

Shunt Resistor을 이용한 두 가지 전류 피드백 방법 분석

주동명, 조원제, 신승민, 이병국
성균관대학교

Analysis of two current feedback methods using shunt resistor

Dong-Myoung Joo, Won-Je Jo, Seung-Min Shin, Byoung-Kuk Lee
SungKyunKwan University

ABSTRACT

동기 전동기 구동에서는 정밀한 토크 제어를 위해 벡터 제어가 필요하다. 이를 위해 전류 피드백이 필요하며, 전류를 검출하는 방법으로 1개 또는 3개의 shunt resistor를 사용하여 각각 dc-link 전류 검출 또는 상 전류를 검출하는 것이 있다. 이 전류 검출 방법들의 문제 발생 구간을 분석한다.

1. 서론

3상 영구자석 동기전동기(PMSM)의 폐 루프 제어시에는 PMSM의 각 상의 전류 피드백이 필요하다. 이를 위해 홀 CT를 사용하는 방법이 많은 곳에서 사용되고 있지만 이는 가격 및 부피 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 Shunt resistor를 사용하여 저비용으로 상 전류를 피드백 하는 방법이 제안되었다. Shunt resistor를 DC link에 직렬로 연결하여 DC link 전류로부터 상 전류를 피드백하는 방법 및 인버터 각 암의 아랫단 스위치에 연결하여 상 전류를 피드백하는 두 가지 방법이 있다. 두 방법 모두 정확한 피드백을 위해 전류를 측정하는 구간의 최소 유지 시간의 확보가 필요하다. 이 때 DC link 전류로부터 상 전류를 피드백하는 경우엔 액티브 벡터의 출력시간이 최소 유지 시간보다 작아질 때 문제가 발생하며, 세 개의 Shunt resistor를 이용한 경우에는 영벡터의 출력시간이 최소 유지시간보다 작아질 때 잘못된 전류 정보를 피드백하는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 인버터에 SVPWM을 적용했을 때 두 가지 상전류 피드백 방법에서 잘못된 상전류 정보를 읽어오는 문제 발생 구간을 분석한다.

2. 본 문

2.1 DC-link 전류를 이용한 상 전류 피드백

그림 1과 같이 Shunt Resistor를 DC link에 연결하여 상 전류 정보를 피드백한다. 이 때 Shunt Resistor에 흐르는 전류는 인버터의 스위칭 상태에 따라 결정된다^[1].

DC link 정보를 통해 전류를 피드백 할 때 중요한 점은 식 (1)와 같은 출력 벡터의 최소 유지 시간 T_{min} 이 필요하다는 것이며 T_{min} 조건이 만족되지 않으면 잘못된 상 전류 정보를 읽어오는 문제가 발생한다.

$$T_{min} = T_{dt} + T_{rs} + 2T_{sh} \quad (1)$$

식 (1)에서 T_{dt} 는 Dead-time, T_{rs} 는 Rise and settling time, T_{sh} 는 Sampling time을 의미한다.

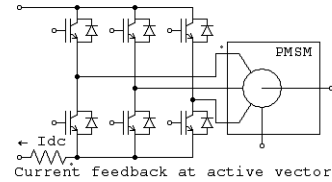


그림 1 DC link 전류 피드백

이 때 V_{ref} 가 작을 때 T_1, T_2 (각 액티브 벡터의 출력 시간)가 모두 T_{min} 을 만족하지 못하는 문제가 발생하게 되며 이를 분석하기 위해 SVPWM을 적용했을 때의 출력 시간 계산식을 통해서 T_1, T_2 를 계산하였다. 표 1과 2에 $V_{ref} = 5V, V_{ref} = 40V$ 일 때 섹터 1에서의 T_1 및 T_2 를 나타내었다.

