

신경회로망에 의한 SMES 표현과 안정도 해석

강형구*, 김성일*, 임재윤**, 김정훈*

* 홍익대학교 전기·제어공학과

** 충남전문대학교 전기공학과

Identification of SMES by ANN and Stability Analysis Included SMES

Kang, Hyoung-Goo* Kim, Sung-Il* Lim, Jae-Yoon** Kim, Jung-Hoon*

* Dept. of Electrical & Control Engineering, Hong-Ik University

** Dept. of Electrical Engineering, Chung-Nam Junior College

Abstract

An artificial neural network(ANN) modeling is presented using the input-output power characteristics of SMES. When using the ANN which functions as a model-free system, network construction and determination of learning parameters are carefully chosen to represent the complicated nonlinear input-output relation from the black-boxed SMES system. The proposed ANN-based SMES model is applied to analyse the power system stability and the simulation results provide the property of this approach.

1. 서론

초전도 에너지 저장장치(Superconducting Magnetic Energy Storage : SMES)는 저장 효율이 높고 대용량화가 가능하며, 아울러 유효, 무효전력 제어의 응답 속도가 빠른 특징을 갖고 있다. 이와 같은 특징을 갖고 있는 SMES는 부하의 평준화, 변동 부하에 대한 보상, 계통 안정화 등에 적용이 기대되고 있다[1-3]. 특히 SMES를 계통 안정화에 이용하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다. SMES의 안정화 효과를 파악하기 위해서는 SMES가 포함된 계통 안정도 해석이 필요하다. 안정도 해석을 위한 SMES 모델링은 일반적으로 수리적 모델이 사용되고 있다. 그러나 이와같은 SMES 동적 시스템의 수리적 모델은 계통의 안정도 해석시 수식의 복잡화, 많은 계산시간이 소요되고, 차수결정과 아울러 모델 결정에 의한 오차로 모델의 타당성도 문제가 된다[4].

본 논문에서는 동적 시스템의 비선형 성분을 식별(Identification)할 수 있는 신경 회로망(Artificial Neural Network : ANN)을 이용하고자 한다[5]. ANN을 이용하는 경우 아무리 복잡한 장치라도 입출력 자료만 확보하면 모델링이 가능하고, 수리적 모델과 달리 수식의 복잡하나 차수결정 및 결정모델에 의한 오차 등에 구애받지 않아 범용성을 갖고 있어, SMES 특성을 ANN으로 표현하고 안정도 해석에 이용 가능성과 타당성을 제시하고자 한다. 사례 연구 결과를 통해 ANN에 의한 SMES 표현과 안정도 해석시 유용성을 제시하였다.

2. ANN에 의한 SMES 표현

SMES 시스템을 간략히 표현하면 그림 1과 같이 SMES controller와 SMES 장치로 구성되어 있다. SMES controller는 계통의 변화(ΔP)에 따른 계통의 안정을 유지하기 위해 필

요한 유효전력(P_d)과 무효전력(Q_d)이 계산과 함께 SMES 장치의 운전 가능한 범위내에서 출력이 가능하도록 집호각 α 가 설정된다. 이 집호각 신호에 따라 SMES 장치는 유효전력과 무효전력을 계통으로부터 흡수 및 방출하게 된다. 기존의 SMES 모델은 변환기의 응답 특성을 감안하여 일반적으로 식(1)과 같이 1차 지연 요소가 포함된 전달함수(3)로 표현한다.

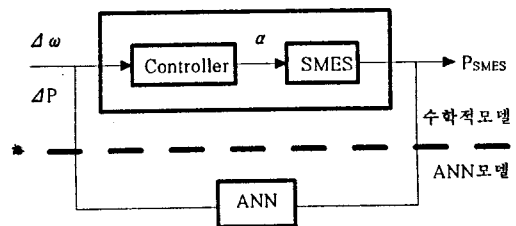


그림 1. SMES 시스템의 구조와 ANN에 의한 표현

$$P_{SMES} = \frac{k}{1+sT} \cdot \Delta P \quad (1)$$

그림1에서 SMES장치는 입력 신호 α 에 따른 응답 속도 특성은 매우 빠르며, 또한 SMES 장치의 용량이 무한하다고 가

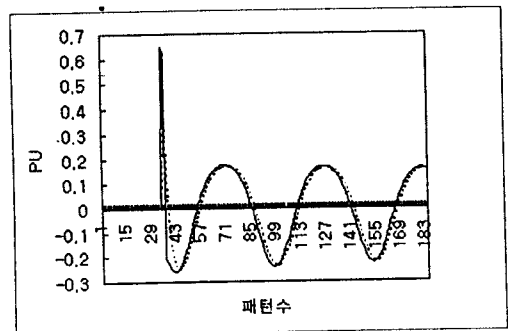


그림 2. 수리모델과 ANN 모델에 의한 P_{SMES}

정하면 SMES장치의 운전 영역을 고려할 필요가 없다. 이러한 경우 (1)식과 같이 계통의 변화분(ΔP)에 따라 SMES장치는 출력(P_{SMES})을 하게 된다. SMES 시스템의 ΔP 의 입력과 P_{SMES} 출력은 비선형관계를 갖고 있다. 이러한 비선형 관계 문제는 기존에 사용된 1차 지연 전달함수 형태의 수리모델과 다중형 신경회로망으로 표현할 수 있다. 1차 지연 전달함수 모델과 다중형 신경회로망으로 표현한 P_{SMES} 는 그림 2와 같다.

