

전압 피드백 보상에 의한 과변조 성능 향상

정혜인, 김상훈
강원대학교 전기전자공학과

Improvement of Overmodulation Performances by Voltage Feedback Compensation

Hye-In Jeong, Sang-Hoon Kim
Kangwon National University

ABSTRACT

본 논문에서는 전압 피드백 보상에 의한 동적 과변조 기법의 성능 향상 방법을 제안한다. 전동기 구동 시스템에서 인버터는 선형 변조 영역에서 동작할 경우 단순히 전압 이득이 1인 전압 증폭기로 볼 수 있다. 그러나 과변조 영역에서는 기존의 동적 과변조 기법 적용 시 지령 전압에 대한 인버터 출력 전압의 비선형성으로 인해 전압 이득이 1보다 작아진다. 따라서 과변조 성능이 저하되는데 본 논문에서는 제한된 전압을 피드백 보상하여 과변조 성능을 향상시켰다. 이로 인해 구동 전동기의 출력 토크 성능 및 전류 제어 동특성이 향상될 수 있다. 제안된 방법을 800W PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor)의 약속속 제어에 적용하여 그 효용성을 확인하였다.

1. 서 론

PMSM은 전동기 무게에 대한 높은 출력 토크 비, 높은 효율, 우수한 동특성을 갖기 때문에 고성능 전동기 구동 분야에 많이 사용되고 있다^[1]. 전기 자동차, 철도 차량 등의 전동기 구동 분야에서는 전동기와 구동 시스템의 크기가 제한되므로 주어진 조건에서 가능한 큰 출력 토크를 얻는 것이 효율적이다. PMSM 구동 시스템에서 인버터의 전압 변조 범위를 과변조 영역까지 확장하면 선형 변조 영역에서만 제어하는 것보다 전동기의 출력 토크 성능 및 전류 제어 동특성이 향상될 수 있다. 이 경우 사용되는 동적 과변조 기법은 최소 거리 과변조 기법, 스위칭 상태 유지 과변조 기법 등이 있는데, 이 기법들은 전압 제한 시 지령 전압과 인버터 출력 전압의 비선형성으로 인해 인버터의 전압 이득이 1보다 작아지므로 과변조 성능이 저하된다. 그러므로 과변조 기법 적용으로 인한 출력 토크 향상 효과가 크지 않다. 본 논문에서는 제한된 전압을 전압 지령에 피드백 보상함으로써 과변조 기법의 성능을 향상시켰는데, 그 결과 전동기의 출력 토크 성능이 향상됨을 확인하였다.

2. 동적 과변조 기법의 비선형성

전동기 구동 시스템에서 인버터의 전압 변조 영역을 과변조 영역까지 활용하기 위해서 과변조 기법이 사용된다. 그림 1은 스위칭 상태 유지 과변조 기법, 최소 거리 과변조 기법, 동일 위상 과변조 기법의 지령 전압 변조 지수 M^* 에 대한 인버

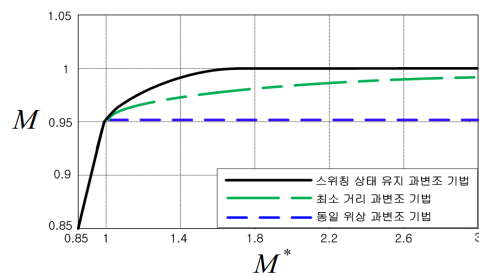


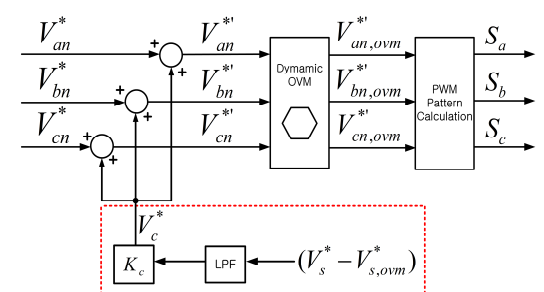
그림 1 동적 과변조 기법의 비선형성

터 출력 전압의 변조 지수 M 을 나타낸다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 동적 과변조 기법은 지령 전압에 대한 인버터 출력 전압 관계가 비선형적이므로 인버터의 전압 이득이 1보다 작아져 과변조 성능이 저하된다. 따라서 구동 전동기의 출력 토크 능력을 충분히 활용할 수 없고, 우수한 전류 제어 동특성을 얻기 어렵다.

