

브러시리스 직류 전동기의 통전각 변화에 따른 에너지 전달에 관한 연구

김종성, 강용진, 유지윤
고려대학교 전기공학과

A Study on Power Delivery of BLDCM with Change of Conduction Intervals

J.S. Kim, Y.J. Kang, and J.Y. Yoo
Dept. of Electrical Engineering, Korea University

ABSTRACT

Generally, 2phase excited brushless DC motor(BLDCM) operates only in the region of constant trapezoidal back-EMF on each phase. Therefore the efficiency decreases in comparison with 3phase excited BLDCM.

This paper proposes the relation between the usage ratio of voltage and the change of power delivery of BLDCM according to extension of conduction intervals.

1. 서 론

브러시리스 직류 전동기는 기계적 정류장치를 반도체 소자에 의한 전자적 정류로 대체한 전동기이다. 영구 자석 브러시리스 직류 전동기는 타 전동기에 비해 소음이 작고 효율이 높으며 여자에 필요한 요소가 작아 구동 시스템을 간소화 시킨다는 장점이 있다. 일반적으로 브러시리스 직류 전동기는 역기전력에 따라 분류한다. 역기전력의 파형이 정현파인 브러시리스 직류 전동기는 입력이 3상 3여자 정현파 전류로써 구동 방식이 PMSM과 동일하며 정밀제어가 가능한 장점이 있다. 하지만 공간적 자속 분포를 정현파로 만들기가 어렵고 해상도가 높은 위치 센서가 필요하기 때문에 비용 상의 단점이 있다. 역기전력이 사다리꼴 형태인 브러시리스 직류 전동기는 역기전력이 평탄한 구간에 대하여 구형파 전류를 인가하는 3상 2여자 구동 방식을 사용한다. 이와 같은 방식은 제어가 용이하지만 정밀제어가 힘들며 각 상에 대하여 역기전력이 평탄한 구간에 대하여 이용되고 있기 때문에 전동기 이용률이 3상 3여자 구동 방식에 비해 떨어지게 된다. 또한 상전류 전환 시의 전류 맥동으로 인한 토크 맥동이 발생한다는 단점이 있다.^{[1]-[6]}

3상 2여자 구동 방식에서 통전각을 확장하면 2여자 구동 방식과 3여자 구동 방식의 중간적인 형태를 얻을 수 있다. 그결과 3상 2여자 구동 방식에 비해 전동기 이용률이 향상되고 전환시의 토크 맥동이 없어진다. 또 전동기 이용률의 증가로 인한 통전 전류 감소로 인버터의 소용량화가 가능하다. 그러나 속도에 따른 전동기 상태에 의해 적절히 통전각을 조절할 필요가 있다.^[7]

본 논문에서는 사다리꼴 모양의 역기전력을 갖는 전동기에 대해서 통전각 변화시의 전력과 시비율과의 관계를 유도하였다. 이를 이용하여 통전각 확장에 따른 평균 전력 변화를 유도하여 2여자 구간과 3여자 구간의 전력전달 차를 보상할 수 있는 새로운 패턴을 제안한다.

2. 본 론

2.1 통전각 확장

그림 1이 일반적인 3상 2여자 운전에서 통전각을 $\theta_{ex}(0 < \theta_{ex} < \pi/6)$ 만큼 확장시킨 그림이다. 이런 패턴을 3상에 인가하면 그림 2와 같이 2여자와 3여자의 전압이 반복적으로 나타나게 되어 전체적으로 12-step의 전압 파형을 갖게 된다. 여기서 θ_{ex} 값이 커져 $\pi/6$ 의 값을 가지면 2여자 구간이 없어져서 6step 운전 방식이 된다.

