

거리계전기법을 위한 신경회로망 고장패턴 추정기

정호성* · 전병준* · 신명철* 이복구** · 윤석무** 박철원***
 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부* 충남전문대학 제어계측과** 국립원주전문대학 전기과***

Neural Network Fault Patterns Estimator for the Digital Distance Relaying Technique

H.S.Jung*, B.J.Jeon*, M.C.Shin* B.G.Lee**, S.M.Yun** C.W.Park***
 S.K.K.Univ.* Chungnam College** Wonju Nat'l College***

Abstract - This paper presents the Fault Pattern Estimator(FPE) using the neural network for the protection of the T/L. The proposed FPE has two neural network parts of the fault-types classification and the fault-location estimation. It can detect the fault signals more quickly and accurately. To prove the performance of the FPE, we have tested using a relaying signals obtained from the EMTF simulations.

1. 서 론

전력시스템이 대용량화·고압화에 따라 송전계통사고는 계통전반에 엄청난 파급효과를 미쳐 안정적인 전력공급에 커다란 장애가 되고 있다. 그러므로 계통의 상황변화에 따라 신속하게 대처하여 파급효과를 최소화하고 그 원인을 제거해야 할 필요가 있다. 이를 위해 사고검출의 다양화와 신속화, 자동점검 등이 필수적인 디지털보호계전방식에 대한 요구가 증대되고 있다[1]. 최근에는 인공지능기법인 신경회로망과 퍼지논리 등을 도입 적용함으로써 동작속도를 개선하거나 사고판단이 어려운 사고를 가능하게 하는 등 제한된 보호기능을 보완하거나 최대화하려는 연구가 수행되고 있다[2~6].

특히, 송전계통에서는 고장거리, 고장발생각, 고장발생시에 접촉되는 대지저항의 크기 등의 여러 요인에 따라 고장이 다양한 형태로 나타나고 있고, 임피던스 계측의 수렴정도에 따라 고장유무를 판별하는 거리계전기법에서도 고장유형판별과 고장점 추정 시에 복잡한 계산과정과 노이즈 등에 의해서 사지연과 오동작 문제가 발생하고 있다.

본 논문에서는 고도의 병렬처리, 적용학습, 결합극복능력, 그리고, 패턴분류능력의 장점이 있는 신경회로망[7]을 이용하여 송전선로의 고장유형판별[8]과 고장점을 추정할 수 있는 고장패턴추정기를 구현하였다. 제안한 고장패턴 추정기의 입력으로는 전처리 과정을 걸친 전압과 전류의 기본파 성분의 크기를 이용하였다. 한편 제시한 고장패턴 추정기의 성능을 시험 및 검증하기 위하여 EMTF 시뮬레이션에 의한 모의 데이터를 활용하였다.

2. 신경회로망을 이용한 고장패턴 추정기 구현

송전선로의 고장유형판별과 고장발생지점을 파악하기 위한 고장패턴 추정기는 전처리과정을 걸친 전압과 전류의 기본파 성분을 입력으로 사용하며 고장유형 판별을 위한 신경회로망과 그리고 각 고장유형에 따른 고장점 추정을 위한 신경회로망으로 구성되어진다. 그림 1은 신경회로망을 이용한 고장패턴 추정기의 송전선로의 고장유형 판별과 고장점 추정에 대한 흐름도이다.

