

과변조 기법에 따른 영구자석동기전동기 NVH 성능 분석

김진수, 진태훈, 조영훈
건국대학교 전력전자연구소

An Analysis of NVH Performance on PMSM Based on Overmodulation Strategy

Jinsu Kim, TaeHoon Chin, Younghun Cho
Power Electronics Lab. Konkuk University

ABSTRACT

과변조 영역에서 출력 전압의 비선형성으로 인해 토크 리플이 발생하여 모터의 NVH(Noise, Vibration and Harshness) 성능이 저하된다. 과변조 기법에 따른 모터의 NVH 성능의 변화는 고조파 크기로 시각화되며 주파수당 노이즈 특성을 비교할 수 있다. 본 논문에서는 서로 다른 과변조 기법에 따라 PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor)에 나타나는 NVH 성능을 실험 통해 비교 검증하였다.

1. 서론

전 세계적으로 환경규제가 강화되면서 내연기관 자동차에서 급속도로 전기자동차(Electric Vehicle)와 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle)에 관한 관심이 증가하고 개발이 활발해지고 있다. 기존 내연기관 자동차에서는 발생하는 소음 및 진동 레벨이 높아 탑승자가 노면이나 타이어 및 각종 부품에서 발생하는 소음을 모두 느끼는 힘들다. 하지만 전기자동차와 하이브리드 자동차와 같이 전기기기 시스템이 적용된 차량은 내연기관차와 비교 시 소음 및 진동의 레벨이 낮아 탑승자에게 외부에서 발생하는 소음이 직접적으로 전달되어 불쾌감을 준다.

전기자동차에 사용되는 모터는 크게 BLDC모터, 유도전동기, PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor)이 있는데 높은 에너지 밀도를 가지고 있고 고효율화, 고풍력화, 소형화가 가능하다는 장점이 있는 영구자석 동기전동기(PMSM)를 가장 많이 사용한다. 따라서 탑승자에게 만족감을 주기 위해서는 영구자석 동기전동기의 소음 및 진동원에 대해서 원인 분석을 진행하고 소음 및 진동 개선을 필수적으로 진행해야 한다.^[1]

인버터를 구동하는 방식 중 공간 벡터 전압 변조 방식은 일반 PWM 방식과 비교할 때 더 큰 전압 이용률을 사용할 수 있으며 정상상태에서의 고조파 성분도 억제된 스위칭 방식이다.^[2] 인버터 전압 지령의 크기가 SVPWM 전압 벡터의 크기를 나타내는 육각형의 내접원보다 큰 경우 전압을 정확히 생성할 수 없게 되는 과변조 기법이 필요하다. 과변조 기법의 종류로는 과도 상태 시에 일시적으로 발생 되는 과변조 범위의 전압 지령을 처리하는 동적 과변조 기법이 있으며 종류로는 동일 위상 과변조 기법, 최소 거리 과변조 기법, 스위칭 상태 유지 과변조 기법, 전류 변동 방향을 고려한 과변조 기법이 있고, 정상상태에서 과변조 전압의 전압 지령을 지속해서 변조하는 정

적 과변조 기법의 종류로는 보상 변조 기법이 있다.^[3] 본 논문에서는 PMSM모터의 동적 과변조 기법 중 최소 거리 과변조 기법, 동일 위상 과변조 기법을 사용하여 서로 다른 과변조 기법을 사용하였을 때 나타나는 NVH 특성을 분석하고자 한다.^[2]

2. PMSM 구동을 위한 과변조 기법

2.1 최소 거리 과변조 기법

최소 거리 과변조 기법은 지령 전압 벡터 V^* 의 위상보다는 크기를 유지하고 원래의 지령 벡터와 오차를 최소화 하는 새로운 지령 전압 벡터 V_{new}^* 를 설정하는 방식이다. V_{new}^* 는 그림 1처럼 육각형 변에 수직으로 교차된 벡터로 선정되며 다음 식과 같이 유효 전압 벡터의 인가 시간을 조절한다.^[4]

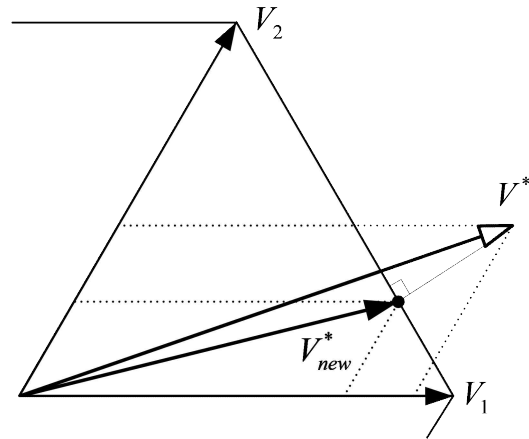


그림 1 최소 거리 과변조 기법

$$T_1' = T_1 - \frac{T_1 + T_2 - T_s}{2} \quad (2-1)$$

$$T_2' = T_2 - \frac{T_1 + T_2 - T_s}{2} \quad (2-2)$$

최소 거리 과변조 기법은 전압 지령이 커질수록 새로운 지령 전압 벡터 V_{new}^* 는 크기가 커지기 때문에 빠른 과도 응답 특성을 얻을 수 있다.

