

## 고조파 성분을 이용한 고저항 지락 사고 검출 기법에 관한 연구

유 창완, 심재철, 임희영  
광운 대학교 제어계측 공학과

### A Study on High Impedance Fault Detection Method Using Harmonic Components

Ryu chang-wan, Shim jae-chul, Yim hwa-yeong  
Dept. of Control & Inst. Eng. Kwangwoon Univ.

**Abstract** - A high impedance fault on the multi-grounded three-phase four-wire distribution system can not be detected by conventional overcurrent sensing devices. In this paper, the neural network is used to detect high impedance faults. The proposed algorithm using back-propagation neural network is demonstrated by simulation with the staged fault test data. The harmonic components of current and the phase of voltage are used as the inputs of neural network. Results of the simulation can be used as a reference for the development of a high impedance fault detector.

### 2. 본 론

#### 2.1 역전파 신경 회로망

신경 회로망은 수식이 복잡하고 예측이 어려운 비선형적인 문제를 해결하기 위한 효과적인 수단으로 입력과 출력만을 가지고 주어진 입력에 대해 원하는 출력이 나오도록 신경 회로망의 각 층사이의 연결강도들을 구해서 시스템을 구현할 수 있다. 신경 회로망의 학습은 입력에 대해 원하는 출력이 나오도록 입출력 단자간의 연결강도를 조정해 가는 과정인데 이 학습 시간이 많이 소요되지만 학습이 끝나면 이를 실시간으로 적용이 가능하다. 특히 역전파(Back-propagation) 신경 회로망은 가장 널리 사용되는 학습법으로써 성능 면에서 볼 때 학습 모형 중 기술이 가장 발달된 신경 회로망중의 하나로써 <그림 1>과 같이 입력층(input layer)과 출력층(output layer) 사이에 은닉층으로 두어 다층 구조를 가지므로써 학습 시켜야 할 모든 패턴들에 대하여 실제 출력과의 오차(e)를 최소화 할 수 있다. 신경 회로망의 입력에 대한 출력은 다음과 같이 구할 수 있다.

### 1. 서 론

배전 계통에서의 고저항 지락 사고(high impedance fault: HIF)는 그 사고 전류의 크기가 매우 작기 때문에 기존의 사고전류의 크기로 사고를 검출하여 계통을 보호하는 방식으로는 사고가 검출이 되지 않아 계통을 운용하는데 많은 어려움이 있다. 현재 이러한 고저항 지락 사고의 검출을 위해 많은 연구가 진행되고 있는데 높은 고조파 성분의 크기를 이용하는 방법[1], 3조파 성분의 크기와 위상각을 이용하는 방법[2], 정상분 전류와 중성선 전류의 비를 이용하는 방법[3] 등이 주를 이루고 있으며 최근에는 지식기반[4], 및 신경 회로망을 이용한 검출 방법[5] 등이 연구되고 있다.

본 논문에서는 사고 전류의 주파수 분포가 전압의 위상각에 따라 다르게 나타나는 성질을 이용하여 한 주기내의 고조파 성분의 크기와 전압의 위상각을 신경 회로망의 입력층으로 입력하여 사고를 검출할 수 있도록 하였다. 신경 회로망의 학습 방법으로는 역전파 학습법을 이용하여 한국전력공사의 실측한 데이터로부터 사고 전류 파형과 정상부하시 전류의 특성을 얻어 신경 회로망을 학습시켰으며 그 검출성능을 평가하였다.

$$y_{jp} = \Psi(u_{jp}) = \tanh(r_j u_{jp}) = \frac{1 - e^{-2r_j u_{jp}}}{1 + e^{-2r_j u_{jp}}} \dots\dots(1)$$

$$u_{jp} = \sum_{i=1}^d w_{ji} x_{ip} + \theta_j, \quad r_j > 0 \quad \dots\dots(2)$$

