

신경회로망을 이용한 변압기 사고 검출 기법 개발

(Development of Fault Detection Method for a Transformer Using Neural Network)

김일남* · 김남호

(Il - Nam Kim · Nam - Ho Kim)

요 약

본 논문은 신경회로망을 이용하여 변압기 사고검출 기법을 제안하였다. 계전기 정동작을 위하여 전력용 변압기의 외부사고와 돌입현상은 포화현상이 고려된 EMTP/ATP를 이용하였고, 내부사고는 EMTP/BCTRAN를 이용하여 얻은 전류 데이터를 신경회로망의 사고검출 성능으로 평가하였다.

신경회로망의 입력지수로는 변압기 양단전류를 FFT로 주파수 분석하여 얻은 억제전류와 동작전류의 고조파 비의 크기를 이용하였고, 외부사고 시 억제전류값이 크게 나타나는 것을 이용하기 위해 억제전류를 동작전류로 나눈 값을 계전기 입력으로 사용하였고, 학습알고리즘은 back-propagation을 사용하였다. 실 계통에 적용하고 있는 변압기 보호용 계전기의 특성을 신경회로망의 검출성능으로 테스트한 결과 제안된 기법이 뛰어난 것이 확인되었다.

Abstract

This paper presents a fault detecting method for a power transformer based upon a neural network. To maintain a normal relay operating conditions, external winding faults of a power transformer and magnetic inrush have been tested under consideration of the EMTP/ATP software and internal faults of power transformer have been tested by the EMTP/BCTRAN software. The neural network has been evaluated by the proposed fault. Input variables of the neural network for the proposed model can be obtained from fundamental currents, restraining and operating currents. This algorithm uses back-propagation and the ratio of a restraining current and an operating current as relay input parameters. The ratio may enhance the fault detection since the restraining currents increase rapidly at external faults.

The proposed detecting method has been applied to the practical relay systems for transformer protection. As a result, the proposed detecting method based on the neural network has been shown to have better characteristics.

Key Words : Neural Network, EMTP, Power Transformer Fault, Fault Detection

* 주저자 : 한국수자원공사 과장
Tel : 033-340-0295, Fax : 033-340-0285
E-mail : ilnam1@chollian.net
접수일자 : 2003년 5월 7일
1차 심사 : 2003년 5월 15일
심사완료 : 2003년 6월 11일

1. 서 론

산업의 발달과 경제성장으로 계통보호의 중요성이 한층 요구되고 있으며, 전력계통에서 가장 중요

신경회로망을 이용한 변압기 사고 검출 기법 개발

한 전력기기인 변압기 사고를 미연에 방지하고자 변압기보호용 계전기가 설치되어 있으나, 돌입현상 또는 외부사고 시 계전기의 오동작 방지를 위하여 계전기의 정정값을 너무 높게 설정하여 브호흡계전기가 동작한 사례가 있다[1]. 따라서 계전기의 정동작을 위하여 변압기 특성을 고려한 계전기 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 변압기 및 변류기 재질 특성으로 전압과 전류의 관계가 비선형이므로 포화 시 정확한 사고전류를 검출할 수 없어 이를 해결하고자, 비선형성을 선형화 프로그램하여 계전기 입력 요소로 이용하는 알고리즘 개발[2]과 변압기 1, 2차 유기전압을 이용한 보호계전 알고리즘을 제시[3-5]하고 있지만, 변압기 재질에 따른 특성변화를 무시한 것으로 이상전압 발생 시 과전류가 나타나지 않아 과전류계전기가 부동작할 우려가 있다. 또한 변압기 돌입전류와 외부사고 시 발생하는 고조파량을 분석하여 주로 다량의 성분을 포함한 제 2고조파와 제 5고조파 전류를 계전기의 억제량으로 부여하는 방법[6]이 있으나, 최근에는 고효율 변압기의 생산과 부하의 종류에 따라 정상조건에서도 고조파전류가 다량 포함하고 있다. 특히 배전계통에서는 상시 고조파전류가 기본과 전류의 10~20%정도 발생하여 계전기 정정에 오차를 가져올 수 있어, 이를 극복하고자 변압기 특성과 부하량에 따른 계전기 특성곡선의 최소 동작전류와 기울기를 가변시키는 방안을 제시[7-9]하고 있지만 부하 조건의 변화시 계전기 정정값을 빈번하게 설정하는 불편이 따른다.