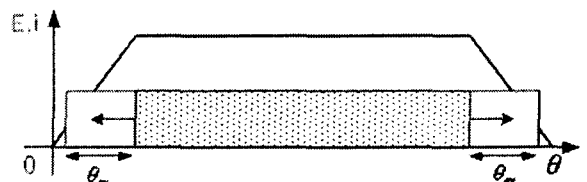


그림 1 통전각 확장시의 파형

Fig. 1 Waveform of extended conduction interval

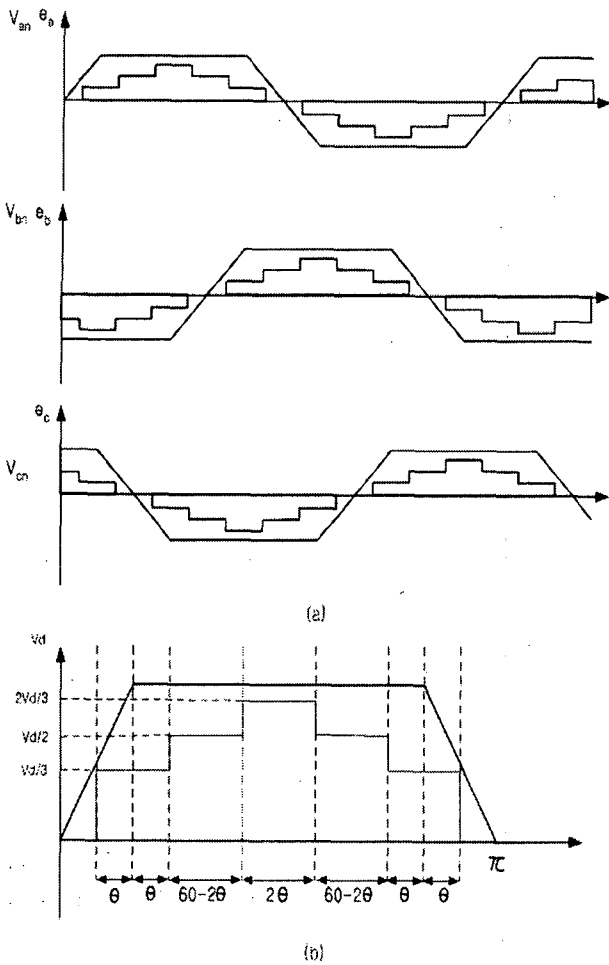


그림 2 통전각 확장시의 파형

(a) 3상 (b) 단상

Fig. 2 Waveform of extended conduction interval

(a) 3phase (b) single phase

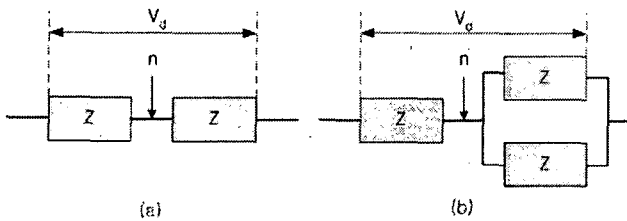


그림 3 (a) 3상 2여자 시 전동기 회로

(b) 3상 3여자 시 전동기 회로

Fig. 3 (a) 2 phase excited motor circuit

(b) 3 phase excited motor circuit

그림 2,b)를 보면 통전각을 확장한 전압 파형은 2여자 구간과 3여자 구간이 각각 $\pi/3 - \theta_{ex}$, $2\theta_{ex}$ 씩 반복적으로 나타나고 반복되는 구간의 길이는 θ_{ex} 에 따라 변하게 된다. 2여자 구간은 일반적인

2여자 전압 패턴이 인가되고, 3여자 구간은 6step의 전압 패턴이 인가된다. 입력 전압 패턴의 차이는 그림 3과 같이 전동기 회로의 변화를 가져오고, 두 입력패턴의 시비율이 같다고 했을 때, 식 (1)과 같은 DC link단의 전류의 차이가 생긴다.

$$i_2 : i_3 = i_0 : \frac{4}{3} i_0 \quad (1)$$

식 (1)은 2여자 운전시의 전류 i_2 를 i_0 라 놓고, i_3 의 값을 구한 것이다. 이러한 통전 전류의 차이는 구간의 전력 불균형을 가져오고, 두 구간에서 전력이 일정하게 유지되기 위해서는 패턴의 변화가 필요하다.

