

SRM 드라이브의 운전성능 향상을 위한 스위칭각 특성에 관한 연구

吳錫奎*, 崔泰完, 安珍雨

Study on Switching Angle Characteristics for Driving Performance Improvement of SRM Drive

Seok-Gyu Oh, Tae-Wan Choi, and Jin-Woo Ahn

요 약

SRM의 토크는 상전류와 인덕턴스의 기울기에 따라 달라진다. 그러나 자기회로의 포화로 인하여 원하는 토크를 제어하기가 어렵다. 원하는 토크를 발생시키기 위해 SRM 드라이브는 스위치-온 각, 스위치-오프 각, 그리고 인가 전압에 의해 제어된다. 스위치-온, 오프 각에 의해 원하는 전류와 토크를 제어할 수 있다. 본 논문은 스위치 온, 오프각을 제어하는 최적제어방식을 제안하였다. 스위치-오프 각은 시뮬레이션과 실험을 통하여 효율을 기준으로 결정하였으며, 스위치-온각은 부하에 의해 결정되었다. 도통각은 토크제어와 속도제어를 위해 GA-신경회로망을 이용하여 제어하였다.

ABSTRACT

The torque of an SRM depends on the phase current and derivative of inductance. But an SRM is difficult to control the desired torque because of saturation in magnetic circuit. An SRM is controlled by parameters of input voltage, and switch on, off angle. The switch on, off angles of an SRM regulate the magnitude and shape of current waveform and decide the magnitude and shape of torque. This paper proposes an the optimization control scheme by adjusting both the switch on and switch off angle. The switch off angles are decided by reference of efficiency using simulation and experiments. The switch on angles are decided by load torque. And the dwell angles are controlled for torque control and speed control using GA-neural network, which is used to simulate the reasonable switching angle.

Key-word : saturation, switch on, off angles, efficiency, GA-neural network

1. 서 론

*진주산업대 산업자동화공학과 조교수

E-mail : sgoh@chinju.ac.kr

접수일자 : 2001. 8. 2

1차심사요청일 : 2001. 8. 3 2차심사요청일 : 2001. 8.30

심사완료일 : 2001.11. 2

반도체 기술이 1960년대에 창출되고 개발됨에 따라 인류의 활용기술의 형태가 아날로그 방식에서 디지털화, 전력변환 기술의 반도체화 및 통신기술의 IC화는 우리의 생활방식과 산업구조를 획기적으로 첨단화하게 되었다. 아울러 사회 전반의 전력활용은 다기능화, 고 효율화되어 크게 신장하고 있다.

한편, 에너지의 활용의 바탕이 되고 있는 전동력 응용은 스위칭 인버터 기술의 발전으로 인한 브러시리스

화, 다기능화, 가변속 능력을 가진 전동기구로 그 활용 형태가 획기적으로 바뀌게 되었는데 이러한 추세에 다양한 전동기들이 연구개발 되고 있으며 이러한 가변속전동기구 중에 넓은 속도운전능력, 높은 효율, 간단한 구조 등의 장점으로 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)도 활발히 연구 개발되고 있다^{11,12}.

최근까지의 SRM에 대한 개발연구의 방향과 주된 관심사는 기계적 출력의 극대화 및 고효율화, 운전 정도 및 신뢰도, 그리고 드라이브시스템의 향상을 위한 적정설계와 제어에 집중되어 있었다^{13,14}. 그러나 최근 정밀제어 및 가정용 전자제품으로의 활용범위를 넓히는데 있어 가장 장애가 되고 있는 것이 운전특성의 안정화를 위한 토크 리플과 소음 및 진동으로 이에 대한 연구, 시스템의 제어성능을 제고하기 위한 다양한 제어기법에 대한 연구가 활발히 추진되고 있다¹⁵⁻¹⁷.

운전특성의 안정화에 대한 연구는 전류원 인버터를 사용하여 상전류를 제어함으로써 토크리플을 억제하는 연구와 가변 전압원 인버터를 이용한 고정도 운전에 대한 연구가 주목받고 있다. 그러나 이들은 비용으로 구현하기가 어렵다.