표 1 $V_{ref}=5V$ 일 때 각도에 따른 액티브 벡터 출력 시간

$\theta(^{\circ})$	$T_1(\mu s)$	$T_2(\mu s)$	$\theta(^{\circ})$	$T_1(\mu s)$	$T_2(\mu s)$
5	1.182	0.126	35	0.610	0.828
10	1.106	0.251	40	0.494	0.928
15	1.021	0.374	45	0.374	1.021
20	0.928	0.494	50	0.251	1.106
25	0.828	0.610	55	0.126	1.182
30	0.722	0.722	60	1.250	0.000

표 2 $V_{ref}=40V$ 일 때 각도에 따른 액티브 벡터 출력 시간

$\theta(^{\circ})$	$T_1(\mu s)$	$T_2(\mu s)$	$\theta(^{\circ})$	$T_1(\mu s)$	$T_2(\mu s)$
5	9.459	1.006	35	4.880	6.623
10	8.846	2.005	40	3.949	7.422
15	8.165	2.989	45	2.989	8.165
20	7.422	3.949	50	2.005	8.846
25	6.623	4.880	55	1.006	9.459
30	5.774	5.774	60	10.000	0.000

$V_{ref} = 5V$ 일 때는 T_1, T_2 가 전 구간에서 T_{min} 조건을 만족하지 못하지만 $V_{ref} = 40V$ 일 때는 Space vector diagram의 꼭지점을 제외한 곳에서 T_{min} 조건을 만족한다. 그림 2에 $\theta = 10^{\circ}$ 에서 V_{ref} 에 따른 T_2 의 변화를 도시하였으며 V_{ref} 가 증가할수록 T_1, T_2 가 증가하며 문제구간은 저전압에서 발생한다. 또한, V_{ref} 가 Space vector diagram의 꼭지점을 지날 때 T_1

또는 T_2 중 하나가 T_{min} 을 만족하지 못한다. 표 3에 $V_{ref}=173V$ 에서 V_{ref} 가 V_2 를 지날 때의 T_1, T_2 를 나타내었다.

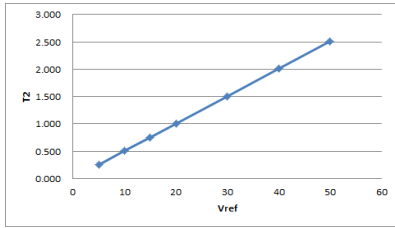


그림 2 $\theta = 10^\circ$ 일 때 V_{ref} 에 따른 T_2

표 3 V_{ref} 가 V_2 를 지날 때 각도에 따른 T_1, T_2

$\theta(^{\circ})$	섹터	T_1 (us)	T_2 (us)	$\theta(^{\circ})$	섹터	T_1 (us)	T_2 (us)
56	1	1.744	20.726	60	2	21.651	0.000
57	1	1.308	20.967	61	2	21.429	0.436
58	1	0.872	21.201	62	2	21.201	0.872
59	1	0.436	21.429	63	2	20.967	1.308
				64	2	20.726	1.744

Switching frequency = 10kHz, DC link 전압 $V_{DC}=300V$, $T_{min}=2\mu s$ 조건에서 계산을 통해 분석해본 결과 DC-link 전류정보를 통해 상전류를 피드백 받는 경우, V_{ref} 40V미만일 때 및 항상 Space vector diagram의 각 꼭지점에서 T_{min} 을 만족하지 못하며 잘못된 상 전류를 피드백하게 된다.

1.2 세 개의 Shunt resistor를 이용한 상전류 피드백

shunt resistor를 그림 3과 같이 아랫단 스위치의 후단에 각각 연결하여 3상 전류를 피드백 한다. 이 때 아랫단 스위치가 모두 켜지는 <000> 영벡터에서 상전류를 측정한다.

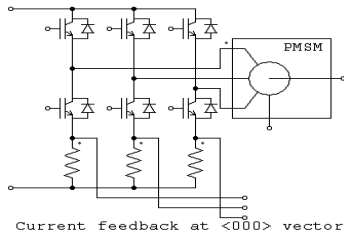


그림 3 상 전류 피드백

이 때에도 T_0 (영벡터<000>)의 출력시간의 최소 유지 시간이 필요하기 때문에 T_0 가 식 (1) 조건을 만족시켜야 하며, V_{ref} 가 커져서 T_0 가 T_{min} 보다 작아지게 되면 문제가 발생하게 된다^[2]. 표 3에 섹터1에서 $V_{ref}=173V, 166V$ 일 때 T_0 를 나타냈다.

