

유전알고리즘과 신경회로망을 이용한 SRM의 고효율 구동

손익진, 오석규*, 안진우
경성대, 진주산업대*

High Efficiency Drive of SRM with Genetic Algorithms and Neural Network

Ick-Jin Sohn, Seok-Gyu Oh*, Jin-Woo Ahn
Kyung-sung Univ., Chinju Nat'l Univ.*

ABSTRACT

The switched reluctance motor (SRM) drive system provides a good adjustable speed characteristics. But driving of SRM is nonlinear changed according to rotor position angle and phase current because of saturation in magnetic circuit, and it is difficult to drive the high efficiency.

This paper proposes find point of high efficiency in variable load that are used to control switch-on/off angles and input voltage.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 전자기적인 구조가 간단하고 고효율, 고토오크, 넓은 범위의 가변속 운전등의 장점을 지닌 전동기로서 여러 산업 전반에 걸쳐 그 응용 범위를 넓혀가고 있다.

그러나 SRM은 다른 전동기구에 비해 높은 자속 밀도에서 운전함으로써 자기포화가 심하여 비선형적인 성질의 인덕턴스 변화를 예측하기가 어렵다. 그러므로 전 운전영역에서 적절한 스위칭 온/오프 각과 입력전압의 가변으로 고효율 유지가 힘들다. 본 논문에서는 비선형성이 강한 SRM의 고효율 구동을 위해 비선형 시스템에 강한 최적화 알고리즘인 신경회로망과 유전자 알고리즘을 이용하여 운전영역 전반에 걸쳐 고효율 구동이 가능하도록 스위치 온/오프 각과 입력전압을 조정하는 제어 시스템을 구성한다.

SRM이 최대의 효율로 운전하기 위한 조건을 도출하기 위해 추출해낸 임의의 데이터를 학습하는 로직은 신경회로망이 처리하고 신경회로망 은닉층의 weight function을 구하는 로직은 GA가 처리하도록 하였다. 본 논문은 이러한 신경회로망과 유전자알고리즘의 적용으로 부하에 따른 SRM의 고효율 운전점을 도출하고 구동특성을 살피고자 한다.

2. SRM의 동특성

일반적인 교류전동기의 전류는 연속적인 정현파이지만, SRM의 전류는 펄스형태의 과도현상과로서 전동기의 속도, 전압, 스위칭각도 및 부하토크 등의 운전조건에 따라 전류파형의 형상이 다양하다. 이러한 펄스형태의 전류형상은 전동기 효율의 미치는 영향이 크고, 스위칭각도의 조정에 의하여 전류형상을 변화시킬수 있으므로 효율을 향상시키는 적절한 전류파형을 스위칭각 조정에 의해서 생성함으로써 전동기의 효율을 개선할 수 있다.

2.1 전류파형과 토오크 특성

SRM의 동특성은 온/오프각과 인가전압에 의해 나타난다. 이 중 전류의 온/오프각의 조정은 일정도통각 제어방식, 가변 도통각 제어방식, 일정 토오크각 제어방식 등이 있다.

SRM의 전압방정식은

$$v(\theta) = Ri(\theta) + L(\theta, i) \frac{di(\theta)}{dt} + i(\theta) \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

로 표현되며, 식 (1)에서 $i(\theta)$ 와 $L(\theta)$ 는 회전자 위치각 θ 에서의 고정자 상권선의 전류와 자기 인덕턴스 값을 나타내고 있다.

SRM의 한상에 대한 토오크는

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

와 같이 되고, 식 (2)에서 알수 있듯이 토오크는 전류와 인덕턴스 변화율에 의해 결정되는데, 인덕턴스 역시 전류에 의존하는 함수임을 알수 있다. 따라서 맥동없는 이상적인 토오크 제어를 위해서는 전류의 제어가 필수 적임을 알 수 있다.

