

# 전용 IC를 이용한 FSM 드라이브에 대한 연구

김남훈, 구본관, 김민희, 최경호, 황돈하

엔에이치 컨설팅, (주)씨엔엠, 영남이공대학, 경북전문대학, 한국전기연구원

## A Study on Flux Switching Motor Drive Using Special-purpose IC

Nam-Hun Kim, Bon-Kwan Goo, Min-Huei Kim, Keyng-Ho Choi, Don-Hwa Whang  
NH consulting, CnM co., Yeungnam college of Sci. & Tech., Keyngbook college, KERI

### ABSTRACT

최근에는 전동 공구(Power tools)와 가전 제품에 있어서 전자적인 전류(Commutation)를 사용하는 새로운 형태의 브러시리스 전동기인 플럭스 스위칭 전동기(Flux switching motor)에 대한 관심이 점차적으로 증가되고 있으며, 특히 팬과 펌프 시장에 있어서는 그런 정책으로 인하여 플럭스 스위칭 전동기에 대한 관심이 급격히 증가되고 있다. 플럭스 스위칭 전동기는 유도전동기에 비해서는 높은 전력 밀도(power density)와 상대적으로 높은 효율, 그리고 브러시리스 DC 전동기에 비해서는 간단한 전동기 구조와 가격 경쟁력이라는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 팬 용도로 제작된 12/6 폴을 가지는 플럭스 스위칭 전동기 드라이브 구성을 위해 전용 IC를 사용하여 제작하였으며, 제작된 시스템의 타당성을 검증하기 위해서 실험결과를 제시한다.

### 1. 서론

팬(fan)과 펌프(pump)는 전동기 시장에 있어서 큰 부분을 차지하고 있으며, 유도전동기(induction motor)와 브러시리스 DC 전동기(Brushless DC motor)가 대부분의 응용 시장을 점유하고 있다. 1[kW]이상의 응용부분에서는 인버터 구동되는 삼상 유도전동기가 주로 사용되고 있으며, 1[kW]이하의 응용 시스템에서는 단상 유도전동기가 주로 사용되고 있다.<sup>[1]</sup>

최근에는 그런 정책 및 고효율 정책으로 인하여 효율이 낮은 유도 전동기보다는 영구자석을 사용하는 브러시리스 DC 전동기나 영구 자석형 동기전동기(Permanent magnet synchronous motor)가 주목을 받고 있고, 가격 경쟁력 관점에서는 영구자석을 사용하지 않고 구조적으로 간단한 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched reluctance motor)에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 팬과 펌프용으로 사용되는 전동기 드라이브는 저가이면서 정밀 속도제어가 필요하지 않는 시스템이므로 브러시리스 DC 전동기나 스위치드 릴럭턴스 전동기가 많은 관심을 받고 있다.

효율을 증가시키기 위해서는 일반적으로 50[W] 이하의 시스템에서는 단상 브러시리스 DC 전동기가 많이 거론되고 있지만, 큰 파워를 사용하는 시스템의 경우에서 브러시리스 DC 전동기 드라이브는 상대적으로 영구자석을 사용하며 드라이브 구성이 비싸다는 단점으로 인하여 대체 전동기에 대한 연구가 많이 이루어지고 있는 실정이다. 가격 경쟁력 관점에서는 스위치드 릴럭턴스 전동기가 저가이면서 간단한 전동기 구조를 가진다는

장점을 가지지만 소음 문제로 인하여 상용화에 어려움을 가지고 있다.<sup>[2]</sup>

플럭스 스위칭 전동기(Flux switching motor)는 브러시리스 DC 전동기에 비해서 상대적으로 적은 스위치가 사용되며, 스위치드 릴럭턴스 전동기에 비해 소음과 효율특성이 우수하고, 속도나 토크제어에 있어서 용이한 특성을 가지고 있다. 본 논문에서는 전용 IC를 사용한 플럭스 스위칭 전동기 드라이브에 대해서 제안하고, 실험결과를 제시하였다.