전압원 스위칭 인버터에서 적정 전류파형은 인가전압의 제어와 최소인덕턴스 구간에서의 스위치 온각 제어, 그리고 인덕턴스 상승구간의 스위치 오프각 제어로 형성된다. 이 중 스위치 온각과 스위치 오프각의 제어에 의해 전류의 파형과 크기가 다양하게 변화한다. SRM은 비선형성이 강한 전동기이고 또한 스위치 온각과 오프각이 서로 연관성이 있기 때문에 최적의 운전조건을 도출하기가 어렵다.

본 논문에서는 SRM의 운전성능 향상을 위해 임의의 속도와 토크에 대응하는 최적의 스위치 온각과 오프각을 선정하는데 목적을 두고 있다. 이를 위해 임의의 속도에 따른 최대효율을 기준으로 한 최적의 스위치 오프각을 먼저 선정한 다음 부하토크는 스위치 온각이 부담하도록 스위칭각을 선정하였다. 그리고 전 운전영역에서 고효율 운전이 가능하도록 부하와 속도에 따른 스위치 온, 오프 각을 GA 신경회로망을 이용하여 최적의 운전점을 구하고 하였다.

2. SRM의 동특성 해석

SRM의 스위치 온, 오프 각은 전류파형의 크기와 형태를 결정하며 동시에 토크의 크기와 형태를 변화시켜 토크리플과 속도변동을 유발시키는 등 운전특성과

깊은 상관관계를 갖는다. 그리하여 회전자 속도와 부하조건에서의 최적의 운전특성을 가지기 위해서는 정밀하게 조정되어야 한다.

그림 1은 임의의 속도에서 스위칭각에 따른 전류파형을 보여주고 있다. 그림 1에서 스위칭각에 따라 다양한 전류파형이 형성되고 또한 전류의 크기에 따라 자기회로의 포화로 인하여 인덕턴스 프로파일을 변화하는 것을 볼 수 있다.

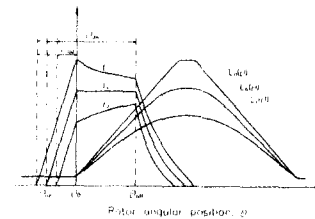


그림 1 전류파형과 인덕턴스 프로파일

Fig. 1 Current waveforms and inductance profiles

각 전류는 식 (1)의 전압방정식에 의해 결정되어지고,

$$V = R \cdot i(\theta) + L(\theta) \frac{di(\theta)}{dt} + i(\theta) \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \quad (1)$$

여기서 V 는 인가전압, R 은 상권선 저항, $i(\theta)$ 상전류, $L(\theta)$ 는 인덕턴스, 그리고 ω 는 각속도이다.

전류는 식 (2)에서와 토크 식에 의해 토크 (T)를 발생시키게 된다.

$$T = \frac{1}{2} i(\theta)^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad (2)$$

식 (2)에서 토크를 결정하기 위한 제어대상은 전류이며 따라서 운전조건을 만족시키기 위해 전류파형을 결정하는 스위칭각과 인가전압을 가변하여야 한다.

보편적인 전압형 인버터에서 인가전압의 제어는 저속 운전조건에서만 상전류 초핑으로 매순간마다 제어가 가능하지만 중, 고속 운전조건에서는 평균전압만을 가변할 수 있다. 그리고 스위치 온각은 토크발생구간인 인덕턴스 상승구간에서의 전류크기를 결정하기 위해 최소 인덕턴스 구간에서 제어된다. 스위치 오프각제어는 인덕턴스 상승구간에서 직접 원하는 토크를 제어하기 위해 조정되는 것과 부토크 발생을 억제하며 최대 토크를 발생시키기 위해 조정하는 것이 있다. 이 중 직접 토크를 제어하는 방법은 토크발생구간을 최대로

활용하지 못하며 또한 자기회로의 포화로 인해 적절한 제어가 어렵다. 따라서 스위치 오프각은 토크를 직접 제어하기보다는 부토크를 억제하고 최대토크를 발생시키기 위해 제어되는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 SRM드라이브의 운전성능을 향상시키기 위한 최적의 스위칭각의 선정하기 위해 먼저 스위치 온, 오프각의 특성에 대해 알아보았다.

