

지능형기법을 이용한 변압기의 디지털 차동보호

박철원 정호성 신명철 이복구 서희석 윤석우 이춘모
 원주대학 성균관대학교 명지전문대학 두원공과대 대덕대학 충청대학

Digital Differential Protection of Transformer using Intelligent Schemes

C.W. Park H.S. Jung M.C. Shin B.K. Lee H.S. Seo S.M. Yun C.M. Lee
 W.J. Nat'l College S.K.K. Univ. M.J. College D.W. College D.D. College C.C. College

Abstract - In this paper, we propose a digital differential protection of power transformer using intelligent schemes. Intelligent schemes is based on fuzzy logic and neural networks. To enhance the distinction between fault and Inrush of conventional approaches, relaying technique by fuzzy logic and neural networks are used. We used transformer Inrush currents, external and internal fault signals, which are obtained from EMTP simulation.

1. 서 론

1970년대까지의 보호 계전기는 대부분 아날로그형이 었으나, CPU의 고성능화와 전자기술의 발달에 힘입어 디지털 신호처리기법에 의한 컴퓨터 계전기(computer relay : digital relay)가 개발되어 실용화가 한창 진행중이다. 그러나 수치적인 연산기능으로 수행되는 마이크로프로세서로 구성된 디지털 보호계전기는 동작레벨이 고정되어 있으므로 피보호설비 및 다양한 계통의 조건변화에 대응하지 못하고, 애매한 상황에서 계전기의 오·부동작이 되는 등 보호기능이 완전하지 않기 때문에 신기술을 계통보호(system protection)에 도입하여 계전기의 성능을 보완하려는 연구가 제기되었다. 이에, 신경회로망, 퍼지이론 등의 인공지능기법등을 도입·적용함으로써 사고형태가 복잡하여 해석적인 형태로 사고 판단이 어려운 사고에 대하여 고장검출이 가능하게 하고, 보호계전기의 감도와 동작속도 및 정확도를 향상시킴으로써 기존의 보호기능을 최대화하고, 더 나아가 전력공급의 신뢰도향상과 설비의 안전도 증대를 위하여 소위 지능형(혹은 차세대) 보호계전기의 연구개발이 활발하게 진행되고 있다[1,2].

신경회로망은 고속·병렬처리가 가능하고, 학습되지 않은 패턴에 대하여 적응성을 지니기 때문에 이를 보호계전분야에 적용하여 동작속도의 개선과 미지의 패턴에 대하여 적응성향상을 기할 수 있다. 그러므로 신경회로망은 원하는 주파수 성분을 추출하는 필터를 구현할 때나 학습되지 않은 신호에 대하여 패턴인식에 의한 정확한 고장유형 판별 등에 활용되고 있다[3~5].

한편, 불확실하고 애매한 정보로부터 유용한 정보의 추론을 가능하게 해주는 특징을 갖는 퍼지논리는 전력계통의 애매한 상황에서도 올바른 고장판단추론이 가능하고, 인간의 사고 능력을 마이크로프로세서상에서 실현이 용이하기 때문에 계전기에 도입하려 하고 있다[6,7].

본 연구에서는 변압기의 보호분야에서 기존의 디지털 기법의 단점을 개선하기 위하여 인공지능기법(또는 지능형 기법)을 적용한 디지털 차동보호계전기법을 제안하였다. 제안된 기법의 성능평가를 위하여 사용된 법의 데이터는 범용 전자과도 해석프로그램인 EMTP(Electro-magnetic Transients Program) 시뮬레이션으로부터 수집·활용되었다[8,9].