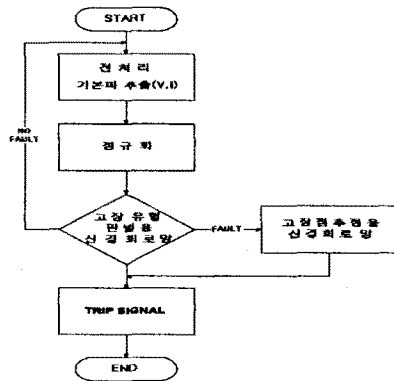


그림 1 신경회로망 고장패턴 추정기

2.1 전처리과정

패턴분류를 위한 신경회로망에서는 특징추출을 위해서는 전처리과정이 필요하다. 본 연구에서는 EMTF로부터 수집한 전압과 전류의 순시치 신호를 2차 체비세프 저역통과필터를 이용해서 고장 시에 나타나는 고조파를 제거한 후에 A/D컨버터를 통해 한 주기당 16샘플링하여 데이터를 취득하였다. 고장 시에는 전류신호에서는 지수함수적으로 감소하는 직류성분이 존재하기 때문에 직류오프셋(dc-offset)제거 필터[9]를 이용해서 직류오프셋성분을 제거하였다. 다음에는 고조파와 직류성분이 제거된 과도파형을 DFT필터를 이용해 전압과 전류의 기본파 성분을 추출하였다.

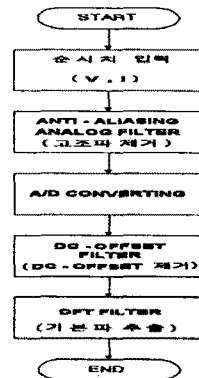


그림 2 전처리 과정

2.2 고장유형 판별용 신경회로망

고장유형 판별은 각상에서 추출된 전류신호만으로도 충분히 그 특징을 판별할 수 있기 때문에 전류의 기본과 성분만을 이용하여 신경회로망을 구성하였다. 제안된 고장패턴 추정기는 다층퍼셉트론 구조로서 오류역전파 알고리즘을 활용했으며, 활성화함수는 기울기가 1/2인 시그모이드 함수를 사용하였다. 학습속도를 향상시키기 위해서 학습률과 모멘텀, 그리고 바이어스를 이용하였다. 입력으로는 a, b, c, n상에서 1/4주기(4샘플)의 데이터들 즉, 16개의 뉴런을 가진 입력으로 그리고, 한 유형당 16개씩의 입력패턴을 이동(moving) 윈도우방식으로 구성하였다. 출력으로는 a, b, c상사고, 지락사고, 그리고, 고저항사고를 구분해줄 수 있도록 5개의 구조로 구성하였다.

표 1 고장유형 판별용 신경회로망의 입력

뉴런	1 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 16
입력	$I_{a1} - I_{a4}$	$I_{b1} - I_{b4}$	$I_{c1} - I_{c4}$	$I_{n1} - I_{n4}$

표 2 고장유형 판별용 신경회로망의 출력

고장유형 \ 출력	뉴런 1 (A상)	뉴런 2 (B상)	뉴런 3 (C상)	뉴런 4 (지락)	뉴런 5 (고저항)
정상 상태	0	0	0	0	0
A상 지락	1	0	0	1	0
B상 지락	0	1	0	1	0
C상 지락	0	0	1	1	0
AB상 단락	1	1	0	0	0
BC상 단락	0	1	1	0	0
CA상 단락	1	0	1	0	0
AB상 지락	1	1	0	1	0
BC상 지락	0	1	1	1	0
CA상 지락	1	0	1	1	0
ABC상 단락	1	1	1	0	0
A상 고저항 지락	1	0	0	1	1
B상 고저항 지락	0	1	0	1	1
C상 고저항 지락	0	0	1	1	1

2.3 송전선로 고장점 추정용 신경회로망의 구현

고장점을 추정하기 위한 신경회로망의 구현은 속도향상과 거리추정에 정확성을 높이기 위해서 각 고장유형별로 필요한 입력만을 가진 신경회로망을 구현하였다. 여러 고장유형중에서 고장발생이 많은 1선지락고장에 대해서 신경회로망을 구현하였다.

입력으로는 고장이 발생한 상의 3/4주기(12샘플)인 전압과 전류의 기본과 성분의 크기를 사용하여 입력이 24개의 뉴런으로 구성되어 있으며 한 유형당 24개의 패턴을 이동 윈도우 방식으로 구성하였다. 출력층은 2개의 뉴런으로 구성하였는데 뉴런1은 후보호구간과 후보비호구간의 구분을 나타내었고, 뉴런 2는 전체 송전선로 거리에 대한 사고점까지의 거리를 백분율로 나타내었다.