3. 전압 피드백 보상 방법

3.1 제안된 전압 피드백 보상 방법

본 논문에서 제안된 전압 피드백 보상 방법의 블록도가 그림 2에 보인다. 기존의 동적 과변조 기법의 과변조 성능을 향상시키기 위하여 고정자 지령 전압 크기 V_s^* 와 과변조에 의해 수정된 고정자 지령 전압 크기 $V_{s,ovm}^*$ 의 오차를 LPF(Low Pass Filter)를 통과시킨 뒤, 보상 이득 K_c 를 곱하여 3상 극전압 지령에 피드백 보상해준다.



$$V_s^* = \sqrt{(V_{ds}^*)^2 + (V_{qs}^*)^2}, \quad V_{s,ovm}^* = \sqrt{(V_{ds,ovm}^*)^2 + (V_{qs,ovm}^*)^2}$$

그림 2 제안된 전압 피드백 보상 방법의 블록도

그림 3은 전압 피드백 보상 방법을 최소 거리 과변조 기법, 스위칭 상태 유지 과변조 기법에 적용했을 때의 지령 전압 변조 지수 M^* 에 대한 인버터 출력 전압의 변조 지수 M 를 나타낸다. 그림 1과의 비교를 통해 전압 피드백 보상 방법이 기존의 기법보다 인버터의 출력 전압 변조 성능을 향상시킬 수 있으므로 과변조 성능이 향상됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 제안된 방법을 참고 문헌 [2]의 약자속 제어에 적용했는데, 이 기법은 전동기의 출력 토크 능력을 충분히 활용하기 위해 과변조 영역을 활용하며, 이 경우 최소 거리 과변조 기법을 사용한다.[2]

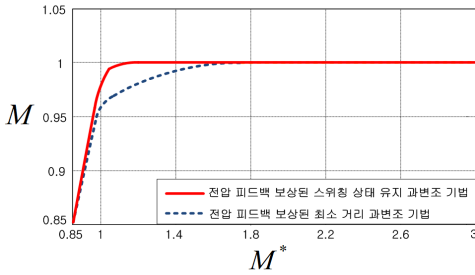


그림 3 전압 피드백 보상에 의한 인버터의 출력 전압 변조 성능 향상

4. 시뮬레이션 결과

제안된 기법의 효용성 검증을 위하여 800W, 2000r/min SPMSM에 대해 시뮬레이션 하였다. 스위칭 주파수는 5kHz, V_{dc} 는 180V, 전류 제어기의 대역폭은 500Hz, 토크 지령은 2.7N·m로 하였다. 또한 전압 피드백 보상 시 동적 과변조 기법의 과변조 성능 향상을 확인하기 위해 최소 거리 과변조 기법, 스위칭 상태 유지 과변조 기법을 적용했다.

그림 4, 5는 각각 전압 피드백 보상이 되지 않은 최소 거리 과변조 기법, 스위칭 상태 유지 과변조 기법의 특성을 보이며, 그림 6, 7은 각각 전압 피드백 보상된 최소 거리 과변조 기법, 스위칭 상태 유지 과변조 기법의 특성을 보인다. 6-스텝 모드로 주어진 지령 전압($M^*=1$)에 대한 인버터 출력 전압의 변조 지수(M)는 그림 4의 최소 거리 과변조 기법의 경우 $M=0.96$, 그림 5의 스위칭 상태 유지 과변조 기법의 경우 $M=0.996$ 까지로 제한되어 6-스텝 모드로 동작하지 못하고, 과변조 성능이 저하됨을 알 수 있다. 반면에 그림 6의 전압 피드백 보상된 최소 거리 과변조 기법의 경우 $M=0.996$, 그림 7의 전압 피드백 보상된 스위칭 상태 유지 과변조 기법의 경우 $M=0.999$ 로 기존의 동적 과변조 기법보다 인버터의 출력 전압 변조 성능이 향상되므로 과변조 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 8은 이들 과변조 기법에 따른 출력 토크 향상 효과를 확인하기 위해 가속 성능을 비교한 것이다. 전압 피드백 보상을 한 경우 기존의 동적 과변조 기법보다 동일한 속도에 도달하는데 걸리는 시간이 더 짧은 것을 알 수 있으며, 따라서 전압 피드백 보상을 한 경우 과변조 성능 향상에 의해 전동기의 출력 토크 성능이 향상됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 전압 피드백 보상에 의한 과변조 성능 향상 방법을 제안하였다. 전압 피드백 보상을 적용할 경우 기존의