2.2 온각의 변화에 따른 여자특성

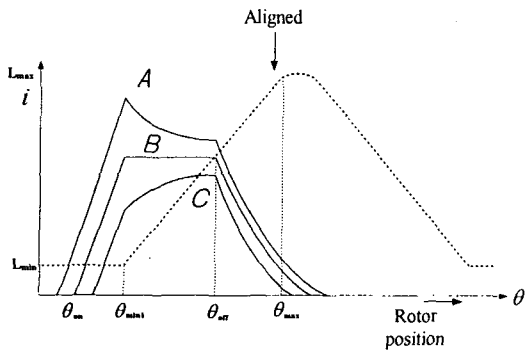


그림 1. 스위칭 온각 변화에 따른 상전류 파형

그림 1은 SRM의 전동기 영역에서의 스위칭 온각 변화에 따른 상전류 파형을 나타내고 있다.

B의 파형은 적정 θ_{ad} 인 θ_B 에서 상 스위치를 온(ON) 함으로서 평활전류를 형성함을 알 수 있으며, A의 파형은 평활전류를 형성하기 위한 적정 각 보다 큰 θ_A 에서 상 스위치를 온하여 과여자가 됨을 나타내고 있고, C의 파형은 적정 각보다 작은 θ_C 에서 상 스위치를 온하여 부족여자가 됨을 나타내고 있다. 그러므로 인덕턴스 증가 구간에서 정토크의 발생을 효과적으로 하기 위해서는 전동기의 속도와 여자전압의 크기에 따른 적정 온각을 구할 필요가 있다.

2.3 오프각의 변화에 따른 여자특성

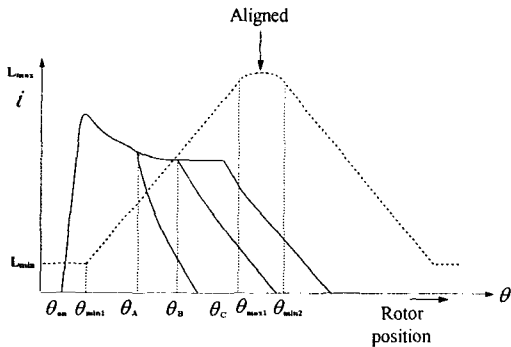


그림 2. 스위칭 오프각 변화에 따른 상전류 파형

그림 2는 스위치 오프 각에 따른 상전류 파형의 형태를 나타내고 있다. 스위치 오프가 최대 인덕턴스 점에 가까울수록 토크 각도가 크게 되어 토크 발생영역의 활용도가 높아져 정토크의 발생에 유리하나 너무 늦추어지면 부토크의 영향을 받을 수 있어 토크 맥동을 유발하고 기계적 출력이 오히려 감소할 수 있다.

3. 적용 알고리즘

SRM은 인가되는 전압, 스위치 온/오프각에 의해

제어되는데 앞서 살펴본 바와 같이 SRM의 스위치 온/오프각은 전류파형의 크기와 형태를 결정하고 동시에 토크 크기와 형태를 변화시켜 토크 맥동과 출력을 변화시키는 등의 운전특성과 깊은 상관 관계를 가진다.

SRM 드라이브에서 토크 발생이 대부분 자기 회로의 포화영역에서 이루어진다. 이러한 포화현상으로 인해서 가변 인덕턴스가 비선형 특성을 가지게 되고 운전효율이 운전조건에 따라서 다양하게 변해 고효율 운전조건을 도출하기가 매우 힘들다. 따라서 이러한 비 선형적인 특성이 강한 SRM 드라이브에서 제어변수인 스위칭 온/오프각과 인가전압을 고효율 운전을 위해서 비 선형 시스템에 강한 최적화 알고리즘인 신경회로망(Neural network)과 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms, GA)을 이용하여 전 운전영역에서 고효율 운전이 가능하도록 부하에 따른 스위치 온, 오프 각을 조정하여 최적의 운전조건을 구하고, 이를 이용하여 제어시스템을 구성하여야 한다.

