

**창립**  
40주년학술대회  
논문 87-A-20-8

6스텝 전압형 인버터의 입력 전압의 크기와  
위상 제어에 따른 브러시리스 직류 전동기의 특성 해석

김 규찬  
서울대학교

원 종수  
서울대학교

Characteristics of a 6-Step Inverter Fed Brushless DC Motor  
by Inverter Input Voltage and Phase Shift Control

Kim Kyuchan  
S.N.U.

Won Jongssoo  
S.N.U.

ABSTRACT

In this work, the characteristics of a six step inverter fed brushless DC motor are analyzed and the control of amplitude of inverter input voltage and phase shift of a six step inverter is discussed. The effects of the motor performance, efficiency and power factor, are studied.

인버터 구동 시스템은 소프트웨어와 하드웨어가 복잡하고 속도와 부하 조건에 따라 속응성이 좋은 PWM 신호를 얻기가 힘들다.

본 연구에서는 소프트웨어 및 하드웨어가 간단한 6스텝 전압형 인버터 구동 시스템에 의한 브러시리스 직류 전동기의 운전특성을 고찰하고, 6스텝 인버터의 입력 전압의 크기 및 위상 제어에 따른 브러시리스 직류 전동기의 속도 특성을 고찰하고자 한다.

1. 서론

브러시리스 직류 전동기(BLM)는 구조상으로는 회전자가 영구 자석으로 된 동기 전동기와 같으나, 운전 특성은 직류전동기와 같다. 즉 전력을 반도체 소자와 회전자의 위치 검출기를 통하여 정류자형 직류 전동기의 정류자와 브러시를 대신하도록 하며 회전자의 기자력과 고정자의 기자력이 일정각을 유지하도록 함으로써 직류 전동기의 운전 특성이 나타난다.

2. 6스텝 인버터로 구동되는 브러시리스 직류 전동기의 특성

브러시리스 직류 전동기를 구동하기 위한 인버터의 구성과 브러시리스 직류 전동기의 입력 전압은 각각 그림1 과 그림2 와 같다.

따라서 브러시리스 직류 전동기는 정류자형 직류 전동기에서와 같이 브러시의 마멸로 인한 보수가 필요 없으면서도 정류자형 직류 전동기와 같은 우수한 제어 능력이 있다. 또한 전력을 반도체 스위칭 소자의 개발과 회로류 자석의 개발에 힘입어 고속화 및 소형화가 가능하게 되어 서보 시스템의 여러 분야에서 널리 사용된다.

현재 브러시리스 직류 전동기의 구동 시스템은 대부분 정현 PWM 전압형 인버터를 사용하여 토오크 제어가 가능하도록 하고 있으나 정현 PWM 전압형

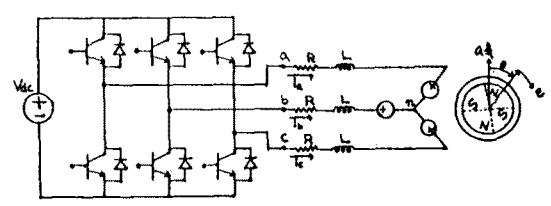


그림1. 6스텝 전압형 인버터와 브러시리스 직류 전동기

6스텝 전압형 인버터의 입력전압의 크기와 위상제어에 따른 브러시리스 직류전동기의 특성 해석

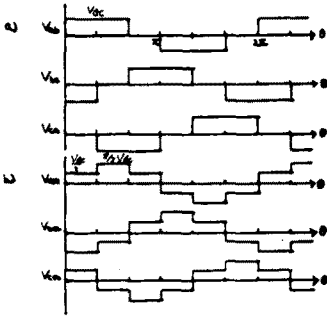


그림2. 6스텝 전압형 인버터로 구동되는 브러시리스 직류 전동기의 입력 전압

(a) 선간 전압 (b) 상 전압

그림1과 그림2의 6스텝 전압형 인버터로 구동되는 브러시리스 직류 전동기의  $0 < \theta < \pi/3$  에서의 전압 선류방정식은 식(1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \frac{V_{dc}}{3} \\ -\frac{2V_{dc}}{3} \\ \frac{V_{dc}}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L & 0 & 0 \\ 0 & L & 0 \\ 0 & 0 & L \end{bmatrix} p \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \lambda_m p \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin(\theta - 2\pi/3) \\ \sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,  $p$  : 미분 연산자

