

이중 인버터를 이용한 표면 부착형 영구자석 전동기의 약자속 제어

김영남, 이용재, 하정익
서울대학교 전기·컴퓨터 공학부

Flux Weakening Control Strategy for SMPMSM Driven by Dual Inverter

Youngnam Kim, Yongjae Lee, and Jung Ik Ha

School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

ABSTRACT

이중 인버터를 이용한 개방 권선 전동기 구동 시스템에서 한 인버터의 DC 링크만 전원에 연결하고 추가된 인버터의 DC 링크는 전원에 연결하지 않는 경우, 전원이 연결되지 않은 인버터의 전압은 승압이 가능하게 된다. 때문에 일반적인 단일 인버터를 이용하여 전동기를 구동하는 경우보다 높은 전압을 전동기에 인가할 수 있게 되고, 따라서 약자속 영역에서 전동기가 더 많은 토크와 파워를 출력할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만 본 논문에서 사용하는 이중 인버터의 경우 유효전력과 무효전력을 분리하여 제어하여야 하기 때문에 기존과는 다른 약자속 방법을 필요로 하게 된다. 따라서 본 논문에서는 표면 부착형 영구자석 전동기의 이중 인버터 구동 시스템에서 유효 전력 분 전압의 크기를 최대화하는 약자속 제어방법을 제안하고 모의실험을 통해 그 효용성을 검증하였다.

1. 서론

영구 자석 동기 전동기(PMSM)는 고속 운전 시 역기전력의 크기가 매우 크기 때문에 이를 공급하기 위한 높은 DC 링크 전압을 필요로 한다. 때문에 부스트 컨버터를 이용하여 DC 링크 전압을 승압하거나, 약자속 제어를 통해 역기전력을 낮추는 방법이 주로 사용된다. 하지만 부스트 컨버터를 사용하는 경우 리액터와 전력 반도체 등의 추가로 시스템이 커지고 무거워지는 단점이 있다. 또한, 약자속 제어의 경우 d축 전류에 의해 손실이 증가하며, 출력이 줄어든다는 단점이 발생한다. 이러한 점 때문에 이중 인버터를 이용한 개방 권선 전동기 구동시스템에 대한 많은 연구가 진행되었다.

이중 인버터 구동 시스템에서 한 인버터의 DC 링크만 전원에 연결하고 추가된 인버터의 DC 링크는 전원에 연결하지 않는 경우, 전원에 연결된 인버터로 유효전력을 공급하고 나머지 인버터로 무효전력을 공급할 수 있다^[1]. 전원이 연결되지 않은 인버터의 전압은 승압이 가능하여 일반적인 단일 인버터 구동 시스템보다 더 많은 전압을 전동기에 인가할 수 있게 되고, 따라서 약자속 영역에서 더 많은 토크를 출력할 수 있다. 이 때, 전원에 연결된 인버터에서는 유효 전력 분 전압을 출력하게 되므로 기존의 단일 인버터 구동 시스템과는 다른 약자속 제어 방법이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 표면 부착형 영구자석 전동기의 이중 인버터 구동 시스템에서 유효 전력 분 전압의 크기를 최대화 하는 약자속 제어방법을 제안하고 모의실험을 통해 그 효용성을 검증하였다.

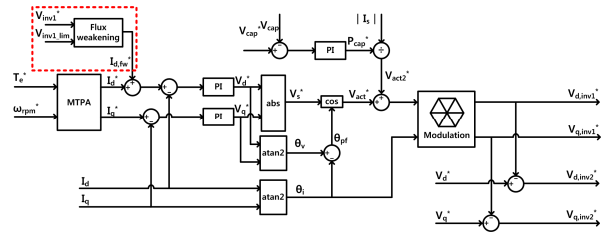


그림 1 이중 인버터 구동 시스템의 제어 블록도
Fig. 1 The Control block diagram of dual inverter drive system

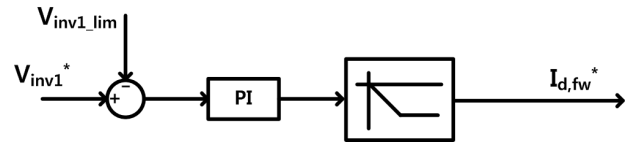


그림 2 제안된 약자속 제어기
Fig. 2 Proposed flux weakening controller

2. 제안된 약자속 제어 방법

그림 1은 이중 인버터 구동 시스템의 제어 블록도이다. 이 때, 전원에 연결된 인버터를 인버터1, 연결되지 않은 인버터를 인버터2로 정의한다. 전류 제한기를 통해 결정된 전압 지령을 이용해 전류 벡터와 전압 벡터 사이의 각을 계산한 후 전류 벡터와 평행한 전압 성분을 인버터1의 지령으로 사용하고, 전류 벡터와 수직인 성분을 인버터2의 지령으로 사용한다. V_{act2}^* 는 인버터2의 DC 링크 전압을 일정하게 유지하기 위해 필요한 전압으로 인버터2에서 발생하는 인버터 손실이나 각 오차 등으로 인한 DC 링크 전압의 변동을 억제하는데 쓰이게 된다.

2.1 단일 인버터 구동 시스템의 약자속 제어

단일 인버터 구동 시스템에서의 약자속 제어는 전류 제한기의 출력을 이용한 피드백 제어 방식^[2]과 참조표를 만들어 사용하는 방식이 주로 사용된다. 피드백 제어 시 PI제어기의 입력은 전압지령 크기와 인버터의 최대 출력 전압의 차이이다.

