

스위치드 릴럭턴스 전동기의 여자특성 해석

(An Analysis on the Excitation Characteristics of
a Switched Reluctance Motor)

安珍雨* · 安永珠** · 趙哲濟***
(Jin-Woo Ahn · Young-Joo An · Cheol-Je Joe)

요 약

SRM의 성능에 미치는 영향은 전동기 권선을 여자하는 모드에 어느 정도 의존하며, 여자모드에는 전류펄스식(전류원) 또는 전압펄스식(전압원)이 있다. SRM의 운전 특성상에서 볼 때 전류원에 의한 방법이 이상적인 전원이지만, 대용량의 사용을 위한 구성이 후자에 비하여 실현하기가 쉽지 않고 경제적이 못하다.

본 논문에서는 지금까지 보통 사용되고 있는 전압원의 대안으로 가변전압원이 고려되었다. 3가지 여자 모드에 관한 비교가 제시되고, 순시 전압과 전류 파형이 실험결과로 포함된다.

Abstract

The effects on performance of a switched reluctance motor depend in a degree upon the exciting mode to the motor windings that is pulsed current excitation(current source) or pulsed voltage excitation(voltage source).

Although the former is an ideal source in the view of SRM drive characteristics, it's composition for the use of power capacity is not easy to realize and economical comparing to the latter. As an alternative to the latter being generally used up to the present, an adjustable voltage source is considered in this paper.

A comparison among the three excitation modes is presented and the instantaneous voltage and current waveforms of experimental results are included.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(switched reluc-

tance motor, SRM)는 이중 돌극(double salient pole)을 갖는 자기적 구조에 고정자에만 집중권선을 가진 간단한 전기-기계 에너지 변환기구

*正會員 : 경성대 공대 전기공학과

**正會員 : 부경대 공대 제어계측공학과

***正會員 : 부경대 공대 전기공학과

接受日字 : 1996年 10月 25日

로서, 적절한 펄스전원을 인가하여 브러시리스 전류작용(bushless commutation)을 하¹⁾가²⁾변 토크-속도특성의 전동기이다. 최근 전력용 스위칭 반도체의 실용화 개발과 각종 전력전자기술의 발전으로 경제성있는 전력변환장치가 개발되면서 이러한 전동기가 새로이 각광받게 되었다. SRM 드라이브는 구조적으로 견고성, 경제성, 내환경성 및 고속운전 등의 장점을 가지고 있으나 스위칭 여자특성에 따른 가변변수가 많아 안정한 동작특성을 갖기 어려운 점이 있다. 따라서 전동기의 여자전원 방식에 따라 동작특성이 변하므로 이들의 장단점을 비교할 필요가 있다.

본 연구에서는 SRM의 여자를 위한 각종 전원 에 따른 전동기의 동작특성을 해석하고 이를 실험을 통해 확인코저한다.

2. SRM 자기회로에서 여자특성

자기적 구조를 매개로하는 전기-기계 에너지 변환기에서 토크 발생기에는 상호 토크(mutual torque)와 릴럭턴스 토크(reluctance torque)가 있다. 상호 토크는 고정자와 회전자에 각각 여자에너지를 인가할 때 극대화되는 토크로 일정 회전자에 여자특성에서 유도된다. 릴럭턴스 토크는 고정자 또는 회전자 한 쪽에만 여자에너지를 인가할 때 자기적 구조에 의존하여 발생하는 토크로서 자기회로의 릴럭턴스와 여자에너지의 변화로 유도되며, 여자에너지를 인가한 상의 릴럭턴스가 최소화되려는 특성에 기인한다.

SRM의 자체구조는 전동기가 회전에 따라 릴럭턴스의 변화가 큰 돌극형이 필요하지만 기하학적 구성에는 한계가 있으며, 연속적인 토크를 발생하기 위해서는 일정한 회전구간마다 그에 적합한 연속적인 펄스 여자전원의 인가가 필요하다. 그림 1은 3상 6/4극 전동기에서 연속적인 토크를 얻기 위한 상전류 및 발생토크를 보여주고 있다. 그림에서 각 상에 이상적인 스위칭 여자전류를 흐르게 함으로써 이상적인 전동토크가 발생하는 것을 알 수 있다.