동적 과변조 기법보다 인버터의 출력 전압 변조 성능이 향상되므로 과변조 성능을 향상시킬 수 있다. 이로 인해 출력 토크 성능이 향상될 수 있으며 동특성 또한 개선될 수 있다. 제안된 방법은 일정 토크 영역에서도 적용할 수 있으며, PMSM뿐만 아니라 유도 전동기에도 적용할 수 있으므로 활용 범위가 넓다. 또한 과변조 성능 향상을 위한 다른 복잡한 제어 기법들보다 간단하게 구현이 가능하다.

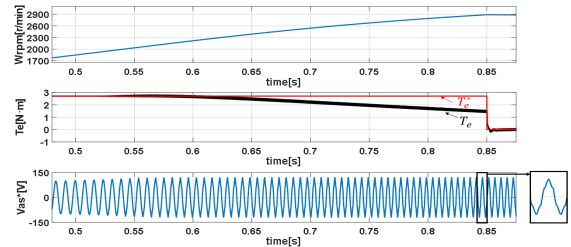


그림 4 최소 거리 과변조 기법

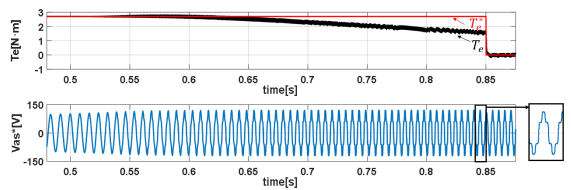


그림 5 스위칭 상태 유지 과변조 기법

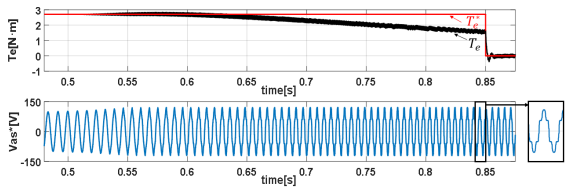


그림 6 전압 피드백 보상된 최소 거리 과변조 기법

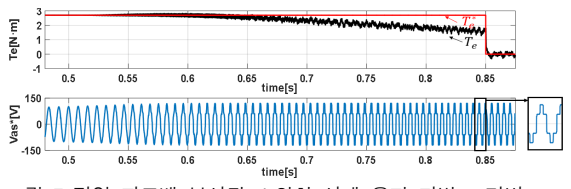


그림 7 전압 피드백 보상된 스위칭 상태 유지 과변조 기법

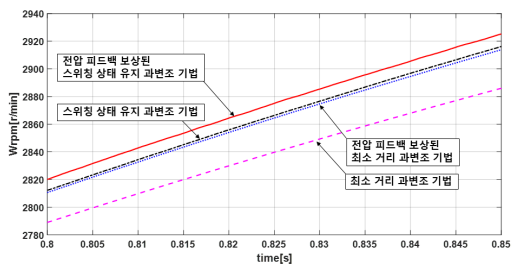


그림 8 가속 성능 비교

참고 문헌

- [1] Sang-Hoon Kim, *Electric Motor Control, DC AC and BLDC Motors*, Elsevier Inc., Ch 4, 2017.
- [2] 권태석, “영구자속동기기의 출력토크 향상을 위한 새로운 약자속 제어기”, 박사학위논문, 서울대학교, 2007.