

신경망 자율 적응 제어를 이용한 발전기의 전압제어

(Voltage Control of Generator using Neural Network Self Adaptive Control)

박왈서* · 오 훈 · 유석주 · 라성훈

(Wal-Seo Park · Hun Oh · Seok-Ju Yoo · Seong-Hoon La)

요 약

PI제어기는 발전기의 전압제어 시스템에 널리 쓰이고 있다. 하지만 발전 시스템의 특성이 연속적으로 변화할 때, 새로운 PI매개변수를 결정하는 것이 쉽지 않다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 발전기의 전압제어에 신경망 자율 적응 제어를 이용하는 제어 방법을 제안하였다. 전압제어 시스템의 적절한 연속적인 궤환 제어 이득은 델타 학습 규칙에 의해서 결정된다. 제안된 제어 방법의 기능은 직류 발전기 전압제어 실험에 의해 확인하였다.

Abstract

PI controller is widely used as voltage control system of generator. However when a generator system has various characters of continuance, a new PI parameter decision for accurate control is a hard task. as method of solving this problem, in this paper, the method to generator voltage control using Neural Network self adaptive control is presented. A property continuous feedback control gain of voltage control system is decided by a rule of delta learning. The function of proposed control method is verified by voltage control experiment results of DC generator.

Key Words : Neural Network Self Adaptive Control, Control Gain, Gnerator Voltage Control

1. 서 론

현대 제어이론의 많은 발전에도 불구하고, 발전기의 전압제어 시스템에는 비례 적분(PI: Proportional Integral)제어기가 널리 사용되고 있다. 이는 제어 알고리즘이 간단하고, 제어기를 쉽게 구현할 수 있으며, 시스템 특성에 맞는 매개변수 값이 사용되었을

경우에 강인성 및 추적제어 특성이 우수하기 때문이다[1-2].

발전시스템 특성이 변화할 경우에도 이와 같은 우수한 제어특성을 유지하기 위해서는 시스템 특성에 맞는 PI제어 매개변수를 다시 결정해야만 한다[3].

하지만 PI제어 매개 변수값을 결정하는데는 전문적인 지식을 갖추고도 상당한 시간과 노력이 소요된다. 근래에까지 매개변수값의 결정방법에 많은 연구가 있어왔고, 최근에 시스템 자체에 관한 지식없이 오차를 최소화 시키는 학습능력을 이용한 방법이 적용되고 있다[4-5]. 신경회로망을 제어기로 사용할

* 주저자 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수
Tel : 063-850-6890, Fax : 063-850-6890

E-mail : wspark@wonkwang.ac.kr

접수일자 : 2008년 11월 17일

1차심사 : 2008년 11월 17일, 2차심사 : 2008년 12월 23일

심사완료 : 2009년 1월 6일

신경망 자율 적응 제어를 이용한 발전기의 전압제어

경우에는 무게값을 결정하는 방법으로 에뮬레이터 (Emulator)를 이용하는 연구가 진행되고 있으나, 이는 에뮬레이터를 부수적으로 필요하게 되므로 연산수가 많아지는 단점을 갖고 있다[6-8].

근래에 신경망을 이용한 자율적응제어시스템이 연구되었다[9].

본 논문에서는 발전기의 전압제어에 신경망자율 적응제어를 이용하는 방법을 제안하였다.

제안된 발전기 전압제어 시스템의 연속적인 궤환 제어 이득은 신경망의 델타학습규칙에 의해 결정되므로, PI제어기 측면에서 볼때 매개변수가 자동으로 결정되고, 동조되는 효과를 가지게 된다.

이와 같은 결과는 현장 전문가의 많은시간과 노력을 절감시키고, 자동화의 기능을 한층 높게 된다. 제안된 신경망자율적응제어를 이용한 발전기의 전압제어는 외란이 존재하는 직류발전기의 전압제어에 의해서 확인하였다.

2. 신경망 자율적응제어

2.1 신경회로망 제어시스템

신경회로망은 학습에 의하여 지식을 얻고, 저장할 수 있고, 활용할 수 있는 기능을 갖춘 것으로서 생물학적 두뇌작용을 모방하는 기법이다.