2.2 제안된 약자속 제어 방법

그림 2는 제안된 약자속 제어기의 블록 다이어그램이다. 인버터2의 DC 링크는 전원과 연결되어 있지 않으므로 무효 전력

분 전압을 출력하는데 충분한 전압으로 승압할 수 있다. 따라서 인버터1의 전압지령만을 고려해 약자속 제어를 수행하는 것이 바람직하다. 약자속 제어기 내부의 PI제어기 입력으로 인버터1의 전압지령 크기와 인버터의 최대 출력 전압의 차이가 사용된다.

그림 3은 단일 인버터 구동 시스템과 이중 인버터 구동 시스템에서의 능력곡선을 나타낸 것이다. 고속 영역에서 표면 부착형 영구자석 전동기의 고정자 전압 방정식은 (1), (2)와 같고, 이 때 유효 전력 분 전압은 (3), (4)이다. 유효 전력 분 전압의 크기는 고정자 전압의 크기보다 작으므로 더 높은 속도에서 약자속 전류가 출력되기 시작하고, 약자속 영역에서 더 많은 토크를 출력할 수 있으며 더 큰 CPSR을 얻을 수 있다.

$$V_d = -\omega_r L_s i_q \quad (1)$$

$$V_q = \omega_r L_s i_d + \omega_r \lambda_f \quad (2)$$

$$V_{d,act} = \frac{\omega_r \lambda_f i_d i_q}{i_d^2 + i_q^2} \quad (3)$$

$$V_{q,act} = \frac{\omega_r \lambda_f i_q^2}{i_d^2 + i_q^2} \quad (4)$$

3. 모의실험 결과

표 1은 모의실험에 사용된 전동기 제정수이다. 모의실험은 2500rpm의 지령을 입력으로 갖는 속도 제어 시스템에서 최대 토크를 내도록 설계하였다.

그림 4는 속도 스텝 지령에 대한 속도, 전류, 유효 전력 분 전압이다.

그림 5는 스텝 지령 시의 전류 궤적을 나타낸다. 빨간 점선은 전류 제한 원을 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 이중 인버터를 이용한 개방 권선 전동기 구동 시스템에서의 약자속 제어 방법을 제안하였다. 한 인버터만 전원에 연결되고 다른 인버터는 연결되지 않는 경우, 기존의 단일 DC 링크를 가지는 경우에서의 약자속 제어 방법과는 다른 약자속 제어방법을 필요로 한다. 본 논문에서는 이 점을 이용해 유효전력 분 전압의 크기를 최대화하는 약자속 제어를 제안하고, 모의실험을 통해 제안하는 약자속 기법을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] J. S. Park and K. Nam., "Dual Inverter Strategy for High Speed Operation of HEV Permanent Magnet Synchronous Motor", in Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meet., pp. 488-494, 2006.
- [2] J. H. Song, J. M. Kim and S. K. Sul, "A New Robust SPMSM Control to Parameter Variations in Flux Weakening Region," in Proc. IEEE IECON'96, pp. 1193-1198, 1996.

표 1 모의실험에 사용된 파라미터
Table 1 Parameters used in simulation

$Pole$	8
R_s	0.013 [Ω]
L_s	1.8 [mH]
λ_f	0.129 [V/(rad/s)]

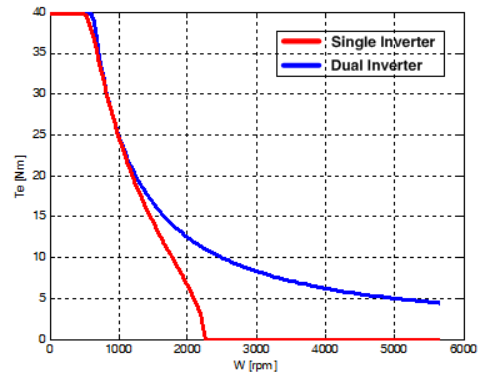


그림 3 SMPMSM의 능력곡선
Fig. 3 Capability curve of SMPMSM

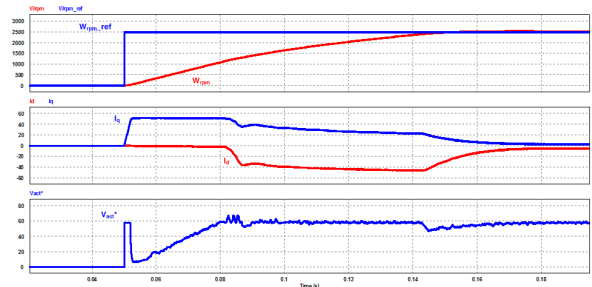


그림 4 모의실험 결과 - 속도 스텝 지령
Fig. 4 Simulation results - Step speed command

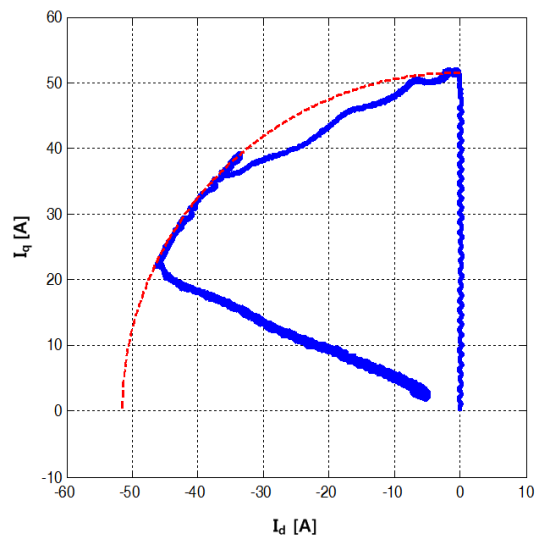


그림 5 모의실험 결과 - 전류 궤적
Fig. 5 Simulation results - Current trajectory