따라서 본 논문에서는 패턴인식 능력이 우수하고 병렬연산으로 빠른 연산 수행 능력을 가지고 있는 신경회로망을 이용한 변압기 사고 검출 알고리즘을 제안하였으며, 사고 모의를 위해 범용화된 과도해석 프로그램인 EMTP(Electro magnetic Transient Program)을 이용하였다. 변압기의 내부사고를 모의하기 위해 EMTP의 보조 프로그램인 BCTRAN [10-11]를 이용하여 모의하였고, 변압기 외부사고와 돌입현상을 위하여 포화모델인 HYSDAT을 이용하였다. 사고모의를 통해 얻은 전류값을 동작전류와 억제전류로 분류하여 얻은 고조파를 신경회로망의 입력지수로 결정하였으며, 학습패턴의 내부사고용으로 변압기 20%, 100% 권선 지락사고와 층간 단락

사고를 모의하여 얻은 전류값과 외부사고 모델용으로 변압기에서 부하쪽으로 1[km]와 20[km] 떨어진 지점에서 지락사고와 단락사고를 모의하여 얻은 전류값을 신경회로망으로 학습시켰다. 나머지 학습패턴에 사용되지 않은 사고들을 테스트패턴으로 사용하여 검출 알고리즘의 성능을 입증하였다.

2. 모델계통

변압기의 사고 모의를 위해 사용된 모델계통은 그림 1과 같으며, 모델 계통에 사용된 데이터는 소양강 H/P와 춘천S/S에 적용되고 있는 송.배전계통으로 THEV1은 100[MVA]의 발전설비이고, THEV2은 60[MVA]의 변전설비이며 BUS2와 BUS3는 변전설비의 모선이고 변전소에서 공급되는 부하는 50[MW] 역률 95%이다.

발전소 주 변압기 TR1과 TR2의 용량은 각각 110[MVA] 전압비 14.7/154[kV] Δ -Y로 구성된 변압기이다. 변압기 1차측인 저압측에 설치된 변류기 CT1과 CT3의 변류비는 6000/5, 고압측에 설치된 변류기 CT2와 CT4의 변류비는 600/5이다. 변압기 보호용 비율차동계전기는 변압기 양단 변류기에서 전류를 검출되도록 되어 있다. 154[kV] 송전선로 데이터는 단위 길이당 저항 0.308[Ω /km], 인덕턴스 3.47[mH/km], 캐퍼시턴스 20.0[μ F/km]이고, TR2에서 BUS3까지는 10[km]이고, TR1에서 BUS2까지 10[km]이다. BUS3에서 부하 LOAD까지 거리는 30[km]이다.

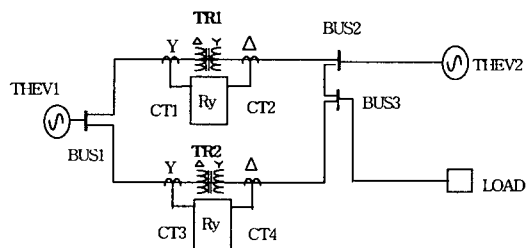


그림 1. 모델계통도
Fig. 1. Circuit Diagram of Model

BCTRAN의 입력데이터로서 표 1과 같이 여자시험 데이터와 단락시험 데이터의 정상분과 영상분의 손실, 전류, 전압이 필요하다. 그림 2에서 1차측 V상

권선저항 0.00855[Ω], 2차측 B상 권선저항은 0.397[Ω]이다. 내부사고 모의를 위하여 사고 상인 B상 권선저항 0.397[Ω]과 자기인덕턴스를 3분할하여 10%, 20%, 70% 등 a, b, c 3부분으로 나누었고, 또한 분할된 권선 상호인덕턴스를 구하여 권선사고를 모의할 수 있도록 구성하였다. 층간 단락사고 모의를 위하여 FLT1과 FLT2를 단락시켰고, 권선 지락사고는 FLT1 또는 FLT2를 접지 E와 단락시켜 내부사고를 모의하였다.

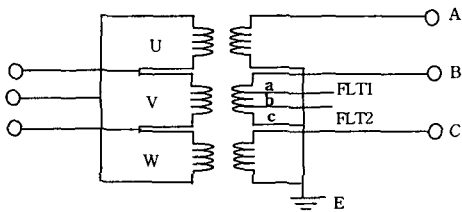


그림 2. 변압기 내부 회로도
Fig. 2. Inner Circuit Diagram of Transformer

그림 2의 세분화된 B상 a, b, c 각각의 저항 R_a, R_b, R_c

$$R_a = \frac{n_a}{n_B} R_B, R_b = \frac{n_b}{n_B} R_B, R_c = \frac{n_c}{n_B} R_B \quad (1)$$

누설리액턴스 L_a, L_b, L_c

$$L_a = L_B \left(\frac{n_a}{n_B}\right)^2, L_b = L_B \left(\frac{n_b}{n_B}\right)^2, L_c = L_B \left(\frac{n_c}{n_B}\right)^2 \quad (2)$$

상호인덕턴스 M_{ab}, M_{ac}, M_{bc}

$$M_{ab} = L_B \left(\frac{n_a n_b}{n_B^2}\right), M_{ac} = L_B \left(\frac{n_a n_c}{n_B^2}\right), M_{bc} = L_B \left(\frac{n_b n_c}{n_B^2}\right) \quad (3)$$

여기서 n_B 는 B상 전체 권선수이고, n_a, n_b, n_c 는 a, b, c 각각의 권선수이다.