신경회로망에는 필터, 변환, 분류, 인식, 최적화 등의 다양한 기능이 있지만, 제어분야에서는 인식과 최적화 기능을 사용하여 오차를 최소화 시켜주는 델타학습규칙이 주로 사용되고 있다.

이에 대한 단일 유닛을 블록선도로 나타내면 그림 1과 같다.

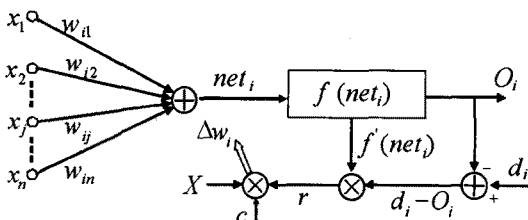


그림 1. 델타 학습 블록선도
Fig. 1. Delta learning Block diagram

학습신호(r)는 다음과 같이 정의된다.

$$r = [d_i - f(W_i X)] f'(W_i X) \quad (1)$$

여기서 W 는 가중치 벡터, X 는 입력 벡터를 나타낸다.

$$W = [w_{i1} \ w_{i2} \ w_{i3} \ \dots \ w_{in}]^t$$

$$X = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n]^t$$

윗첨자 i 는 전치를 뜻하고, 그림에서 사용된 기호 net 는 $W^t X$ 와 같은 값을 갖는다.

델타 학습규칙은 기준값 (d_i)과 출력값 (O_i)차의 제곱오차를 최소화 시키는 조건으로부터 얻어질 수 있고, 제곱오차벡터(E)는 다음과 같이 정의된다[7].

$$E = \frac{1}{2} (d_i - O_i)^2 = \frac{1}{2} [d_i - f(W_i X)]^2 \quad (2)$$

가중치(W_i)에 대한 오차 기울기 벡터(∇E)는 다음과 같다.

$$\nabla E = \frac{\partial E}{\partial w_i} = (d_i - O_i) f'(W_i^t X) X \quad (3)$$

오차를 최소화시키기 위해서 가중치는 음의 기울기 방향으로 변화되어야 하므로 다음과 같은 관계가 성립해야만 한다.

$$\begin{aligned} \Delta W_i &= -C \nabla E \\ &= C (d_i - O_i) f'(W_i^t X) X \end{aligned} \quad (4)$$

C 는 양의 상수이고, 가중치는 다음으로 조절된다.

$$W_i^{k+1} = w_i^k + \Delta W_i^k \quad (5)$$

델타 학습규칙은 복잡한 영역까지 인식 가능한 3층 이상으로 확장되어 사용되고, 일반적으로 그림 2와 같은 형태의 제어시스템으로 구성된다.

그림 2와 같이 신경망 에뮬레이터를 갖는 구조의 제어시스템은 연산수가 많아져서 시간이 많이 소요

되는 단점을 갖고 있으므로 실시간 제어에 적합하지 않다[8].

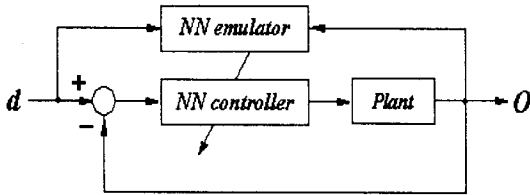


그림 2. 신경회로망 제어시스템
Fig. 2. Control system of Neural Network

2.2 신경망 자율적응제어 시스템

본 논문에서의 신경망 자율적응제어시스템은 신경회로망의 마지막 출력노드에 발전기를 설치하는 방법을 도입하였고, 시스템의 적절한 궤환이득은 델타 학습규칙에 의해서 실시간에 결정된다.

또한 제어입력(u)에 보조 제어입력을 부과함으로써 제어 시스템의 응답특성을 개선하였다.

다층구조인 경우에 마지막 출력노드를 블록선도로 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3에서 기호 Y 와 F 는 마지막 출력노드의 입력과 학습신호이며, $P'(net_k)$ 는 마지막 출력노드의 미분값을 나타낸다.