일반적으로 차동계전방식은 10MVA이상의 대용량 변압기에 적용된다. 이 방식은 변압기가 정상상태인 경우 1차측과 2차측 전류들의 대수합이 0이 되고, 내부고장인 경우 차동전류가 발생하기 때문에 내부고장이 검출된다. 그러나 변압비, 변류기의 변환특성, 탭변환기등에 의한 불평형전류의 발생으로 인한 오동작을 방지하기 위하여, 실제로는 차동전류와 풍과전류의 일정한 비율관계에 따라 동작하게 되는 비율(biased)차동계전방식이 사용된다. 그리고 변압기 코어의 비선형성 때문에 발생하는 여자돌입의 경우 내부고장시와 유사한 큰 차전류가 발생하기 때문에 이때 계전기의 오동작이 방지되어야 한다. 여자돌입의 경우 제 2고조파 성분이 다량 함유되는 것으로 널리 알려졌다.

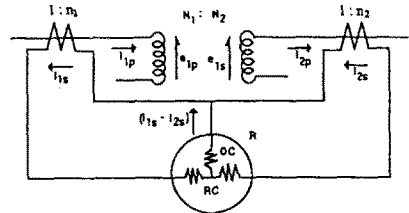


그림 1 변압기의 비율차동보호

고장이나 여자돌입시에 계통조건에 따라 계전신호들은 고조파 성분이나 직류유셀성분이 포함되어 심하게 왜곡 되기 때문에 마이크로프로세서가 개발된 이후 DFT(discrete Fourier transform)등의 직교변환 필터를 중심으로 한 알고리즘의 개발에 중점을 두고 연구되었다. 또한 변압기의 모델링으로부터 유도된 차전류와 쇄교자속을 이용하여 변압기의 고장을 판별하려는 논문도 발표되었다. 그림 2는 전통적인 디지털 비율차동계전기법의 흐름도이다.

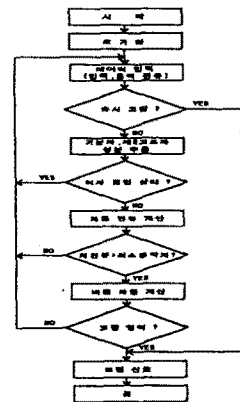


그림 2 비율차동계전기법의 흐름도

2. 변압기의 비율차동보호

3. 지능형 기법을 이용한 디지털 자동보호

지능형 보호계전기는 보호기능, 성능, 신속성, 운용 보수성의 향상을 목표로 하는데, 대표적으로는 아나로그 입력부의 고장도화, 맨-머신 인터페이스 기능의 고도화, 자동 감시 기능의 고도화, 고장부위 자기진단 기능연산 성능의 향상 등에 있다.

한편, 종래의 자동보호에서는 초고압 전력계통에 설치되는 변압기에서 고장이 발생했을 때에 차전류에 제2고조파성분이 많이 포함되거나 여자돌입전류에 제2고조파의 함유율이 적은 경우 등에는 계전기가 오동작하는 경우가 발생하게 된다. 그러므로 변압기의 보호계전방식도 전력계통의 상황변화에 적응성을 갖는 새로운 방식이 요구되어 최근, 인공지능기법의 디지털 보호계전방식의 적용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 장에서는 퍼지이론과 신경회로망에 의한 지능형 기법을 이용하여 변압기의 여자돌입상태와 고장상태를 더 정확히 판별할 수 있는 새로운 변압기 보호계전알고리즘을 제시한다.

3.1 퍼지형 변압기 보호

지능형 계전기와 같이 서로 다른 장점과 단점을 갖고 있는 다양한 보호계전 알고리즘을 적절히 통합시키고 과거의 사고사태에 대한 지식과 경험을 사고판정 규칙에 포함시켜야 할 경우 기존의 전문가 시스템에 비해 퍼지론베이스를 기반으로 하는 퍼지 전문가 시스템 모델이 보다 유리하다. 한편, 계통의 상태에 따라 불규칙한 전압, 전류 특성을 갖는 경우는 불확실성에 대한 고려가 되어야 한다. 그러면, 퍼지형 보호계전은 전문가의 지식과 기존의 수학적 계산에 의한 방법을 결합할 수 있으며, 퍼지 의사결정을 할 수 있기 때문에 종래의 기법에 대하여 쉽고, 정확하게 결론에 도달할 수 있다. 퍼지논리에 의한 변압기의 보호를 위하여 먼저 입력변수의 설정이 중요하다.