2.1 기자력전류의 확립 구간 ($\theta_{on} \sim \theta_0$)

여자된 고정자극으로 인하여 회전자극이 회전하되서로 접합하지 않는 상태의 회전구간으로 공극만을 가진 상태여서 자기력토크가 대단히 크고 일정하다. 그리하여 최소인덕턴스 L_{min} 를 가지게 되어 쉽게 전류가 확립되는 회전구간이다. 이 회전구간에서 고정자 권선에 전압원 전원을 스위칭 인가하면 회전 위치각 θ_0 까지 여자전류가 전자계 회로의 시정수에 따라 전류가 상승한다. 그러나 토크는 발생하지 않는다. 이러한 회전위치각을 선행스위칭각 (advance angle) $\overline{\theta_{ad}}$ 라고 한다.

지금 이 회전구간에서의 전압방정식은 식 (1)에서 비선형을 무시할 때 인덕턴스가 최소값으로 일정하므로 다음과 같다.

$$V = R \cdot i(\theta) + L_{min} \frac{di(\theta)}{d\theta} \cdot \omega \tag{3}$$

여기서 L_{min} 은 일정한 최소인덕턴스이다. 자기회로의 인덕턴스가 가변하기 시작하는 회전자위치에서의 초기전류 확립 치 $i(\overline{\theta_{ad}})$ 는 식 (4)에서 다음과 같이 간단히 표시된다. 여기서 상권선저항은 작을 값이어서 무시한다.

$$i(\overline{\theta_{ad}}) = \frac{V}{L_{min} \cdot \omega} \cdot \overline{\theta_{ad}} \tag{4}$$

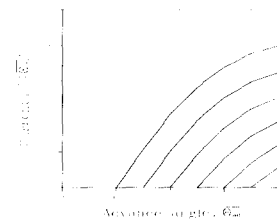
초기전류 확립 전류는 선행스위칭각 $\overline{\theta_{ad}}$ 의 함수이다. 그리고 L_{min} , 인가전압 및 운전속도의 함수이다.

그림 2는 선행스위칭각, 인가전압, 그리고 회전자속도에 따른 초기 확립전류 $i(\overline{\theta_{ad}})$ 의 관계를 보여주고 있다. 이 그림에서 0° 는 인덕턴스가 상승하기 시작하는 회전자 위치각이다.

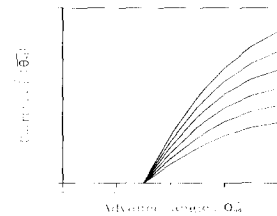
그림 2(a)는 선행스위칭각이 증가함에 따라 전류가 확

립되는 기울기는 변화가 없고 초기확립전류가 커짐을 알 수 있다. 그림 2(b)는 선행 스위칭각을 일정하게 하였을 때 인가전압에 따른 초기확립전류를 보여주는 것으로 인가전압에 비례하고 있다. 그리고 그림 2(c)는 선행 스위칭각에 일정할 때 회전자 속도에 따른 초기 확립전류를 보여주는 것으로 회전자 속도에 반비례하고 있다.

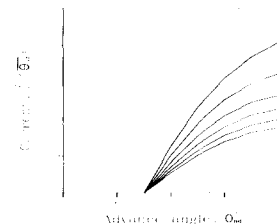
초기확립전류 $i(\overline{\theta_{ad}})$ 는 그림 2에서 보는 바와 같이 전동기의 회전속도, 인가전압, 선행 스위칭각 그리고 권선저항 및 최소 인덕턴스에 따라 달라진다. 여기서 전동기의 운전상의 제어변수는 선행 스위칭각에 의해 결정되어질 수 있다.



(a) advance angles : varied
motor speed : constant, applied voltage : constant



(b) applied voltage : varied
advance angle : constant, motor speed : constant



(c) motor speeds : varied

그림 2 선행스위칭각 (a), 인가전압 (b), 회전자 속도에 따른 초기확립 전류 $i(\overline{\theta_{ad}})$ 특성

Fig. 2 Initial built-up current $i(\overline{\theta_{ad}})$ curves according to (a) advance angle (b) exciting voltage and (c) rotor speed

2.2 선행스위칭각에 대한 기저력 전류 특성

SRM 드라이브의 운전에 있어서 전류도통각 동적 제어방식을 채택하면 부하변화에 의하여 전류도통각이 변화한다. 이때 선행 스위칭각이 증가하여 초기확립전류가 증가하고 전류파형의 형태가 변화하여 토크의 증가이 이루어진다. 그리하여 부하토크와 평형상태가 이루어 질 때까지 선행 스위칭각의 조정제어가 이루어진다. 인가전압이 일정한 때의 선행 스위칭각에 따른 전류파형의 형상은 그림 3과 같다. SRM 드라이브의 특성 해석은 가변 인덕턴스와 그 변화율이 자기회로의 회전위치에 따른 포화현상으로 인하여 비선형적으로 달라지는 특성을 가지고 있으므로 이를 고려하여야 한다.

