

2상 통전 방식에서의 PWM 방식에 따른 소음 특성 분석

오재윤, 정달호, 김정철
엘지전자 홈 어플라이언스 연구소 전력전자팀

An Analysis of Noise Characteristics according to PWM Method in 2-Phase Conduction Method

Jae-Yoon Oh, Dal-Ho Cheong, Jung-chul Kim
Home Appliance Research Lab. LG Electronics Inc.

Abstract - In this paper, we analyze the characteristics of Motor Noise according to PWM method, especially in the case of 2-phase conduction method. There are two types of PWM methods used usually. One is Lower-PWM and the other is Upper&Lower PWM. Because there is a difference between freewheeling path of both methods, Current profiles of two methods are different. This makes the difference of Torque Ripple and so difference of Noise Performance.

In this paper, the path will be analyzed and the comparison of Noise performance of two types of PWM methods will be showed by experiment results.

본문다. 실제 구현에 있어서는 아래상 PWM 방식이 구현하기 쉬우며 특히 저가의 Microm이 사용되는 경우에는 하나의 PWM 출력과 외부 Modulation 회로를 이용하기 때문에 아래상 PWM 방식이 가장 간단하게 구현될 수 있는 방식이 된다.

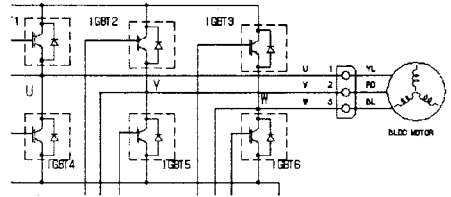


그림 1. 기본적인 Power 회로

1. 서론

최근 대부분의 전동기 구동 방식이 정현과 구동 방식으로 바뀌고 있으나 아직까지 구형의 편의성이나 Cost 장점으로 구형과 구동 방식이 많이 쓰이고 있다. 이 경우 주로 사용되는 PWM 방식은 아래상 PWM 방식이거나 상하 PWM 방식이지만 두가지 방식의 차이에 대한 실험적 분석에는 미진한 면이 많았다. 본 연구에서는 주로 Torque Ripple 관점에서 두 PWM 방식의 소음 성능을 비교, 분석하고 BLDC Motor를 이용한 실험을 통해 확인하고자 한다.

2. 본론

2.1 소음원 분류

BLDC Motor의 소음원은 크게 Torque Ripple과 Radial Force에 의한 진동으로 볼 수 있고 Torque Ripple은 다시 Cogging에 의한 성분과 Commutation에 의한 Torque Ripple 성분으로 나눌 수 있다. 전자의 경우는 Magnet이 회전하면서 Stator의 Slot을 지나기 때문에 발생하는 것으로 위상차를 이용한 상쇄나 Magnet 형상의 변형을 이용하여 자기 Energy의 변화를 최소화하는 등의 여러 방법들이 연구되어 왔다. 반면 Commutation에 의해 발생하는 Torque Ripple은 2상 통전 방식에서는 필연적인 성분으로 정현과 구동 방식으로 저감할 수 있다.

2.2 통전 방식의 비교

BLDC Motor를 구동하는 가장 기본적인 회로는 6개의 Power 소자를 이용한 그림 1과 같은 회로이다. 구형과 구동 방식이므로 전기적으로 120도 구간동안만 통전이 되며 Motor의 속도 제어는 PWM Duty를 이용하여 이루어진다. 아래상 PWM과 상하 PWM은 그림 1의 Power소자에 있어서 아래쪽 소자에만 PWM이 인가될 경우에는 아래상 PWM, 그리고 위,아래 Power소자에 번갈아가며 PWM이 인가되면 상하 PWM이라고 구

2.2.1 아래상 PWM

아래상 PWM 방식은 그림 1의 Power 소자중 아래상 소자들만 PWM되는 방식으로 Freewheeling Path가 PWM On/Off에 의해 달라지게 된다. 즉, 위상 Power 소자가 Off되고 Freewheeling이 시작되는 순간에는 그림 2와 같은 방향의 전류가 흐르게 된다. 이 경우 그림에서 알 수 있듯이 Freewheeling되는 전류는 On되어 있는 아래상 Power 소자 방향으로 흐르게 되어 있으며 PWM On시에는 Path2과 같은 방식으로, PWM Off시에는 Path1과 같은 방식으로 흐르게 된다.