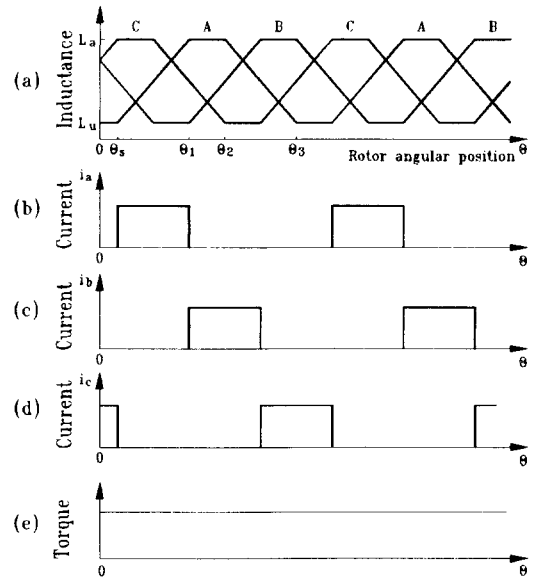


그림 1. 상 여자전류와 토크. (a) 이상적인 인덕턴스 프로파일, (b), (c), (d) 각 상의 스위칭 여자전류, (e) 발생 토크

Fig. 1. Phase excitation current and torque. (a) Idealized inductance profiles, (b), (c), (d) Switching excitation current of each phase, (e) Developed torque

SRM의 전동토크는 자기수반에너지 W_c' 로 구해지며, 한 상에 대한 토크는 회전자 위치 θ 에 대한 자기수반에너지의 편미분값으로 표현된다.¹⁾ 즉

$$\tau = \frac{\partial W_c'}{\partial \theta} = \frac{1}{2} \frac{dL(\theta)}{d\theta} i^2 = \frac{1}{2} K i^2 \quad (1)$$

여기서, $K = dL(\theta)/d\theta$ 는 회전자 위치에 대한 인덕턴스 변화율이며, i 는 상전류이다.

식(1)로부터 음의 토크 발생을 방지하고 효과적인 전동토크를 얻기 위해서는 반드시 회전자 위치에 대한 정보를 얻어 연속적인 스위칭 여자를 하는 것이 필요하다.

3. SRM의 여자 방식

SRM의 발생토크는 상전류의 크기와 인덕턴스의 변화율에 관계되므로 발생토크를 제어하

기 위해서는 전류크기와 여자시간으로 제어해야 한다. 상에 흐르는 전류는 회전속도, 여자시간을 결정하는 θ_{on} 과 θ_{off} 각 및 구동용 인버터의 토폴로지에 의해 다양하게 변화하며, 이들은 SRM의 토폴로-속도 특성 및 효율과 밀접한 관계가 있다.

SRM의 여자전원으로는 전류원과 전압원이 있으며, 이중 전압원은 다시 일정전압원과 가변전압원으로 나누어 이들 전원에 의한 여자방식이 전동기의 토폴로-속도 특성 및 효율 등의 구동 특성에 끼치는 영향을 검토한다.

3.1 전류원 여자 방식

전류원으로 구동하는 SRM의 토폴로-속도 제어는 전류원 특성상 쉽게 수행할 수 있다. 그림 2는 전류원 여자방식의 속도-토폴로 제어방식을 나타내고 있다.

상여자를 위한 전류는 θ_{on} 에서 흐르고, θ_{off} 에서 제거된다. 구동 시스템의 제어 변수는 인가 전류의 크기와 스위치 동작각인 θ_{on} 과 θ_{off} 이다. 상스위치가 닫혀 있는 기간인($\theta_{off}-\theta_{on}$)각도는 그림 2에서 ($\theta_1-\theta_2$)크기까지 조정 가능하지만, 다음 상으로 전류(commutation)시에 2상 이상의 동시 통전을 피하기 위하여 최대 통전 각도는 식 (2)을 초과해서는 안된다.^{2, 3)}

$$(\theta_{off}-\theta_{on})_{max} = \frac{\alpha_r}{q} \tag{2}$$

여기서, α_r 은 회전자 자극 피치이며, q는 상수이다.

그림 2(a)에서 이상적인 전류(commutation) 과정을 가정하면, 상에 인가된 전압은 전류가 흐르는 기간동안 전동기의 속도 기전력과 같으며 그 외의 기간은 영이다. 그러므로 인가전압은 저항강하 및 포화영향을 무시하면 식 (3)과 같다.

$$V = \begin{cases} KI_N \omega, & \theta_{on} \leq \theta \leq \theta_{off} \\ 0, & \theta_{on} > \theta \text{ or } \theta \geq \theta_{off} \end{cases} \tag{3}$$

여기서, ω 는 회전자 각속도, I_N 은 상전류이다. 또한 식 (1)로부터 평균토폴로 T_a 는 식 (4)와 같이 된다.

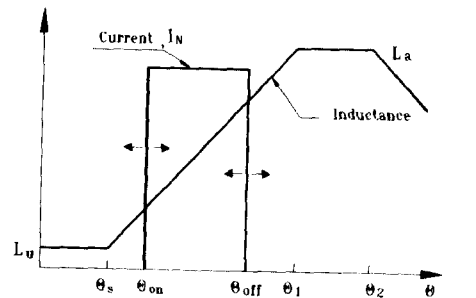
$$T_a = \frac{qK}{2\alpha_r} I_N^2 (\theta_{off}-\theta_{on}) \tag{4}$$

식 (4)는 SRM을 일정 크기 전류원으로 여자할 때 발생하는 토폴로이며, 이를 제어하기 위한 제어 변수는 스위칭 각도이다. 그러나 스위칭 각도의 변화는 토폴로 발생과 직접적인 관계가 있는 전류폭을 변화시켜 토폴로 발생영역이 가변되므로 토폴로 맥동이 발생한다.