3. ANN에 의한 SMES 모델이 포함된 안정도 해석

일반적으로 SMES가 포함된 안정도 해석은 발전기의 운동 방정식과 계통 방정식 및 SMES 모델 방정식이 필요하다. 본 논문에서는 SMES 모델을 설명된 ANN으로 표현하였다. ANN은 학습을 위해서 SMES 시스템의 입력력 자료가 필요하다. 사용된 입력자료는 SMES가 제외된 계통의 안정도 해석으로부터 얻을 수 있고, 출력 자료는 제시된 (1)식을 이용하여 얻을 수 있다.

신경회로망에 의해 표현된 SMES가 포함된 안정도 해석의 과정은 그림 3과 같이 일반적인 기존의 안정도계산 과정과 학습된 ANN으로 구성되어 있다. 우선 주어진 계통의 조류계산을 통하여 정상상태를 파악하고 안정도 해석을 위해서 고장상정하여 조류계산을 하게 된다. 조류계산 결과로부터 계통상태 변화 분을 계산하고, 이 변화 분은 학습된 ANN의 입력이 되며 ANN의 출력은 계통의 안정을 유지하기 위하여 SMES 시스템이 흡수 및 방출해야할 전력이 된다. 이와 같이 흡수 및 방출해야할 전력은 운동방정식에 추가되어 안정도 해석을 처리하게 된다.

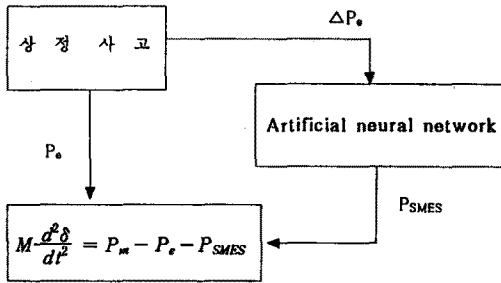


그림 3. SMES가 포함된 안정도 해석 과정

4. 사례연구

본 연구에서 제시한 ANN에 의한 SMES 표현의 가능성과 안정도 해석의 적용의 타당성을 입증하기 위하여 그림4와 같은 1기 무한대 모선 계통에 적용하였다.

1기 무한대 모선 계통의 기준 용량과 기준 전압은 2220 MVA, 24kV이고 정상상태의 전압은 각각 $E_A = 1.0 \angle 28.34^\circ$, $E_B = 0.90082 \angle 0^\circ$ 이다. 계통의 안정도를 고찰하기 위하여 계통의 모선에서 2회선 운전중 1회선 고장을 상정하였다. SMES의 안정도 효과를 알아보기 위해 발전기가 탈조되는 경우와 탈조되지 않는 경우를 상정하여 고장 지속 시간을 각각 0.09초, 0.04초로 하였다. 또한 각 경우에 SMES가 투입된 경우와 투입되지 않는 경우를 고찰하였다. ANN의 구조는 입력층, 중간층, 출력층으로 나누었고 각각의 뉴런 수를 4, 4, 1개로 하였다. 학습은 BP알고리즘을 사용하였다. 학습을 위한 입력력 패턴

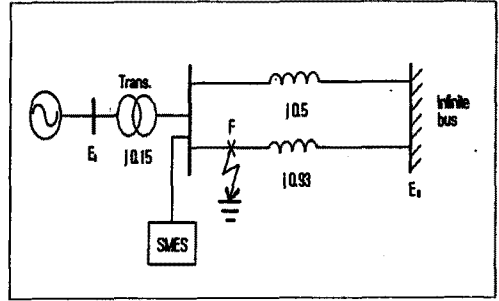
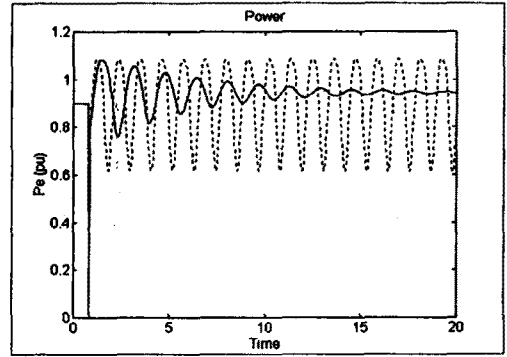


그림 4. SMES가 포함된 1기 무한대 모선 계통

은 고장의 시간적 추이를 고려하여 입력패턴은 $\Delta P(t-3)$, $\Delta P(t-2)$, $\Delta P(t-1)$, $\Delta P(t)$ 와 출력패턴은 $P_{SMES}(t)$ 방식으로 구성하였다. 3장에서 안정도 해석과정에 따라 시뮬레이션 결과는 다음 그림과 같다.