신경회로망은 생물학적 뉴런(Neuron)의 기본적인 기능과 유사한 기능을 가진 요소들로 구성되어 인간의 뇌와 유사한 많은 특성을 보유하고 있으며, 경험으로부터의 학습, 앞서 주어진 예로부터 새로운 것을 생성, 오류를 포함한 데이터로부터 기본적인 특성을 추출할 수 있는 학습능력, 왜곡되거나 잡음을 가진 입력에 대한 바른 인식을 할수 있는 강인성, 불완전한 입력 데이터에 의해서도 학습에 의해 일반적인 출력값을 내는 일반화등의 장점을 가지고 있다. 특히 제어대상이 비선형성을 가지는 경우에도 제어대상의 입출력 패턴을 학습시킴으로 원하는 제어 특성을 얻을 수 있다.

유전자 알고리즘은 자연세계의 진화과정을 컴퓨터 상에서 시뮬레이션 함으로 복잡한 실세계 문제를 해결하고자 하는 계산 모델이다. 유전자 알고리즘은 구조가 간단하고 방법이 일반적이어서 응용범위가 넓으며 탐색능력이 뛰어나고, 국부수렴을 극복하기가 쉬워 응용범위가 넓은 알고리즘이다.

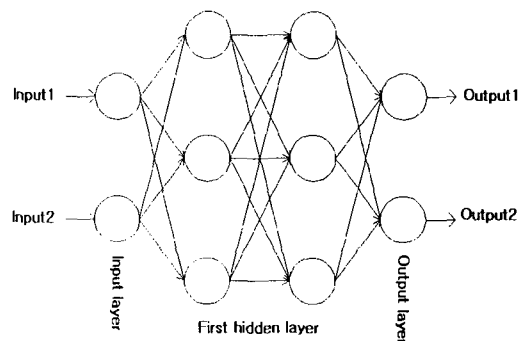


그림3. 다층신경회로망의 기본구조

그림 3은 일반적인 다층 신경회로망을 나타내는 그림이다. 신경회로망은 크게 입력층, 은닉층, 출력층의 세 개의 층으로 구성되어 있다. 각 층은 몇 개의 뉴런들로 이루어져 있으며 모든 인접층들 간의 뉴런들은 신경회로망의 결합벡터에 의해 연결되어진다.

SRM의 최대효율 운전을 위한 스위칭 온/오프각과 입력전압의 관계의 관측을 위해서 실측한 데이터를 학습하는 로직은 신경회로망이 처리하고 은닉층의 weight function을 구하는 역전파 부분은 유전자 알고리즘을 이용하도록 구성되었다.

신경회로망은 입력 데이터의 수가 적으면 오차가 클수 있고 입력 데이터가 많으면 학습시간이 오래 걸리며, 은닉층과 뉴런의 개수에 의해서도 오차가 생길수 있으므로 국부수렴을 피하고 탐색능력이 뛰어난 유전자 알고리즘을 이용하여 신경회로망의 단점을 보완한다.

4. 실험 및 고찰

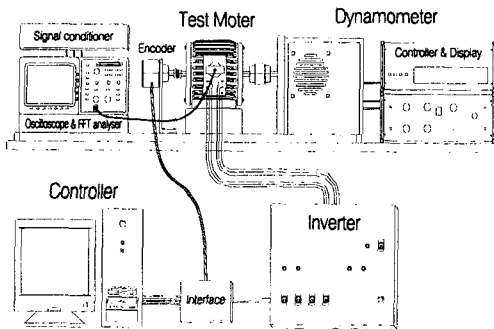


그림 4. 실험 장치

선정된 피시험 전동기의 효율을 측정하고 해석하기 위한 시스템의 구성을 그림 4에서 보여준다. 상권선을 독립적으로 제어할 수 있는 클래식 인버터와 PC, 그리고 회전자의 위치검출을 위한 1°의 분해능을 가진 10Bit 절대치 엔코더와 부하장치인 다이내모미터로 SRM 시스템을 구성하였다.