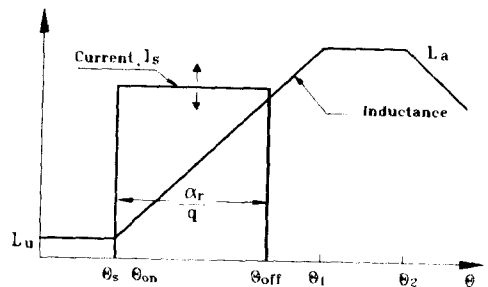
그러므로 실제적인 방법으로는 스위칭 각도를 일정하게 두고 토폴로 제어를 위하여 전류 크기를 가변시키는 그림 2(b)와 같은 여자방식이다.

그림 2(b)의 방법은 θ_{on} 각을 인덕턴스가 상승하기 시작하는 시점인 θ_s 로 설정하고, θ_{off} 각도는 최대 도통 각도인 α_r/q 이 되도록 선정한다. 그러므로 평균 토폴로는 식(5)와 같이 된다.

$$T = \frac{1}{2} KI_N^2 \tag{5}$$



(a)



(b)

그림 2. 전류원 구동 SRM의 여자 방식. (a) 일정 전류, 가변기간 (b) 가변 전류, 일정 구간
Fig. 2. Excitation methods of a SRM driven by a current source. (a) Constant current, variable period. (b) Variable current, constant period.

전류원 구동 시스템의 평균토크는 권선에 흐르는 전류의 제곱에 비례하는 함수관계를 이루며, 전류 크기 I_s 는 0에서 I_N 까지 조정된다. 상전압이 전동기의 정격전압인 V_N 에 이르기까지 평균토크 식(5)는 유효하게 적용된다.

기저속도(base speed) ω_b 에서 상전압이 V_N 이고 상전류가 I_N 이면, 이때의 전압방정식은 식 (3)으로부터 다음 관계식을 얻을 수 있다.

$$V_N = KI_N \omega_b \quad (6)$$

여기서, 기저속도란 상전류 크기가 정격전류 I_N 일 때 전동기에서 발생하는 속도기전력과 인가전압이 같은 전동기 속도를 말한다.⁴⁾

기저속도 ω_b 이상의 운전영역에서는 인가전압의 크기가 정격전압 V_N 을 초과하지 않도록 상전류는 당연히 감소되어야만 한다. 그러므로 전류원으로부터 공급 가능한 전류 크기는

$$I_s = \begin{cases} I_N, & \omega \leq \omega_b \\ \frac{\omega_b}{\omega} I_N, & \omega > \omega_b \end{cases} \quad (7)$$

이다. 식(7)로부터 얻을 수 있는 전류원 구동 시스템의 평균토크는 식(8)과 같다.

$$T_a = \begin{cases} \frac{1}{2} KI_N^2, & \omega \leq \omega_b \\ \frac{1}{2} KI_N^2 \frac{\omega_b^2}{\omega^2}, & \omega > \omega_b \end{cases} \quad (8)$$

전류원 여자방식은 지금까지 검토한 바와 같이 토크 특성이 우수하고 토크-속도 제어방법이 간단하여 바람직한 여자방식이지만, 이상적인 전력용 전류원 구성이 쉽지 않으며 범용 구동장치로 검토되는 SRM의 여자전원으로는 비경제적이다.

3.2 전압원 여자 방식

전압원 여자방식은 회전자에 적절한 위치에 있을 때 스위치를 닫으면 일정 크기의 양의 전압이 권선 양단에 인가되어 여자전류가 흐르고, 스위치를 열면 음의 전압이 인가되어 여자전류가 감소한다. 그리고 토크를 조절하기 위해서는 권선에 인가되는 단자전압 크기를 조정한다. 단자

전압을 조정하는 방법은 상전류 크기에 따라 스위치를 온,오프시키는 초평동작(히스테리시스 전류제어 또는 PWM 전압제어)으로 권선에 인가되는 평균전압을 가변시키는 방법이다.

전압원에 의해 여자되는 SRM시스템의 전력회로 구성은 전류원에 비하여 쉽지만, 상전류는 자기재료의 포화특성과 전동기의 속도기전력에 따라 다양하게 변하므로 적절한 상전류 조정이 힘들다. 이를 자기재료의 자화특성 모델에서 살펴보면 다음과 같다.

토크 크기와 회전속도에 따라 다음과 같이 영역을 나누어 고려해 본다. 일정 전압 V_N 으로 SRM을 운전할 때, 전동기의 토크-속도 특성 곡선은 그림 3과 같으며, 그림에서와 같이 4가지 운전영역으로 구분하여 고려한다.

