

신경회로망에 의한 변압기의 여자돌입과 내부고장 판별에 관한 연구

박철원^{}, 조필훈^{*}, 신명철^{*}, 윤석무^{**}

* 성균관대학교 전기공학과 ** 충남전문대학 제어계측과

A Study on the Discriminate between Magnetizing Inrush and Internal Faults of Power Transformer by Artificial Neural Network

Chul-Won Park^{}, Phil-Hun Cho^{*}, Myong-Chul Shin^{*}, Sung-Moo Yoon^{**}

* Dept. of Electrical Eng. Sung Kyun Kwan Univ.

** Dept. of Control and Instrumentation Eng. Chungnam Junior College

Abstract

This paper presents discriminate between magnetizing inrush and internal faults of power transformer by artificial neural networks trained with preprocessing of fault discriminant. The proposed neural networks contain multi-layer perceptron using back-propagation learning algorithm with logistic sigmoid activation function. For this training and test, we used the relaying signals obtained from the EMTP simulation of model power system. It is shown that the proposed transformer protection system by neural networks never misoperated.

1. 서 론

전력용 변압기는 전력계통의 접속점에 설치되는 중요한 기기로서 고장 발생시에 고속차단하여 계통의 안정을 도모하며 이에 따른 경제적인 손실을 방지하여야 하기 위한 보호계장치가 필요하다. 변압기의 전기적인 보호장치중에서 차동계전기법은 대용량 변압기의 전선보호를 위한 일반적인 방식으로서 외부고장 및 여자돌입(magnetizing inrush)시의 트립억제와 내부고장시의 고속 트립동작을 하여야 한다. 이 선택성(selectivity)을 달성하기 위하여 보호장치내의 지연회로 이용법과 제2고조파를 이용하여 여자돌입전류를 감지하는 방법 등이 제시되었는데 주로 신속한 디지털 필터를 설계하여 차동전류의 기본주파수성분과 고조파성분을 추출한 후에 이에 근거한 고장판별이 연구되었다. 또한 변류기의 특성차, 변압기결선에 의한 위상차, 변압기팀의 번동 등에 의한 오동작 방지책이 고려된 비율차동계전기법(percentage differential relaying scheme)이 사용되었다.[1]~[4]

그런데 종래의 디지털 보호계전기법은 피보호설비의 다양한 변화에 적응성(adaptiveness)이 빈약한 폰노이만식의 순차적인 기법(sequential techniques)이기 때문에 최근 신경계통구조를 모방한 학습기능에 의하여 많은 장점을 갖는 신경회로망을 이용하여 전력계통의 보호문제를 해결하려는 문제가 제기되어, 연구사례가 발표되고 있다.[5]~[9]

본 연구에서는 변압기의 여자돌입과 내부고장 판별을 위하여 기본파성분과 제2고조파성분을 추출하기 위하여 신속

한 필터인 MDCCF(modified cross-correlation filter)를 이용하였으며 최적의 특징추출(feature extraction)된 자료로 판단되는 평균치에 의한 고장판별식에 의하여 처리한 후에 Ruinelhert 등의 다층퍼셉트론(multi-layer perceptron)에 역전파 학습 알고리즘[10]을 적용한 신경회로망에 의한 변압기의 보호계전기법을 제시하였다. 이에 필요한 자료의 수집과 제시된 기법에 대한 검증을 위하여 전자과도 해석 프로그램인 EMTP 시뮬레이션 결과 출력데이터를 활용하였다.

2. 계전 알고리즘

2-1. 기본파 및 제2고조파 추출 필터

연속시변파형을 기준신호와 상호상관에 의하여 원하는 주파수성분을 추출하는데 MDCCF가 사용되었으며 이는 기본파 추출시에 단지 4회 이진이동(binary shift)연산/4회 가산/6회 감산이 요구되며 곱셈연산이 필요하지 않는 간소화된 필터이다. 1주기에 대하여 주기당 12샘플링한 경우 이산형태로 표현하면 식 (1)과 같이 되고 1번짜 샘플링의 경우는 각 거의 샘플치를 이용한다.

