

축삭형 전동기의 속도제어를 위한 PWM 구동 드라이브 구현

임 태 윤* · 김 동 희* · 김 종 무** · 정 연 호** · 강 도 현**
 영남대학교 전자정보 공학부* · 한국전기연구소**

PWM Drive System Realization for Speed Control of TFM

Lim Tae Yun* · Kim Dong Hee* · Kim Jong Moo** · Jeong Yeon Ho** · Kang Do Hyun**
 Yeungnam University* · KERI**

Abstract - TFM(Transverse Flux Motor) is a switched reluctance motor with a new structure of novel design concept based on the high efficiency and power density compare to induction motor used on wide industrial field. To apply TFM to various industrial field instead of induction motor, an efficient converter drive system for speed and current control in TFM is required.

This paper realized PWM asymmetric converter drive control system for TFM using IGBT and DSP. To certificate the high power and efficiency drive characteristics of realized PWM converter drive control system, simulation was executed on speed command and load variation using Matlab/Simulink.

이 없으므로 손실이 줄고, 전기 회로와 자기 회로가 분리되어 있어 일정한 전류에서 단위 면적당 큰 힘을 낼 수 있다. TFM을 일정한 방향으로 움직이게 하기 위해서는 부토크가 발생하지 않는 회전자의 위치에서 전류를 인가시킨다. 그림 2.는 4상인 경우의 PWM 여자 시퀀스를 나타낸다.

1. 서 론

전력용 반도체 기술을 바탕으로 하는 전력전자 기술의 진보와 DSP의 고성능화는 전기 기기 기술에 있어서 고효율, 고출력을 위한 새로운 개념과 형태를 갖는 전동기 개발과 드라이브 구현을 뒷받침한다. TFM은 이러한 배경으로 개발된, 회전자의 이동방향이 전류의 방향과 동일하고 자속과는 횡방향을 갖는 릴럭턴스형 전동기이다. 구조적으로 전기회로와 자기회로가 분리되며 링형태의 권선으로 되어 있어서 전동기의 체적을 줄일 수 있다. 이러한 특징으로 인해 영구자석형 TFM인 경우 일반 유도전동기에 비해 효율은 10(kW)급에서 10[%] 상승하고, 출력비(kW/kg)는 3배정도 높다¹⁾.

이러한 TFM의 특징과 장점이 요구되어지는 여러 산업 응용 분야에의 적용을 위해서는 운전시 최대 효율과 출력을 낼 수 있게 하는 고성능 드라이브와 제어 시스템에 대한 연구와 개발이 요구되어진다. 본 논문에서는 4상 비영구자석형 TFM의 고성능 속도와 전류제어를 위한 알고리즘과 전력 변환 장치인 비대칭형 PWM 컨버터를 구현하고자 한다. 속도 제어와 전류 제어에 따른 PWM 발생 알고리즘 연산 및 제어는 DSP를 이용한 디지털 제어를 사용하여 구현할 예정이며 구현하고자 하는 드라이브 시스템의 운전 특성과 성능을 미리 알아보고 실제 시스템으로의 적용 가능성을 확인하기 위하여 Matlab/Simulink를 이용하여 모의 실험을 행하였다.

2. 본 론

2.1 TFM의 구조와 동작 원리

TFM은 릴럭턴스형 전동기로서 코일의 전류에 의한 자력적으로 고정자 철심에 자속이 발생하고 릴럭턴스 저항을 최소가 되기 위한 방향, 즉 고정자와 회전자의 치가 일치할 때까지 릴럭턴스 토크의 힘으로 이동하게 된다. 그림 1.은 A상의 고정자와 회전자의 구조를 나타내었다. 앞서 설명했듯이 여자 코일이 기존의 종축형 전동기와는 달리 고정자에 링형태로 감겨져 있어 End-ring

