

SRM의 상권선 병렬운전에 관한 연구

홍정표*, 안진우**, 권순재*, 손무현***, 김종달***, 김철우****

부경대학교 기계설계학과*, 경성대학교 전기전자공학**, 동명대학 전기전자계열***, 부산대학교 전기공학과****

The Study on the Parallel Operation of Phase Winding in the SRM

Jeng-Pyo Hong*, Jin-Woo Ahn**, Soon-Jae Kwon*, Mu-Heon Sohn***, Jong-Dal Kim***, Cheul-U Kim****
Pukung National Univ.*. Kyungsung Univ.**. Dongmyung College***. Pusan National Univ.****

Abstract - In a motor driving, the current rate is directly related to the rate of a switching device and in cost reduction, the parallel switching operation is the alternatives because it has the smaller current rate through current division. There are many investigations for the parallel switching operations to equaling the current division. However it remains many problems for practical usage. The reason is that the switching characteristics are mainly relied on the different saturation voltage of each device etc. and these factors are not altered by circuit designer. In order to compensate this problem, a proper resistance is experimently inserted to the switching device. But this method can not be the optimal solution. Therefore this paper proposes a new parallel operation which uses a parallel phase winding to remove the traditional effect of switching device such as saturation voltage according to the division of current. Also the reliable and stable driving is improved through experiments and the detailed principles.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 단일 여자기기로 구조가 간단하고, 자속밀도가 교류전동기보다 매우 높아 기존의 교류전동기에 비해 단위 중량당 출력이 크다. 또한 직류직권 전동기의 속도-토크 특성을 가지고 있고 넓은 속도 가변범위 및 고속, 정·역회전특성이 우수하고 강인하다는 특성을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인하여 SRM에 대한 연구는 선진국을 중심으로 가전기기, 전기자동차, 항공기 및 산업전반에 걸쳐 그 응용영역을 확대해가고 있다.^{[1][2]} SRM은 릴럭턴스 토오크를 극대화하기 위해 회전자와 고정자가 모두 돌극형의 구조를 가지며, 권선은 고정자에만 집중권으로 감겨 있어 전자계 구조상 단속적인 여자 전원이 각 상 권선에 순차적으로 인가되어 구동되므로 낮은 스위칭 주파수로 운전이 가능하여 고속 운전 및 효율적인 측면에서 강한 장점을 갖고있다^[3]. 특히 SRM은 다른 전동기에 비하여 낮은 스위칭 주파수로 운전이 가능하며, 인버터의 낮은 스위칭 주파수로 인하여 인버터의 스위칭 손실 및 전동기의 철손이 크게 감소하여 고효율 운전이 가능하다^[4].

SRM에서 출력을 증대하기 위해서는 스위칭 온 각을 앞으로 당기는 것이 필수적이다. 이러한 온 각의 증대는 상전류의 피크치를 증가시켜 스위칭 소자의 전류정격을 증대시키는 결과를 초래한다. 특히 저전압 대전류용 SRM에서는 큰 전류정격이 실제시스템 구성에 큰 장애로 작용하는 실정이다. 이를 극복하기 위해서 스위칭 소자의 병렬운전에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[5].

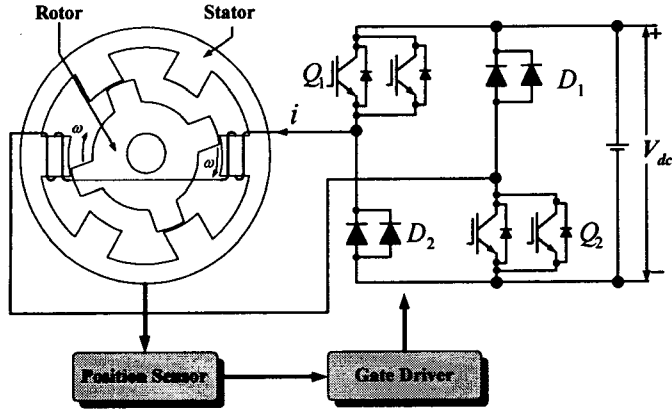
전동기의 구동에 있어 전류정격은 스위칭 소자의 정격과 직결되고 경제적인 측면에서 적은 정격전류 스위칭 소자를 이용하여 구동하기 위해서는 스위칭 소자의 병렬운전이 필수적이다. 스위칭 소자의 병렬 운전시 스위칭 소자의 전류분담을 균일하기 위해서 많은 연구가 이루어지고 있으나, 아직도 실용화하기 위해서는 많은 문제를 앓고 있다. 스위칭 소자의 병렬운전은 스위치의 특성 즉 전류에 대한 상이한 포화전압이 그 근본적인 원인이 되고 있다. 이 스위칭 소자의 포화전압의 차이는 설계자가 변경할 수 없는 요소이며 이를 보상하기 위해서 스위칭 소자에 직렬로 적당한 저항 값을 삽입하나 이 방법은 근본적인 대책이 될 수 없다. 따라서 본 논문에서는 스위칭 소자의 포화전압과 같은 스위칭 소자의 파라메타가 전류분담에 영향을 미치지 않는 새로운 병렬운전기법인 상권선 병렬운전기법 제안함으로써 스위칭 소자의 전류분담을 증대시키고, 신뢰성을 확보하였다. 또한 실험을 통하여 제안된 방식의 타당성을 검증하였다.