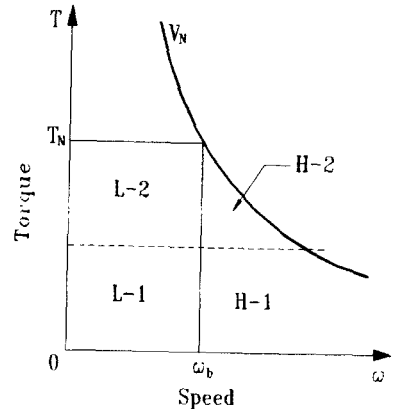


그림 3. 일정 전압 V_N 으로 운전할 경우 토크-속도 특성 곡선. L-1: 저속, 저토크 운전. L-2: 저속, 고토크 운전. H-1: 고속, 저토크 운전. H-2: 고속, 고토크 운전.

Fig. 3. Torque-speed characteristics curve when SRM is running with constant line voltage V_N . L-1: Lower speed and lower torque. L-2: Lower speed and higher torque. H-1: Higher speed and lower torque. H-2: Higher speed and higher torque.

1) 운전 영역 L-1

운전 영역 L-1은 속도가 ω_b 보다 낮고 부하토크가 작은 경우이며, 이 때의 자화특성, 상전압, 상전류 및 자속변화를 그림 4(a)에 나타내었다.²⁾

그림 4(a)에서 1상한은 전류에 대한 자속쇄교수, 2상한과 3상한은 단자전압 및 여자된 상의

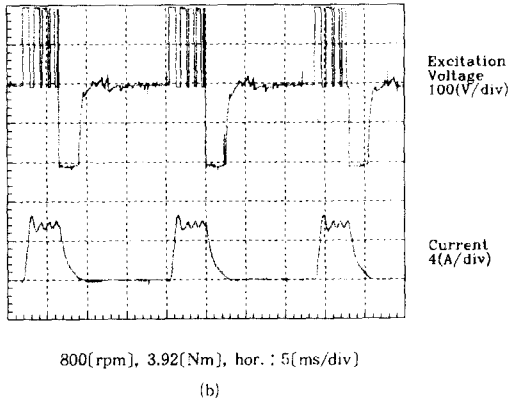
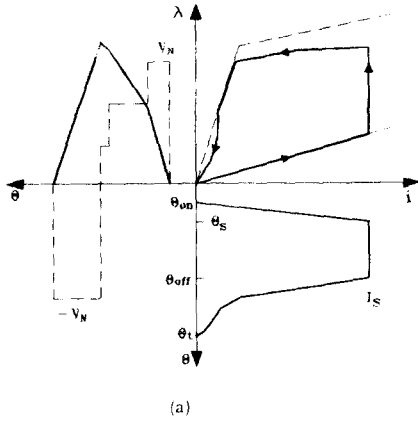


그림 4. 운전영역 L-1에서 $\lambda-i$ 궤적도, 상전압, 상전류 및 자속. (a) 자화특성 (b) 상전압 및 상전류 그래프

Fig. 4. $\lambda-i$ trajectory, phase voltage and current and flux in operating region L-1. (a) Magnetic characteristics. (b) Graph of phase voltage and current

자속변화를, 4상한은 여자전류에 대한 파형을 각각 나타내고 있다. 상여자는 θ_{on} 에서 시작하여 θ_{off} 에서 끝난다. 그러나 전압원 여자방식에서 여자전류는 갑자기 제거될 수 없으므로 서서히 감소하여 θ 에서 0이 된다. 운전 영역 L-1에서는 전동기에서 발생하는 속도기전력의 크기가 인가 전압보다 훨씬 작다.

그러므로 SRM을 일정 부하토크 및 일정 회전속도로 운전하고 있을 때, 전압 평형조건을 만족하기 위해서는 전류가 증가되어야 한다. 그러나 전류가 증가되면 발생토크가 증가하여 일정

속도로 운전할 수 없으므로 전류를 일정하게 유지하기 위해서는 그림 4(a)와 같이 권선의 평균 단자전압을 조정해야 한다. 평균 단자전압 조정은 상전류의 크기가 일정한 범위내를 유지하도록 스위치를 빠른 속도로 동작(초핑 동작)시켜 행한다. 이 영역에서는 상전류를 0에서부터 정격전류 I_N 까지 조절할 수 있다.

그림 4(b)는 SRM이 이 영역에서 운전될 때 상전압 및 상전류 파형을 측정된 것이며, 이때의 스위칭각은 θ_{on} 이 10.8(deg), θ_{off} 가 33(deg)이다. 그림 4(b)로부터 여자구간에서는 전원전압이 초핑되어 감소된 전압이 권선에 인가되며 상전류도 거의 일정한 값으로 유지되는 것을 알 수 있다.