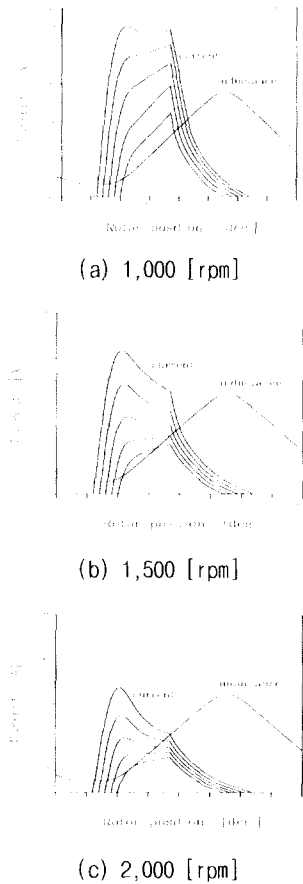


그림 3 선행 스위칭각에 따른 상전류
Fig. 3 Phase currents according to advance angles

일정 전압조건에서는 선행 스위칭각에 의해 전류의 크기가 결정됨을 그림 3에 나타낸다. 그리고 토크 발생구간에서의 전류는 인가전압과 속도 역기전력에 의

해 결정되는 한 값의 전류로 수렴하고 있다. 즉, 선행 스위칭각이 커서 인덕턴스가 증가하기 시작하는 회전자 위치에서의 초기전류가 크면 토크발생구간에서 점차 줄어들어 인가전압과 속도역기전력에 의해 결정되어지는 전류의 크기로 근접하게 된다.

회전자 속도가 각각 다른 경우 선행 스위칭각의 변화를 보면 회전자 속도가 빠를수록 전류의 확립이 작다. 회전자 속도와 초기전류는 반비례하여 속도가 빨라지면 초기 전류값이 작아진다. 또한 회전자 속도가 빠를수록 속도역기전력이 커져서 토크발생구간에서의 전류도 작고 발생토크도 작아지게 된다. 그리하여 회전자 속도의 가감에 따라 선행 스위칭각을 가감하면 일정한 초기전류를 얻을 수 있게 될 것이다.

3. 운전성능 향상을 위한 스위칭각의 선정

SRM은 펄스와 전원으로 구동되며, 비선형성이 강한 전동기구이기 때문에 임의의 속도와 부하에 대응하는 최적의 제어변수(인가전압, 스위치 온, 오프각)를 선정하기가 어렵다. 앞서 살펴본 바와 같이 운전특성을 결정시켜주는 전류를 제어하는데 스위칭각 제어가 효과적인 것을 알 수 있었다.

SRM은 임의의 전압과 속도에 대해서 부하에 따라서 고효율로 구동되는 도통각이 존재하게 된다. 일반적으로 SRM을 고효율로 구동하기 위해 도통각을 제어하는 여러 가지 제어방법을 사용하고 있지만 이들은 많은 실험과 경험에 의해 운전을 하고 있다. 본 논문에서 스위치 온, 오프각은 서로 영향을 미치므로 스위치 온각과 오프각을 독립적으로 분리하여 SRM 드라이브의 운전성능 향상을 위한 스위칭각을 선정하였다.

실험과 시뮬레이션에 사용된 전동기는 8/6극을 가지고 있으며 고정자와 회전자 각극은 각각 22° 이고 정격출력은 400W이다.

3.1 스위치 오프각의 선정

SRM의 제어변수 중 스위치 오프각은 최대 토크 발생영역을 확대하는 동시에 부토크 발생을 억제하는 데 역점을 두어야 한다. 이를 위해 임의의 속도와 부하에서의 임의의 스위치 온각과 오프각을 주었을 경우 효율이 좋은 스위치 오프각을 선정하는 것이 일반적인 방법이다. 그러나 이는 제어성이 강한 스위치 온각의 영향을 많이 받아 스위치 오프각의 적절한 선정에 부적절하다.