2. 상권선의 병렬운전

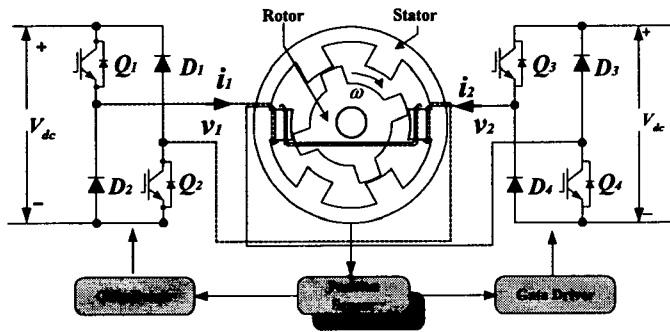
SRM에서의 전동력 발생은 여자된 자기회로에서 자기 릴럭턴스(magnetic reluctance)가 최소가 되는 방향으로 토오크가 발생하므로 그림 1에서와 같은 자기회로 구조에서 연속적인 운전을 하기 위해서는 회전방향으로 각 상을 주기적으로 여자시킬 때 이루어진다. 이 때 상당 발생 토오크의 크기는 식 (1)에서와 같이 상권선에 흐르는 전류 i 의 제곱과 회전자 위치각 θ 에 대한 인덕턴스 L 의 변화율에 비례한다.

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (1)$$

여기서 인덕턴스의 변화율은 SRM의 구동전압과 정격전류에 의해 전동기 설계시 결정되어진다. 전동기 설계에서 결정되어진 정격전압과 정격전류에 의해서 SRM의 구동인버터 소자의 정격이 결정되어진다.



(a)



(b)

그림 1 SRM 구동시스템
(a) 병렬 스위칭 방식 (b) 병렬권선 방식

Fig. 1 SRM Drive system
(a) Parallel switching method
(b) Parallel winding method

결정된 소자의 전류정격을 갖는 스위칭 소자를 구할 수 없거나, 경제성이 없는 경우 일반적으로 선택되는 것은 그림 1(a)와 같이 소자의 병렬운전으로 전동기의 전류정격을 높게 된다. 전류정격을 높이기 위해 스위칭 소자의 병렬운전을 할 경우 스위칭 소자 전류분담은 소자의 포화전압특성곡선에 의해 좌우된다. 이 경우 소자의 포화전압이 높은 쪽의 스위칭 소자로 전류가 집중되어 결국 전류 분담율이 매우 낮게되어 스위칭 소자의 전류분담의 의미를 상실하게 된다. 이를 보상하기 위해 스위칭 소자에 직렬로 저항을 삽입하는 방식을 사용하여 전류분담율을 증가시키는 방식도 있으나, 스위칭 소자의 특성이 소자마다 상이함으로 소자의 교체시 스위칭 소자에 삽입된 저항의 교체도 필수적이 된다. 이는 스위칭 소자의 포화전압은 사용자가 임의로 결정하는 것이 아니라 스위칭 소자를 만들 때 이미 결정되어지고 이 포화전압이 병렬 스위칭 소자의 전류분담의 핵심이 되기 때문이다. 전류분담이 소자의 특성에 의해 좌우되는 병렬 스

위칭방식으로는 완전한 전류분담을 행하기는 거의 불가능하다.

그림 1(b)는 본 논문에서 제안된 상권선 병렬 운전방식의 SRM 구동시스템이다. 이 구동시스템은 기존의 스위칭 소자 병렬운전의 단점인 스위칭 전류분담이 소자의 특성에 의해 좌우되는 방식과 달리 부하의 특성에 의해 좌우되는 방식이 된다. 이 방식은 스위칭 소자와 전동기의 상권선을 직렬로 연결함으로써 스위치에 흐르는 전류특성이 스위칭 소자의 특성에 의해 지배받는 것이 아니라 권선의 특성에 의해 결정되어 지는 방식이 되고, 권선의 특성은 전동기 설계시 결정할 수 있는 파라메타가 된다.

상권선 병렬운전에서 스위칭 소자에 흐르는 전류를 해석하기 위해 두 권선이 병렬로 연결된 SRM의 한 상권선에 대한 제 1권선 및 제 2권선의 전압방정식은 아래와 같다.

$$V_1 = R_1 i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt} \quad (2)$$

$$V_2 = R_2 i_2 + \frac{d\lambda_2}{dt}$$

SRM의 한 상에 대하여 두 코일이 감겨져 있어 총자속 ϕ 는 동일한 값이 되고, 제 1권선과 제 2권선의 권수를 N_1 및 N_2 라 하면 각각의 총 쇄교자속은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\lambda_1 = N_1 \phi \quad (3)$$

$$\lambda_2 = N_2 \phi$$

두 코일 권선의 회수가 같다면($N_1=N_2$) 총 쇄교자속도 동일한 값이 되어 아래 식으로 표현 가능하다.

$$\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 \quad (4)$$

따라서 식(2)의 전압방정식 다음과 같이 동일한 총 쇄교자속 항으로 표현된 식으로 표현 할 수 있다.

$$V_1 = R_1 i_1 + \frac{d\lambda}{dt} \quad (5)$$

$$V_2 = R_2 i_2 + \frac{d\lambda}{dt}$$

위 식의 우변 2번째 항인 총 쇄교자속 변화분은 다음과 같다.

$$\frac{d\lambda}{dt} = L \frac{d(i_1 + i_2)}{dt} + (i_1 + i_2) \omega \frac{dL}{d\theta} \quad (6)$$

위 식의 우변 1번째 항은 상전류의 과도상태를 지배하는 항이며, SRM의 상전류가 플랫탑(flatted tap) 전류

가 형성되었다면 각 상 전류의 변동분이 없으므로 이항은 영이 된다.