$\theta = \omega t$ ,  $\lambda_m$  : 쇠교 자속의 최고치  
브러시리스 직류전동기의 토크 식은

$$T(\theta) = p/2 \lambda_m [i_a \sin(\theta) + i_b \sin(\theta - 2\pi/3) + i_c \sin(\theta + 2\pi/3)] \quad (2)$$

이며 평균 토크  $T_g$ 는 식(3)과 같다.

$$T_g = \frac{3(p\lambda_m/2)(V_{dc}/\pi)(R\cos(\phi) + \omega L \sin(\phi))}{R^2 + \omega^2 L^2} \frac{(3/2)(p\lambda_m/2)(\omega\lambda_m)R}{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (3)$$

식(3)에서  $V_{dc}$ 는 인버터의 입력 전압의 크기이며  $\phi$ 는 입력 전압의 위상각이다.

또한

$$T_g = J \frac{d\omega_m}{dt} + B \omega_m + T_l \quad (4)$$

여기서,  $\omega_m = 2/p \omega$   
이므로 식(3)과(4)에서 부하 토크  $T_l$ 이 일정하다면 전동기 속도  $\omega$ 는 인버터의  $V_{dc}$ 와 위상각  $\phi$ 의 변화에 의해 결정됨을 알 수 있다.

식(3)에서 속도  $\omega$ 를 얻기 위해서 인버터의 입력 전압의 크기  $V_{dc}$ 와 위상각  $\phi$ 를 구하면 식(5)와 같다.

$$V_{dc} \cos(\phi - \beta) = \frac{(R^2 + \omega^2 L^2) T_g}{3(p\lambda_m/2) / \pi} + \frac{(3/2)(p\lambda_m/2)(\omega\lambda_m)R}{3(p\lambda_m/2) / \pi} \quad (5)$$

$$\text{여기서, } \beta = \tan^{-1}(\omega L / R) \quad (6)$$

6스텝 전압형 인버터에 의한 브러시리스 전동기의 구동 시스템에서는 인버터의 입력 전압의 크기  $V_{dc}$ 와 위상각  $\phi$ 를 제어함으로써 역률과 효율을 개선시켜 운전시키는 것이 바람직하다.

6스텝 전압형 인버터 구동 방식의 브러시리스 직류 전동기의 입력 전압과 전류의 푸리에 전개는 식(7)과 식(8)과 같다.

$$V_{an} = 2V_{dc}/\pi (\sin(\omega t) + 1/5 \sin(5\omega t) - 1/7 \sin(7\omega t) + \dots) \quad (7)$$

$$i_a = 2V_{dc}/(\pi \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}) (\sin(\omega t) + 1/5 \sin(5\omega t) - 1/7 \sin(7\omega t) + \dots) \quad (8)$$

3. 6스텝 전압형 인버터 구동 시스템

인버터의 입력 전압의 크기와 위상 제어 방법에 의한 브러시리스 직류 전동기의 속도 제어 시스템은 그림3과 같이 주어진다.

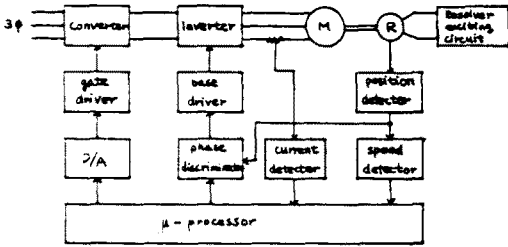
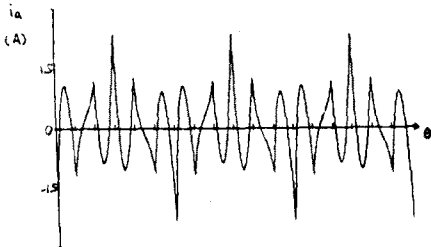


그림3. 브러시리스 직류 전동기의 속도 제어

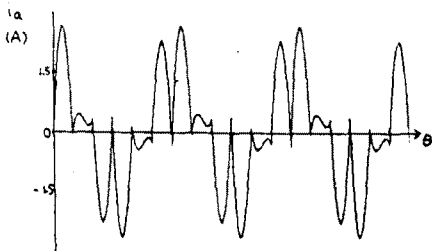
시스템 구성도

브러시리스 직류 전동기의 시스템 구성은 리플버트 부터 회전자의 위치 및 속도를 검출 하는 위치 검출기와 속도 검출기, 인버터의 입력의 크기를 제어하는 콘버터 제어부, 입력 전압의 위상을 제어하는 위상 조절기와 마이크로 프로세서로 구성된다.