SRM의 상전류는 그림 3에서 보는 바와 같이 일정

전압, 일정속도 조건에서는 한 전류로 수렴하고 있음을 알 수 있다. 그림 3(b)에서 선행 스위칭각 6°, 8°에서 스위치 온된 전류는 토크발생구간에서 그 크기가 줄어들고, 선행 스위칭각 0°, 2°의 상전류는 상승하여 인덕턴스 상승구간이 무한대이고 스위치 오프를 하지 않았을 경우 어느 한 전류값으로 수렴하게 되는데 이 전류값이 평활전류(flat-topped current)값이다. 평활전류는 토크발생구간에서 전류의 변화가 없이 일정하므로 식 (1)의 전압방정식에서 우측 두 번째항이 0이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = R \cdot i(\theta) + i(\theta) \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \quad (5)$$

여기서 상저항을 생략하고 평활전류를 간단히 나타내면

$$i(\theta) = V / \left(\frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \right) \quad (6)$$

와 같이 나타낼 수 있고 인가전압과 속도에 의존한다. 이 전류는 그림 3에서 수렴하는 전류이기도 하다. 따라서 부토크를 억제하고 토크발생영역을 최대로 활용하기 위해서는 이 전류를 기준으로 스위치 오프각을 선정하는 것이 타당하다.

스위치 오프각은 평활전류 조건에서 실험과 시뮬레이션을 통하여 스위치 오프각을 가변하였을 때 최대 효율이 발생하는 각으로 선정하였다. 그림 4는 실험과 시뮬레이션(SRD program)에서 사용된 전류조건을 보여주고 있다.

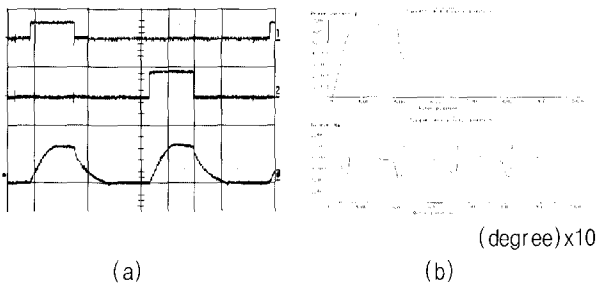


그림 4 평활전류 조건 (a) 실험 (b) 시뮬레이션
Fig. 4 Flat-topped current condition (a) experiment (b) simulation

그림 5는 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며 실험 결과는 전반적으로 시뮬레이션 결과에 비해 효율이 3, 4%정도 낮고 스위치 오프각이 14° 이하에서는 좀더 효율이 낮아지나 전반적인 추세는 시뮬레이션과 같다. 실험과 시뮬레이션의 차이는 실험결과에는 인버터의

손실이 포함되어 있으며 스위치 오프각이 14° 이상에서의 차이는 스위치 오프시의 감자구간에서의 에너지 회생회로, 전해콘덴서 등의 영향에 기인한다.

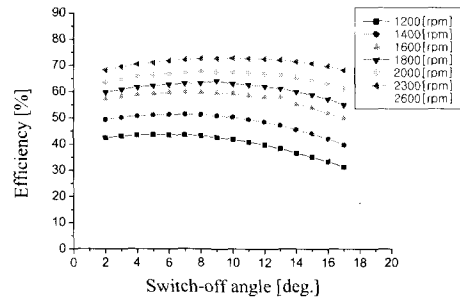


그림 5 속도에 따른 스위치 오프각-효율
Fig. 5 Switch off angle-efficiency according to speed

그림 6은 실험과 시뮬레이션을 통해 선정한 스위치 오프각을 보여주고 있다. 속도가 높아질수록 스위치 오프각도 커진다. 속도가 높아질수록 평활전류는 식 (6)에서 보듯이 작아져 스위치 오프 이후에 감자구간(demagnetizing region)이 작아지고 부토크 발생이 작아지게 된다. 따라서 스위치 오프 각을 좀더 크게 하여 효율을 떨어뜨리지 않는 범위에서 발생토크를 크게 할 수 있다.

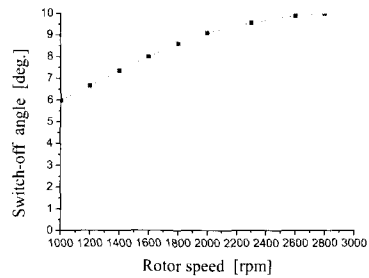


그림 6 속도에 따른 스위치 오프각
Fig. 6 Switch off angle according to speed

스위치 오프각은 평활전류를 기준으로 하여 최대 효율을 나타내는 조건에서 선정되었으며 그림 6과 같이 회전자속도에 따라 제어된다. 스위치 온 각은 부하에 대응하는 토크를 발생시키기 위해 제어되어야 한다.

