

팬용 플럭스 스위칭 전동기 드라이브에 대한 연구

김남훈*, 김정철**, 이중호***, 구본삼#, 김민회##, 백원식##
 *청주대학교, **경북대학교, ***한밭대학교, #(주)C&M, ##영남이공대학

A Study on Flux Switching Motor drive for Fan Application

Namhun Kim*, Jungchul Kim**, Joongho Lee***, Bonsam Koo#, Minhuei Kim##, Wonsik Baik##
 *Cheungju Univ., **Keyngbook Univ., ***Hanbat Univ., #C&M Co, ##Yeungnam College of Sci.&Tech.

Abstract - A new class of electronically commutated brushless motor, the flux-switching motor(FSM) is gradually emerging in power tools and household appliances especially fan application. This motor offers advantages of both high-power density and relatively high efficiency. This paper presents the principle of the FSM and design of the 12/6 pole FSM drive system. Finally, test results of the prototype motor are provided to verify a validity of the fan application.

: FSM)에 대해서 소개한다[2][3].

1. 서 론

팬(fan)과 펌프(pump)는 전동기 시장에 있어서 큰 부분을 차지하고 있으며, 유도전동기(induction motor)가 대부분의 응용 시장을 점유하고 있다. 1kW 이상의 응용부분에서는 인버터 구동되는 삼상유도전동기가 주로 사용되고 있으며, 1kW이하의 응용 시스템에서는 단상 유도전동기가 주로 사용되고 있다[1].

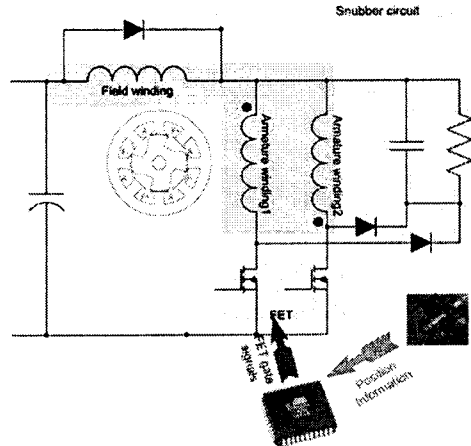


그림 1. 플럭스 스위칭 전동기 드라이브 구성도
 Fig. 1 The drive configuration of Flux switching motor

최근에는 그린 정책 및 고효율 정책에 따라서 효율이 낮은 유도 전동기보다는 영구자석을 사용하는 브러시리스 DC 전동기(Brushless DC motor)나 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.

팬 용도로 플럭스 스위칭 전동기의 타당성을 확인하기 위해서 50W 급의 프로토타입 전동기를 제작하였으며, 구동 특성을 확인하기 위해서 TI사의 DSP인 TMS320F2812과 FET를 이용하여 드라이브를 구성하였다.