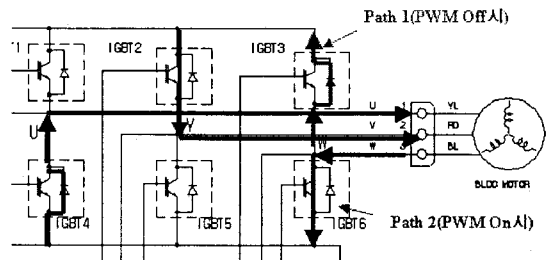


그림 2. 아래상 PWM 방식 (IGBT1 Off시)

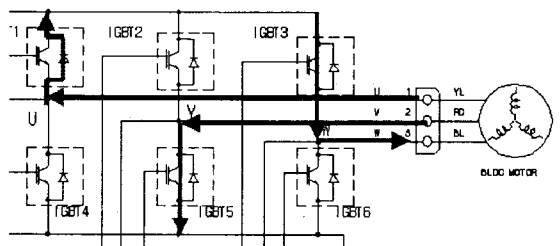


그림 3. 아래상 PWM 방식 (IGBT4 Off시)

반면, 아래상 소자가 Off되고 Freewheeling을 하게 되는 경우에는 전류는 그림 3과 같은 방향으로 흐르게 되며 전류는 항상 위상 power 소자 방향으로 Freewheeling하게 된다. 위상 power 소자는 항상 On 되어 있는 소자이므로 이 때는 PWM의 On/Off와 무관하게 Path를 유지하게 된다.

이와 같은 경우 위상 Power 소자가 Off되고 Freewheeling할 때는 Freewheeling Path 전체에 인가되는 전압이 PWM On시에는 0V, Off시에는 -Vdc가 된다. 반면 아래상 소자의 Freewheeling Path의 인가 전압은 항상 0V이다. 따라서 두 경우의 Freewheeling되는 전류의 기울기는 다르게 된다.

2.2.2 상하 PWM

상하 PWM 방식에는 PWM이 120도 구간중에 전반 60도에 있는 방식과 후반 60도에 있는 방식으로 나누어 지지만 여기서는 전반부에 있는 경우만을 고려한다. 따라서 Gate Signal은 그림 4와 같은 형상이 된다.

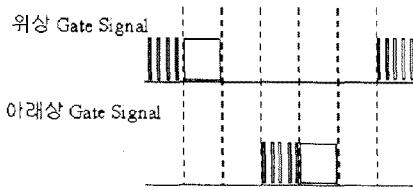


그림 4. 상하 PWM 방식의 Gate 신호

위상 Power 소자가 Off되어 Freewheeling시에는 그림 5와 같은 방향으로 전류가 흐르게 되며 따라서 PWM과 무관하게 인가되는 전압은 항상 0V가 된다. 그림 5의 경우에는 IGBT2가 PWM되고 있다.

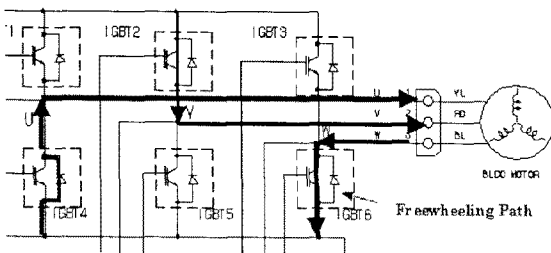


그림 5. 상하 PWM 방식 (IGBT1 Off시)

아래상 Power 소자가 Off되어 Freewheeling하는 경우에도 인가되는 전압은 0V가 된다. 따라서 상하 PWM 방식의 경우에는 전류의 방향과 상관없이 어느 Freewheeling 구간에서나 인가 전압은 항상 0V가 된다.