3.2 스위치 온각의 선정

SRM 드라이브의 속도-토크특성은 직류직권전동기와 유사한 특성을 가지고 있다. 따라서 속도 또는 토

크제어를 할 때에는 입력전력을 적절히 제어하여야 한다. SRM에서 이러한 입력제어는 스위칭각의 제어로 할 수 있으며, 제어성이 큰 스위치 온각으로 변화하는 부하에 대응하여 가변되는 것이 효과적이다.

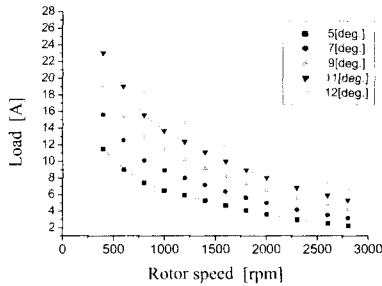


그림 7 스위치 온각에 따른 속도-토크특성
Fig. 7 Speed-torque characteristics according to switch-on angle

그림 7은 스위치 온 각에 따른 속도-부하의 변화특성을 보여주고 있다. 이때 스위치 오프 각은 앞서 결정된 그림 6에 보여진 속도에 따라 가변하도록 하였다. 따라서 스위치 오프각은 부하와 관계없이 최적의 운전조건에서 제어되고 스위치 온각은 부하에 대응하여 제어된다.

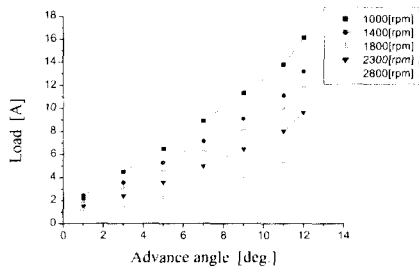


그림 8 일정 속도에서의 선행스위칭각-부하특성
Fig. 8 Advance angle-load characteristics for constant speed

그림 8은 일정속도제어를 할 때의 부하에 따른 선행스위칭각의 변화를 보여주고 있다. 부하가 증가함에 따라 부하에 대응하기 위해 선행스위칭각도 증가한다. 이 때 속도가 일정하기 때문에 스위치 오프각은 일정하게 유지된다.

4. 운전성능 향상을 위한 시스템의 구성

SRM 드라이브에는 비선형적인 특성이 강하고 전류파형이 많이 변함으로 제어가 부하에 대응하기 어렵

고 스위치 온각과 오프각이 서로 영향을 미치고 스위칭각의 변화에 따라 전류파형의 변화가 심하여 적정스위칭각을 결정하기가 어렵다. 본 논문에서는 스위치 온각과 오프각을 독립적으로 분리하여 최대 토크발생영역을 확대하여 운전중에 고효율로 구동할 수 있도록 스위치 오프각을 먼저 선정하였고 스위치 온각은 부하에 대응하도록 선정하여 SRM의 드라이브의 운전성능을 향상시키고자 하였다.

스위칭각은 그림 7에 보는 것과 같으나 임의의 부하와 속도에 대한 스위칭각은 일반적으로 보간법을 사용하여 제어를 할 수 있으나 이는 SRM 드라이브와 같은 비선형 모델에 잘 맞지 않고 많은 데이터를 요구한다. 따라서 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 GA-신경회로망을 이용하여 적정 스위칭각을 모델링하였다.

신경회로망은 생물학적 뉴런(Neuron)의 가장 기본적인 기능과 유사한 기능을 가진 요소들로 구성되어 있어 뇌와 유사한 많은 특성을 보유하고 있다. 제어 대상 시스템이 미지의 비선형성을 갖는 경우에도 제어대상의 입력력패턴을 학습시킴으로 시스템식별을 효과적으로 할 수 있어 원하는 제어특성을 얻을 수 있다. 그리고 진화 알고리즘은 구조가 간단하고 방법이 일반적이어서 응용범위가 매우 넓으며, 특히 탐색능력이 뛰어나고, 국부수렴을 극복하기가 쉬워서 최근에는 신경회로망, 퍼지 로직과의 결합으로 그 응용범위는 점점 늘어나고 있는 추세이다^[8,9].