2. 플럭스 스위칭 전동기

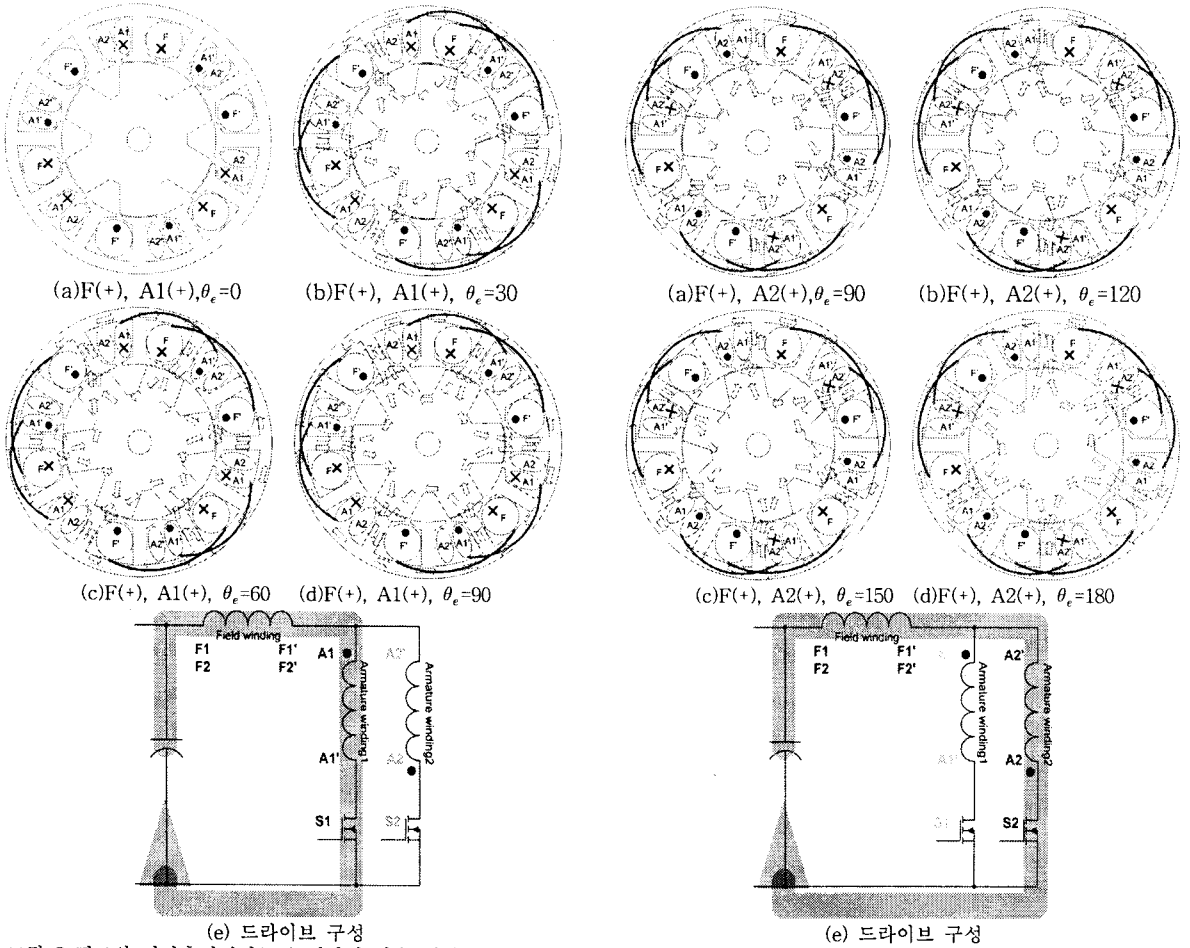
효율을 증가시키기 시키기 위해서는 일반적으로 50W 이하의 시스템에서는 브러시리스 DC전동기가 많이 거론되고 있지만, 브러시리스 DC전동기 드라이브는 상대적으로 영구자석을 사용하며, 드라이브 구성이 비싸다는 단점이 있다. 가격 경쟁력 관점에서는 스위치드 릴럭턴스 전동기가 장점을 가지지만 소음 문제에 있어서 많은 문제점을 가지고 있다.

플럭스 스위칭 전동기는 필드 권선(Field winding)과 아마추어 권선(Armature winding)에 흐르는 전류에 의해서 발생하는 자속의 상호 작용에 의해서 만들어진 릴럭턴스 토크에 의해서 구동된다. 필드와 아마추어 전류에 의해서 발생된 자속은 그림 2와 3과 같이 고정자와 회전자를 통하여 흐르게 된다.

결과적으로 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. 그림 1은 플럭스 스위칭 전동기의 드라이브 구성을 보여주고 있으며, 드라이브 구성을 위해 2개의 스위칭 소자와 홀센서나 셔터와 같은 위치센서 그리고 프로세서로 사용되고 있다.

그림 2(a)는 회전자가 초기 위치 $\theta_e=0$ 인 경우의 그림을 보여주고 있다. 그림 2(e)와 같이 필드권선(F)과 아마추어 권선(A1)에 전류를 흘리게 되면 그림 2(b), 2(c) 그리고 2(d)의 형태로 자속이 발생하면서 회전자를 정렬시키게 된다. 그림 2(d)와 같이 회전자가 고정자와 정렬하게 되면 그림 3(e)와 같이 필드권선(F)과 아마추어 권선(A2)에 전류를 흘리게 되며, 그림 3(b), 3(c) 그리고 3(d)의 형태로 자속이 발생하면서 회전자를 정렬시키게 된다. 그림 2와 3에서와 같이 필드 권선에 의해 발생하는 자속벡터의 방향은 항상 일정한 방향으로 발생되며, 아마추어 권선에 의해 발생하는 자속벡터는 90[deg]의 전기각도를 가지면서 슈프트되게 된다.