식(5) 및 식(6)에 의하여 SRM의 한 상에 대한 전압방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_1 &= R_1 i_1 + L \frac{di_1}{dt} + i_1 \omega \frac{dL}{d\theta} + i_2 \omega \frac{dL}{d\theta} + L \frac{di_2}{dt} \\ V_2 &= R_2 i_2 + L \frac{di_2}{dt} + i_2 \omega \frac{dL}{d\theta} + i_1 \omega \frac{dL}{d\theta} + L \frac{di_1}{dt} \end{aligned} \quad (7)$$

정상상태에서 전류 분담을 조사하기 위해서 과도상태만 지배하는 인덕턴스의 전압강하를 무시하고 식(7)을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_1 &= R_1 i_1 + i_1 \omega \frac{dL}{d\theta} + i_2 \omega \frac{dL}{d\theta} \\ V_2 &= R_2 i_2 + i_2 \omega \frac{dL}{d\theta} + i_1 \omega \frac{dL}{d\theta} \end{aligned} \quad (8)$$

위 식의 두 전압방정식은 동일한 전동기에 동일한 상권선이므로 전동기의 각속도와 인덕턴스 변화분은 동일하다. 따라서 각속도 항과 인덕턴스의 변화분을 제거하기 위해서 식(8)의 두 식을 정리하면 다음과 같다.

$$V_1 - V_2 = R_1 i_1 - R_2 i_2 \quad (9)$$

위 식으로부터 각 코일에 흐르는 정상상태 전류비는 속도와 인덕턴스의 변화율과 무관한 항이 된다. 만일 두 코일에 인가되는 전압이 동일하고 두 코일의 권선 저항이 동일하다면 식(9)로부터 두 권선에 흐르는 전류값은 아래식과 같이 동일한 값이 된다.

$$i_1 = i_2 \quad (10)$$

위 식의 관계식을 도식적으로 표현하면 그림 2(a)와 같다.

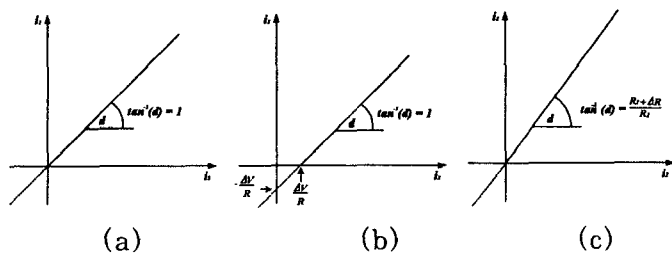


그림 2 파라미터 변동에 따른 전류분담 특성
(a) 인가전압 및 권선저항이 동일한 경우
(b) 인가전압이 상이한 경우 (c) 권선저항이 상이한 경우
Fig. 2 Characteristics of division of current according to changing of parameters

- (a) The same case of applied voltages and winding resistances
(b) The different case of applied voltages
(c) The different case of winding resistances

만일 전동기의 두 권선 저항값이 동일하고, 스위칭 소자의 전압강하분의 차(ΔV)만 발생한다면 식(9)의 전압과 저항은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 + \Delta V \\ R &= R_1 = R_2 \end{aligned} \quad (11)$$

식(9) 및 식(11)으로부터 두 권선의 전류 분담비는 아래와 같다.

$$i_1 = i_2 - \frac{\Delta V}{R} \quad (12)$$

위 식의 관계식을 도식적으로 표현하면 그림 2(b)와 같다. 식(12)로부터 스위칭 소자의 전류 분담비는 스위칭 소자의 전압강하분의 차와 권선 저항의 항으로 나타나게 되고, 일반적으로 권선 저항 값이 전압강하분 차에 비하여 상당히 크므로 이항은 의함은 매우 적다. 각 상의 병렬 코일 수를 증가시키면 한 코일 당 전류분담이 적게 되고, 권선의 굵기도 적게 되어 상권선의 저항율이 증가하게 되며 전류 분담율이 증가하게 된다. 권선 저항이 스위칭 소자의 포화전압 변동에 비한 전류분담 특성을 무시할 수 있는 정도로 상대적으로 큰 저항이라면 두 스위칭 소자의 전류분담은 동일하다. 위 식은 SRM에서 상의 각 권선의 저항이 동일하다는 가정 하에서 성립되는 식이다. 따라서 상의 각 코일의 저항변화에 따른 전류분담특성을 조사하기 위해서 각상의 전압 변동을 무시하고, 두 코일의 저항 차는 아래 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 \\ R_2 &= R_1 + \Delta R \end{aligned} \quad (13)$$

식(9) 및 식(13)으로부터 두 권선의 저항이 상이할 경우 전류 분담비는 아래와 같다.

$$i_1 = \frac{R_1 + \Delta R}{R_1} i_2 \quad (14)$$

위 식의 관계식을 도식적으로 표현하면 그림 2(c)와 같다. 식(14)으로부터 스위칭 소자의 전류분담비는 두 권선의 저항 차로 나타나게 된다. 따라서 각 스위칭 소자의 전류분담을 같게 하기 위해서는 각 권선의 저항차를 줄이는 것이 필요하다. 만일 스위칭 소자의 전압강하분의 차와 권선저항 차를 모두 무시할 수 없는 경우 전압과 저항의 차를 아래 수식으로 표현 가능하다.