### 2. 플럭스 스위칭 전동기

플럭스 스위칭 전동기는 계자 권선(Field winding)과 회전자 권선(Armature winding)에 흐르는 전류에 의해서 발생하는 자속의 상호 작용에 의해서 만들어진 릴럭턴스 토크에 의해서 구동되고, 계자와 회전자 전류에 의해서 발생된 자속은 고정자와 회전자를 통하여 흐르게 되며, 계자 권선에 의해 발생하는 자속벡터의 방향은 항상 일정한 방향으로 발생되며, 회전자 권선에 의해 발생하는 자속벡터는 계자권선에 의해 발생하는 자속벡터에 비해 90[deg]의 전기각도를 가지면서 회전하게 된다.<sup>[3]</sup>

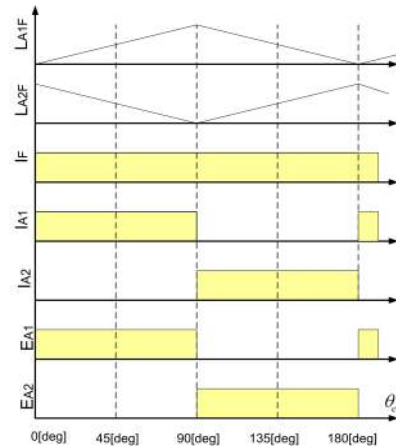


그림 1 이상적인 상호인덕턴스와 상전류

Fig. 1 Idealized mutual inductance and current waveforms  
플럭스 스위칭 전동기의 상 전압은 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며,

$$V_{A1} = V_{dc} - (i_F R_F + i_{A1} R_{A1}) - \frac{dL_{A1F}}{dt} i_F - \frac{dL_{A1F}}{dt} i_{A1} \quad (1)$$

$$V_{A2} = V_{dc} - (i_F R_F + i_{A2} R_{A2}) - \frac{dL_{A2F}}{dt} i_F - \frac{dL_{A2F}}{dt} i_{A2}$$

여기서,  $R_{A1}, R_{A2}, R_F$ 는 A1상 A2상 그리고 F상의 상저항을 나타내고,  $L_{A1F}$ 과  $L_{A2F}$ 는 A1상과 F상 그리고 A2상과 F상과의 상호 인덕턴스를 나타내고,  $L_{A1}, L_{A2}, L_F$ 는 A1상 A2상 그리고 F상의 자기 인덕턴스를 나타낸다.

토크는 수식 (2)과 같이 쓸 수 있고,

$$T_e = i_{A1}i_F \frac{dL_{A1F}}{d\theta_e} + i_{A2}i_F \frac{dL_{A2F}}{d\theta_e} \quad (2)$$

(2에서 알 수 있듯이 정토크(Positive torque)만을 발생시키기 위해서는 수식 (3)과 같은 조건을 만족시켜야 된다.[4]

$$i_{A1}i_F > 0, \frac{dL_{A1F}}{d\theta_e} > 0 \quad i_{A2}i_F > 0, \frac{dL_{A2F}}{d\theta_e} > 0 \quad (3)$$

### 3. 시스템 구성 및 실험 결과

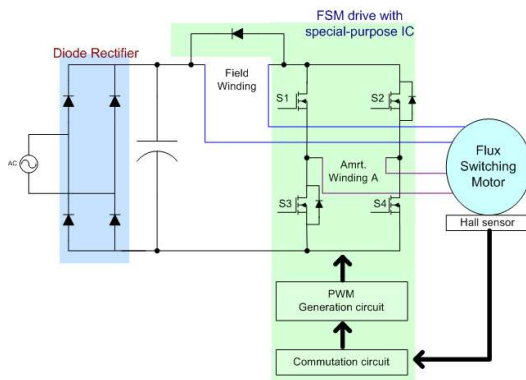


그림 2 시스템 구성도  
Fig. 2 System configuration

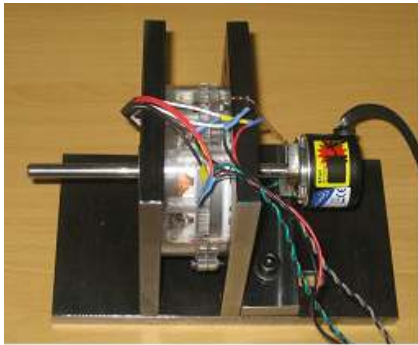


그림 3 플럭스 스위칭 전동기  
Fig. 3 Flux switching motor

표 1. 제작된 플럭스 스위칭 전동기의 사양  
Table 1. Parameters of prototype FSM

회전자 권선 턴수	700
계자 권선 턴수	600
고정자 외경	88[mm]
회전자 내경	50[mm]
회전자 외경	51[mm]
회전자 길이	40[mm]