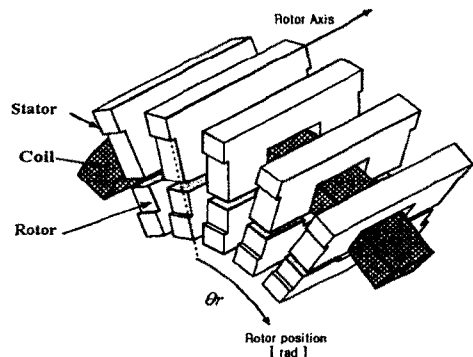


그림 1. TFM의 A상의 고정자와 회전자 구조

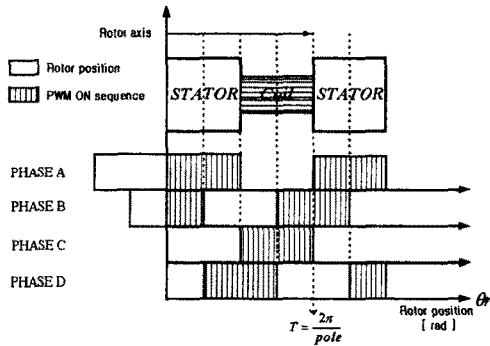


그림 2. 4상 TFM의 회전자 위치에 따른 여자 시퀀스

2.2 TFM의 수학적 모델링

제어기 설계 및 제어 알고리즘 개발과 시뮬레이션에 사용되는 TFM의 전압 방정식과 기계 방정식은 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다²⁾.

$$\frac{di_n}{dt} = \frac{1}{L_n} \left(V_n - R i_n - i_n \frac{dL_n}{d\theta_r} \omega_r \right) \quad (1)$$

$$T_n = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L \quad (2)$$

여기서, n 은 상을 나타내며($n=A \sim D$)

- V_n : 각 상의 상전압
- i_n : 각 상의 상전류
- λ_n : 각 상의 코일에 의한 쇄교 자속
- L_n : 각 상의 인덕턴스 θ_r : 회전자 위치
- ω_r : 회전자 전기적 속도 T_L : 부하 토크
- ω_m : 회전자 기계적 속도 T_n : 출력 토크
- B : 마찰 계수 J : 관성 모멘트

2.3 PWM 구동 제어 시스템

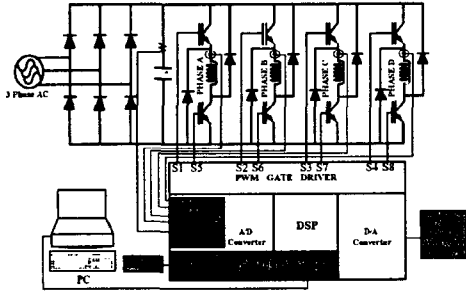


그림 3. TFM 구동용 PWM 컨버터 제어 시스템

그림 3.은 TFM의 속도 및 전류제어를 위한 PWM 구동용 비대칭형 컨버터와 DSP를 이용한 제어 시스템의 구성도이다. DSP는 센서를 통해 검출된 각 상의 전류가 지령 전류를 추종하도록 샘플링 시간마다 제어하여 식 (3)과 같은 알고리즘으로 전류 발생을 위한 지령 전압을 계산하여 PWM을 발생한다. 그림 4.에서 이를 나타내었다. 역토크 방지를 위해 turn-on시 상위 스위치로만 PWM하여 turn-off시 순환 모드를 두어 에너지를 빨리 소모하게 한다.

$$T_{on}^* = \frac{V_n^*}{V_{dc}} \cdot T_s \quad (3)$$

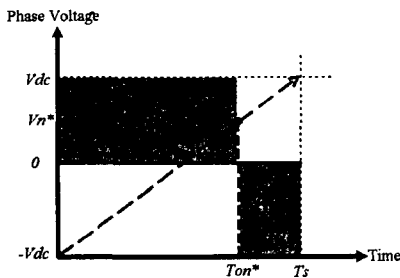


그림 4. 지령 전압에 따른 PWM 발생

그림 5.는 전체 속도 제어 시스템의 구성도를 나타내는 것으로 일정한 지령 속도가 주어졌을 경우 속도는 전류를 통해 제어하며 이때의 전류제어는 PWM 전압을 통해 TFM에 인가된다. 따라서 부하 변동시에도 일정 속도를 유지할 수 있도록 부하 토크에 해당하는 전류를 발생하므로 토크제어와 속도제어가 동시에 이루어진다. 1000(rpm)이상의 고속으로 운전할 경우 회전자의 현상태의 정확한 위치와 각 위치에 따른 인덕턴스 값을 정확히 파악하여 전류 인가시 부토크가 발생하지 않도록 여자각을 제어해야 한다.