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 \pm \Delta V \\ R_2 &= R_1 \pm \Delta R \end{aligned} \quad (15)$$

식(9) 및 식(15)로부터 두 권선의 전류 분담비는 아래와 같다.

$$i_1 = \frac{R_1 \pm \Delta R}{R_1} i_2 - \frac{\pm \Delta V}{R_1} \quad (16)$$

전류분담은 권선의 저항차와 인가전압에 따라 4가지 형태를 취할 수 있다. 식(16)을 그래프로 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3의 f_A 는 두 권선의 저항이 동일하고, 인가전압이 동일한 이상적인 경우가 되고 전류는 동일하게 분담되는 경우이다. f_1 와 f_2 는 제 1권선에 인가되는 전압이 제 2권선에 인가되는 전압보다 ΔV 만큼 큰 경우이며, f_1 은 R_1 이 R_2 보다 적은 경우이고 f_2 는 R_1 이 R_2 보다 큰 경우이다. f_3 와 f_4 는 제 1권선에 인가되는 전압이 제 2권선에 인가되는 전압보다 ΔV 만큼 적은 경우이며, f_4 은 R_1 이 R_2 보다 적은 경우이고 f_3 는 R_1 이 R_2 보다 큰 경우이다. 그림에서 전류분담에 영향을 주는 선은 f_1 보다 적어야하고 f_4 보다 커야 함으로 전류관계는 명암이 있는 부분에서 동작하게 된다. 이 부분의 폭을 좁혀 전류 분담율을 같게하기 위해서는 인가되는 전압의 차와 권선저항의 차를 줄이는 것이 필요하다.

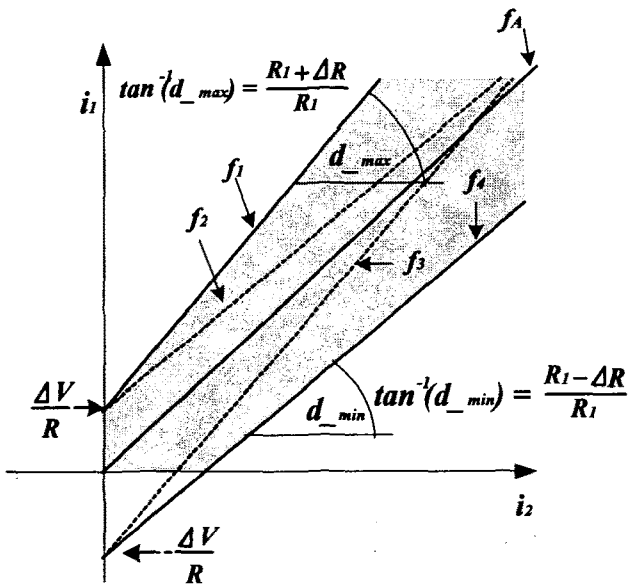


그림 3 전류분담 특성
Fig. 3 Characteristic of division of currents

그림 3과 같은 특성을 갖는 전동기에서 상스위치의 최대 전류제한의 결정과정을 도식적으로 나타내면 그림 4와 같다. 여기서 i_{rate} 는 스위칭 소자의 허용 최대전류이며, i_{Max1} 은 상권선 병렬운전시 제 1권선에 흐를 수 있는 최대전류가 되고 i_{Max2} 는 상권선 병렬운전시 제 2권선에 흐를 수 있는 최대전류가 된다. 실제 전류센서에서는 두 권선에 흐르는 전류의 합이 검출되므로 상전류의 최대치는 스위칭 소자의 최대허용전류와 제 1권선 및 제 2권선의 최대허용전류보다 적은 전류 합이 된다. 두 권선에 흐를 수 있는 최대전류 중 적은 전류를 아래와

같이 정의한다.

$$\begin{cases} \text{if}((i_{Max1} > i_{Max2}) & i_{Max} = i_{Max2} \\ \text{else} & i_{Max} = i_{Max1} \end{cases} \quad (17)$$

따라서 권선에 흘릴 수 있는 최대전류는 다음 식과 같다.

$$i_P = i_{Rate} + i_{Max} \quad (18)$$

식 (18)에 의해 스위칭 소자의 전류 사용율은 아래와 같다.

