltage vector according to switching pattern of H8 inverter system

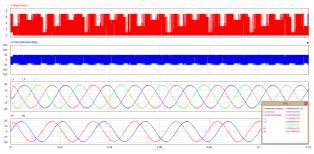
V_k	V_{k+1}				
$V_0(0,0,0)$ (S_7off, S_8on)	$V_1(1,0,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_3(0,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_5(0,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_0(0,0,0)$ (S_7off, S_8on)
$V_1(1,0,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_1(1,0,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_2(1,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_6(1,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_0(0,0,0)$ (S_7off, S_8on)
$V_2(1,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_2(1,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_1(1,0,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_3(0,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_7(1,1,1)$ (S_7on, S_8off)
$V_3(0,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_3(0,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_2(1,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_4(0,1,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_0(0,0,0)$ (S_7off, S_8on)
$V_4(0,1,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_4(0,1,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_4(0,1,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_5(0,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_7(1,1,1)$ (S_7on, S_8off)
$V_5(0,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_5(0,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_4(0,1,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_6(1,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_0(0,0,0)$ (S_7off, S_8on)
$V_6(1,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_6(1,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_5(0,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_1(1,0,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_7(1,1,1)$ (S_7on, S_8off)
$V_7(1,1,1)$ (S_7on, S_8off)	$V_2(1,1,0)$ (S_7off, S_8off)	$V_4(0,1,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_6(1,0,1)$ (S_7off, S_8off)	$V_7(1,1,1)$ (S_7on, S_8off)

그리고 표 2와 같이 설정된 스위칭 패턴에 따른 전압벡터를 나타내어서 데드타임구간과 영 전압벡터의 공통모드전압을 저감할 수 있다.. 영 전압벡터 사용으로 인해 V_0, V_7의 영 전압 벡터 인가 시 전류 환류 구간이 생겨 전류 변동 값을 줄여주기 때문에 전류 THD를 저감할 수 있다.

4. 시뮬레이션



(a) 6-Switch 인버터 시스템 (b) H7 인버터 시스템



	(a)	(b)	(c)
V_{no}	36V	20V	22V
$I(THD)$	5.7 %	6.4 %	5.6 %

(c) H8 인버터 시스템

그림 4 스위치 개수에 따른 공통모드전압과 전류 THD
Fig. 4 Common mode voltage and current THD according to the number of switches

기존의 MPC 기법과 H7 시스템에 인접한 전압 벡터를 사용한 제안된 MPC와 H7 시스템에 인접한 전압 벡터를 사용한 제안된 MPC를 적용하여 그림 4와 같이 시뮬레이션 하였다. 정량적으로 보면 H8 시스템의 MPC를 적용하여 인접한 벡터만 사용하여 기존의 MPC보다 평균 28.4V의 공통모드전압을 저감하였고 전류 THD가 인접한 벡터만 사용할 경우보다 약 2.6% 저감하는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 모델예측제어를 적용한 PMSM의 구동 시스템에서 영 전압벡터와 데드 타임에서의 공통모드전압을 고려하여 전류 THD의 큰 증가 없이 H8 인버터시스템에서 공통모드전압을 저감하였으며 이를 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] S. Kwak and S. Mun, Model predictive control methods to reduce common-mode voltage for three-phase voltage source inverters, IEEE Trans, Power Electron, vol.30, no. 9, pp. 5019-5035, Sep, 2015.

[2] Jun-Chan Kim, Kyoung-Min Choo, Woo-Jae Kim, Won-Sang Jung and Chung-Yuen Won, 2018, "A study on the Improvement of current THD according to common mode voltage reduction of PMSM drive system with MPC," Proceedings of KIIEE Annual Conference, , pp.

[3] 김준찬, 추경민, 김우재, 정원상, 원충연. (2018). MPC가 적용된 PMSM 구동시스템의 공통모드전압 저감에 따른 전류 THD 개선에 대한 연구. 한국조명·전기설비학회 학술대회논문집,34-34.