3.1.1 퍼지입력변수

변압기의 히스테리시스현상으로부터 유도된 자속전류 기법을 보완한 차전류와 채고자속의 도함수를 이용하면, 정상상태와 내부고장상태 그리고 여자돌입상태는 이 추이곡선으로부터 판별이 가능하기 때문에 퍼지입력변수로 결정하였다. 서로 다른 판별기준들을 융합할 수 있는 퍼지추론 능력을 활용하기 위하여 종래의 기법인 변압기 차전류에 포함된 제2고조파 함유율 및 비율차동특성도 포함시켜 최종3개의 퍼지입력변수를 채택하였다(7).

3.1.2 소속함수의 정의와 추론규칙

3가지의 입력변수의 퍼지화를 위하여 각각 0.01간격으로 0~1사이의 정의역을 설정하였고, 이에 대응되는 소속함수값은 모두 0~1 사이의 값이 된다. 퍼지 추론 규칙은 모두 19개로 2개의 조건부와 하나의 결론부로 구성되어 있으며, 결론부에는 헤지(headge)를 포함시켰다(7). 추론과정을 통해 생성된 출력퍼지집합은 그림 3과 같이 정의된 출력소속함수에 의해 퍼지연산이 된다.

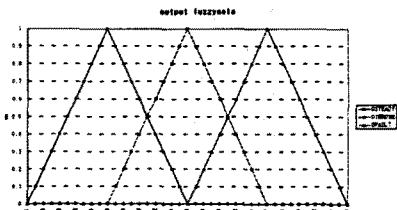


그림 3 출력소속함수

최종출력퍼지집합을 비퍼지화하기 위하여 비교적 계산이 간단하고 서로 다른 출력퍼지집합간의 융합이 잘되는 합성모멘트법을 사용하였다. 그림 4는 퍼지형 변압기 보호계전의 개략도이다.

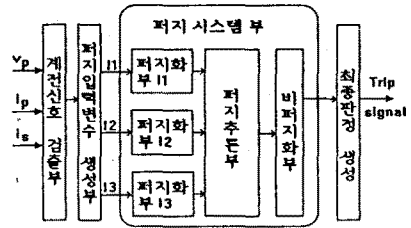


그림 4 퍼지형 변압기 보호계전의 개략도

3.2 신경회로망형 변압기 보호

신경회로망의 장점은 적응성과 일반화특성, 그리고 고차의 비선형 함수이기 때문에 시스템의 입력변수간의 비선형관계를 추출하는데 유리하고, 뉴런이라는 기본단위로 이루어진 병렬구조이기 때문에 병렬처리 하드웨어를 통하여 구현된다면 고속·대량의 실시간처리가 가능하게 된다. 그러므로 신경회로망형 보호계전은 디지털 계전기를 기본으로 하여 신경회로망의 훈련에 의하여 이상상황을 인식하여 빠르고 확실한 동작을 기할 수 있다. 고장이나 여자돌입등의 판별 즉, 보호계전의 패턴인식분야에도 적용이 가능하게된다. 본 연구에서는 가장 많이 사용되는 다층형 신경회로망을 이용하였으며, 학습은 오차역전파 알고리즘이 사용되었다. 그런데 대부분의 신경회로망은 판성함, 학습률, 은닉층의 수와 유니트의 수 같은 파라미터의 최적치 선정에는 정해진 규칙이 없기 때문에 단지 개발자의 경험과 실험에 의해 결정할 수밖에 없다.

3.2.1 신경회로망 모델

신경회로망은 그림 5와 같이 뉴런을 모방한 수학적 모델을 단위로 들어온 입력들의 연결강도가 곱해진 값을 모두 합하고, 활성화함수를 통해서 나오는 값을 해당 입력 벡터에 대한 뉴런의 출력값으로 한다(1.3).