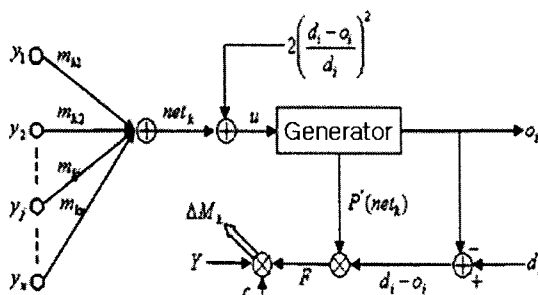


그림 3. 신경망 자율적응 전압제어 시스템
Fig. 3. Neural Network self Adaptive Voltage control system

그림 3에서와 같이 출력노드의 활성화 함수 대신에 발전기를 대치함으로써 자연스럽게 신경회로망의 지도 입출력 패턴문제를 해결하였다. 또한 제어 시스템의 응답특성을 개선하기 위하여 보조제어 입력을 부과한 제어입력(u)는 식 (6)과 같다.

$$u = net_k + 2\left(\frac{d_i - o_i}{d_i}\right)^2 \quad (6)$$

제안된 신경망자율적응제어를 이용한 발전기의 전압제어는 오차 및 오차변화율의 정보를 이용하여 제어를 수행하므로써 시스템 특성에 대한 정보없이 제어를 수행할 수 있다는 점과 PI제어기와 같이 제어 매개변수를 전문가에 의해 새롭게 결정하지 않아도 되는 장점을 갖추고 있다.

또한 학습시작과 더불어 시스템 특성에 맞는 이득으로 학습이 수행되어 설정값에 이르게 되면 학습이 완료됨으로서 실시간제어기에 편리하게 사용될 수 있다.

3. 실험 및 결과 고찰

사회와 발전과 더불어 전기에너지 사용량의 지속적인 증가에 따라 발전설비도 증가되고 있는 실정이다. 일반적으로 발전기에서 발생하는 전압의 크기는 계자의 자속 그리고 회전수에 비례한다.

하지만, 외부조건에 따라 회전수가 변화하는 풍력 또는 자동차 등의 발전기에서 정전압을 발생시키는 것은 쉽지 않다.

풍력발전기에서 날개 각도의 조정, 유압브레이크등의 제어가 사용되고 있고, 자동차는 허용되는 전압이 오차범위를 벗어나게 되면 계자전류를 차단시킨다.

대형발전소의 발전시스템에서 여자 제어 방식을 채용하고 있으나, 대부분 PI제어 방식을 사용하고 있다.

PI제어기는 시스템특성이 변화하게 되면, 특성에 맞는 매개변수를 계속 조정해 주어야 하는 단점을 갖고 있다.

근래에 마이크로프로세서의 비약적인 발전은 현대제어 이론의 탑재가 가능하여 졌고, 본 논문에서는 외란이 존재하는 직류발전기의 전압제어에 신경망 자율적응제어와 PI제어실험을 수행하여 성능을 비교하였다.

사용된 신경망 자율적응제어기는 단일 입력과 1층 3노드, 2층 4노드를 선택하였고, 출력층은 단일노드로 활성화 함수대신에 부하로서 타여자 직류발전기를 사용하였으며, 학습상수 $c=0.21$ 을 사용하였다. PI 제어기에서는 비례이득 $K=3.87$, 적분시간 $Ti=0.65$ 을

신경망 자율 적응 제어를 이용한 발전기의 전압제어 사용하였다. 사용된 단상유도전동기와 타여자 직류 발전기 세트의 정격은 표 1과 같다.

표 1. M&G SET의 정격
Table 1. Rating of M&G SET

단상유도전동기		타여자 발전기	
정격용량	360[W]	정격용량	360[W]
정격전압	220[V]	정격전압	200[V]
정격전류	4[A]	정격전류	1.1[A]
회전속도	1790[rpm]	회전속도	1800[rpm]

전력증폭기는 PWM제어방식의 인버터(LG-OTIS SB015iG-2U)를 사용하였고, 인버터에 인가되는 전압 지령 단자의 전압에 따른 주파수의 변화에 의해서 전압제어가 수행된다. 외란 실험에서는 가변저항을 사용하였으며, 실시간제어를 위하여 프로세서는 ATmega128를 사용하였고, 정전압시스템의 구성은 그림 4와 같다.