제작된 플럭스 스위칭 전동기 드라이브의 타당성을 검증하기 위해서 그림 2와 같은 시스템을 구성하였다. 그림 2에서와 같이 브릿지 정류기를 사용하였으며, 전용 IC를 이용하여 인버터를 구성하였다. 전류 정보(Commutation information)를 계산하기 위해서 홀센서를 사용하였다.

그림 3과 표1은 본 논문에 적용된 플럭스 스위칭 전동기의 사진과 사양을 나타내고 있으며, 그림 4는 제안된 시스템의 토크/속도 특성을 보여주고 있으며, 그림 5는 토크/파워 특성을 보여주고 있다.

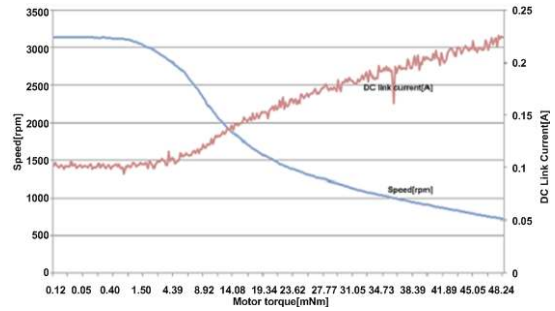


그림 4 토크 속도 특성  
Fig. 4 Characteristics of torque vs. speed

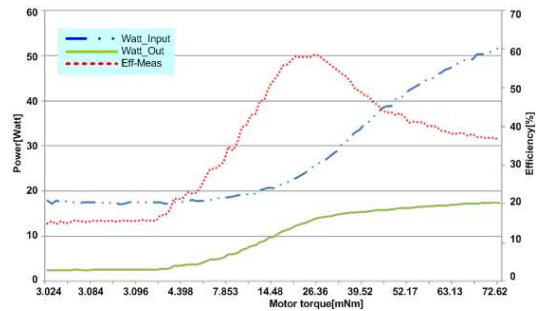


그림 5 토크 파워 특성  
Fig. 5 Characteristics of torque vs. power

### 4. 결론

본 연구에서는 전자적인 스위치를 이용해서 전류(commutation)가 이루어지고, 릴럭턴스 토크를 이용하는 플럭스 스위칭 전동기를 전용 IC를 이용하여 드라이브를 구성하여 구동하였다. 플럭스 스위칭 전동기 드라이브를 전용 IC를 사용하여 구현함으로써, 드라이브의 소형화 및 가격 경쟁력의 이점을 가질 수 있고, 차 후 연구 과제로는 효율 및 청각적인 노이즈를 감소하기 위한 여러 가지 알고리즘을 적용하여 개선할 예정이다

### 참고 문헌

[1] C. Pollock, H. Pollock and M. Brackley, "Electronically controlled flux switching motors : a comparison with an induction motor driving an axial fan", IECON '03, vol. 3, pp. 2465-2470, Nov. 2003.

[2] C. Pollock and M. Brackley, "Comparison of the Acoustic Noise of a flux switching and a switched reluctance drive", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.39, No.3, pp. 826-834, May/June 2003.

[3] 김남훈, 구본삼, "선행각을 이용한 팬용 플럭스 스위칭 전동기 드라이브에 대한 연구," 조명·전기 설비학회 논문지, 제 23권, 제 6호, pp. 89-95, June, 2009.

[4] John F. Bangura,, "Design of High-Power Density and Relatively High-Efficiency Flux-Switching Motor", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 21, Issue 2, pp. 416-425, June 2006.