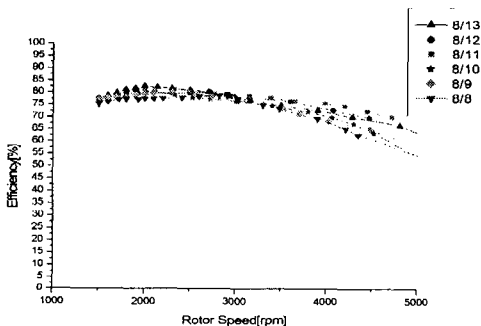


그림 5. 기초실험 데이터(온각고정)

그림 5는 150V 교류입력 전압에서의 온각 고정시에 속도에 따른 효율을 나타내는 기초 실험 데이터를 보여준다. 또한 그림 6은 150V 교류입력 전압에서의 오프각 고정시 속도에 따른 효율을 나타내는 그래프이다.

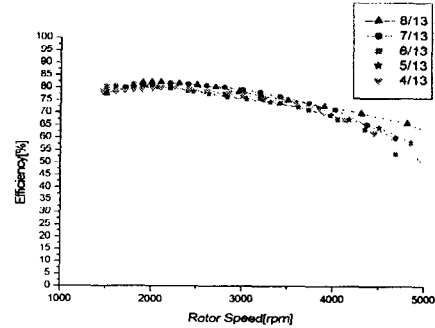


그림 6. 기초실험 데이터(오프각 고정)

그림 7은 150V, 300w 출력에서의 피 시험 전동기의 고효율 운전조건을 위해 신경회로망의 학습에 사용할 기초 실험 데이터를 보여준다. 그림에서는 온각이 34° 오프각이 48° 일 때 최대 효율점 임을 알 수 있으며, 그림에서는 온/오프각의 전체 영역에 걸친 출력의 관찰을 위해 경 부하시의 효율을 나타내었다.

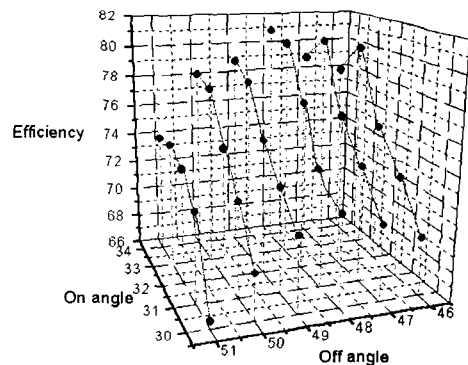


그림 7. 300W 부하에서의 온/오프각에 따른 효율

신경회로망에서의 입력은 부하의 증감에 의해 변화하는 입력전류와 속도이며 그 출력으로는 입력된 시점의 부하와 속도에 따른 최고효율의 운전점의 온/오프각이 되고, 이러한 출력을 통해 임의의 부하와 속도에서 고효율 운전을 할 수 있는 구동시스템을 구성한다.

5. 결론

SRM의 스위치 온/오프각은 전류파형의 크기와 형태를 결정하고 동시에 효율 등의 운전특성과 깊은 상관 관계를 가진다. 그러나, SRM이 자기포화

가 높은 비선형 영역에서 주로 운전되고 이것으로 인해 전 운전영역에서 고효율 운전이 어렵다.

본 논문에서는 비선형 시스템에 강인한 최적화 알고리즘인 신경회로망과 유전자 알고리즘을 결합하여 전 운전영역에서 고효율 운전이 가능하도록 스위칭 온/오프각을 조정하여 운전점을 구하는 시스템 모델을 제시하였다. 이후에 제시된 제어시스템의 시뮬레이션과 이를 통한 실험결과와 알고리즘의 적용 후 향상된점에 관하여 논의 되어야 할 것이다.

본 연구는 과학재단 목적기초연구(No. R01-2001-000300-0) 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] P.J.Lawrenson, J.M.Stephenson, P.T.Blenkinsop, J.Corda and N.N.Fulton ; "Variable-speed switched reluctance motors," Proc. IEE, Vol.127, Pt-B, No.4, pp.253-265, 1980.
- [2] 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.
- [3] 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
- [4] Toshio Fukuda, Takanori Shibata, "Theory and Applications of Neural Networks for Industrial control systems", IEEE Trans. on IE, pp472-489, vol. 39, No.6, 1992.
- [5] Zbigniew Michalewicz, *Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs Second Edition*, Springer-Verlag 1992