표 3 고장점 추정용 신경회로망의 입력

뉴런	1, 2 ... 11, 12	1, 2 ... 11, 12
입력	$I_{a1}, I_{a2}, \dots, I_{a11}, I_{a12}$	$V_{a1}, V_{a2}, \dots, V_{a11}, V_{a12}$

표 4 고장점 추정용 신경회로망의 출력

고장거리 \ 출력	20	40	60	80	100	120	140	160	180	정상
뉴런 1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
뉴런 2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

3. 사례연구

제안된 신경회로망 고장패턴추정기를 검증하기 위해서 선정된 전력계통모델은 154[kv]계통으로서 송전선로의 길이가 최대 200[km]이며 선로정수는 EMTP 선로정수루틴을 이용하였다[3,8].

3.1 특성고찰

송전선로의 고장은 그 고장유형이나 고장거리, 고장저항, 고장발생각등에 따라 상이한 특성을 나타내고 있다. 그림 3은 송전선로에서 고장 빈도수가 높은 1선(a상)지락 고장 시에 전처리과정으로 부터 얻어진 전압과 전류의 기본과 성분의 크기를 나타낸다.

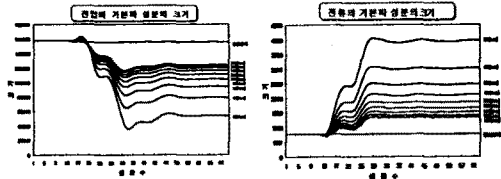


그림 3 전압, 전류의 기본과 성분의 크기(a상 지락고장)

거리에 따라 DFT필터를 통과한 과도상태의 신호는 각각 일정한 특징이 있으며 제전기와의 거리가 가까울수록 정상상태와의 전압, 전류의 크기의 차가 많음을 알 수 있으며 멀어질수록 그 차이가 적어짐을 알 수 있다. 특히, 고장거리가 70[%] 이상에서는 그 특징 구분이 어렵기 때문에 70[%]이전에 대해서는 정확한 거리를 추정할 수 있지만 그 이상에 약간의 오차가 생김을 알 수 있다.

3.2 고장유형 판별용 신경회로망

고장유형 판별용 신경회로망의 구조는 입력층이 16개, 은닉층이 한 층이며 32개, 출력층은 5개의 뉴런을 갖는 다층퍼셉트론이다. 학습률은 0.6, 모멘텀은 0.9이며 그리고 활성화함수는 기울기가 1/2인 시그모이드 함수를 사용하였다. 표 5는 고장유형 판별을 위한 학습조건과 시험조건이다. 학습의 총 반복횟수는 50,000으로 하였으며 총 오차는 0.003625이었으며, 학습결과를 그림 4과 같다.

표 5 고장유형판별을 위한 학습조건과 시험조건

	학습 조건	시험 조건
고장거리[km]	60, 100	40, 80, 100
유형	1선 지락(a,b,c) 2선 단락(ab, bc, ca) 2선 지락(ab, bc, ca) 3선 단락(abc) 고저항 지락(a,b,c)	1선 지락(a,b,c) 2선 단락(ab, bc, ca) 2선 지락(ab, bc, ca) 3선 단락(abc) 고저항 지락(a,b,c)
고장저항[Ω]	1, 5, 200	3, 400
주파수[Hz]	60	60
고장발생각	0°	0°, 30°, 60°, 90°

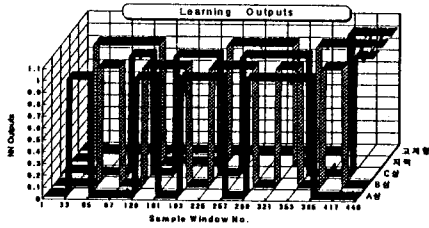


그림 4 학습결과

그림 4에서는 각 고장유형별 32개씩의 샘플윈도우가 목표출력에 일치하여 우수한 학습결과를 나타내고 있다.

