

직접토크제어 방식에서 전압 벡터의 토크 및 자속 특성 해석

곽윤창, 박준휘, 안진우, 이동희
경성대학교 메카트로닉스 공학과

Torque and Flux characteristics of The Direct Torque Control Method

YunChang Kwak, Junhwi Park, Jin-Woo Ahn, Dong-Hee Lee
Dept. of Mechatronics Engineering Kyungsung University

ABSTRACT

본 논문은 직접토크 제어에서 토크와 자속 오차에 따라 결정된 전압 벡터가 가지고 있는 자속 및 토크 출력 특성을 전압의 d q 해석을 통해서 분석하고, 6섹터 방식과 12섹터 방식에서 각 전압에 의해 발생하는 토크 및 자속 특성을 회전자 위치에 따라 해석하였다. 또한, 전압벡터의 전압특성을 모의하기 위한 근사 전압함수를 제시하고, 근사전압함수를 통해 직접토크 제어 방식에서의 자속 및 토크 제어의 성능향상이 가능함을 실험을 통해 검증하였다.

1. 서 론

일반적으로 직접토크제어 방식이 벡터제어 방식에 비해 매우 간단하지만, 자속 및 토크의 제어성능이 샘플링 및 스위칭 주파수에 따라 크게 의존적인 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 다양한 직접토크제어 방식이 연구되었다^[1].

직접토크제어가 벡터제어에 비해 자속 및 토크의 리플 높은 것은 스위칭 구간에서 선택된 전압벡터가 가지는 토크 및 자속 특성에 기인한다. 토크와 자속의 오차가 가지는 부호에 따라 한 섹터 내에서 선택되는 전압벡터에 의한 출력토크 및 자속은 섹터 내에서 회전자의 위치에 따라 달라지기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 섹터 내에서 전압벡터가 가지는 자속 및 토크 특성을 전압의 d q 해석을 통해서 분석하였다. 또한, 일정한 자속 및 토크 특성을 가질 수 있도록 제어하기 위해 전압벡터의 전압성분을 근사화 할 수 있는 근사 전압함수를 제시하고, 근사전압함수를 통해 자속 및 토크 제어 성능이 향상 될 수 있음을 실험을 통해서 검증하였다.

2. DTC 방식의 전압벡터 해석

그림 1과 그림 2는 6섹터 방식과 12섹터 방식^[2]에서 자속오차 부호에 따라 선택된 전압벡터를 해석한 결과를 나타내고 있다. 그림 1에서 자속과 토크 오차는 4가지 조건에 따라 전압벡터가 결정되고, 그림 2의 12섹터 방식에서는 자속과 토크 오차는 12개의 조건으로 결정된다. 특히 12섹터 방식에서 자속 및 토크오차의 부호 조건에 따라 전압벡터는 3개가 선택이 가능하

다. 그림 1과 그림 2에서 선택된 전압벡터에 의한 출력전압은 토크 및 자속오차의 부호와 회전자 위치에 따라 규칙적으로 변동하게 되며, 특히, 6섹터 방식의 경우에는 섹터가 변동하는 교차점 부근에서는 낮은 q축 전압과 영전압 근처의 d축 전압이 인가되어 원하는 크기의 자속 및 토크를 생성하기에 부족할 수 있으며, 높은 q축 전압과 높은 d축 전압은 높은 자속 및 토크 리플을 만들게 된다.

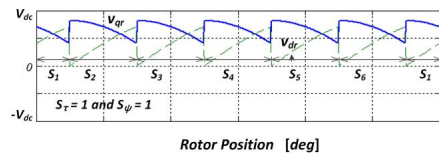


그림 1. 6섹터 방식에서 전압벡터의 d-q축 전압 해석($S_r > 0$ 와 $S_\psi > 0$)
Fig. 1 The d-q axis voltages of voltage vector (at 6 sectors)

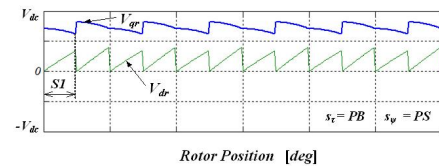


그림 2. 12섹터에서 전압벡터의 전압 성분 해석($S_r > 0$ 와 $S_\psi > 0$)
Fig. 2 Analyzed voltages at 12-sectors method ($S_r > 0$ and $S_\psi > 0$)

3. 토크 및 자속 특성

그림 3과 그림4는 모터 속도 1000RPM과 경계 전류 4.65A로 모터를 구동할시 6섹터 방식에서 인가된 전압벡터에 따른 d q축 전압과 전류를 나타내고 있다.

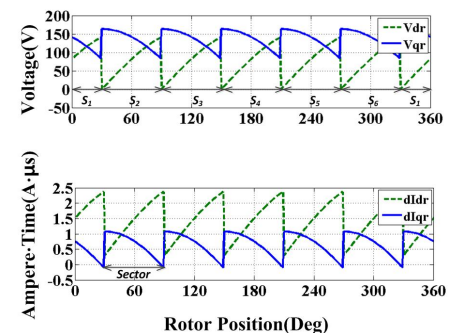


그림 3. 6섹터 방식에서 전압벡터의 d-q축 전류 성분 해석
Fig. 3 The d-q axis voltages of current vector (at 6 sectors)

5 실험 결과

본 논문에서는 기존 6섹터 방식과 제안된 12섹터 방식을 비교 실험하였다.

