

새로운 스위칭 패턴을 사용한 SRM의 병렬권선 운전

김태형, 이동희*, 안진우
경성대, OTIS-LG*

Paralling of SRM Drive System using Novel Switching Pattern

Tae-Hyung Kim, Dong-Hee Lee*, Jin-Woo Ahn
Kyungsung Univ. OTIS-LG*

ABSTRACT

In a motor drive, the current rating is directly related to the rating of a switching device, and the parallel switching operation for a cost reduction is the alternatives because it has the smaller current rating 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. 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. The proposed strategy is verified by theoretical and experimental results.

1. 서 론

SRM은 다른 전동기에 비하여 낮은 스위칭 주파수로 운전이 가능하며, 스위칭 손실 및 전동기의 철손이 크게 감소하여 고효율 운전이 가능하다.[1] 그러나 SRM의 출력증대는 상전류의 피크치를 증가시켜 스위칭 소자의 전류정격을 증대시키는 결과를 낳는다. 특히 저전압 대전류용 SRM에서는 큰 전류정격이 시스템 구성에 큰 장애로 작용하는 실정이다.

이에 소자의 병렬운전을 통한 전류 분담이 활발히 연구되어 지고 있으나, 각 스위치의 특성 즉 전류에 대해 상이한 포화전압이 문제시 된다.

따라서 본 논문에서는 스위칭 소자의 포화전압과 같은 스위칭 소자의 파라미터가 전류분담에 영향을 미치지 않는 새로운 병렬운전기법인 상권선 병렬운전기법을 제안함으로써 스위칭 소자의 전류분담을

을 증대시키고, 신뢰성을 확보한다. 또한 실험을 통하여 제안된 방식의 타당성을 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 상권선의 병렬운전

전동기 설계에서 결정되어진 정격전압과 정격전류에 의해서 SRM의 구동인버터 소자의 정격이 결정되어진다.

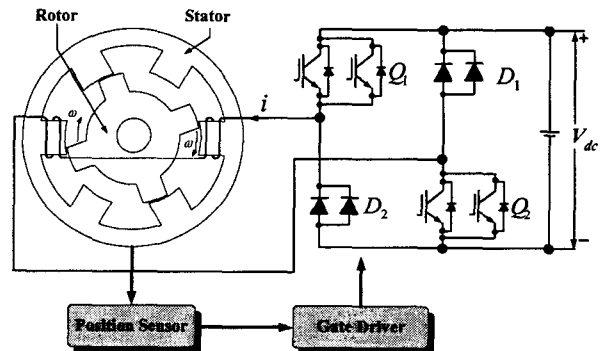
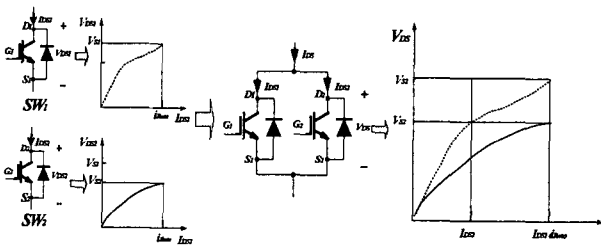


그림 1. 기존의 병렬스위칭 방식의 SRM 구동시스템
Fig. 1 The conventional SRM drive system of the parallel switching method

결정된 스위칭 소자의 전류정격을 갖는 스위칭 소자를 구할 수 없거나, 경제성이 없는 경우 일반적으로 선택되는 것은 그림 1과 같이 소자의 병렬운전으로 전동기의 전류정격을 높게 된다. 전류정격을 높이기 위해 스위칭 소자의 병렬운전을 할 경우 스위칭 소자 전류분담은 그림2에 나타난 바와 같이 소자의 포화전압특성에 의해 좌우된다.

스위칭 소자를 병렬운전 한 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 전류 분담율을 증가시키는 방식도 있으나, 스위칭 소자의 특성이 소자마다 상이함으로 소자의 교체 시 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. 또한 스위칭 소자의 포화전압 특성은 주변 온도에 따라 변하게 되므로 정확한 전류분담은 매우 어려운 상태가 된다. 병렬 스위칭 운전에서 소자의 전류분담은 소자의 특성에 의해 좌우되는 병렬 스위칭방식으로는 완전한 전류분담을 행하기는 거의 불가능하다.



(a) saturation voltage (b) current division

그림 2 병렬 스위칭 방식의 전류분담 특성

Fig. 2 Characteristics of current division in parallel switching mode

그림 3은 본 논문에서 제안된 상권선 병렬 운전 방식의 SRM 구동시스템이다. 이 구동시스템은 기존의 스위칭 소자 병렬운전의 단점인 스위칭 소자의 전류분담이 소자의 특성에 의해 좌우되는 방식과 달리 부하의 특성에 의해 좌우되는 방식이다.