2) 운전 영역 L-2

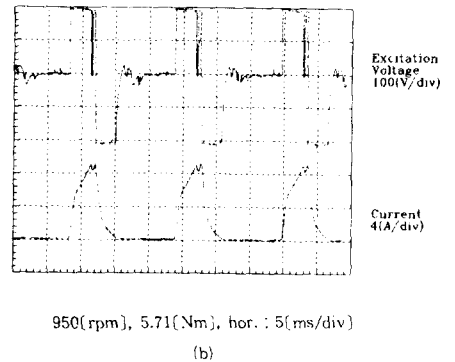
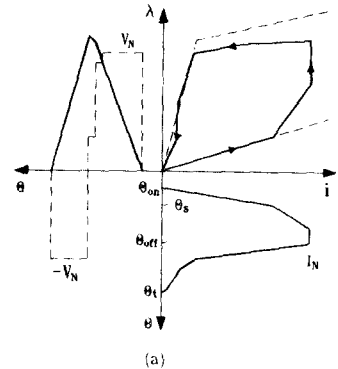


그림 5. 운전영역 L-2에서 $\lambda-i$ 궤적도, 상전압, 상전류 및 자속. (a) 자화특성 (b) 상전압 및 상전류 그래프

Fig. 5. $\lambda-i$ trajectory, phase voltage and current and flux in operating region L-2. (a) Magnetic characteristics (b) Graph of phase voltage and current

이 영역은 속도가 ω_b 보다 낮은 저속영역에서 부하토크가 큰 경우이며, 자화특성, 상전압, 상전류 및 자속의 궤적을 그림 5(a)에 나타내었다.

전동기에서 발생하는 속도기전력의 크기가 여전히 인가전압보다 작으며, 상전류가 I_s 에 도달될 때를 제외하고는 조정되지 않는 영역이다. 그러므로 토크를 조정하기 위해서는 스위칭 각을 조정하여 인덕턴스가 증가하기 시작하는 위치 θ_s 의 전류 크기를 조절한다. 그림 5(b)는 이 운전영역에서 측정된 전압 및 전류 파형이다. 이때의 스위칭각은 θ_{on} 이 12[deg], θ_{off} 가 34.2[deg]이다.

3) 운전 영역 H-1

운전 영역 H-1은 회전속도가 ω_b 보다 높고,

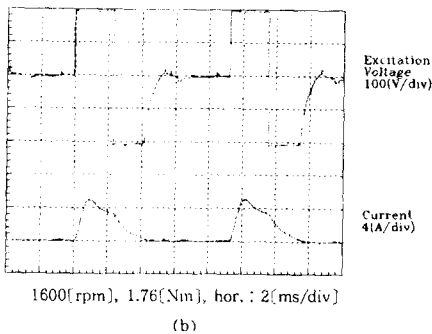
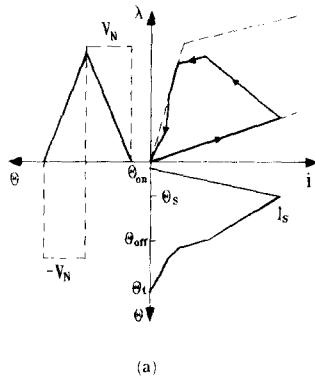


그림 6. 운전영역 H-1에서 $\lambda-i$ 궤적도, 상전압, 상전류 및 자속. (a) 자화특성 (b) 상전압 및 상전류 그래프

Fig. 6. $\lambda-i$ trajectory, phase voltage and current and flux in operating region H-1. (a) Magnetic characteristics. (b) Graph of phase voltage and current

속도기전력도 인가전압보다 높은 경우이며, 이에 따른 자화특성, 상전압, 상전류 및 자속 궤적을 그림 6에 나타내었다. 이 영역에서는 그림 6과 같이 여자기간동안 전원전압 전부가 상에 인가된다. 운전 영역 L-2와 마찬가지로, 초핑 동작으로는 더 이상 상전류를 조절할 수 없으며 단지 스위칭 온각 조정으로 인덕턴스가 상승하기 시작하는 점의 전류 크기를 조절할 수 있다.

인덕턴스가 상승하는 기간동안에는 속도기전력이 인가전압보다 높기때문에 상전류는 감소하며, 따라서 자속쇄교수도 감소하는 궤적으로 움직인다. 그림 6(b)는 이때의 상전압 및 상전류를 측정된 것이며, 스위칭각은 θ_{on} 이 9[deg], θ_{off} 가 31.2[deg]이다.