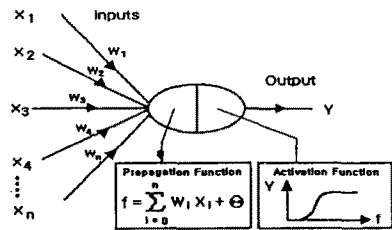


그림 5 뉴런의 모델

3.2.2 신경회로망의 학습

신경회로망에 의한 보호계전을 위해서는 첫째, 적절한 학습용 자료의 준비 및 구성과 둘째, 신경회로망의 시스템 정수 변동에 의한 최적 신경회로망의 선정과 셋째, 구성된 신경회로망의 학습 및 재시험(recall) 넷째, 학습되지 않은 시험 패턴에 의한 훈련된 신경회로망의 우수성 검증 단계를 거쳐서 연구되었다. 그림 6은 신경회로망에 의한 변압기 보호계전의 개략도이다(4). 여자돌입전류와 고장전류판별하기 위하여 그 신호들을 미리 학습시키는데, 신경회로망을 적용할 때에는 무엇보다도 학습패턴(혹은 훈련행렬)이 중요하게 된다.

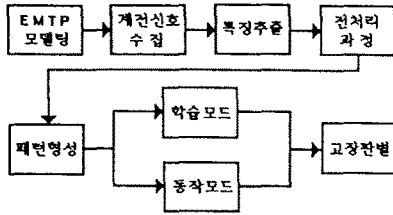


표 2 여자돌입시의 비퍼지값 (2고조파가 적은 경우)

SN	pre-event	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I ₁	0	0	0	0.08	0.16	0.25	0.33	0.3	0.41	0.5	0.58	0.66
I ₂	0.56	0.99	0.89	1	1	1	0.81	0.5	0.29	0.07	0.1	0.17
I ₃	0	0.08	0.08	0.16	0.25	0.33	0.41	0.5	0.58	0.66	0.66	0.66
DFV	3	3.48	3.48	3.89	4.05	4.26	4.45	4.45	4.77	5.48	5.48	5.48

그림 6 신경회로망에 의한 변압기 보호계전의 개략도

학습패턴은 파형자체를 이용하거나 전처리등을 통하여 특징을 추출하여 형성하게 된다. 한편, 신경회로망의 목표출력은 여자돌입과 고장판별을 위하기 때문에 0 또는 1인 이진값(binary value)이 요구된다.

4. 사례연구

4.1 시스템 모델링

제안된 계전기모델의 성능을 평가하기 위해서는 고장, 정상상태, 여자돌입신호들이 필요하게 된다. 이런 신호들은 실 계통의 신호를 활용하는 것이 원칙이겠지만, 일반적으로 RL회로 등의 응답을 이용하여 수집하거나, 신호를 임의로 합성하여 활용하기도 하나 본 논문에서는 가장 널리 알려진 EMTP 시뮬레이션을 통하여 얻었다. 한편, 디지털 계전기의 동작은 샘플링간격, 데이터 원도 우등 측정된 양의 샘플치에 의존되므로 본 연구에서의 샘플링비는 주기당 12샘플의 값을 채택하였다(4,7).

4.2 퍼지형 계전기의 평가

그림 7은 정상상태의 최종퍼지출력집합의 추이곡선이고, 표 1은 여자돌입시의 비퍼지값이다.