본 논문에서는 유도 전동기나 스위치드 릴럭턴스 전동기에 비해 높은 효율을 가지고, 상대적으로 드라이브 구성에 있어서 브러시리스 전동기보다 저가이면서, 구조적으로는 스위치드 릴럭턴스 전동기와 비슷하여서 제작이 매우 용이하며 제어에 있어서도 매우 간단한 알고리즘을 가지는 플럭스 스위칭 전동기(Flux switching motor



(e) 드라이브 구성

그림 2 필드와 아마추어 권선(A1) 여자시 자속 패턴
Fig. 2 Flux pattern for field and armature(A1) winding excitations

그림 4는 이상적인 필드 권선(F)과 아마추어 권선(A1, A2)에 의해서 발생하는 인덕턴스 프로파일을 나타내며, 위치에 따른 필드 권선의 전류(I_F)와 아마추어 권선의 전류(I_{A1} , I_{A2})의 파형을 나타내고 있다. 회전자 폴과 고정자 폴의 형상에 따라 자기 인덕턴스(Self inductance)가 변화할 수 있지만, 그림 4에서는 필드 권선과 아마추어 권선의 셀프 인덕턴스는 일정하다고 가정한다.

결과적으로, 플럭스 스위칭 전동기는 필드 권선과 아마추어 권선에 의해서 발생하는 자속은 회전자 폴과 고정자 폴 사이의 자기저항을 최소화하기 위해서 호전자를 고정자와 정렬시키고, 각각의 위치에 대해서 적절한 전류를 인가함으로써 톨력턴스 토크가 발생하여 회전자를 회전시키게 된다.

플럭스 스위칭 전동기의 토크는 수식(1)과 같이 쓸 수 있으며, 자기 인덕턴스가 일정하다고 가정하면 (2)와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$T_e = \frac{1}{2} i_{A1}^2 \frac{dL_{A1}}{d\theta_e} + \frac{1}{2} i_{A2}^2 \frac{dL_{A2}}{d\theta_e} + \frac{1}{2} i_F^2 \frac{dL_F}{d\theta_e} + i_{A1} i_F \frac{dL_{A1F}}{d\theta_e} + i_{A2} i_F \frac{dL_{A2F}}{d\theta_e} \quad (1)$$

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

그림 3 필드와 아마추어 권선(A2) 여자시 자속 패턴
Fig. 3 Flux pattern for field and armature(A2) winding excitations

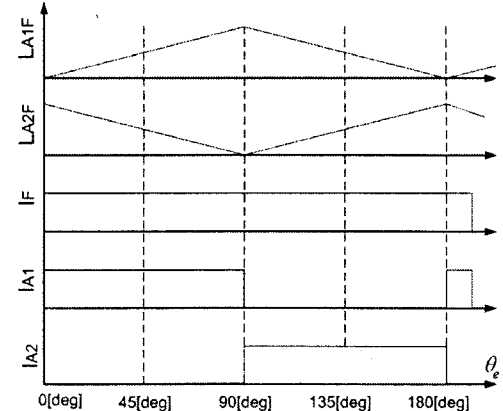


그림 4 이상적인 상호인덕턴스와 상전류
Fig. 4 Idealized mutual inductance and current waveforms

포지티브 토크를 발생시키기 위해서는 식(3)과 같은 조건을 만족시켜야 된다.