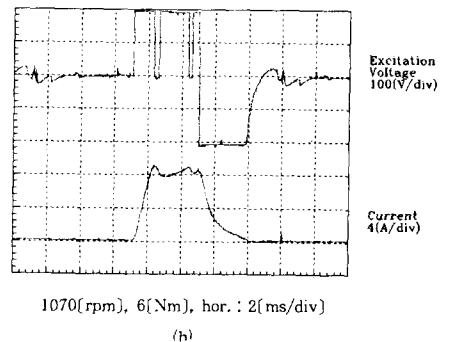
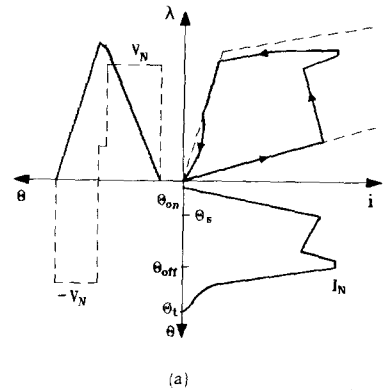


그림 7. 운전영역 H-2에서 $\lambda-i$ 궤적도, 상전압, 상전류 및 자속. (a) 자화특성 (b) 상전압 및 상전류 그래프

Fig. 7. $\lambda-i$ trajectory, phase voltage and current and flux in operating region H-2. (a) Magnetic characteristics. (b) Graph of phase voltage and current

4) 운전 영역 H-2

이 운전영역은 속도가 ω_b 보다 높고, 부하토크가 큰 경우이며, 자기회로의 자속레벨이 높으므로 고정자와 회전자 자극의 중첩도가 높아짐에 따라 자기회로의 포화가 심화되는 영역이다.

그림 7(a)와 같이 인덕턴스가 증가하는 초기에는 속도기전력이 인가전압보다 크므로 상전류가 감소하지만, 자속레벨이 증가함에 따라 자기포화가 심화되어 속도기전력이 감소하므로 상전류는 다시 증가한다. 이 영역에서 전류는 구동인버터 및 전동기를 보호하기 위한 값인 정격전류 I_N 의 크기로만 조절된다. 그림 7(b)는 이영역에서의 상전압 및 상전류를 측정한 것이며, 스위칭각은 θ_{on} 이 8.4[deg], θ_{off} 가 32.4[deg]이다. 그림 7(b)로부터 자기포화에 의해 θ_{off} 위치 부근에서 전류가 증가하는 현상을 보이며, 증가되는 전류는 크기 I_N 에서 제한되는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 전압원 여자방식에 대하여 동작 상태를 4가지 운전영역으로 나누고, 각각의 운전영역에 대한 자화특성, 여자전압 및 전류 궤적을 알아 보았다. 이들은 운전 영역에 따라 다양하게 변화되며, 자기회로의 포화로 인하여 상전류 제어가 쉽지 않다. 그러므로 운전 영역에 따라 최적 운전점을 찾는 것은 복잡하며 쉽지 않을 것이다.

일정 전압원 여자방식에서 상전류를 조정하기 위한 스위칭 동작은 전류에 맥동을 일으키며, 이것은 출력토크에 맥동토크를 포함시키므로 전동기 소음이 증가한다. 원활한 전류제어 및 맥동토크를 줄이기 위해서는 고속 스위칭 능력을 가진 전력용 스위치가 요구되며, 스위칭 동작에 따른 손실이 증가한다. 또한 전류제어 기간에는 구동인버터의 스위치 동작상태에 따라 전원측과 전동기 사이의 에너지 흐름에 단속을 가져오거나 불필요하게 전원측으로 에너지가 회수된다. 이러한 에너지 흐름은 회로에 포함되어 있는 저항때문에 손실을 발생한다.

전압원 구동 SRM에서 토크를 제어하기 위한 변수는 스위칭각 θ_{on} , θ_{off} 및 상전류 크기이다. θ_{on} 각은 음의 토크가 발생되지 않는 인덕턴스 최소값인 기간과 인덕턴스 상승기간까지 조정될

수 있다. θ_{off} 각은 θ_{on} 보다 커야 하며, 인덕턴스가 최대값 위치인 θ_1 까지 조정될 수 있다. 그러나 θ_{off} 각은 인덕턴스 변화율이 음으로 되기 이전에 상전류가 0이 되도록 조정되어야 한다. 그렇지 않으면 인덕턴스 변화율이 음이 되는 기간에 전류가 흐르므로, 음의 토크(제동 토크)가 발생되어 평균토크를 감소시킨다.

상전류 크기는 0에서부터 정격전류인 I_N 까지 조정 가능하며, 회전속도 ω 일 때 상전류를 나타내는 식은 회로저항 및 자기포화를 무시한다면 식 (9)와 같다.

$$i = \begin{cases} \frac{V_N(\theta - \theta_{on})}{L(\theta)\omega} & , \theta_{on} \leq \theta \leq \theta_1 \\ I_N = i(\theta) & , \theta_1 \leq \theta \leq \theta_{off} \\ i(\theta_{off}) \frac{L(\theta_{off})}{L(\theta)} - \frac{V_N}{L(\theta)} \frac{\theta - \theta_{off}}{\omega} & , \theta_{off} \leq \theta \leq \theta_1 \end{cases} \quad (9)$$

여기서, $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_{off}$ 구간은 전류가 설정값을 초과하지 않도록 스위치가 초핑 동작을 하는 구간이다. 따라서 권선에 인가되는 평균 단자전압은 전압원 출력 전압보다 작으며, 이 기간 동안 권선에 인가되는 평균전압은 다음과 같다.

$$V_c = KI_s \omega \quad (10)$$

여기서, V_c 는 스위치의 초핑동작에 의해 0에서 정격전압 V_N 까지 가변될 수 있다.