$$i_\xi = \frac{i_{Rate} + i_{Max}}{2 i_{Rate}} \times 100 [\%] \quad (19)$$

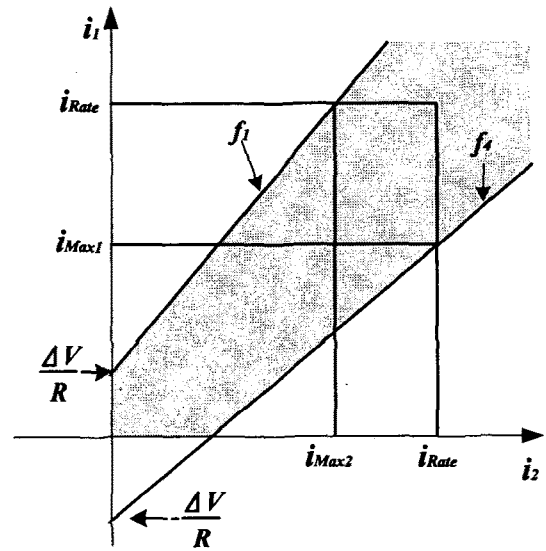


그림 4 최대전류 결정
Fig. 4 Determination of maximum current

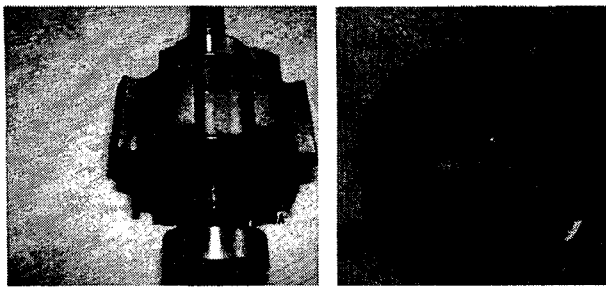
3. 제어기 구성

3.1 제어기의 구성

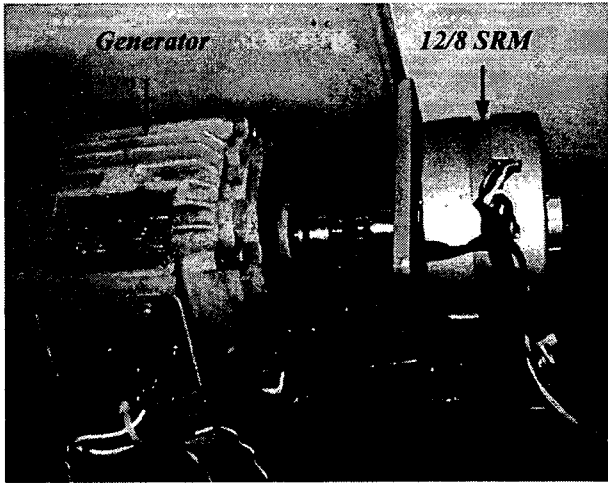
본 연구에서 SRM의 상스위치를 제어할 위한 인코더와 SRM은 그림 5에 나타나있다.

그림 5(a)와 같이 회전자의 위치를 검출하기 위해 전기각 360° 에 해당하는 기계각 45° 주기로 슬롯을 형성한 원판형 디스크를 취부 하였으며, 전기각 120° 에 해당하는 기계각 15° 간격으로 3개의 옵토인터럽터를 그림 5(b)와 같이 설치하였다. 이 옵토인터럽터는 전기각 60° 단위의 디지털 위치 정보를 발생시킨다. 그림 5(c)는 12/8 SRM과 부하용 발전기와 커플링된 사진이다.

SRM에서 회전자 위치각에 동기시켜 상스위치를 온, 오프하기 위해서는 회전자 위치각 정보가 필요하다. 옵토인터럽터로부터 얻은 정보는 전기각 60° 단위의 디지털 위치 정보이므로 연속의 회전자 위치각의 정보는 없다.



(a) (b)



(c)

그림 5. 12/8 SRM 구동용 인코더
(a) 인코더 디스크의 사진 (b) 옵토인터럽터의 사진
(c) 12/8 SRM 사진

Fig. 5. Encoder of 12/8 SRM Driver
(a) Photograph of encoder disk
(b) Photograph of encoder optointerrupter
(c) Photograph of the 12/8 SRM

따라서 연속된 회전자 위치 정보를 얻기 위해서 속도 추정이 필요하다. 속도는 인코더의 에지에서 발생된 인터럽터에서 카운터 값을 참조함으로써 얻을 수 있으며, 전동기의 속도는 매 인터럽터 마다 아래 식에 의해서 결정되어 진다.

$$\omega_r = \frac{\pi}{12 T_s} \quad (20)$$

전동기의 속도가 식(20)과 같이 결정되어 지면 회전자 위치각은 아래 식으로부터 구할 수 있다.

$$\theta_r = \int \omega_r dt + \theta_0 \quad (21)$$

식 (21)의 θ_0 는 매 인터럽터 마다 그 순간의 위치를 설정하게 된다.

그림 6은 제어 및 파워보드의 사진을 나타내고 있다. 제어기는 DSP241을 사용하여 제작하였으며 각 제어변수 값을 보기 위해 7세그먼트 디스플레이와 12bit 4 채널용 DA컨버터 인 AD644를 장착하였다. 파워보드는 실험용으로 12/8 SRM에서 두상(A, C상)은 병렬운전을

을 하지 않는 상태로 두고 B상 한 상만 병렬운전을 하게하여 그 특성을 파악하였다.