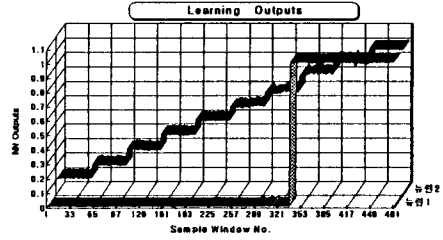


그림 6 학습결과

그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 계전기와의 거리가 전철송전선로의 길이의 70%이내인 후보호 구간에서는 거리별 32개의 샘플윈도우가 목표패턴과 일치하여 학습이 잘 되었으나, 70%이상인 후보호구간에서는 그 학습의 결과가 부정확함을 알 수 있다.

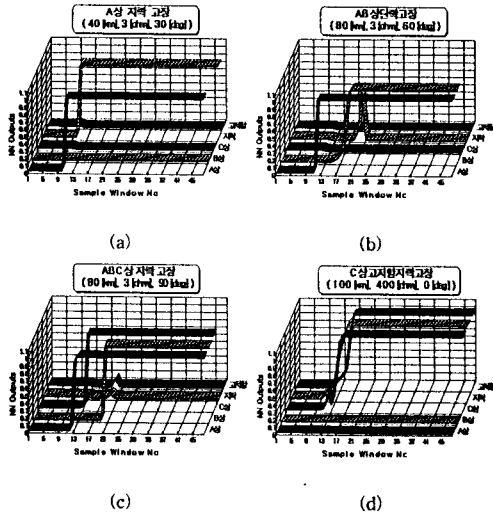


그림 5 고장유형 판별용 신경회로망의 시험결과

그림 5는 선로에서의 고장유형에 대한 시험결과이다. 가장 외관이 심한 90°에서 고장이 발생하면 13번째 샘플윈도우에서 첫 번째 고장신호가 들어온다. 그림 4(c)에서처럼 13번째 윈도우에서 고장을 감지하고 21번째 윈도우에서 정확히 3상 단락고장을 판별하였다. 다른 유형에서도 대부분이 1/2주기 안에서는 고장유형을 정확하게 판별함을 알 수 있다.

3.3 고장점 추정용 신경회로망

고장점 추정용 신경회로망은 입력층이 24개 은닉층이 한 층이며 36개 그리고 출력층이 2개의 뉴런으로 구성된 다층 퍼셉트론이다. 표 6은 고장점 추정 신경회로망을 위한 학습조건과 시험조건이다. 학습률은 0.6, 모멘텀은 0.9, 그리고, 활성함수는 시그모이드 함수를 사용하였다. 반복횟수는 50,000이었으며 오차는 0.000045이었다. 학습결과는 그림 6과 같다.

표 6 고장점 추정 신경회로망을 위한 학습조건과 시험조건

	학습 조건	시험 조건
고장거리[km]	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180	50, 90, 100, 110, 170
유형	a상 1선지락	a상 1선지락
고장저항[Ω]	1, 5	0.1, 3, 10
주파수[Hz]	60	60
고장발생각	0°	0°, 45°, 90°