평균토크 T_a 는 각 전류에 대한 토크 합으로 되며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$T_a = T_1 + T_2 + T_3 \quad (11)$$

$$T_1 = \frac{qK}{2\alpha} \int_{\theta_1}^{\theta_{off}} i(\theta)^2 d\theta \quad (12)$$

$$T_2 = \frac{qK}{2\alpha} \int_{\theta_{off}}^{\theta_1} i(\theta)^2 d\theta \quad (13)$$

$$T_3 = -\frac{qK}{2\alpha} \int_{\theta_{off}}^{\theta_1} i(\theta)^2 d\theta \quad (14)$$

식 (12)는 전류원 구동과 같이 권선에 흐르는 상전류 크기를 제어하는 방법으로 조정 가능한 값이다. 스위치를 오픈한 후에도 전류가 즉시 소멸되지 않으므로 감소기간에도 토크가 발생한다. 식 (13)은 전류 감소기간에 발생하는 토크로서 회전방향에 대하여 양의 값이며, 식 (14)

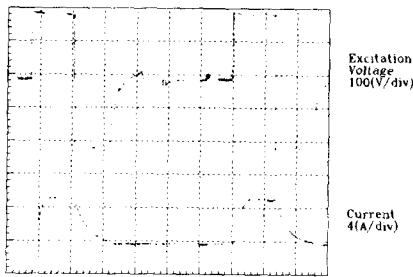
는 회전방향에 대하여 음의 값이다. 전류감소시간에 발생하는 토오크 T_2 와 T_3 은 구동인버터의 토폴로지와 θ_{off} 각의 선정에 의존하며, 구동인버터의 토폴로지가 결정되면 단지 θ_{off} 각에 따라 변화된다.

3.3 가변 전압원 여자방식

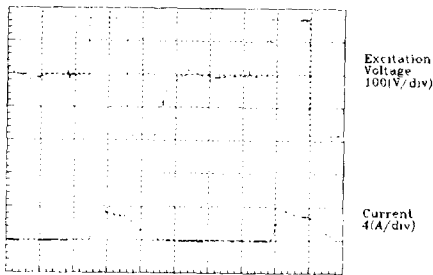
가변전압원 여자방식은 토오크 발생구간에 전류원 여자방식과 유사한 상전류가 흐르도록 미리 가변전압원의 출력전압을 조정하여 권선을 여자함으로써 전류원과 유사한 토오크 특성을 갖도록 하는 여자방식이다. 그러므로 가변전압원 여자방식은 전류원 여자방식의 장점을 가지는 것과 동시에 전압원 여자방식의 결점을 개선하는 것이 가능하다. 즉 가변전압원에 의한 여자방식은 전

류원 여자방식과 같이 스위칭각을 일정하게 두고 평균 여자전압을 조정함으로써 토오크 및 속도제어를 할 수 있으므로 전류원 여자방식의 장점을 갖는다. 그리고 저속,저토크 영역에서 전류제어를 위한 상스위치의 초평동작을 하지 않으며, 또한 스위칭각 조정도 하지 않으므로 전압원 여자방식의 복잡한 제어방법을 개선하는 것이다. 그러므로 구동인버터의 동작이 단순해지고, 초평동작에 따른 손실의 감소도 기대된다.

가변전압원 여자방식에 의한 여자전압 및 전류 파형을 측정하고, 그림 8과 9에 나타내었다. 각각은 일정 스위칭각으로 구동인버터를 동작시켰으며, 그림 8은 고속운전시 부하토크 변화에 대하여 측정하였고, 그림 9는 저속운전시 부하



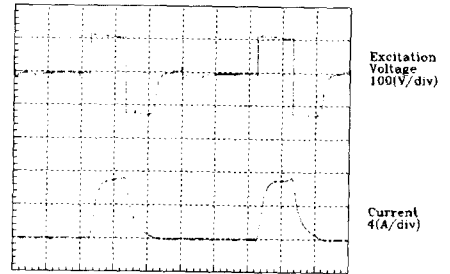
hor. : 2[ms/div]
(a)



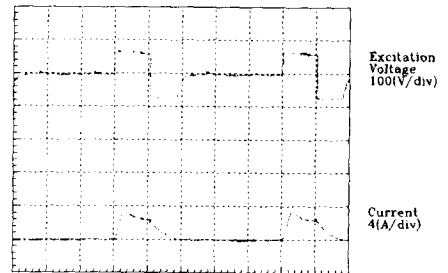
hor. : 2[ms/div]
(b)

그림 8. 가변전압 여자방식에서 고속운전시 전압 및 전류 파형. $\theta_{on}=10.8[\text{deg}]$, $\theta_{off}=30[\text{deg}]$. (a) $\omega=1200$ [rpm], $T_1=2.94[\text{Nm}]$, (b) $\omega=1400$ [rpm], $T_1=0.98[\text{Nm}]$