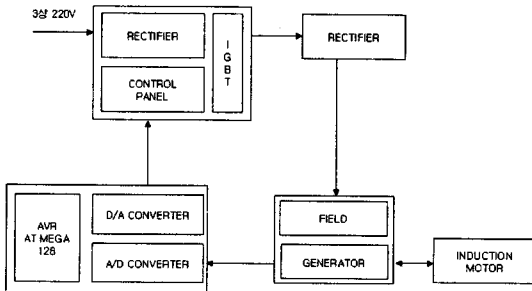
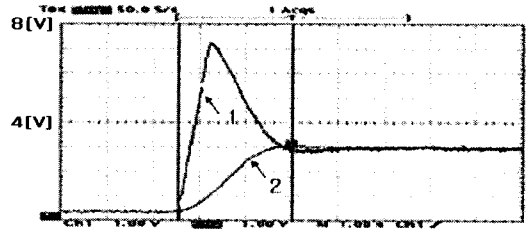


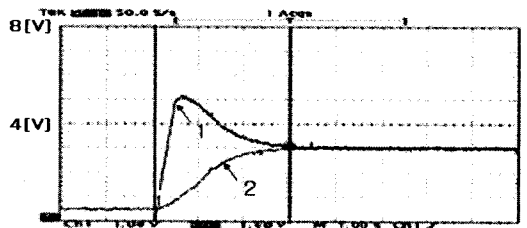
그림 4. 직류 발전기 정 전압시스템의 구성
Fig. 4. Composition of DC generator Constant voltage system

그림 5와 그림 6에서 곡선 1은 제어입력을 나타내고 있고, 곡선 2는 발전기의 출력응답을 나타낸다. 그림 5의 (a)는 신경망 자율적응제어 시스템의 초기 응답곡선이고, (b)는 PI제어 시스템의 초기 응답 곡선이다.

발전기 출력은 3[V]로 설정하였으며, 초기 설정값에 도달하는데 걸리는 시간은 신경망 자율적응제어 시스템에서 2400[ms]가 소요되었고, PI제어 시스템에서는 2800[ms]가 소요되므로, PI제어기보다는 신경망 자율적응제어기의 초기응답 특성이 우수함



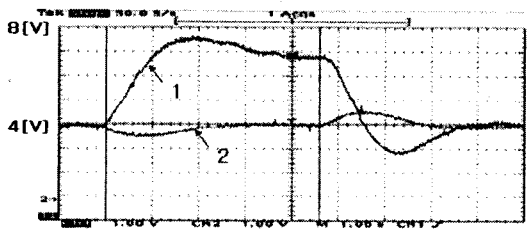
(a) 신경망 자율적응제어 시스템의 초기응답 곡선



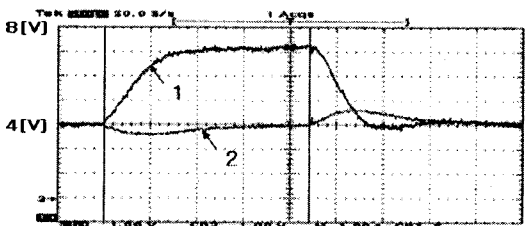
(b) PI제어 시스템의 초기응답 곡선

그림 5. 신경망 자율적응제어 시스템과 PI제어 시스템의 초기응답 곡선

Fig. 5. Initial response curve of Neural Network self adaptive control and PI control system



(a) 신경망 자율적응제어 시스템의 외란응답 곡선



(b) PI제어 시스템의 외란응답 곡선

그림 6. 신경망 자율적응제어 시스템과 PI제어 시스템의 외란응답 곡선

Fig. 6. Disturbance response curve of Neural Network self adaptive control and PI control system

을 알 수 있다.

그림 6의 (a)는 신경망 자율적응제어 시스템의 외란 응답곡선이고, (b)는 PI제어 시스템의 외란 응답곡선이다.