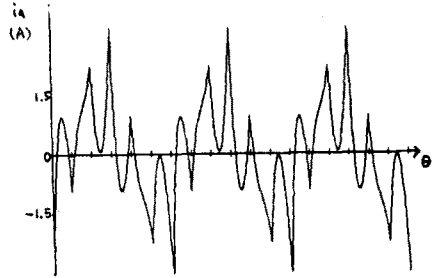
4. 시뮬레이션 결과 및 검토



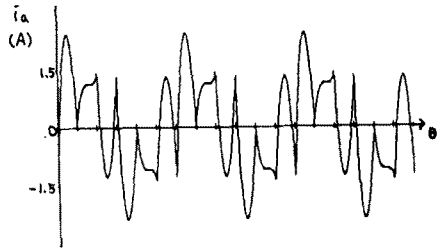
(a)  $V_{dc}=100$  [V]  
 $\phi = 0$  [degree]  
 $T_l = 0$  [Kg-cm]  
 $N_m = 3400$  [rpm]



(b)  $V_{dc}=100$  [V]  
 $\phi = 5$  [degree]  
 $T_l = 0$  [Kg-cm]  
 $N_m = 3700$  [rpm]

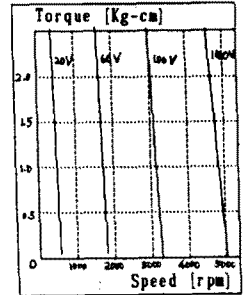
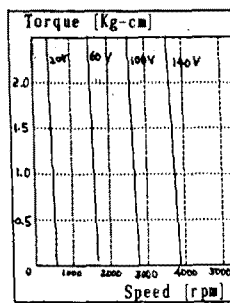


(c)  $V_{dc}=100$  [V]  
 $\phi = 0$  [degree]  
 $T_l = 2.45$  [Kg-cm]  
 $N_m = 3200$  [rpm]



(d)  $V_{dc}=100$  [V]  
 $\phi = 5$  [degree]  
 $T_l = 2.45$  [kg-cm]  
 $N_m = 3400$  [rpm]

그림4.  $\phi$  변화에 따른 전류 파형



(a)  $\phi = 0$  [degree] (b)  $\phi = 15$  [degree]

그림5.  $\phi$  변화에 따른 속도-토크 특성

5. 결론

본 연구에서는 6 스텝 전압형 인버터에 의한 브러시리스 직류 전동기의 운전 특성을 고찰하였다. 6스텝 전압형 인버터에서 생기는 전류와 토크의

## 6 스텝 전압형 인버터의 입력전압의 크기와 위상제어에 따른 브러시리스 직류전동기의 특성 해석

고조파 성분은 인버터의 입력 전압의 크기와 위상을 조절함으로써 고조파 성분이 감소하고 속도 토오크 특성이 향상됨을 보였다.

### 참고 문헌

- 1) T. Kenjo, "Permanent Magnet and Brushless DC Motors".
- 2) Anand V. Gumaste and Gordon R Slemon, "Steady State Analysis of a Permanent Magnet Synchronous Motor drive with Voltage Source Inverter". IEEE, Trans., IA-17, pp.143-151.
- 3) Jaroslav Tamasek, "Basic Performance Specifications and Ratings for Sine-Wave Brushless Servo Systems", IMCS, 1986, pp.27-37.
- 4) 윤 병도, "마이크로프로세서에 의한 영구자석 동기 전동기의 구동", 전기 학회 논문지, 1986, pp.541-554.
- 5) 홍 성수, 권 봉환, 윤 명중, "리플버를 사용한 브러시 없는 직류 전동기의 운전 특성과 주파수 제한기불 가진 'on-off' 전류 제어 방식", 전기 학회 논문지, 1986, pp.396-402.
- 6) D.M. Brod and D.W. Novotny, "Current Control of VSI-PWM Inverters", IEEE Trans., IA-21, 1985, pp.562-572.
- 7) T. Himeji, et al. "Analysis of Voltage Source Inverter-Fed Motor Taking Account of Converter Performance", IEEE trans., IA-21, 1985, pp.279-284.