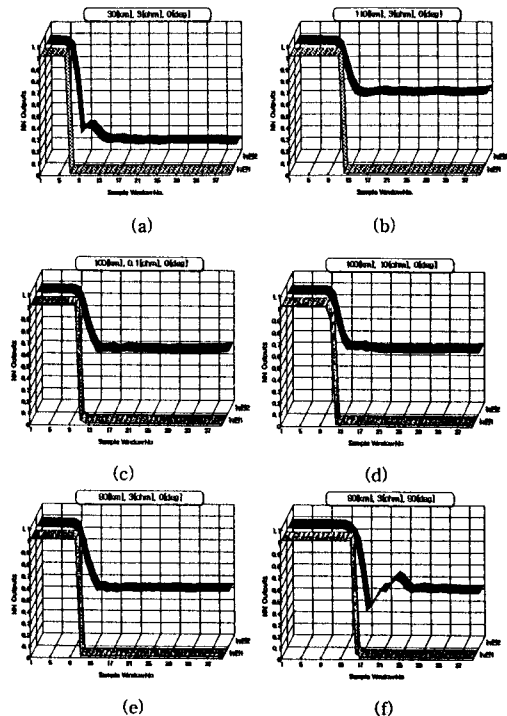


그림 7 고장점 추정용 신경회로망의 시험결과

그림 7(a), (b)는 거리에 대한 수렴속도를 비교한 결과이다. 0°에서 고장 발생 시에는 2번째 샘플윈도우에서 첫 번째 고장신호가 들어온다. 고장 발생거리가 30[km]에서는 7번째에서 이상신호를 감지하여 13번째에서 정확하게 고장점을 추정하였고, 또한 110[km]에서는 8번째에서 감지하여 13번째에서 고장점을 추정하였다. (c), (d)는 고장이 발생한 경우 고장저항에 대한 비교이다. 제안된 기법은 고장저항이 0.1[Ω], 10[Ω]에서는 12번째에서 이상신호를 감지하여 17번째에서는 고장점을 추정하였다. 한편 (e), (f)는 고장발생각에 대한 비교인데, 0°에서는 13번째에서 90°에서는 17번째에서 첫 신호를 감지하여 21번째에서 고장점을 추정하였다. 이상으로부터 알 수 있듯이 바와 같이 후보호구간에서의 고장은 대부분 한 주기 이내에 고장점을 추정할 수 있었고, 고장발생거리가 계전기에서 가까울수록, 고장 발생각이 90°보다는 0°에 가까울수록 고장신호의 감지정도가 빠르며, 고저항이 아닌 어느 정도의 큰 저저항사고에 대해서도 한 주기 이내에 검출이 가능함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 신경회로망을 이용하여 송전선로의 고장유형을 판별하고 고장점을 추정할 수 있는 고장패턴 추정기를 제안하였다. 제안한 고장패턴 추정기는 송전선로에서 발생하는 여러 형태의 고장유형을 반주기안에 판별함과 동시에 한 주기 이내에 고장점까지의 거리를 정확하게 추정함을 알 수 있었다. 향후 고저항지락사고에 대한 특성분석과 대상 선로의 전 구간에 대해서 적용이 가능하도록 검토되어야 할 것이다.

[참고문헌]

[1]. A. T. Johns, S. K. Salman, "Digital Protection for Power Systems", IEE Power Series 15, Peter Peregrinus Ltd. 1995.
[2]. 한국전력공사 기술연구원, "지능형 보호계전기 연구개발", 기초전력공학공동연구소(중간보고서) Sept. 1996.
[3]. 신명철, 이복구, "신경회로망을 이용한 과도파형의 기본파 성분 추출에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol.43, No.4, pp.553~563, April 1994.

[4]. 박종근, 강상희 외, "신경회로망을 이용한 초고압 송전선 거리계전기 동적속도 개선방법", 대한전기학회 논문지, Vol.46, No.4, pp.473~481, April 1997.
[5]. Thomas Dalstein, Bernd Kulicke, "Neural Network Approach to Fault Classification for the High Speed Protective Relays", IEEE Trans. on PWRD, Vol.10, No.2, pp.1002~1011, April 1995.
[6]. S.K. Chakravarthy, C.V. Nayar, N.R. Achuthan, "Applying Pattern Recognition in Distance Relaying," Part1,2, IEE Proc.-C, Vol.139, No.4, pp.301~314, 1992.
[7]. Y.H.Pao, "Adaptive pattern recognition and neural networks", Addison-Wesley, 1989.
[8]. 신명철, 이복구, 박철원 외, "패턴인식형 신경회로망 거리계전 기법", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.871~874, 7. 21~23 1997.
[9]. 박종근, 강상희, "Offset이 제거된 반주기데이터를 사용하는 고속 Haar 변환에 기초한 디지털 거리계전알고리즘", 대한전기학회 논문지, Vol.41, No.9, pp.973~983, Sept. 1992.