2.3 통전 방식과 소음과의 관계

아래상 PWM 방식을 적용하여 앞에서 설명된 바와 같이 Freewheeling이 일어날 경우에는 전류 형상에 비대칭성이 발생하게 된다. 기본적으로 2상 통전 방식에서는 Commutation시의 Torque Ripple이 항상 존재하게 되어 있지만 전류 형상이 비대칭을 이룰때는 더 악화되게 된다. 반면에 상하 PWM에서는 전류의 대칭성을 유지하게 된다. 따라서 두가지 방식사이에는 소음 성능의 차이가 생기게 된다.

2.4 실험 및 분석

그림 6과 그림 7은 각각 아래상 PWM 방식과 상하

PWM 방식을 사용하였을 경우의 전류 파형이다. 전류 파형에서 알 수 있듯이 아래상 PWM 방식의 경우 양의 방향의 전류는 Freewheeling시 기울기가 급격하고 음의 방향의 전류의 Freewheeling 기울기는 완만함을 알 수 있다.

이 것은 양의 방향의 경우 PWM이 Off되는 동안에는 역전압이 인가되어 빠르게 전류가 감소할 수 있기 때문이다. 반면 음의 전류가 Freewheeling할 때는 인가되는 역전압이 없으므로 완만하게 감소하게 된다. 실제 아래상 PWM 방식에 의한 전류의 비대칭성은 PWM의 Duty가 작을수록 심하게 나타나게 되며 duty가 커질수록 영향은 거의 없어지게 된다.

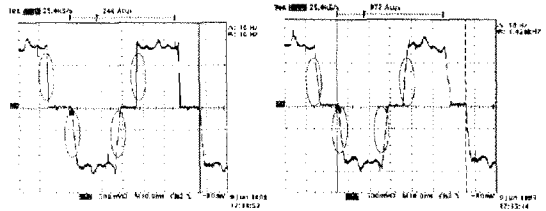


그림 6. 아래상 PWM 방식 그림 7. 상하 PWM 방식

그림 7에서 볼 수 있듯이 상하 PWM 방식의 경우에는 양방향의 전류 기울기가 모두 완만하게 된다.

실제 소음 특성을 비교하기 위해 실험에는 BLDC Motor와 Drum식 세탁기를 이용하였다. Drum식 세탁기를 이용한 이유는 아래상 PWM 방식은 Duty가 작은 영역에서 Torque Ripple이 심하게 발생하게 되는데 Drum 세탁기의 경우 속도비가 세탁기와 탈수시 보통 20:1 이상이 되기 때문에 세탁기에는 상대적으로 작은 Duty에서 구동되기 때문이다.

그림 8은 실제 부하를 걸고 Motor를 구동하였을 때의 소음 FFT 파형의 비교를 보여주고 있다. 측정 방법은 세탁부하를 넣은 상태에서 뒤판을 열고 Motor로부터 30cm 떨어진 위치에서 측정하여 Te. 이 파형에서의 Base Line은 부하의 특성으로 PWM 방식과는 무관하다.

상하 PWM 방식을 이용하였을 경우 200Hz에서 Peak치가 43.51dB(A)에서 37.62dB(A)로 약 6dB(A)가 감소하였고 Overall값은 55.31dB(A)에서 53.34dB(A)로 2dB(A)정도 감소함을 알 수 있다. 200Hz는 전기적 주파수의 12차 고조파에 해당한다.