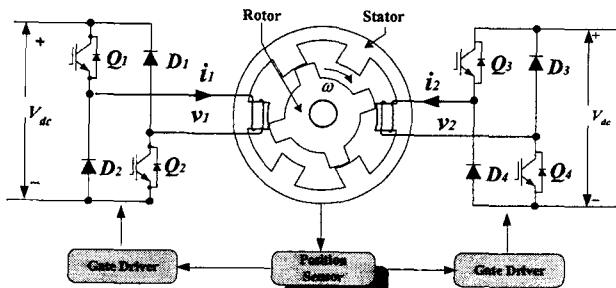


그림 3 제안된 병렬권선방식의 SRM 구동시스템

Fig. 3 The proposed SRM drive system of the parallel winding method

이 방식은 스위칭 소자와 전동기의 상권선을 직렬로 연결함으로써 스위치에 흐르는 전류특성이 스위칭 소자의 특성에 의해 지배받는 것이 아니라 권선의 특성에 의해 결정되며, 권선의 특성은 전동기 설계 시 결정할 수 있는 파라미터가 된다. 일반적

으로 SRM의 한 상에 대한 전압방정식은 아래와 같다.

$$\frac{d\lambda}{dt} = V - Ri \quad (1)$$

여기서 λ 는 총 쇠교자속, V 는 상에 인가되는 전압, R 은 권선저항, i 는 상전류가 되며, 위 식의 좌변 항인 총 쇠교자속 변화분은 다음과 같다.

$$\frac{d\lambda}{dt} = L \frac{di}{dt} + i\omega \frac{dL}{d\theta} \quad (2)$$

여기서 L 은 상 인덕턴스, ω 는 각속도, θ 는 회전자 위치각이 된다. 위 식의 우변 1번째 항은 상전류의 과도상태를 지배하는 항이며, SRM의 상전류가 평탄하게 형성되었다면 각 상 전류의 변동분이 없으므로 이 항은 영이 된다. 따라서 총 쇠교자속 변화분은 상전류와 직접적으로 비례하는 항이 되며, 정상상태에서 상전류와 총 쇠교자속 변화분의 관계는 다음 식과 같이 간단히 표현된다.

$$i = K_e \frac{d\lambda}{dt} \quad (3)$$

단, $K_e = \frac{1}{\omega} \frac{d\theta}{dL}$

따라서 총 쇠교자속 변화분만 구하면 상전류를 구할 수 있다.

SRM을 운전하기 위해서 상권선의 연속적인 여자가 이루어지므로 SRM의 스위칭 운전에는 크게 여자모드, 휠링모드, 감자모드로 구별된다. 단일펄스모드로 운전할 경우 SRM의 운전모드는 여자모드와 감자모드가 한번씩 나타나므로 간단히 해석되나, PWM모드로 동작한 경우 SRM의 운전모드는 전류정착을 위한 여자모드와 전류평탄화를 위한 여자 및 휠링모드가 교번적으로 나타나는 모드가 있고, 전류 소호를 위한 감자모드가 존재한다. 따라서 본 논문에서는 단일펄스모드와 PWM모드를 구별하여 분석한다.

PWM의 한 주기 내에서 상에 인가되는 평균전압은 아래 식과 같이 주어진다.

$$\frac{d\lambda_A}{dt} = dV_{dc} - (1+d)V_S - (1-d)V_a - Ri \quad (4)$$

상권선의 전류분담을 해석하기 위해 상에 병렬로 감겨진 제 1권선 및 제 2권선의 총 쇠교자속 변화분은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_{A1}}{dt} &= dV_{dc} - (1+d)V_{S1} - (1-d)V_{a1} - R_1 i_1 \\ \frac{d\lambda_{A2}}{dt} &= dV_{dc} - (1+d)V_{S2} - (1-d)V_{a2} - R_2 i_2 \end{aligned} \quad (5)$$

만일 전동기의 두 권선 저항값이 동일하고, 스위칭 소자의 전압강하분의 차(ΔV)만 발생한다면 식

(5)로부터 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta V &= (1+d)(V_{S1} - V_{S2}) + (1-d)(V_{D1} - V_{D2}) \\ R &= R_1 = R_2 \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 두 권선의 전류 관계식은 아래와 같다.

$$i_2 = \left(1 - \frac{\Delta V}{V_2 + \Delta V}\right) i_1 \quad (7)$$

위 식은 SRM에서 상의 각 권선의 저항이 동일하다는 가정 하에서 성립되는 식이다. 따라서 상의 각 코일의 저항변화에 따른 전류분담특성을 조사하기 위해서 각상의 전압은 동일하다. 두 코일의 저항 차는 아래 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 \\ R_2 &= R_1 + \Delta R \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)로부터 두 권선의 저항이 상이할 경우 전류 관계식은 아래와 같다.

$$i_2 = i_1 - \frac{\Delta R i_1^2}{V_2 + \Delta R i_1} \quad (9)$$

식(3) 및 (9)로부터 스위칭 소자의 전류분담비는 두 권선의 저항 차로 나타나게 된다. 만일 스위칭 소자의 전압강하 분의 차와 권선저항 차를 모두 무시할 수 없는 경우 전압과 저항의 차를 아래 수식으로 표현 가능하다.