$$\begin{aligned} F_c^1(k) &= \frac{2}{12} [I_{dk}-I_{dk-6}+0.875(I_{dk-11}-I_{dk-7}-I_{dk-5}+I_{dk-1}) \\ &\quad +0.5(I_{dk-10}-I_{dk-8}-I_{dk-4}+I_{dk-2})] \\ F_s^1(k) &= \frac{2}{12} [I_{dk-9}-I_{dk-3}+0.875(I_{dk-10}+I_{dk-8}-I_{dk-4}-I_{dk-2}) \\ &\quad +0.5(I_{dk-11}+I_{dk-7}-I_{dk-5}-I_{dk-1})] \\ F_c^2(k) &= \frac{2}{12} [I_{dk}+I_{dk-6}-I_{dk-9}-I_{dk-3}]+0.5(I_{dk-11}-I_{dk-10} \\ &\quad -I_{dk-8}+I_{dk-7}+I_{dk-5}-I_{dk-4}-I_{dk-2}+I_{dk-1}) \\ F_s^2(k) &= \frac{2}{12} [0.875(I_{dk-11}+I_{dk-10}-I_{dk-8}-I_{dk-7}) \\ &\quad +I_{dk-5}+I_{dk-4}-I_{dk-2}-I_{dk-1})] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, F_c^2 : 차동전류의 제2고조파 실수부이고,

F_s^2 : 차동전류의 제2고조파 헤수부이고,

F_c^1 : 차동전류의 기본파 실수부이고,

F_s^1 : 차동전류의 기본파 헤수부이다.

2-2. 고장판별

여자돌입과 내부고장을 완별하기 위하여 일반적으로 식(2)와 같이 실효치에 의한 고장만별 K_1 과 반주기의 평균치를 이용하는 고장만별 K_2 가 사용된다.

$$K_1 = \frac{(F_c^2)^2 + (F_s^2)^2}{(F_c^1)^2 + (F_s^1)^2} \quad (2)$$

$$K_3 = \frac{|F_{dkl}^2|, |F_{dk-1}^2|, \dots, |F_{dk-5}^2| \text{ 의 평균치}}{|F_{dkl}^1|, |F_{dk-1}^1|, \dots, |F_{dk-5}^1| \text{ 의 평균치}}$$

본 연구에서는 요구되는 계산량 비교와 적응결과 수렴성에 근거하여 K_3 를 선택하였으며, 이에 요구되는 임계치(threshold value)는 0.35으로 선정하였다.

3. 변압기 보호를 위한 신경회로망

신경회로망을 이용한 변압기 여자들입니다. 내부고장 판별의 흐름도는 그림 1과 같으며 학습모드와 동작모드로 구성하였다. 여자들입니다. 내부고장 판별을 위하여 이진출력값이 요구되며 학습용 입력 패턴행렬(training matrix)은 24×1 로서 이동 윈도우 방식(moving widow)에 의한 차동전류로 부터 추출된 F_c^1, F_c^2 에 의하여 연산된 K_i 로서 전처리를 대신하였다. 학습용 입력패턴 24상 중에서 첫번째 12상은 A상 기준 전압사고각 60°에서 발생한: 저抵抗 장시 1주기 샘플된 데이터에 의한 것으로 목표 출력은 1로, 나머지 12상은 여자들입니다. 시를 고려하여 0인 목표 출력이 되도록 할당하였다. 일단 훈련행렬이 정의되면 지도학습의 일종인 역전파 학습규칙 중에서 일반화 델타 규칙(generalized delta rule)이 적용된다. 뉴런의 활성함수는 비선형인 로그 시그모이드함수가 사용되었으며, 뉴런의 출력은 활성함수의 출력과 동일하다. 또한 신경회로망 중간층의 뉴런갯수, 학습률 및 관성항을 가변하면서 변압기 보호용에 적합한 최적의 신경회로망을 구성하였다.

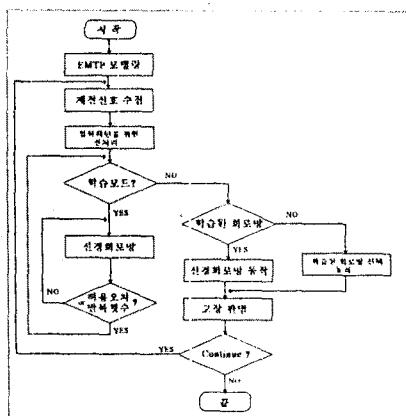


그림 1 제시된 신경회로망에 의한 변압기 보호시스템

Fig. 1 Proposed power transformer protection system by neural networks

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

4-1. 모델 전력계통

제시된 변압기 보호용 신경회로망의 성능을 평가하기 위하여 그림 2의 모델계통에 대하여 EMTTP 시뮬레이션을 수행한 후에 그 출력데이터를 이용하였다. 학습용 입력패턴을 위한 계전신호는 샘플링 주파수가 720Hz(12ms/c)가 되도록 하였으며 발전기 전원은 20kV, 용량은 5000MVA, 과도리액턴스는 25(%), 변압기는 포화특성이 고려되어 용량이 10000MVA인 20/50kV Δ -Y 승압변압기, 고압단의 부하는 10k Ω + 10i pF 으로 설정하였다.