그림 9는 신경회로망의 역전파(Back-propagation)부분을 GA로 구성하여 전체 시스템을 간략하게 나타낸 그림이다. SRM의 최대효율로 운전되기 위한 조건을 도출하기 위해 추출해낸 임의의 데이터를 학습하는 로직은 신경회로망이 처리하고 은닉층의 weight function을 구하는 로직은 국부수렴을 피하고 탐색능력이 뛰어난 GA를 사용하여 신경회로망의 단점을 보완하였다.

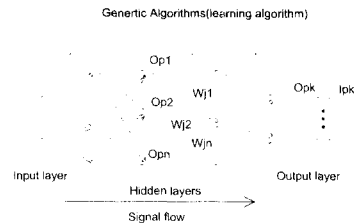


그림 9 학습 알고리즘의 블록도
Fig. 9 Block diagram of training algorithm

GA-신경회로망을 이용한 최적운전조건을 가지고 엔코더를 통하여 연계되는 회전자 속도와 부하에 해당하

는 DC 링크단의 전류센서에서 얻게 되는 직류전류를 입력으로 받는 임의의 부하와 속도에서의 최적운전을 할 수 있는 실제 제어시스템을 구성하도록 한다.

그림 10은 각 속도에서의 실험데이터 및 시뮬레이션 결과를 보여주고 있고 측정치와 시뮬레이션 결과가 비슷함을 알 수 있다.

SRM의 제어기는 전동기제어용 DSP 소자인 TMS320F240을 사용하였다. 최적 스위칭각의 연산을 위한 부하 전류는 직류 링크단의 전류센서를 부착하여 DSP에서 A/D 변환하여 사용하였으며, 전동기의 속도는 2048 ppr의 인크리멘탈 엔코더를 사용하였다. 엔코더의 출력신호는 DSP의 QEP 단자로 입력되어 4 체배되어 속도가 계산된다. GA-신경회로망 알고리즘은 전동기의 부하 전류와 속도 정보로부터 학습된 최적의 스위칭각을 출력한다. 그림 11은 SRM 드라이브의 시스템 구성도를 보여주고 있다.

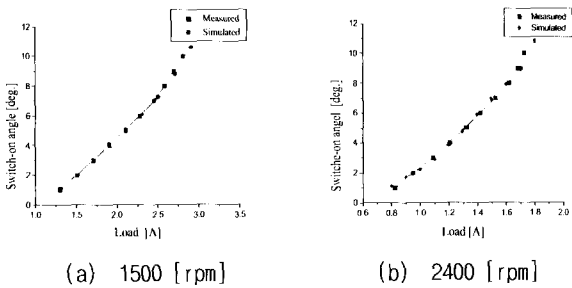


그림 10 부하에 따른 스위치 온각 특성
Fig. 10 Switch-on angle characteristics according to load

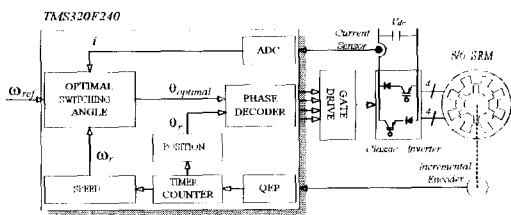
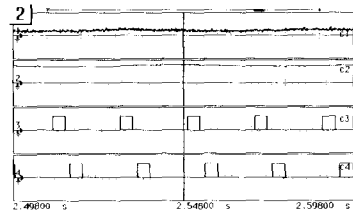
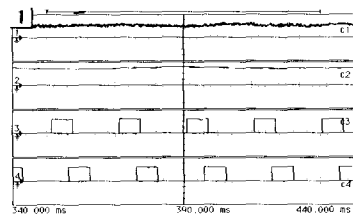


그림 11 SRM 드라이브의 시스템 구성도
Fig. 11 Schematic diagram of SRM drive

속도는 일정한 상태에서 경부하와 정격부하일 때의 스위칭각을 그림 12에서 보여주고 있다. 그림 12에서 정격부하일 경우 경부하시보다 더 넓은 스위칭각을 보여주고 있다. 이 때 스위칭각은 그림 7의 스위칭 온각에 따른 속도-부하특성을 GA 신경회로망을 통해 학습된 모델을 통하여 제어되었다.