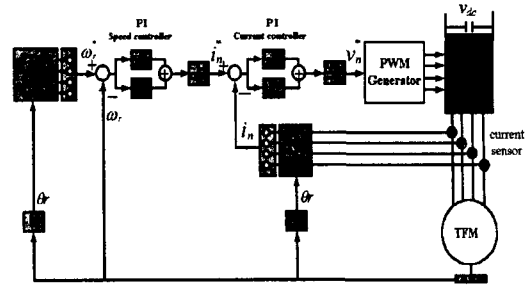


그림 5. TFM 속도 제어 시스템 구성도

3. 모의 실험

표 1.의 TFM과 시뮬레이션 조건을 바탕으로 실제 시스템을 구성하기 전에 모델링된 PWM 컨버터를 사용하여 속도 및 전류 제어를 수행하였다.

표 1. TFM의 파라미터

Parameter	Unit	Values
Rated Power	[kW]	10
Vdc	[V]	530
Rated Current	[A]	20
Rated Speed	[rpm]	1600
Rs	[Ω]	0.3
Pole		24
J	[kg · m ²]	0.025
B		0.001
Current control Sampling Time	[s]	0.0001

정확한 제어 특성을 얻기 위해 회전자의 각 위치당의 인덕턴스는 그림 6.의 유한 요소법으로 해석한 결과를 Look-up 테이블로 하여 시뮬레이션에 사용하였다.

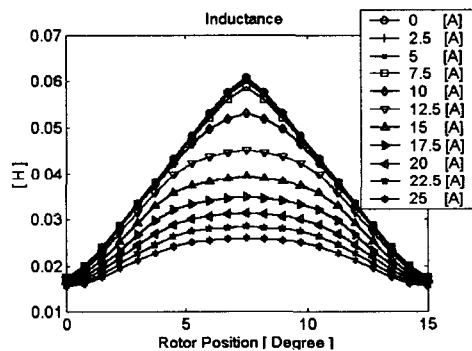


그림 6. 회전자의 위치와 전류에 따른 인덕턴스

지령속도를 정격속도인 1600(rpm)으로 주고 이러한 정격속도로 운전중에 부하를 30 · 60 [N.m]로 변동하여 가하였다. 그림 7., 그림 9., 그림 10.은 부하가 60[N.m] 걸린 상태에서 다시 지령속도를 1300 · 1000 · 1300(rpm)으로 가감속 하였을때의 속도 응답 파형과 이 때의 과도상태와 정상상태의 전류파형을 나타내며, 그림 11.은 과도 상태의 PWM전압과 전류파형을 나타내고 그림 8.은 전동기의 출력토크를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 지령 속도를 잘 추종하고 있으며 부하 변동시 속도를 유지하기 위한 전류가 증가되어 출력 토크를 부하토크에 맞게 증가시킨다.