표 1. BCTRAN의 입력 데이터
Table 1. Input Datas of BCTRAN

구분	여자 시험	단락 시험	
정상분	손실[kW]	51.74857	550.0857
	전류[A]	5.133042	374.9388
	전압[kV]	14.64679	41.08183
영상분	손실[kW]	329.5000	25.21429
	전류[A]	10.73858	171.4286
	전압[kV]	1.573765	3.336667

3. 신경회로망을 이용한 변압기 사고 검출 알고리즘 개발

3.1 신경회로망의 구조

변압기 사고를 검출하기 위해 이용되는 신경회로망은 오류역전과 신경회로망(BPN)이며, 그림 3은 신경회로망의 구성도로서 3개의 입력층과 은닉층, 출력층으로 구성되어 있다. 신경회로망의 입력으로는 동작전류의 기본과 실효치 지수와 2, 3, 4, 5 고조파 지수와 억제전류의 기본과 실효치 지수와 2, 3, 4, 5고조파 지수로 총 10개의 입력을 사용하였고, 은닉층의 뉴런 수는 8개이고, 출력층은 사고 유·무를 판단하도록 이진 출력을 사용하였다. 은닉층과 출력층의 활성화함수로서는 단극성 시그모이드 함수를 이용하였으며, 학습률과 모멘텀은 각각 0.3, 0.4로 설정하였다.

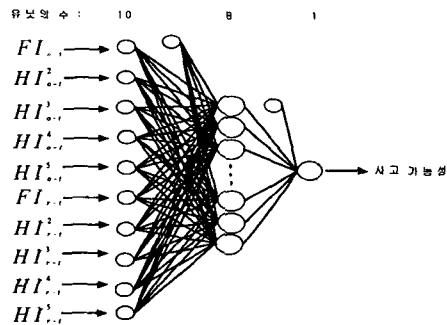


그림 3. 신경회로망 구성
Fig. 3. Neural Network Configuration

3.2 사고검출 흐름도

그림 4는 변압기 내,외부사고와 돌입현상 검출기법 개발을 위한 흐름도이다.

정확한 사고분석을 위하여 본 논문에서 제시한 방법은 과도해석 프로그램인 EMTP로 변압기 양단전류인 1, 2차 전류를 주기당 16샘플로 검출한 후, 동작전류와 억제전류로 분리하고, 신경회로망의 입력지수로 생성하기 위하여 억제전류와 동작전류의 기본과 전류와 기본파에 대한 고조파성분의 비율로 나타내 신경회로망으로 사고 가능성을 분석하였다

신경회로망을 이용한 변압기 사고 검출 기법 개발

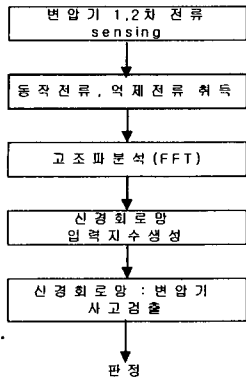


그림 4. 사고판정 흐름도
Fig. 4. Flow Chart of Fault Decision

그림 5는 표 2에서 제시한 학습패턴으로 학습하였을 때의 수렴곡선이고, 학습 정지조건인 허용오차를 0.01로 하였다. 수렴특성은 허용오차를 0.01에서 수렴횟수는 303회이며, 수렴하는데 필요한 시간은 Pentium4, 1.8[GHz]인 시스템에서 2분23초이다.

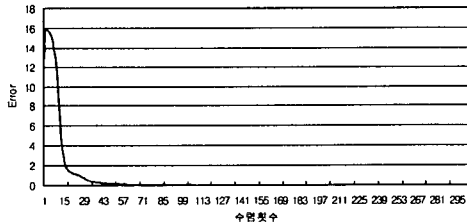


그림 5. 학습패턴의 수렴곡선
Fig. 5. Decreasing Curve of Study Pattern

4. 사고 분석

변압기 내부사고를 모의하기 위하여는 EMTP 보조 프로그램인 BCTRAN의 입력데이터는 표 1과 같고, 또한 모델계통도에서 외부 사고전류와 변압기 돌입전류 특성을 알기 위하여, 표 2와 같이 변압기 무부하 시험 데이터인 저압측 정격전압 14.7[kV]의 107%인 15.7[kV]일때 정격전류의 0.67%인 30[A]를 포화점으로 잡았고, 또한 변압기 1차측 14.7[kV]측에 설치된 6000/5 변류기의 포화점은 300[V], 0.2[A]

이고, 고압측 154[kV]측에 설치된 600/5 변류기 포화점은 전압 90[V]일때 전류 0.1[A]를 HYSDAT 프로그램에 적용시켜 EMTP 프로그램을 수행하였다.