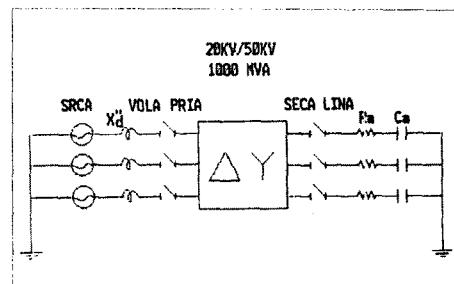


그림 2 모델계통의 단선도

Fig. 2 One line diagram of model system

그림 3은 1차축에서 가압시점이 8상 전압기준 0° 일 경우 모의된 3상 여자들입전류인데 가압시점에 따라서 각상의 크기 및 형태가 삼이함을 알 수 있다.

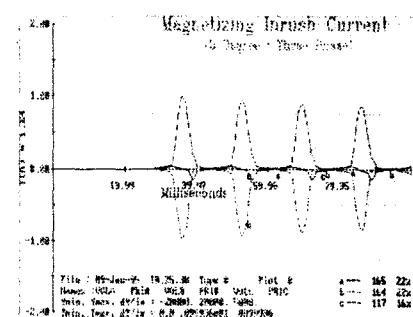


그림 3 여자돌입전류

Fig. 3 Magnetizing inrush current signal

또한 전압의 고장발생각을 A상 기준 0° , 30° , 60° , 90° 로 가변하면서 내부고장을 모의하였는데 그림 4는 0° 에서의 1주기이후인 16.67ms($\times 1$)시점인 12샘플링에서 A상 저리고장을 발생시켰을 경우의 대지로의 고장신호이다. 고장발생후 지락전류는 상승하였으며 시간에 따라서 지수함수적으로 감소되었으며 위상이 보정된 1.2차축의 전류로부터 차동전류가 계산된다.

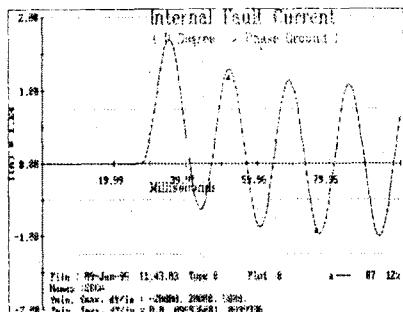


그림 4 내부고장전류

Fig. 4 Internal fault current signal

그림 5는 필터를 통과한 후 연산된 고장판별 K_3 로서 내부고장과 여자들입전류가 수렴여부에서 확실히 구별되며 가압 이후 약 1주기정도에 수렴됨을 알 수 있다. 이는 구성된 신경회로망의 훈련용 입력패턴으로 사용되었다.

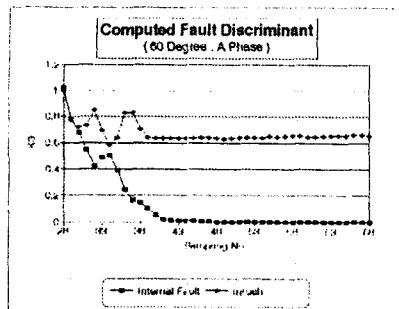


그림 5 연산된 고장판별

Fig. 5 Computed fault discriminant

4-2. 최적 신경망 구성

중간층은 1층으로 고정하여 뉴런수를 2, 4, 6, 8, 10으로 가변하면서 학습한 결과 뉴런수가 8일때가 수렴오차이내에 빠르게 수렴됨을 알 수 있었으며 그림 6은 이에 관한 오차곡선으로서 편이상 가로축은 학습횟수가 30으로 제한하여 표시하였다. 학습률과 관성항에 대하여 영향을 고려한 결과 학습률은 0.9, 관성항은 0.8일때가 최적이었다.

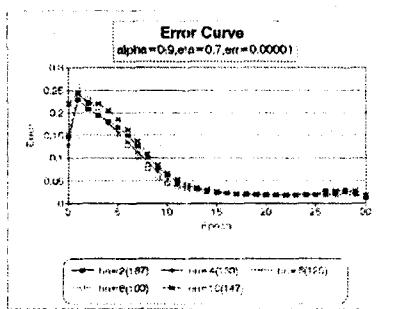


그림 6 중간층 뉴런수에 따른 오차곡선

Fig. 6 Error curve due to hidden neuron number

4-3. 결과 및 고찰

구성된 신경회로망은 Recall을 이용하여 확인한 후에 전압위상각에 따른 다양한 경우의 시뮬레이션 고장판별을 이용하여 여자들입과 내부고장 판별여부를 검증하였다. 그림 7은 A상 전압이 0° 인 경우 여자들입시의 신경회로망의 출력으로서 고장이 발생한 후 반주기정도이내 고장트립이 억제됨을 알 수 있다. 그림 8은 내부고장시의 전압사고각에 따른 신경회로망의 출력으로서 고장발생후 4~6 샘플링후에 고장이 검출되어 트립신호가 발생됨을 알 수 있었다.