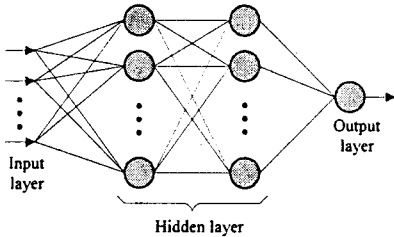
여기서 p는 학습 패턴의 수, j는 신경 회로망의 층(layer) 수, d는 뉴런의 목표치, y는 신경 회로망의 출력값,  $\Psi$ 는 활성화 함수, r는 활성화 함수의 기울기,  $\theta$ 는 수렴 속도를 개선하기 위한 바이어스(bias), w는 각 신경회로망의 연결강도, x는 신경 회로망의 입력 값이다. <그림 2>와 같이 역전파 알고리즘의 수행 단계는 1)먼저, 연결강도(w)를 작은 임의의 값으로 초기화한다. 너무 값이 큰 경우는 출발점에서 가까운 지역 최소점에 수렴할 수 있으므로 일반적으로 -0.5에서 0.5사이의 값으로 잡는다. 2)입출력 패턴을 결정하고 현재의 연결강도를 이용해서 출력(y)을 계산한 다음, 3)목표 출력과 출력의 차이(e)를 이용해서 아래층까지 오차의 제곱

의 합(E)이 최소가 되도록 수식(4)을 이용해  $\Delta w$ 를 구해서 연결강도를 보정하고 다시 입력을 넣어 오차가 어느 범위 안에 만족할 때까지 단계 2),3)를 반복한다.

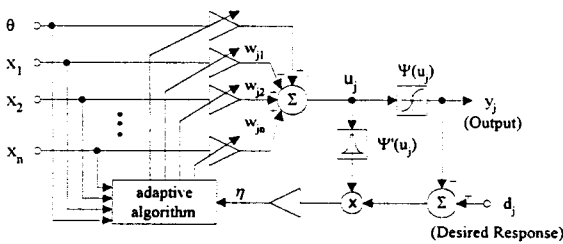
$$E = \sum_p E_p = \frac{1}{2} \sum_p \sum_j (d_{jp} - y_{jp})^2 = \frac{1}{2} \sum_p \sum_j e_j^2 \quad \dots(3)$$

$$\Delta w_{ji} = -\eta_j \delta_j x_i \quad \dots(4)$$

$$\delta_j = e_j \Psi'(u_j) = e_j x_j (1 - y_j^2) \quad \dots(5)$$



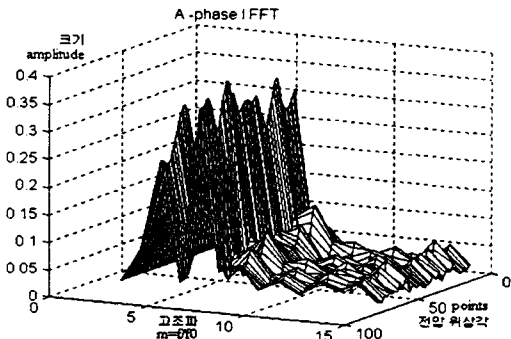
<그림 1> 역전파 신경회로망의 구조



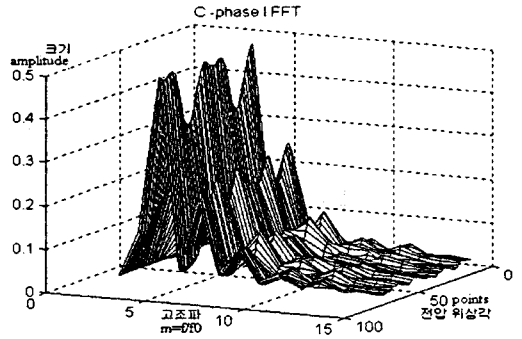
<그림 2> 역전파 신경회로망의 학습 방법

## 2. 2 고저항 지락사고의 신경회로망 적용

고저항 지락 사고시의 사고 전류와 정상 부하 전류의 다른 특성을 찾기 위해 본 논문에서는 저류 파형의 한 주기 내에서 고주파의 분포를 전압의 위상과 함께 분석해 보았다. <그림3>과 <그림4>에서 살펴보면 한 주기 내에서 전압의 위상각에 따라 주파수 분포가 다르게 나타난다. x축의 m은 기본 주파수 60Hz에 대한 고조파이며, y축의 point는 1 부터 64 까지 전압의 위상각  $0^\circ$  에서  $360^\circ$  까지 나타내며 z축은 각 고조파 성분의 크기를 나타낸다.