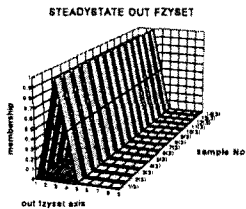


그림 7 정상상태의 퍼지출력집합

표 1 여자돌입시의 비퍼지값

SN	pre-event	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I ₁	0	0	0	0.08	0.16	0.25	0.33	0.41	0.5	0.66	0.75	0.75
I ₂	0.56	0.99	0.9	1	0.97	0.83	0.7	0.54	0.38	0.27	0.25	0.25
I ₃	0.08	0.16	0.25	0.33	0.41	0.5	0.58	0.66	0.75	0.75	0.75	0.75
DFV	3	3.48	3.48	3.88	4.05	4.25	4.44	4.77	5	5	5	5.71

정상상태, 여자돌입상태, 권선단락고장, 권선지락고장, 외부고장시를 시험한 결과 event 발생후 약 3/4 주기정도에서 고장이나 여자돌입이 판별되었다. 한편, 차전류에 제2고조파성분이 많이 포함되어거나 여자돌입전류에 제2고조파의 함유율이 적은 경우에는 종래의 방법으로는 오동작하였으나, 제시된 기법에 의해서는 정확하고 신속하게 판별되었다. 표 2는 여자돌입전류에 제2고조파의 함유율이 적은 경우 제시된 기법에 의한 비퍼지값이다.

4.3 신경회로망형 계전기의 평가

은닉층의 뉴런변화, 학습률의 변화, 관성항의 변화에 따른 여자돌입과 내부고장을 판별한 결과 정확하고 신속하게 고장을 검출하였고, 여자돌입시 오동작을 하지 않았다. 그림 8은 여자돌입시의 뉴런변화에 따른 신경회로망의 출력이다. 시험결과, 학습되지 않은 신호들에 대하여 적응성이 향상되어 패턴을 분류할 수 있음이 확인되었다.

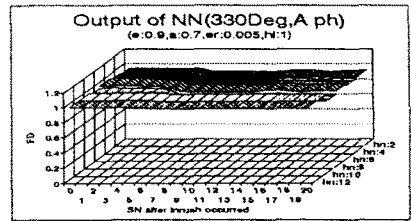


그림 8 여자돌입시 뉴런수에 따른 신경회로망의 출력

5. 결 론

본 연구에서는 종래의 단점을 개선하기 위하여 퍼지와 신경회로망을 이용한 지능형 변압기의 차동보호에 대한 계전기 모델을 제시하였다. EMTP에 의해 수집된 데이터를 이용하여 시험하였다. 시험결과 정확하고, 신속하게 고장 및 여자돌입이 검출되었다. 향후 퍼지와 신경회로망의 융합에 의한 변압기 보호에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) 기초전력공학 공동연구소, "지능형 보호계전기 연구개발", 중간보고서, 1996.
- (2) M.A. Rahman et al, "A State-of-art Review of Transformer Protection Algorithm", IEEE Trans. on PWRD, Vol.3, No.2, pp.534~544, April 1988.
- (3) P. Bastard, et al, "Neural Network based Algorithm for Power Transformer Differential Relays", IEE Proc. Gen. Trans. Vol.142, No.4, pp.386~392, July 1995.
- (4) 박철원, 서희석, 신명철, "신경회로망을 이용한 전력용변압기의 고장판별시스템에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol.46, No.8, pp.833~839, 1997. 8.
- (5) 이복구, 박철원, 윤석무, 신명철, "전력계통의 패턴인식형 거리계전기법에 관한 연구", 한국퍼지 및 지능 시스템학회, Vol.8, No.2, pp.9~20, 1998. 4.
- (6) A. Wiszniewski et al, "A Multi-criteria Differential Transformer Relay based on Fuzzy Logic", IEEE Trans. on PWRD, Vol.10, No.4, pp.1786~1792, Oct. 1995.
- (7) 박철원, 서희석, 김수경, 신명철, "퍼지시스템에 의한 변압기 보호용 디지털 보호계전 알고리즘", 대한전기학회 논문지, Vol.46, No.3, pp.317~324, 1997. 3.
- (8) P. Bastard et al, "A Transformer Model for Winding Fault Studies", IEEE Trans. on PWRD, Vol.9, No. 2, pp.690~699, April 1994.
- (9) LEUVEN EMTP CENTER ATP Rule Book: July 1987.