2.2 확장에 따른 패턴 제안

본 절에서는 2여자 구간과 3여자 구간 구간에서의 전력 전달의 변화를 일정하게 유지할 수 있는 2여자 구간의 시비율 d_2 와 3여자 구간의 시비율 d_3 의 비를 유도한다.

각 상의 전류를 i_a, i_b, i_c , 각 상의 역기전력 값을 e_a, e_b, e_c 라고 하면 전동기의 순시 전력은 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$P = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c \quad (2)$$

전동기 역기전력은 전동기에 착자되어 있는 자석에 의해서 발생하는 값으로 속도에 비례한다. 따라서 속도가 일정하다고 하면 상수로 간주할 수 있다. 역기전력이 상수라고 하면 전력과 전류는 비례하고, 또한 전류의 크기도 인가된 전압의 시비율에 비례한다. 따라서 2여자 구간과 3여자 구간의 평균 전력 비를 구하면 각 구간의 시비율의 비를 얻을 수 있다.

$$P_{2avg} = 2ei_0, \quad (3)$$

$$P_{3avg} = \frac{8}{3} ei_0 - \frac{2ei_0\theta}{\pi} \quad (4)$$

$$\frac{P_{3avg}}{P_{2avg}} = \frac{4}{3} - \frac{\theta}{\pi} \quad (5)$$

$$d_2 : d_3 = \frac{4}{3} - \frac{\theta}{\pi} : 1 \quad (6)$$

식 (3)~식 (6)에서 구한 시비율을 적용함으로써 한 주기에 대한 3상 평균 전력은 $2ei_0$ 로 동일하게 된다. 이는 DC-link단의 전류의 값의 변화를 측정하여 그 결과의 타당성을 검증할 수 있다.

3. 실험 결과

본 논문의 시스템 제어기로는 TMS320F240을 사용하였고 인버터로는 고신뢰성이 보장되는 IPM을 사용하였다. 표 1은 실험에 적용한 전동기 사양이다.

그림 6과 그림 7을 비교해보면 본 논문에서 제안한 시비율을 인가했을 때의 DC-link단의 전류 보상이 효과적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

표 1 브러시리스 직류 전동기 사양

Table 1 Ratings of Motor

상수/극수	3상/6극
입력 전압	AC 110 [V]
정격 전류	3.44 [A]
정격 출력	300 [W]
토크 상수	0.29 [Nm/A]
역기전력 상수	0.29 [V/(rad/sec)]
저항	1.5 [Ω]
인덕턴스	3.15 [mH]

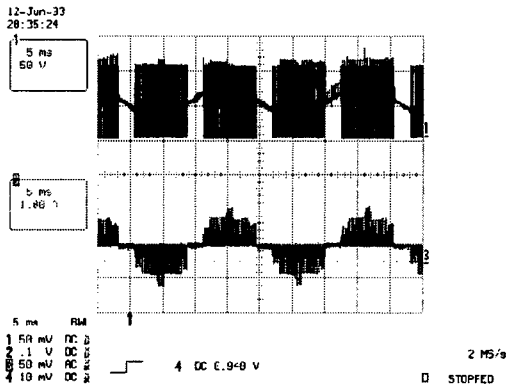


그림 4 통전각 확장시 단자전압 및 상전류
Fig. 4 Terminal voltage and phase current with extended conduction interval