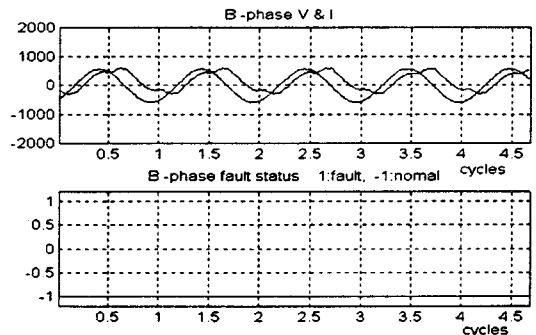
<그림 3> 정상 전류의 전압 위상별 고주파 분포



<그림 4> 고장 전류의 전압 위상별 고주파 분포

한 주기 내의 64개의 데이터를 FFT하여 18조파까지의 각 고조파 성분의 크기와 전압의 위상각을 신경회로망의 입력으로 사용하였다.

신경회로망의 층수는 은닉층 2개 출력층 1개로 3개의 층으로 구성하였다. 2개의 은닉층의 뉴런의 수는 각각 20개로 설정 했으며 출력의 뉴런수는 1개로 구성하여 활성화 함수에 의해 고저항 지락 사고의 전류 패턴에 대해서는 +1의 출력을, 정상 전류 파형의 패턴에 대해서는 -1의 출력이 나오도록 학습시켜 신경회로망의 연결강도를 결정하였다. 본 연구에 사용된 데이터는 1986년 정주 변전소 관할 정음 D/L에서 인공 지락사고 실험시 측정된 데이터로써, 보도블럭 지락 사고시의 전류파형 3cycle, 자갈 지락 사고시의 전류 3cycle, 자갈 모래 지락 사고시의 3cycle씩을 취하여 이로부터 사고 전류의 패턴으로 사용하였으며 정상 전류파의 9cycle의 데이터를 정상 전류 패턴으로 사용하였다. 출력 오차가 0.02가 될때까지 학습시켰으며, 학습에 의해 구해진 신경회로망에 대해 정상전류와 보도블럭, 모래, 자갈모래, 아스팔트에 지락사고 시험시 실측된 데이터를 입력해 각종 지락 사고들에 대한 사고 검출 성능을 평가 하였다.