운전중에 가변저항을 이용하여 3V의 외란을 인가하였을 경우, 신경망 자율적응제어 시스템의 최대 이탈 전압은 약 400[mV]이고, 이탈 지속시간은 약 2400[ms]이며, PI제어 시스템의 최대 이탈 전압은 400[mV]이고, 이탈 지속시간은 약 3000[ms]이다.

최대 이탈 크기는 거의 개선되지 않았으나, 이탈 지속시간은 3000[ms]에서 2400[ms]로 짧아짐으로서 약 20[%]정도 개선되어, PI제어기 보다 신경망 자율적응제어기에서 외란 제거 능력이 우수함을 알 수 있다.

이와 같은 결과에 의해, 신경망 자율적응제어기는 운전과 더불어 이득이 자동으로 결정되므로서 발전기 전압제어에 유익하게 사용될 것으로 확신한다.

4. 결 론

사회의 발전에 따라 에너지 사용량은 계속적으로 증가하고 있다.

전기에너지를 발생시키는 발전기의 출력전압은 충전 및 송전 등을 위해 허용오차 범위내에 있는 것이 필요하다.

하지만 외부적인 변화 또는 외란등에 의해서 허용오차를 벗어날 수 있다.

본 논문에서는 직류 발전기의 전압제어에 신경망 자율적응제어기를 적용하였으며, 초기응답 및 외란 제거에 대한 응답특성에서 PI제어기 보다 우수함을 보였다.

이와 같은 결과에 의하여 제어기의 이득이 시스템 운전과 더불어 자율적으로 적응되어 결정되어 짐으로서 매개변수 결정에 전문가 지식, 그리고 많은 시간과 노력이 필요하는 PI제어기의 단점이 극복되었다.

따라서 제안된 제어기법은 발전기의 전압제어에 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

이 논문은 2009년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.

References

- [1] K. J. Astrom, Automatic tuning of PID controller, Sumit Technical Associates Inc. 1988.
- [2] Z. Y. Zhao, M. Tomizuka and S. Tsaka, "Fuzzy gain scheduling of PID controllers" IEEE Trans. syst. Vol. 23, No. 5, pp. 1393-1397, September/October, 1993.
- [3] K. J. Astrom, B.Wittenmark Adaptive control, Addison-Wesley publishing company, 1995.
- [4] N. Hovakimyan, F. Nardi, A. Calise, "Adaptive Output feedback control of Uncertain". IEEE Traans Neural Network, Vol. 13, No. 6, pp. 1420-1431. November 2002.
- [5] J. Q. Hong, F.L. Lewis, "Neural-Network Predictive Control for Nonlinear dynamic system with Time-Delay", IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 14, No. 2, pp. 377-389, March 2003.
- [6] K. J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski, and P. J. Gawthrop, "Neural Networks for control system-Asurvey", Automatic, Vol. 28, No. 6, pp. 1083-1112, 1992.
- [7] J. M. Zurada, Artificial Neural Systems, 1992 by West publishing company.
- [8] W. Jin, G. Wenzhong, G. Shusheng, "PID-lik controller using a modified neural network", Internation Journal of system, Vol.28, number 8, pp. 809-815, 1997.
- [9] Seong-Su Lee, Young-Wook Kim, Hun Oh, and Wal-Seo Park "Implementation of Self-adaptive System using the Algorithm of Neural Network Learning Gain", International Journal of Control, Automation, and systems, Vol. 6, No. 3, pp. 453-459, June 2008.

◆ 저자소개 ◆

박왈서 (朴曰緒)

1953년 5월 1일생. 1982년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 1985년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수.

오 훈 (吳勳)

1967년 9월 8일생. 1991년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 겸임교수.

유석주 (劉錫注)

1959년 1월 20일생. 1987년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 2002년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 원광대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학중. 현재 한국농촌공사 익산지사 근무.

라성훈 (羅成勳)

1984년 10월 30일생. 2007년 원광대학교 공대 전기전자공학부 졸업. 2008년 원광대학원 석사과정 재학중.