표 3 V_{ref} 의 변화에 대한 영벡터 출력 시간

$V_{ref}=173V$				$V_{ref}=166V$			
$\theta(^{\circ})$	T_0 (us)	$\theta(^{\circ})$	T_0 (us)	$\theta(^{\circ})$	T_0 (us)	$\theta(^{\circ})$	T_0 (us)
10	3.015	30	0.000	10	4.970	30	2.080
15	1.704	35	0.190	15	3.713	35	2.262
20	0.760	40	0.760	20	2.808	40	2.808
25	0.190	45	1.704	25	2.262	45	3.713

$V_{ref}=173V$ 일 때는 15°부터 45°까지의 구간에서 T_0 가 T_{min} 을 만족하지 못하지만 $V_{ref}=166V$ 일 때는 전 구간에서 T_{min} 을 만족한다. 그림 4에 $\theta=30^\circ$ 에서 V_{ref} 에 따른 T_0 를 도시하였으며 V_{ref} 가 작아짐에 따라 T_0 가 커지게 된다.

Switching frequency = 10kHz, DC link 전압 $V_{DC}=300V$,

$T_{min}=2\mu s$ 조건에서 계산을 통해 분석해본 결과 인버터 아랫단에 shunt resistor를 연결하여 상전류를 피드백 받는 경우 최소 T_{min} 을 확보할 수 있는 $V_{ref}=166V$ 까지 사용할 수 있고, $V_{ref}>166V$ 에서는 잘못된 상전류정보를 피드백 받게 된다.

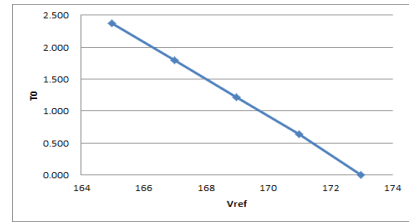


그림 4 $\theta = 30^\circ$ 일 때 V_{ref} 에 따른 T_0

2.1 시뮬레이션

두 피드백 방법의 비교를 위해 동일한 조건에서 시뮬레이션 하였다. 그림 5의 One_shunt 파형은 DC link 전류이며 평형 전류 식을 이용하여 I_a 를 분리 및 샘플링하여 피드백하여야 한다. Ia_shunt 파형은 스위치 아랫단의 shunt resistor를 이용하여 a상 전류를 측정한 파형이며, 구형과 형태의 파형이 나타나지만 I_a 파형과 동일한 형태임을 확인할 수 있다. I_a 는 실제 a상 전류의 파형이다.

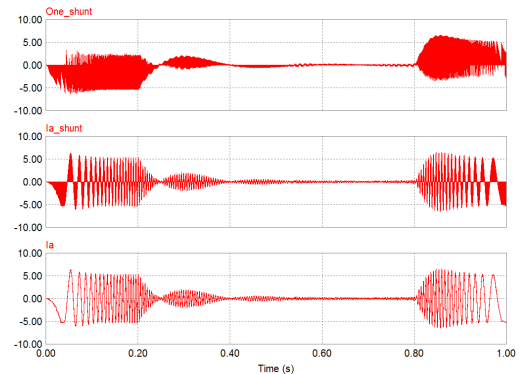


그림 5 DC link 파형 및 shunt resistor 상 전류 파형

3. 결론

본 논문에서는 Shunt resistor를 이용한 두 전류 피드백 방법의 문제발생 구간을 분석하였다. 하나의 shunt resistor를 이용하여 DC link 전류를 이용한 상전류 피드백 방법은 모터에 저전압이 인가될 때, 세 개의 shunt resistor를 이용한 방법은 모터에 고전압이 인가될 때 문제가 발생하는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] F. Parasiliti, R. Petrella, and M. Tursini, Wang, "Low cost phase current sensing in DSP based AC drives," Proceedings of the IEEE, Int. ISIE'99, Bled, Slovenia, pp. 1284-1289, 1999, July.
- [2] S. Chi, X. Wang, Y. Yuan, Z. Zhang, L. Xu, "A Current Reconstruction Scheme for Low-Cost PMSM Drives Using Shunt Resistors" Power Electronics Conference, APEC, pp.1701-1706, 2007, Feb.