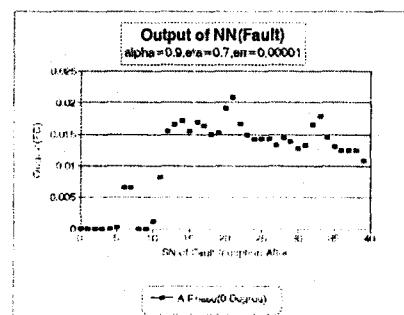


그림 7 여자들입시의 신경회로망 출력

Fig. 7 Output of neural network at inrush condition

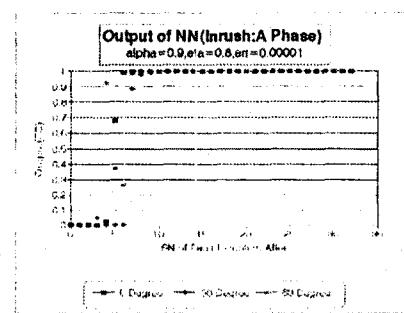


그림 8 내부고장시의 신경회로망 출력

Fig. 8 Output of neural network at internal fault

5. 결 론

본 논문은 전력용 변압기의 권선보호를 위하여 3층 퍼셉트론 구조를 지니는 신경회로망에 의한 여자들입과 내부고장 판별을 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ①. 학습용 자료의 생성을 위하여 요구되는 주파수성분을 추출시 신속한 MDCCDF를 사용하였으며 반주기 평균치에 의한 K_3 고장판별이 특징추출로 적정함을 확인하였다.
- ②. 중간층의 뉴런수, 관성항, 학습률을 가변시키면서 최적의 신경회로망을 구성하였으며 시험을 통하여 내부고장발생후 반주기정도에 트립신호가 발생되고 여자들입시에는 트립이 억제되어 오동작 하지 않았다.

- ③ 학습되지 않은 전압발생각이 상이한 고장에 대한 자료에 대해서 장인하여 신뢰성 있는 고장판별이 가능하였다.

향후 전처리과정을 줄이는 방향으로 연구가 지속되어야 할 것이며 과여자시의 트립억제에 대하여도 고려되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Stanley H. Horowitz and A.G. Phadke, "Power System Relaying", RSP., 1992.
- [2] Michel Habib, Miguel A.Marin, "A Comparative analysis of Digital Relaying Algorithm, for the Differential Protection of Three Phase Transformers", IEEE Trans. on PS., Vol.3, No.3, pp.1378~1384, 1988.
- [3] Y.V.V.S Murty, M.A. Rahman, "A Stand-Alone Digital Protective Relay for Power Transformers", IEEE Trans. on PD., Vol.6, No.1, pp.85~95, Jan. 1991.
- [4] Girish Chandra Kakoti, "Digital Algorithms and Relaying Schemes for Protection of Power systems", PhD. thesis, July 1988.
- [5] M.C. Shin, C.H. Kim, B.K. Lee, K.B. Kweon, "A Study on the Fault Detection in Transmission Line using Artificial Neural Networks", Trans. KIEE, Vol.42, No.11, pp.67~76, 1993.
- [6] Ebron, S., Lubkeman, D. and White, M. "A Neural Network Approach to Detection of Incipient Faults on Power Distribution Feeders.", IEEE Trans. on PD., Vol. 5, No. 2, pp.905~914 April 1990.
- [7] N. Kandil et al., "Fault Identification in an AC-DC Transmission System Using Neural Networks", IEEE Trans. on PS., Vol. 7, No. 2, pp.812~819, May 1992.
- [8] 신명철, 박철원, 이복구, 김수경, "발전기의 내부고장 판별을 위한 신경회로망의 학습", 대한전기학회 전력계통연구회 춘계발표회, pp.82~86, May 1995.
- [9] A.F. Sultan et al., "Detection of High Impedance Arcing Faults using a Multi-layer Perceptron", IEEE Trans. on PD., Vol. 7, No. 4, pp.1871~1877, Oct. 1992.
- [10] Yoh-Han Pao, "Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks", Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989.