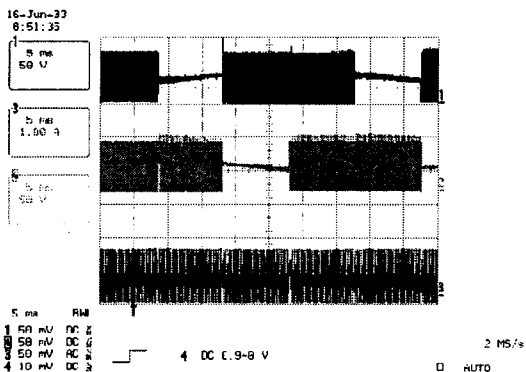


그림 5 3상 2여자 운전시 단자 전압 및 DC-Link 전류
Fig. 5 Terminal voltage and DC-link current of 2 phase excited motor

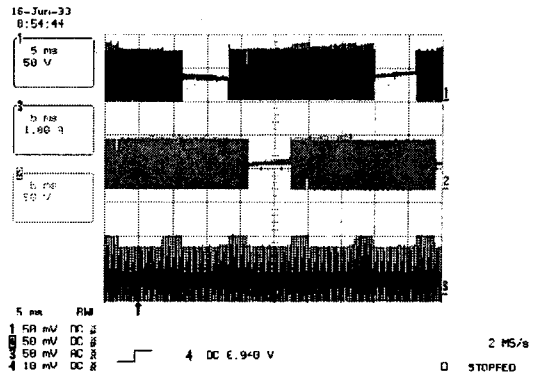


그림 6 통전각 확장 운전시 단자 전압 및 DC-Link 전류
Fig. 6 Terminal voltage and DC-link current with extended conduction interval

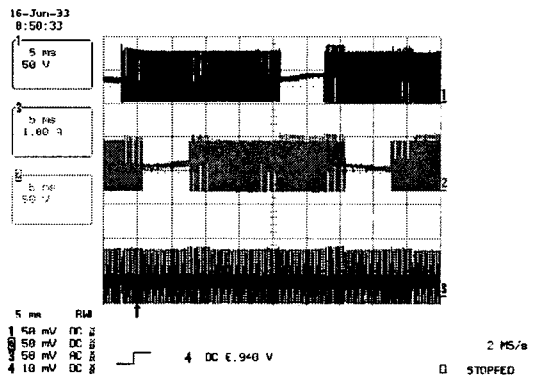


그림 7 통전각 확장 운전시 단자 전압 및 보상된 DC-link 전류
Fig. 7 Terminal voltage and Compensated current with extended conduction interval

4. 결론

본 연구에서는 사다리꼴 모양의 역기전력을 갖는 브러시리스 직류 전동기에 대하여 통전각 변화에 따른 전력의 전달 차이를 분석하였다. 통전각을 확장함으로써 변화하게 되는 전력의 변화율과 시비율과의 관계를 유도하여 3상 3여자 운전의 통전각 변화를 자유롭게 선택할 수 있는 새로운 패턴을 제안했다.

참고 문헌

- [1] TJE Miller, Design of Brushless Permanent-Magnet Motors, Oxford Press, 1994.
- [2] Bimal K. Bose, Power electronics and variable frequency drives, IEEE Press.
- [3] THOMAS M.JAHNS, "Torque production in Permanent Magnet Synchronous Motor Drives with Rectangular Current Excitation", IEEE, 1984.
- [4] YOSHIHIRO MURAI, "Torque Ripple Improvement for

- Brushless DC Miniature Motors", IEEE, 1989.
- [5] Gui-Jia Su and John W. McKeever, "Low Cost Sensorless Control of Brushless DC Motors with Improved Speed Range", IEEE, 2002.
 - [6] Tomy Sebastian and Vineeta Gangla, "Analysis of Induced EMF and Torque Waveforms in a Brushless Permanent Magnet Machine", IEEE, 1994.
 - [7] 강용진, "브러시리스 직류 전동기의 3상 3여자 센서리스 운전에 관한 연구", 고려대학교 대학원 전기공학과 공학 석사 학위논문, 2002년 2월.