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 + \Delta V \\ R_2 &= R_1 + \Delta R \end{aligned} \quad (10)$$

식(3) 및 식(10)으로부터 두 권선의 전류 관계식은 아래와 같다.

$$i_2 = i_1 - \frac{\Delta V i_1 - \Delta R i_1^2}{V_2 + \Delta V - \Delta R i_1} \quad (11)$$

3. 실험결과 및 고찰

제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 본 실험에서 사용된 SRM은 3상 12/8 SRM으로 그 사양은 표 1과 같다.

표 1 피 실험 전동기의 설계 정수

Table 1 parameters of the experimental SRM

고정자극수	12	회전자극수	8
고정자극호	16.	회전자극호	20.
고정자외경	132.0 mm	회전자외경	72.5 mm
공극	0.2 mm	철심길이	28.0 mm
상당권선수	140 turn	도체직경	0.52 mm
상당저항	2.5 Ω	정격속도	3000rpm

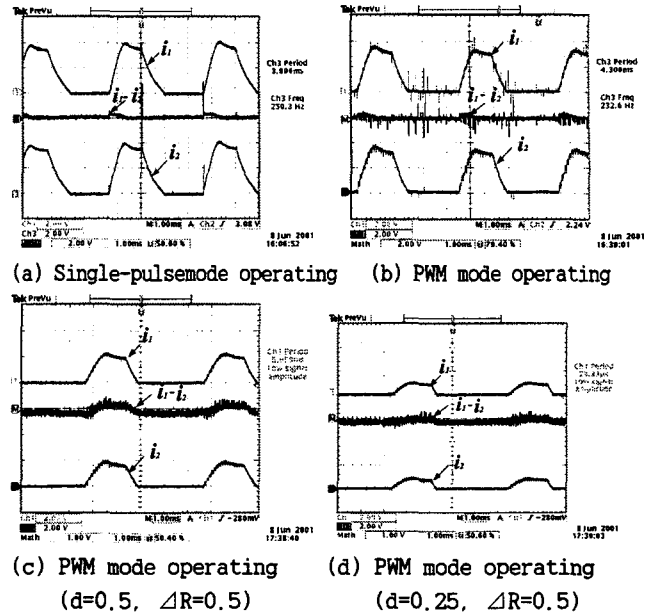


그림 4 병렬권선의 전류분담특성

Fig. 4 The characteristics of current division of parallel winding

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

그림 4(a)는 단일펄스모드에서 제1권선과 제2권선으로 구성된 병렬권선의 부하분담특성을 살펴본 그림이다. 이 경우 각각의 권선에 흐르는 전류는 균일하게 분담되고 있음을 알 수 있다. 그림 4(b)는 PWM모드에서 해당 병렬권선의 전류분담특성을 살펴본 그림이다.

그림 4(c)는 PWM모드에서 듀티비 d=0.5로 하고 제1권선과 제2권선의 저항차를 인위적으로 0.5[Ω]만큼의 차이를 두어 분담특성을 보였다. 그림 4(d)는 PWM모드에서 듀티비 d=0.25로 한 경우의 전류 파형으로 그림 4(c)와는 달리 저항의 차이로 인한 전류의 치우침이 작게 나타남을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 인버터의 전류정격을 키우기 위해 전동기와 연계된 인버터의 구성에 관한 연구로 기존의 병렬 스위칭 방식의 단점인 스위칭 소자의 포화 전압 특성의 영향을 적게 받는 새로운 병렬운전기법인 상권선 병렬운전기법에 대한 것이다. 제안된 상권선 병렬운전기법에서 전류분담에 영향을 주는 주 파라미터인 권선저항과 상권선에 인가되는 전압

변동분에 대한 영향을 수식적으로 해석하였다. 또한 상권선 병렬 운전에 있어 최대허용전류에 대한 해석을 행하였으며 이를 근거로하여 실제 상권선 병렬운전의 전류정격을 결정할 수 있으리라 생각되며, 스위칭 소자의 교체 시 기존의 스위칭 병렬운전에서 전류 분담율을 증가시키기 위한 스위칭 소자와 직결된 저항을 제거할 수 있었다.

이 논문은 BB21 Project 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] B. K. Bose, T. J. E. Miller, P. M. Szezesny 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.