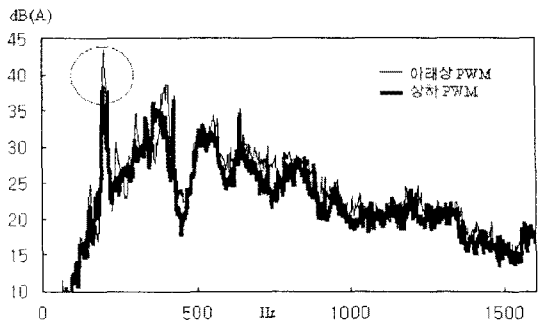


그림 8. 아래상 PWM 방식

2.5 선진 경험 분석

BLDC Motor의 경우에는 특히 일본에서 실제 제품 적용에 많이 쓰이고 있으며 관련 연구도 많이 되어 지고 있다. Toshiba와 같은 Micom 업체에서는 손쉽게 3상 통전방식을 구현할 수 있도록 Motor 전용 기능을 갖고 있는 저가의 Micom을 개발하기도 했지만 아직까지 2상

통전 방식이 많이 적용되고 있고 관련 연구 발표도 많이 되고 있다. 1998년 4월 Matsushita 기술 보고서에는 2상 통전 방식에서 BLDC Motor 소음 저감에 관한 연구 논문이 있다. 여기서 사용된 방법은 아래상 PWM 방식을 적용하면서 위상 Power 소자가 Off될 때 아래상 PWM 신호와 반전된 PWM을 일정 구간동안 위상 Power 소자에 인가하는 방식이다. 이 경우에는 상하 PWM 방식에서 설명된 바와 같이 Freewheeling 동안에 인가 전압이 0V가 되게 되며 따라서 Commutation 시의 Torque Ripple을 저감하게 된다. 그림 9와 그림 10은 제안된 방식과 Simulation 결과를 보여주고 있다. 그러나 이러한 방식의 경우 어느 구간동안 반전된 PWM 신호를 인가하는가와 그에 따른 Hardware나 Software적인 변화가 필요하며 결국 소음 저감의 원리 자체는 상하 PWM 방식과 같게 된다

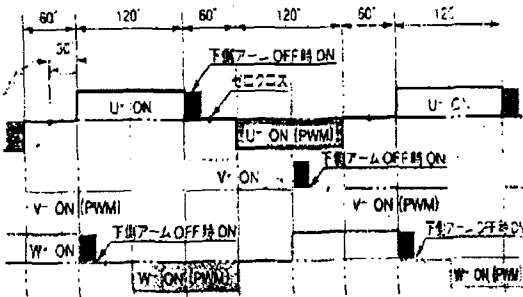


그림 9. Matsushita 방식

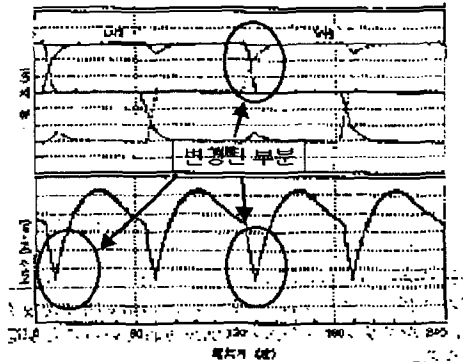


그림 10. Simulation 결과

3. 결 론

본 논문에서는 2상 통전시 PWM 방식에 따른 소음 특성을 비교, 분석하였다. 주된 소음원이 되는 Torque Ripple의 저감은 바로 소음 특성의 향상을 갖고 온다. 아래상 PWM 방식의 경우 전류의 비대칭성이 특히 PWM Duty가 작은 영역에서 심하게 나타나며 Torque Ripple 문제를 야기하게 된다. 반면 상하 PWM 방식은 전류 대칭성을 유지하며 우수한 소음 특성을 보여줄 수 있었다.

아래상 PWM 방식의 특성상 속도 가변 범위가 넓은 응용 분야에서, 특히 저속, 고토크가 필요한 경우에는 상하 PWM 방식을 적용함으로써 보다 우수한 소음 특성을 얻을 수 있다.

(참 고 문 헌)

[1] Masayuki Takada, "Noise Reduction by Drive