Fig. 8. Phase voltage and current waveforms at higher speed by adjustable voltage excitation. $\theta_{on}=10.8$ [deg], $\theta_{off}=30$ [deg]. (a) $\omega=1200$ [rpm], $T_1=2.94$ [Nm], (b) $\omega=1400$ [rpm], $T_1=0.98$ [Nm]



hor. : 5[ms/div]
(a)



hor. : 5[ms/div]
(b)

그림 9. 가변전압 여자방식에서 저속운전시 전압 및 전류 파형. $\theta_{on}=10.8[\text{deg}]$, $\theta_{off}=30[\text{deg}]$. (a) $\omega=600$ [rpm], $T_1=4.9[\text{Nm}]$, (b) $\omega=600$ [rpm], $T_1=0.98$ [Nm]

Fig. 9. Phase voltage and current waveforms at lower speed by adjustable voltage excitation. $\theta_{on}=10.8$ [deg], $\theta_{off}=30$ [deg]. (a) $\omega=600$ [rpm], $T_1=4.9$ [Nm], (b) $\omega=600$ [rpm], $T_1=0.98$ [Nm]

오크 변화에 대하여 측정된 것이다. 부하토크가 작은 경우, 전류상승이 빠르므로 인덕턴스가 증가하기 시작하는 위치에서 전류가 약간 증가하는 것을 보이고 있으며, 부하토크가 증가할수록 거의 평탄한 전류 흐름을 보이고 있다. 그럼으로부터 알 수 있듯이, 구동인버터는 전류제어 동작(초핑동작)을 하지 않으며, 부하토크 및 속도에 따라 전압원의 출력전압을 가변함으로써 SRM이 안정하게 운전될 수 있다. 그러므로 가변전압원에 의한 여자방식은 토크-속도 제어가 출력전압으로 간단하게 행할 수 있는 적절한 여자방식이다.

4. 결 론

본 논문은 SRM 구동전원으로서 전류원, 전압원 및 가변 전압원을 각각 사용할 경우 SRM의 운전특성을 자화특성 및 피시험 전동기에서 측정된 전압, 전류 파형으로부터 검토하였다.

구동원리상 전류원에 의한 여자방식은 토크 특성이 양호하고 제어변수도 단순하여 바람직한 구동원이 되지만 전류원 구성의 복잡성과 범용성이 결여되는 문제점을 가지고 있다.

일정전압 전압원에 의한 여자방식은 전력회로의 구성이 간단하여 널리 채택되는 방법이지만 운전영역에 따라 적절한 스위칭 각도의 설정이 어렵고 자기포화등의 영향으로 전류제어 역시 쉽지 않다.

가변전압원을 사용한 여자방식은 정격속도이하의 영역에서 일정한 스위칭각을 설정하고도 토크 발생구간동안 거의 일정한 크기의 여자전류를 흘릴수 있다. 이로부터 전류원 여자방식과 유사한 토크를 발생시키는 것이 가능하게된다. 또한 토크 및 속도제어를 위한 제어변수도 전압의 크기만을 조절하여 가능하게 하므로 제어회로 구성이 쉽다. 한편 속도기전력이 전동기의 정격전압을 초과하는 영역에서는 가변전압원의 출력전압이 전동기의 정격전압으로 일정하게 유지되며, 단지 스위칭 각도의 조정에 의하여 토크를 가변하므로 일정전압 전압원 여자방식과 같은 토크 제어능력을 갖는다.

참 고 문 헌

- 1) P.J.Lawrenson et al., "Variable speed re-luctance motors," IEE Proc., vol.127, pt. B, no. 4, pp. 253-265, July 1980.
- 2) G.S.Buja and M.I.Valla, "Control Characteristics of the SRM Drives-Part I:Operation in the Linear Region," IEEE Trans. Indu. Elec., vol.38, no.5, pp.313-321, October 1991.
- 3) G.S.Buja and M.I.Valla, "Control Characteristics of the SRM Drives-Part II:Operation in the Saturated Region," IEEE Trans. Indu. Elec., vol.41, no.3, pp.316-325, June 1991.
- 4) T.J.E.Miller, "Nonlinear theory of the switched reluctance motor for rapid computer-aided design," IEE Proc., vol.137, pt.B, no.6, pp.337-347, Nov. 1990.

◇ 著 者 紹 介 ◇



안 영 주(安永珠)

1957년 1월 22일생. 1986년 부산공업대학교 전기공학과 졸업. 1995년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사)



안 진 우(安珍雨)

1958년 5월 26일생. 1984년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경성대학교 공대 전기공학과 조

교수.



조 철 제(趙哲濟)

1936년 4월 2일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 고려대 전기공학과 대학원 졸업(박사). 1974년 부산대 공대 전기공학과 교수. 1981년 창원기능대학 전기과 교수. 현재 부경대학교 전기공학과 부교수.