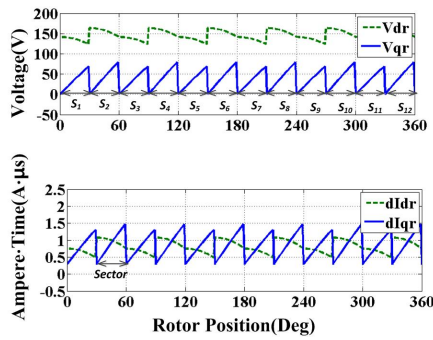


그림 4. 12섹터 방식에서 전압벡터의 d-q축 전류 성분 해석
Fig. 4 The d-q axis voltages of current vector (at 12 sectors)

그림 3과 그림4에서 전압의 리플에 의해 샘플링 구간에서 전류의 발생이 일정하지 않음을 보이고 있으며, 이에 의한 토크 및 자속의 리플이 증가할 수 있음을 나타내고 있다.

4. 근사전압 함수

근사전압함수는 그림 1과 그림 2에서 선택된 전압벡터가 가지는 전압의 특성을 근사적으로 해석한 함수이다. 제안된 근사전압함수는 섹터에서 선택된 전압벡터는 부호를 제외하고는 회전자 위치에 따라 규칙적인 2차 함수의 일부 구간으로 표현될 수 있다.

$$\theta_s = \theta_{rc} - \left((N_s - 1) \cdot \frac{\pi}{6} \right) \quad (3)$$

각 섹터 구간에서의 회전자 위치를 θ_{rc} 라고 가정하는 경우에 섹터 회전각도 θ_s 는 다음과 같이 결정된다. 근사전압 함수는 절대치로 하여 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

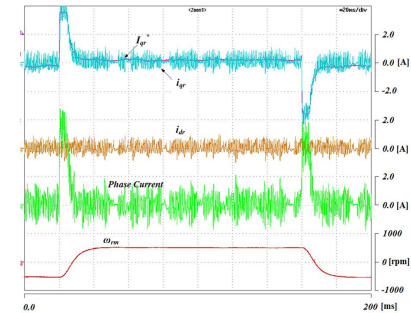
$$V_{db}(\theta_s) = (a_d \cdot \theta_s^2 + b_d \cdot \theta_s + c_d) \times V_{dc} \quad (4)$$

$$V_{qb}(\theta_s) = (a_q \cdot \theta_s^2 + b_q \cdot \theta_s + c_q) \times V_{dc} \quad (5)$$

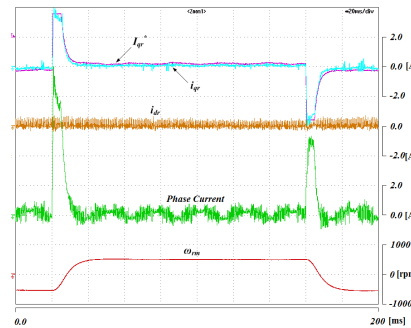
단, $V_{db}(\theta_s)$ 와 $V_{qb}(\theta_s)$ 는 섹터 회전각도 θ_s 에 따른 d축과 q축 성분의 근사전압함수를 의미한다. 각 계수들은 2차 최소 자승법을 이용해 구할 수 있다.

표 1 섹터 회전각도에 따른 d축 근사전압함수 계수
Table 1 The coefficients of d axis approximate voltages

s_ψ	s_τ	S1/S3/S5/S7/S9/S11			S2/S4/S6/S8/S10/S12		
		A_{db}	B_{db}	C_{db}	A_{db}	B_{db}	C_{db}
PB	PS	0.3390	0.3711	0.6058	0.3915	0.4285	0.6995
	NS	0.3933	0.0098	0.8166	0.3406	0.0085	0.7072
PM	PM	0.2848	0.7325	0.3950	0.2466	0.6343	0.3421
	NM	0.2509	0.3565	0.6191	0.2898	0.4116	0.7149
PS	PB	0.0881	0.7276	0.0134	0.1017	0.8401	0.0154
	NB	0.1086	0.7227	0.4216	0.0940	0.6259	0.3652
NS	PB	0.1086	0.7227	0.4216	0.0940	0.6259	0.3652
	NB	0.0881	0.7276	0.0133	0.1017	0.8401	0.0154
NM	PM	0.2509	0.3565	0.6191	0.2898	0.4116	0.7149
	NM	0.2848	0.7325	0.3950	0.2466	0.6343	0.3421
NB	PS	0.3933	0.0098	0.8166	0.3406	0.0085	0.7072
	NS	0.3390	0.3711	0.6058	0.3915	0.4285	0.6995



(a) 기존의 6섹터 방식
(a) Conventional DTC(at 6 sector)



(b) 제안된 12섹터 방식
(b) Proposed DTC(at 12 sector)

그림 5. 기존 6섹터 방식과 제안된 12섹터 방식의 실험 결과
Fig. 5 6sector and proposed 12sector method experimental results

6. 결론

본 논문에서는 기존의 직접토크 제어방식에서 사용하고 있는 6섹터 및 12섹터 방식에서 전압벡터에 따른 자속 및 토크 특성을 해석하고, 제어 성능을 향상시키기 위한 근사전압 함수를 제시하였다. 제시된 근사전압 함수를 사용한 PWM 방식의 적용을 통해 직접토크 제어방식의 자속 및 토크 리플특성이 개선될 수 있음을 실험과 해석을 통해 검증하였다.

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연협력 기술개발사업(No. 2013791) 및 BK21+사업으로 수행된 연구 결과임

참고 문헌

- [1] C. French and P. Acarnley, "Direct torque control of permanent magnet drives," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. IA 32, pp. 1080-1088, Sept./Oct. 1996.
- [2] Ke Wang, Yaohua Li, Liming Shi, Qiongquan Ge, "A Novel Switching Scheme for Direct Thrust Control of LIM with Reduction of Thrust Ripple", Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2010 International Conference, Oct. 2010, 1491-1494