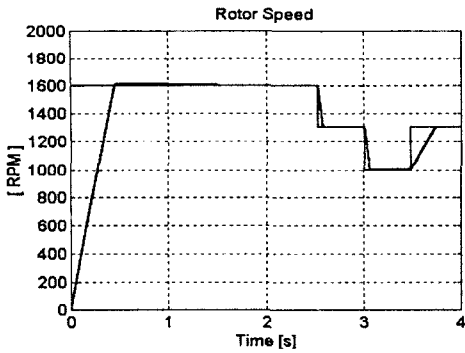


그림 7. 회전자 속도제어 응답

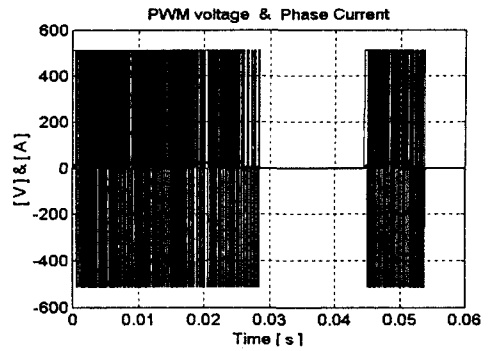


그림 11. 기동시 PWM 전압 및 A상 전류

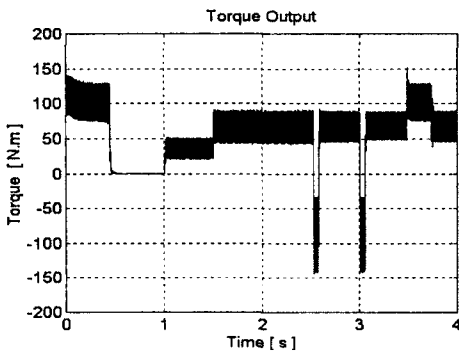


그림 8. 부하변동에 따른 전동기 출력 토크

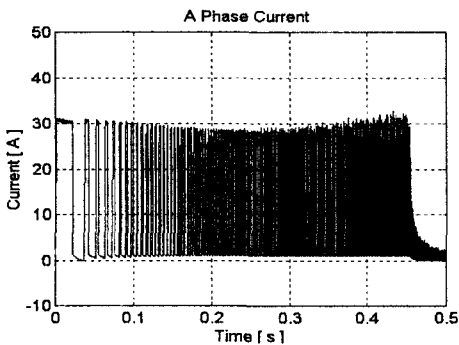


그림 9. 기동시 과도상태의 A상 전류

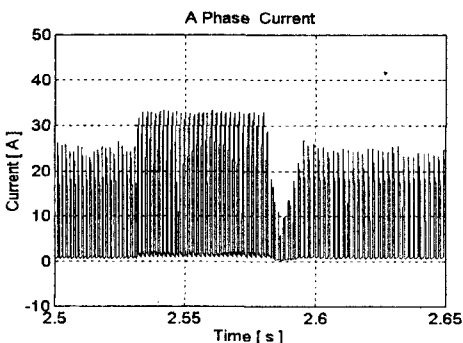


그림 10. 속도 변동시 A상 정상 상태 전류 응답

그림 12.는 모의 실험을 위해 구현된 Simulink 모델링이다.

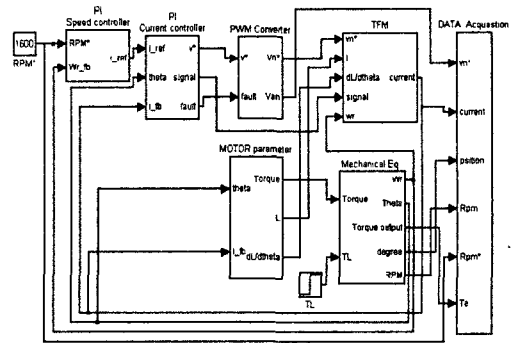


그림 12. Matlab/Simulink로 구현된 TFM 속도제어 시스템

4. 결론

이상의 모의 실험을 통하여 고효율 고풍출력 전동기로서 의 TFM의 구동을 위한 속도 및 전류제어가, 구현된 PWM 컨버터 드라이브를 통해 무부하는 물론 정격 부하시에도 잘 이루어짐이 입증되었다. 결과적으로 실제 구동 시스템의 운전 성능이 이론적으로 검증되었고 향후 이를 바탕으로, TFM 고정밀 구동을 위한 PWM 컨버터의 제어 알고리즘 개발 및 연구를 통해 전기 자동차, 동일한 원리의 선형 TFM인 경우에는 자기부상열차 및 ropeless 엘리베이터와 같은 단위 체적당 고풍출력을 필요로 하는 교통 및 운반 수송장치에의 적용이 가능할 것으로 여겨진다.

(참고 문헌)

- [1] 강도현, 정연호, "고출력 횡축형 선형전동기의 원리와 응용" Proceeding of KIEE, Vol. 43, No. 10, oct. 1999.
- [2] Ion Boldea, S.A.Nasar, "ELECTRIC DRIVES" CRC Press, pp.335~342. 1999.