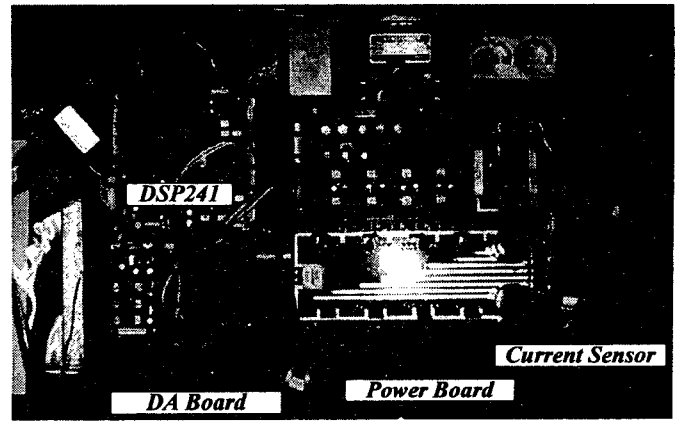


그림 6. 제어 및 파워보드
Fig. 6. Control and power board

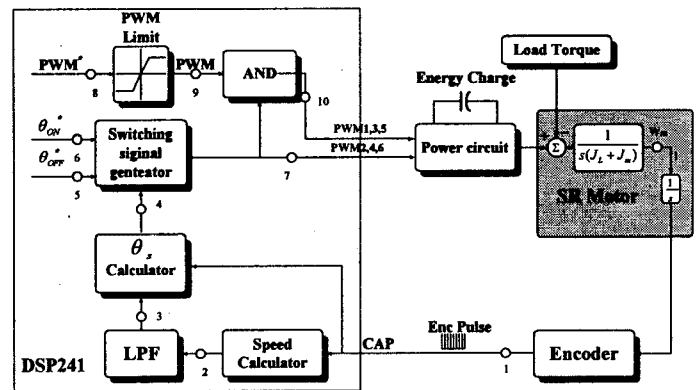


그림 7 전체 제어기의 구성
Fig. 7 Configuration of overall controller

그림 7은 전체제어기를 나타내고 있다. 전동기 측에 직결된 인코더 신호(1)로부터 캡처인터럽터를 발생시키며, 인터럽트가 발생하면 식 (20)에 의해 현재의 전동기속도가 계산되고, 계산된 속도(2)의 변동분을 제거하기 디지털 로패스 필터를 통하여 양호한 전동기의 속도를 구한다. 이 전동기의 속도(3)와 인코더의 상대를 참조하여 식 (21)식에 의해 현재 회전자의 위치를 추정하게 된다. 추정된 회전자의 위치로(4)부터 AD를 통해 얻은 원하는 상스위치의 온, 오프각에 따라 상스위칭 신호(7)를 발생시킨다. 발생된 상신호와 PWM지령치(8)에 의해 초핑할 상의 상 신호를 발생시켜 전동기를 운전하게 된다.

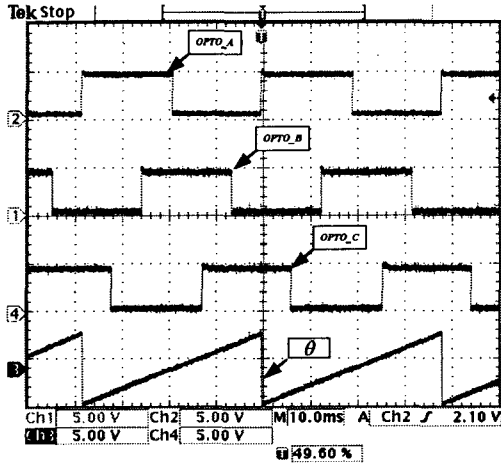
4. 실험결과 및 고찰

앞서 제안된 병렬권선 스위칭 방식의 타당성을 검증하기 위해 3상 12/8 SRM을 제작하였으며, 제작된 SRM의 정확한 제원은 표 1과 같다. 제작된 SRM은 환풍기용으로 부하는 팬부하를 사용하였다. 따라서 부하의 토크는 속도에 자승에 비례하는 특성을 갖는다.

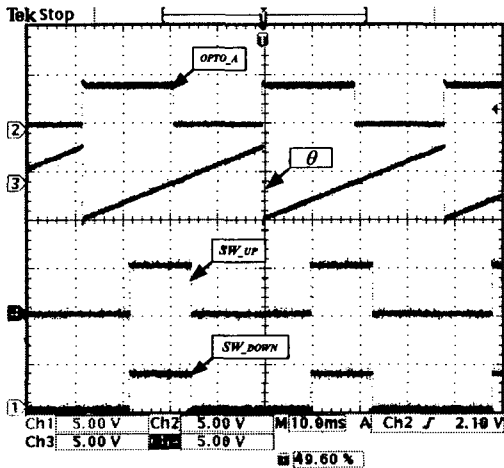
표 1 피 실험 전동기의 설계 정수

Table 1 Design parameters of the experimental SRM

고정자 극수	12	회전자 극수	8
고정자 극호	16°	회전자 극호	20°
고정자 외경	132.0 mm	회전자 외경	72.5 mm
공극	0.2 mm	철심 길이	28.0 mm
상당 권선수	140 turn	도체 직경	0.52 mm
상당 저항	2.0Ω	정격속도	3000 rpm



(a)



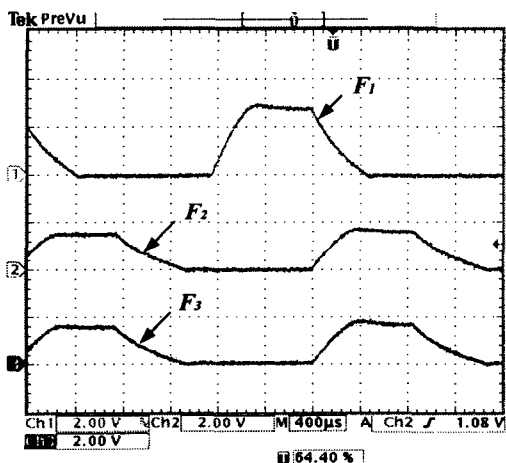
(b)