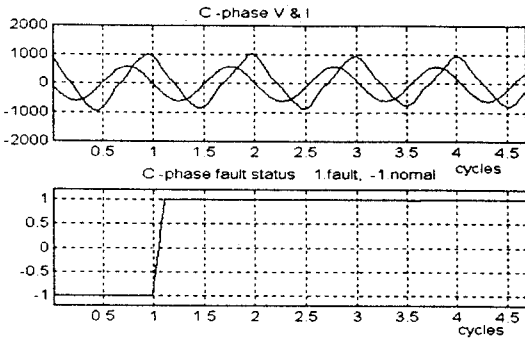
<그림 5> 정상부하의 전압, 전류파형 및 사고 판단 출력

### 3. 결 론

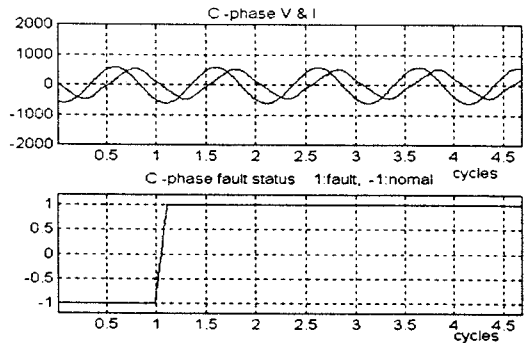
고저항 지락 사고시 실측한 데이터로부터 전압의 위상각에 따른 사고전류의 고주파 분포 패턴을 역전과 신경회로망에 입력하여 이를 사고 과형으로 학습시켜 신경 회로망의 연결 강도들을 결정한 후 여러 가지 형태의 전압 전류 과형들에 대해 적용해 보았을 때 보도블럭, 자갈, 자갈모래 등의 지락 사고 과형에 대해서 좋은 검출 성능을 얻을 수 있었다. 아스팔트 지락 사고에 대해서는 검출하지 못했지만 사고 과형의 패턴 형태가 어느 정도는 포함되어 있어서 사고 판단 출력이 흔들리는 것을 알 수 있다. 아스팔트 사고시 사고전류가 자갈 모래 지락 사고시의 전류보다 크기가 작아서 정확히 검출하지 못했다. 앞으로 아스팔트 지락사고나 또는 다른 형태의 여러 가지 지락사고 과형에 대해서도 본 논문에서 제시한 신경 회로망 입력 패턴을 추출하여 학습시키면 더욱 좋은 검출 성능을 갖는 시스템을 설계 할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

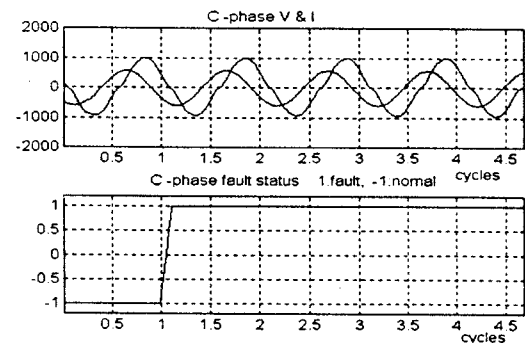
- [1] B. Mike Aucoin and B. Don Russell, "Distribution High Impedance Fault Detection Utilizing High Frequency Current Components", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No.6, pp.1596-1606, Jun. 1982
- [2] "High Impedance Fault Detection Using Third Harmonic Current", Electric Power Research Institute Report EL-2430, Prepared by Hughes Aircraft Co., Jun. 1982
- [3] C.L. Huand, H.Y. Chu and M.T. Chen, "Algorithm Comparison For High Impedance Fault Detection Based on Staged Fault Test", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3 No.4, Oct. 1988
- [4] B. Don Russell and R.P. Chinchali, "A Digital Signal Processing Algorithm for Detecting Arcing Faults on Power Distribution Feeders", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4 No.1, Jan. 1989
- [5] S. Ebron, D.L. Lubkeman and M. White, "A Neural Network Approach to the Detection of Incipient Faults on Power Distribution Feeders", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5 No.2, pp.905-914, Apr. 1990
- [6] "다중접지 배전선로 보호계전방식 개선에 관한 연구", 한국전력공사 기술연구원, 1987



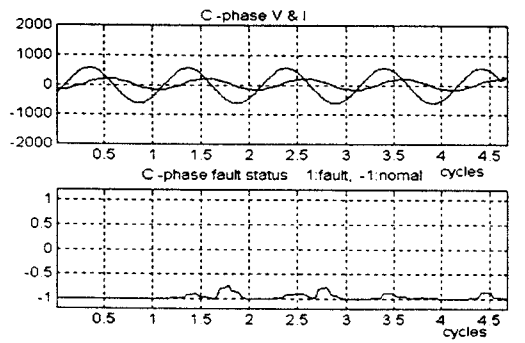
<그림 6> 보도블럭 지락시 전압,전류과형 및 사고판단 출력



<그림 7> 자갈모래 지락시 전류과형 및 사고판단 출력



<그림 8> 자갈 지락시 전압,전류과형 및 사고판단 출력



<그림 9> 아스팔트 지락시 전류과형 및 사고판단출력