— SMES 투입된 경우 SMES 투입 안된 경우

그림 5. 발전기가 탈조되지 않는 경우의 발전기 출력

그림 5는 발전기가 탈조되지 않는 상정사고에 대하여 SMES가 투입되지 않는 경우는 발전기의 출력이 크게 중요하고 있으나 투입된 경우는 시간의 경과에 따라 수렴됨을 알 수 있다.

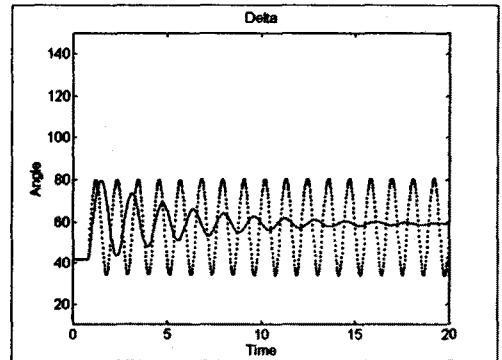


그림 6. 발전기가 탈조되지 않는 경우의 발전기 위상각

그림 6은 그림 5와 같은 계통의 고장시 발전기가 탈조되지 않는 경우에 SMES가 투입된 경우와 투입되지 않는 경우에 발전

기의 위상각을 보여 주고 있다. SMES가 투입된 경우 위상각의 동요가 시간이 지날수록 효과적으로 감소하여 새로운 운전점에 수렴됨을 알 수 있다.

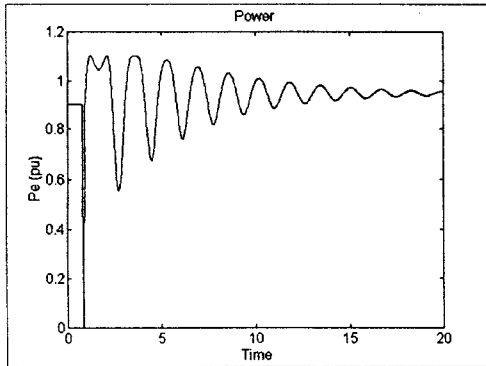


그림 7. 발전기가 탈조되는 경우 SMES 투입시 발전기 출력

그림 7은 발전기가 탈조되는 경우에 SMES가 투입된 경우 발전기의 출력을 보여 주고 있다. 이 경우에도 발전기 출력의 동요를 효과적으로 억제하여 수렴됨을 알 수 있다.

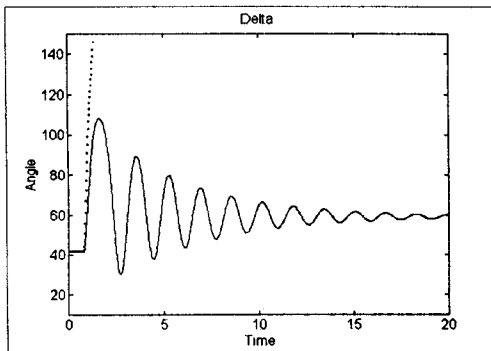


그림 8. 발전기가 탈조되는 경우 발전기의 위상각

그림 8은 그림 7과 같은 계통의 고장시 발전기가 탈조되는 경우에 SMES가 투입된 경우와 투입되지 않은 경우에 발전기의 출력각을 보여 주고 있다. 이 경우에도 SMES의 동요억제 효과로 위상각을 새로운 운전점으로 수렴시킴을 알 수 있다.

각각의 그림을 통해서 알 수 있듯이 SMES가 투입된 경우가 투입되지 않은 경우보다 계통안정화 효과가 크다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서 ANN에 의한 SMES 표현과 이를 안정도 해석에 적용하였다. SMES를 1차지연요소의 전달함수로 표현한 수리모델을 ANN 모델을 사용한 사례연구를 통하여 ANN에 의한 SMES의 표현이 가능하고 이를 안정도 해석에 적용시 유용성을 입증하였다. 따라서 1차지연요소 이상의 복잡한 수리 모델에서도 ANN모델의 효과가 기대되며, 아울러 대기 계통에 적용할 경우 연구의 기대 효과가 더욱 증대될 것이다.

● 참고 문헌

1. Hidek Fujita, Masuo Goto, Yukio Kito, 'Improvement of Dynamic Stability in a Multi-Machine Power System by Means of SMES with Active Power Modulation Controlled by Frequency Deviation', T.IEE Japan, Vol.114-B, No.2, pp137-144, 1994
2. Kazuhiko Ogimoto, 'A Study of Damping of Power Oscillations by Super-Conducting Magnetic Energy Storage Unit', T.IEE Japan, Vol.113-B, No.6, pp665-673, 1993
3. Y. Mitani, K. Tsuji, Y. Murakami, 'Application of Superconducting Magnet Energy Storage to Improve Power System Dynamic Performance', IEEE Transaction, Vol.3, No.4, pp1418-1425, 1988
4. P. Kundur, 'Power System Stability and Control', McGraw-Hill, 1994
5. Li-Xin Wang, 'Adaptive Fuzzy Systems and Control - Design and Stability Analysis', Prentice-Hall, 1994