2.2 스위칭 상태 유지 과변조 기법

스위칭 상태 유지 과변조 기법은 지령 전압 벡터 V_{new}^* 에 근접한 전압 벡터를 먼저 인가하는 방법으로써 스위칭 상태를 최대한으로 유지하게 된다. 스위칭 상태 유지 과변조 기법 또한 최소 거리 과변조 기법과 같이 전압 지령이 커지며 새로운 전압 벡터 V_{new}^* 가 그림 2와 같이 육각형의 꼭지점 벡터로 이동되어 출력 전압이 점점 커져 빠른 과도 응답 특성을 얻을 수 있다.

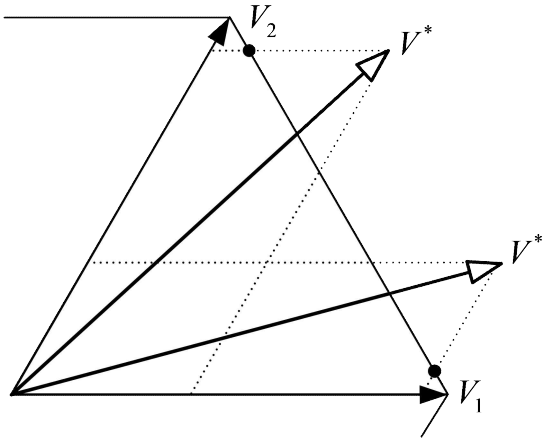


그림 2 스위칭 상태 유지 과변조 기법

최소 거리 과변조 기법과 비교시 전압 지령에 대한 출력 전압의 비율이 더 크기 때문에 더 빠른 과도 응답을 갖게 된다.^[3]

3. 실험결과

PMSM의 NVH 성능 특성을 분석하기 위해 녹음 장비를 이용하여 실험을 진행하였다. 각각의 다른 과변조별로 운전 시 나타나는 특성을 녹음하고 녹음된 파일을 FFT 분석하였다.

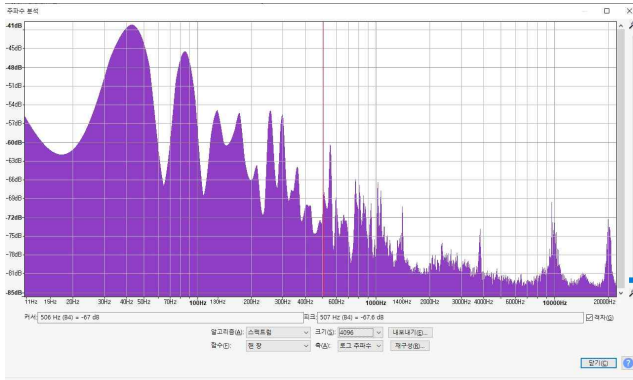


그림 3 최소 거리 과변조 기법 사용 시 FFT 분석

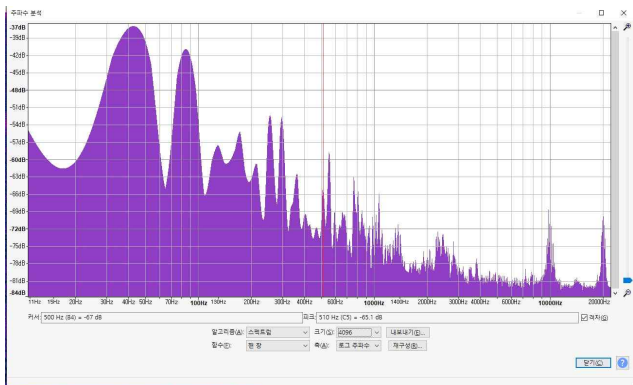


그림 4 스위칭 유지 상태 과변조 기법 사용 시 FFT 분석

그림 3은 최소 거리 과변조 기법을 적용하여 구동하는 모터

의 소음을 측정하여 FFT 분석한 결과이고, 그림 4는 스위칭 유지 상태 과변조 기법을 사용한 모터의 소음을 FFT 분석한 결과이다. 스위칭 유지 상태 과변조 기법을 적용했을 때 최소 거리 과변조 기법을 적용했을 때 보다 6차 고조파 성분이 적음을 확인할 수 있으며 이는 NVH 성능이 최소 거리 과변조 기법을 사용했을 때 더욱 좋음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 모터의 NVH성능을 분석하기 위해 동적 과변조 기법의 종류인 최소 거리 과변조 기법과 스위칭 유지 상태 과변조 기법을 사용하여 PMSM의 NVH 성능을 FFT 분석하였다. 실험을 통하여 분석한 결과 최소 거리 과변조 기법을 사용하는 것이 스위칭 유지 상태 과변조 기법을 사용하는 것보다 6차 고조파 성분이 적음을 확인하였고 이는 최소 거리 과변조 기법을 사용하는 것이 스위칭 상태 유지 과변조 기법을 사용하는 것 보다 NVH 성능이 더 좋음을 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20234010600220)

참 고 문 헌

- [1] O.-H. Gwon et al., "Total Simulation for the Noise Prediction of Motor Driving System in EV/HEV System," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 24, no. 7. Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, pp. 710 - 721, 31-Jul-2013.
- [2] H. W. van der Broeck, H. . -C. Skudelny and G. V. Stanke, "Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vectors," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 24, no. 1, pp. 142-150, Jan.-Feb. 1988, doi: 10.1109/28.87265.
- [3] 김상훈, DC 및 AC 모터제어, 북두출판사, 2007.
- [4] 손재영, 임준익, 백현준, 이근호.(2022).과변조 영역의 선형성 향상을 위한 최소거리 과변조 보상이득 추정에 관한 연구.한국자동차공학회 춘계학술대회,(),512-513.