(a) light load



(b) normal load

그림 12 부하의 변화에 따른 스위칭각
Fig. 12 Switching angle according to load variation

SRM 드라이브시스템에 적정 스위칭각의 선정과 GA-신경회로망을 이용한 속도-토크 모델링을 적용하여 임의의 속도와 부하에 대응하는 스위칭각 제어를 통하여 운전성능향상을 꾀할 수 있었다.

5. 결 론

SRM 드라이브의 동작은 펄스 전압의 인가와 자기포화가 심한 영역에서 운전됨으로 인덕턴스가 비선형적으로 변화하여 그 동작특성을 예측하여 진 운전 영역에서 최적운전을 하기가 어렵다.

이를 극복하기 위하여 본 논문에서는 실용적인 측면에서 인가전압을 가변하지 않은 상태에서의 스위칭각의 동특성을 해석하고 임의의 속도, 토크에서 최적의 스위칭 각으로 운전할 수 있도록 스위치 온각과 오프각을 독립적으로 해석하기 위하여 스위치 오프각은 평활토크에서의 효율로서 선정하고 이를 바탕으로 스위치 온각, 즉 선행스위칭각에 의한 순시 토크에 대응되도록 하여 제어기법을 최대한 간단히 하며 운전성능향상을 꾀하고자 하였다. SRM의 제어기는 전동기제어용 DSP 소자인 TMS320F240을 사용하여 임의의 속도, 토크에서의 스위칭각의 선정은 GA-신경회로망 알고리즘을 이용한 학습된 최적의 스위칭각을 출력하도록 하였다.

이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-1999-003-E00156)

참 고 문 헌

- [1] 안진우, *스위치드 릴럭턴스 전동기*, 오성미디어, 2001.
- [2] Hassan Moghbelli, Gayle E.Adams and Richard G.Hofl, "Performance of 10-Hp Switched Reluctance Motor and Comparison with Induction Motors," *IEEE Trans. on IA*, Vol. 27, No. 3, pp. 531~538, 1991.
- [3] R.M.Davis, W.F.Ray and R.J.Blake, "Inverter drive for switched reluctance motor : circuits and component ratings," *Proc. IEE*, Vol. 128, Pt-B, No. 2, pp. 126~136, 1981.
- [4] D.A. Torrey and J.H.Lang, "Modelling a nonlinear variable reluctance motor drive," *Proc. IEE*, Vol.137, Pt B, No. 5, pp. 314~326, 1990.
- [5] P.C. Kjaer, J.J. Gribble, T.J.E. Miller, "High Grade Control of Switched Reluctance Machines," *Proc. of IAS/IEEE Sandiego, California*, pp. 92~100, 1996.
- [6] Derrick E. Cameron, Jeffrey H.Lang and Stephen D.Umans, "The Origin and Reduction of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable Reluctance Motors," *IEEE Trans. on IA*, Vol. 28, No. 6, pp. 1250~1255, 1992.
- [7] 장도현, 문진영, "SRM 컨버터에서 자기동조 방식에 의한 토크오프 각의 결정", *전력전자학회 논문집 제3권 제4호*, pp. 418~425, 1998.
- [8] Toshio Fukuda, Takanori Shibata, "Theory and Applications of Neural Networks for Industrial control systems", *IEEE Trans. on Indust. Elec.*, pp. 472~489, vol. 39, No. 6, 1992.
- [9] Zbigniew Michalewicz, *Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs Second Edition*, Springer Verlag, 1992.

저 자 소 개



오석규(吳錫奎)

1967년 6월 2일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 졸업(석사). 1997년 8월 동 대학원 졸업(공학박). 1993~1994년 (주)현대중공업 근무. 1998년~현재 진주산업대 산업자동화공학과 조교수.



최태완(崔泰完)

1959년 12월 15일생. 1983년 동아대 전자공학과 졸업. 1985년 부산대 전자공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(공학박). 1984년 12월~1991년 2월 (주)LG전자연구소 팀장. 1991년~1993년 부산대 전자공학과 조교. 1997년~현재 진주산업대 산업자동화공학과 조교수.



안진우(安珍雨)

1958년 5월 26일생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1998년~1999년 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 현재 경성대 전기전자 컴퓨터 공학부 부교수. 당 학회 학술위원.