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

$$i_{A2} i_F > 0, \frac{dL_{A2F}}{d\theta_e} > 0$$

3. 시스템 구성 및 실험 결과

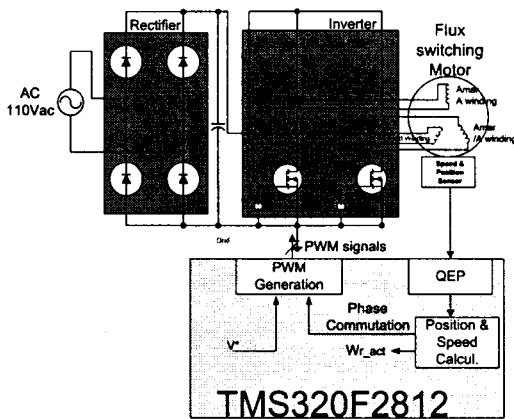


그림 5. 시스템 구성도
Fig. 5 System configuration

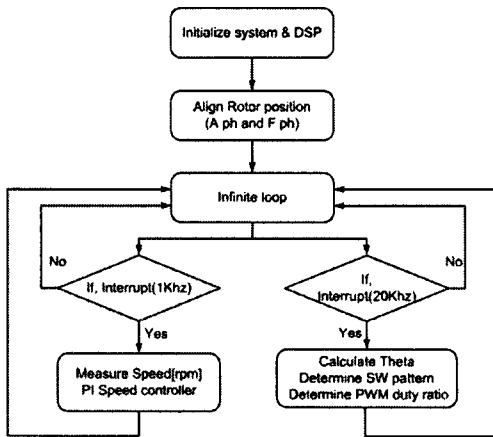


그림 6 프로그램 플로차트
Fig. 6 Program flowchart

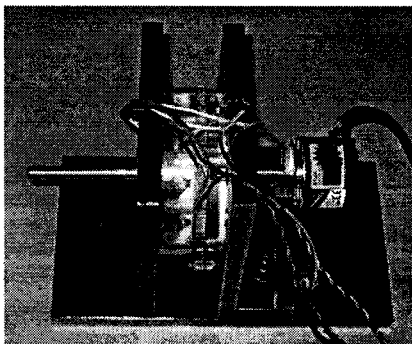
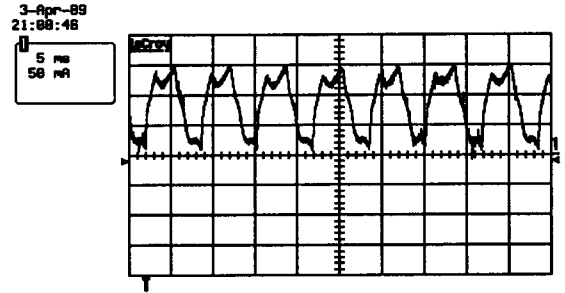


그림 7. 프로토타입 플릭스 스위칭 전동기
Fig. 7 Prototype flux switching motor

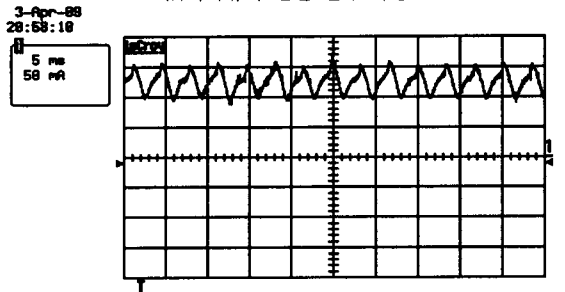
제작된 플릭스 스위칭 전동기의 타당성을 검증하기 위해서 그림 5와 같은 시스템을 구성하였다. 그림 5에서와 같이 브릿지 정류기를 사용하였으며, FET 2개를 이용하여 인버터를 구성하였다. 알고리즘을 검증하기 위해서 TMS320F2812 DSP를 사용하였다.

그림 6과 같이 알고리즘을 구성하였으며, 스위칭 주파수는 20KHz이다. 그림 7은 프로토타입으로 제작된 플릭스 스위칭 전동기를 보여주고 있다.



rms(1)	95.12 mA
Freq(1)	155.76 Hz
pkpk(1)	159.4 mA

(a) 아마추어 권선 전류 파형



rms(1)	125.55 mA
Freq(1)	313.63 Hz
pkpk(1)	81.2 mA

(b) 필드 권선 전류 파형

그림 8 전류 파형
Fig. 8 Current waveforms

그림 8은 아마추어와 필드 권선의 전류를 보여주고 있다. 아마추어 전류는 95mA가 흐르고 있으며, 필드에는 125mA가 흐르고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 전자적인 스위치를 이용해서 전류(commutation)가 이루어지고, 릴럭턴스 토크를 이용하며, 매우 간단한 구조의 드라이브를 가지는 팬용으로 제작된 50W 플릭스 스위칭 전동기(12 고정자 폴, 6 회전자 폴)를 제작하였다. 특성 확인을 위해서 DSP와 엔코더를 이용하여 기본적인 알고리즘을 적용하여 구동하였으며, 플릭스 스위칭 전동기의 동작원리와 수식에 대해서 설명하였다. 차 후 연구 과제로는 효율 및 청각적인 노이즈를 감소하기 위한 여러 가지 알고리즘을 적용하여 개선할 예정이다. 플릭스 스위칭 전동기는 스위치드 릴럭턴스 전동기에 비해 청각적인 노이즈 특성이 우수하며, 유도전동기에 비해 효율이 뛰어나서, 향후 공기 청정기나 에어컨의 팬과 같은 용도로 많이 사용될 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

[1] C. Pollock, H. Pollock and M. Brackley, "Electronically controlled flux switching motors : a comparison with an induction motor driving an axial fan", IECO N '03, vol. 3, pp.2465-2470, Nov. 2003.
[2] C. Pollock, J.D. Wale and M. Barnes, "Electrical Machines", US patent 6,140,729, granted October 31, 2000.
[3] C. Pollock and M. Wallace, "Tic Flux Switching Motor, A DC Motor without Magnets or Brushes", IE EE IAS Annual Meeting. Oct. 1999.