그림 8. 엔코더 출력신호 및 한 상 스위칭 신호

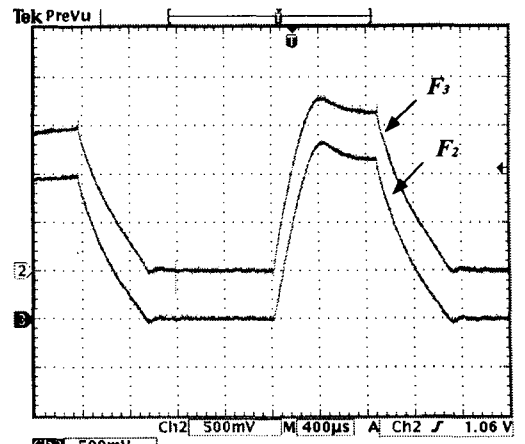
Fig 8. Output signals of encoder and switching waveforms of one phase

(a) Output signals of encoder

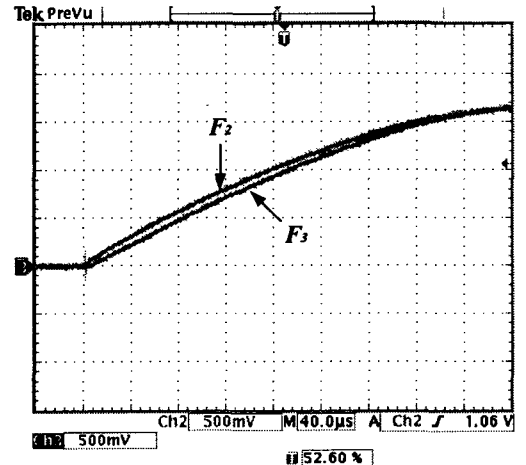
(b) Switching waveforms of one phase



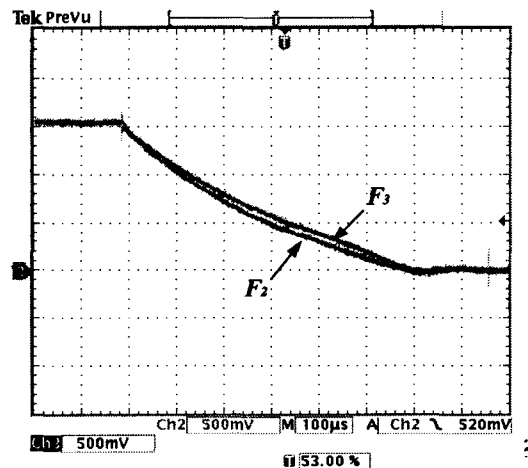
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 9 상전류파형

(a) A상 전류와 B상권선의 전류 (b) B상권선의 전류

(c) 증가영역에서 B상권선의 전류

(d) 감소영역에서 B상권선의 전류

Fig. 9 Waveforms of the phase currents

(a) A phase current and A phase winding currents

(b) A phase winding currents

(c) Rising winding currents of B phase

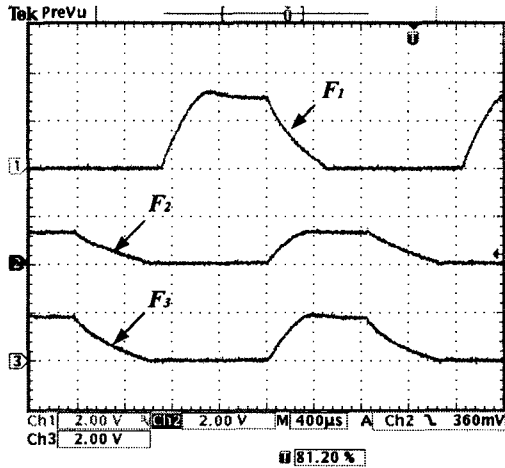
(d) Falling winding currents of B phase

그림 8 (a)는 200[rpm]의 속도로 전동기가 회전할 때 제작한 엔코더의 인코더의 출력신호와 이를 캡처인터럽트를 통해 추정된 위상각을 D/A출력 카드를 통해 비교한 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 인코더 출력신호에 따른 추정 위상각이 선형적이며 이를 통해 양호한 추정

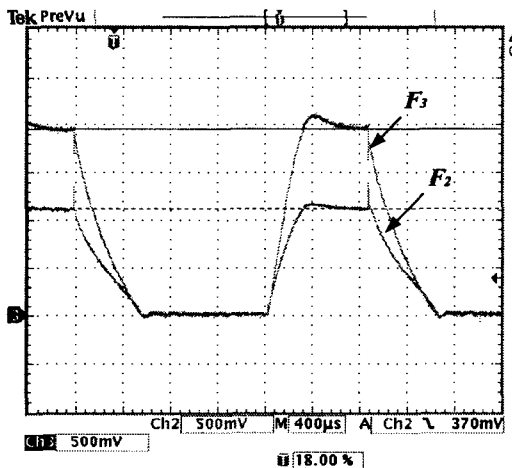
이 이루어짐을 알 수 있다. 그림 8(b)는 해당 여자구간에서 인버터 한 상의 윗단과 아랫단에 인가되는 단일 펄스열의 게이트 신호를 나타낸 것이다.

실험에 사용된 피 시험전동기는 12/8 SRM으로 전류분담특성을 조사하기 위해서 각 상의 권선은 2조로 하여 병렬권선작업을 하였다. 본 실험에서는 상전류병렬운전특성을 비교하기 위해 12/8 SRM의 B상 권선에만 상권선 병렬운전을 행하고 다른 권선에는 상권선 병렬운전을 행하지 않는 상태에서 실험을 행하였다.

그림 9은 3000[rpm]으로 운전하고 있는 상태에서 병렬운전을 하고있지 않는 권선과 병렬운전을 하고 있는 두 권선의 전류파형이다.



(a)



(b)

그림 10 권선저항이 다른 경우 상전류파형

(a) A상 전류와 B상권선의 전류 (b) B상권선의 전류

Fig. 10 Waveforms of the phase currents when different winding resistance

(a) A phase current and A phase winding currents

(b) A phase winding currents

그림 9에서 F_1 은 상권선 병렬운전을 하고있지 않는 상인 A상 권선의 전류파형이고, F_2 및 F_3 는 병렬운전을 하고있는 상인 B상의 두 권선에 흐르는 전류파형이다. 그림 9(a)에서 보는바와 같이 상권선 병렬운전을 하고 있는 전류파형인 F_2 과 F_3 는 병렬운전을 하지 않는 F_1 에 그 형상은 거의 같고 크기는 절반이 된다. 따라서 전류

분담율은 동일함을 알 수 있다. 그림 9(b)는 병렬운전을 하고 있는 두 전류의 형상을 세밀하게 관찰하기 위한 파형으로 F_2 가 F_3 보다 시정수가 적음을 알 수 있으나, B상 스위치가 오프하는 시점에서 전류의 크기가 동일함으로써 정상상태에서 전류 분담율은 동일함을 알 수 있다. 그림 9(c) 및 9(d)는 SRM에서 상전류 정착 및 소호시 발생하는 전류차이를 보기 위한 파형으로 두 권선에 흐르는 전류의 증가 및 감소율은 F_2 가 큰 것으로 나타났다. 이는 B상 권선에 병렬로 감겨진 인덕턴스와 저항의 미소차로 나타난 것으로 사료된다.

그림 10은 병렬운전을 하고 있는 상권선 저항이 다른 경우 병렬운전을 하고있지 않는 권선과 병렬운전을 하고 있는 두 권선의 전류파형이다. 그림 10에서 F_1 은 상권선 병렬운전을 하고있지 않는 상인 A상 권선의 전류파형이고, F_2 는 권선에 직렬로 실제 권선저항의 약 55[%]의 저항값인 1.1[Ω]의 직렬저항을 삽입하여 권선저항을 높인 상태의 전류이고 F_3 는 직렬저항을 삽입하지 않는 권선에 흐르는 전류파형이다. 그림 10(a)에서 보는 바와 같이 상권선 병렬운전을 하고있는 전류파형인 F_2 과 F_3 의 합은 병렬운전을 하지 않는 F_1 과 거의 같으나 전류 분담율에는 큰 차이를 보이고 있다. 그림 10(b)는 전류분담의 차이를 보기위해 그림 10(a)의 두 권선의 전류인 F_2 및 F_3 파형을 확대한 것으로 그 차이는 앞 절에서 언급한 수식과 거의 일치함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 인버터의 전류정격을 키우기 위해 전동기와 연계된 인버터의 구성에 관한 연구로 기존의 병렬 스위칭 방식의 단점인 스위칭 소자의 포화전압 특성의 영향을 적게 받는 새로운 병렬운전기법인 상권선 병렬운전기법에 대한 것이다. 제안된 상권선 병렬운전기법에서 전류분담에 영향을 주는 주 파라메타인 권선저항과 상권선에 인가되는 전압 변동분에 대한 영향을 수식적으로 해석하였다. 또한 상권선 병렬 운전에 있어 최대허용전류에 대한 해석을 행하였으며 이를 근거로하여 실제 상권선 병렬운전의 전류저격을 결정할 수 있으리라 생각되며, 스위칭 소자의 교체시 기존의 스위칭 병렬운전에서 전류 분담율을 증가시키기 위한 스위칭 소자와 직결된 저항을 제거할 수 있었다. 이 방식은 SRM 전동기뿐만 아니라 기존의 다른 모든 전동기에 동일하게 적용이 가능할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] B. K. Bose, T. J. E. Miller, P. M. Szeszsy and W. H. Bocknell : "Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor." IEEE Trans. on Industrial Application, vol. 22, no. 4, pp. 708-715, 1986.

- [2] I. Husain, M. Ehsani : "Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Drives by PWM Current Control," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 11, no. 1, pp. 91-98, 1996.
- [3] C. Wu, C. Pollock: "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive," IEEE Trans. on Industrial Applications, vol. 31, no. 1, pp. 91-98, 1995.
- [4] D. E. Cameron, J. H. Lang and S. D. Umans : "The Origin and Reduction of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable-Reluctance Motors," IEEE Trans. on Industrial Applications, vol. 28, no. 6, pp. 1250-1255, 1992.
- [5] Graham E.Dawson, Anthony R.Eastham and Jerzy Mizia: "Switched Reluctance Motor Torque Characteristics : Finite Element Analysis and Test Results," IEEE Trans. on IA, Vol. 23, No. 3, pp. 532-537, 1987.
- [6] M. Moallerm: "Predicting Torque of Switched Reluctance Machine from Its Finite-Element Field Solution," IEEE Trans on Energy Conversion, vol. 5, no. 2, pp. 733-739, 1990.