표 2. 변압기 무부하시험 데이터
Table 2. No-Load Test Data of A Transformer

전압[kV]	여자전류[A]				손실[kW]
	U상	V상	W상	평균	
16.15	46.30	45.50	46.80	46.20	139.1
15.45	23.50	23.00	23.70	23.40	117.6
14.70	14.22	14.13	14.49	14.28	101.6
13.95	9.35	9.33	9.42	9.38	85.3
13.25	6.90	6.90	6.90	6.90	73.9
13.00	6.12	6.09	6.09	6.10	70.1

다양한 권선사고를 모의하기 위하여 그림 2의 B상 a, b, c 권선을 10%, 20%, 70%와 25%, 25%, 50% 그리고 33%, 33%, 33%의 비율로 세분화시켜 10%, 20%, 25%, 33%, 50%, 66%, 70%, 75%, 90%, 100%사고를 모의하였다. 또한 외부사고를 모의하기 위하여 그림 1의 모델 계통도에서 BUS3에서 LOAD까지 사고거리를 1, 2, 3, 4, 5, 20, 25[km]로 변화시켜 1선 지락사고와 선간 단락사고를 모의하였고, 돌입현상을 모의하기 위하여 정격전압의 110%, 120%에서 잔류자속값을 최대자속의 40%와 80%를 변화시켜 모의하였다. 또한 돌입에 가장 영향을 주는 전압 위상각을 0°에서 180°까지 가변시켰다.

변압기 내.외부사고와 돌입현상을 모의하기 위하여 과도해석 프로그램인 EMTP에서 주기 당 16샘플로 얻은 변압기 1, 2차 전류를 식(4)와 같이 동작전류와 식(5)과 같이 억제전류로 구분하여 1주기에 대한 FFT를 수행하여 각 고조파 성분을 추출하여 식(6),(7)과 같이 정의한 기본파 실효치 식(8),(9)와 같이 정의한 기본파에 대한 각 고조파 전류를 이용하여 변압기 내부사고, 외부사고, 변압기 포화에 대한 특성을 분석하였다.

동작전류 I_0 와 억제전류 I_R 는 식(4), (5)과 같다.

$$I_0 = |i_1 - i_2| \tag{4}$$

$$I_R = \frac{|i_1| + |i_2|}{2} \tag{5}$$

여기서

- i_1 : 변압기 저압측 CT1에 흐르는 전류
- i_2 : 변압기 고압측 CT2에 흐르는 전류이다.

동작전류의 기본파 실효치

$$I_{o-t} = \frac{1}{16} \sum_{i=0}^{15} I_{o-(t-i)}^2 \quad (6)$$

억제전류의 기본파 실효치

$$I_{r-t} = \frac{1}{16} \sum_{i=0}^{15} I_{r-(t-i)}^2 \quad (7)$$

동작전류의 고조파 비율

$$h_t^j = \frac{t\text{시점의 } j\text{고조파 크기}}{t\text{시점의 기본파 크기}} \quad (8)$$

억제전류의 고조파 비율

$$h_t^j = \frac{t\text{시점의 } j\text{고조파 크기}}{t\text{시점의 기본파 크기}} \quad (9)$$

여기서 j는 제2, 제3, 제4, 제5고조파이다.

표 3은 학습패턴에서 얻은 전류값을 위의 식(6)~(9)에서 정의한 동작전류와 억제전류의 기본파와 기본파에 대한 고조파를 이용하여 변압기 사고에 대한 특성을 정리한 표로서, 외부 지락사고 및 단락사고 시 사고지점의 거리가 부하측으로 가까울수록 고조파량의 함유량이 크며 동작전류에 비해 억제전류값이 크다. 반대로 내부사고 시 동작전류는 억제전류보다 값이 크게 나타난다.

표 3. 사고 분석표
Table 3. Table of Fault Analysis

구 분		I_0	$I_0(\%)$					I_R	$I_R(\%)$				
사고종류	상태	I_t	h_t^2	h_t^3	h_t^4	h_t^5	I_t	h_t^2	h_t^3	h_t^4	h_t^5		
내부 사고	지락	20%	0.86	0.17	0.07	0.10	0.06	0.44	0.11	0.21	0.11	0.11	
	사고	100%	5.64	3.7	2.6	2.0	1.7	3.85	4.4	3.0	2.3	2.0	
	단락	20%	0.26	8.59	5.69	4.62	3.95	1.40	2.40	1.60	1.30	1.09	
	사고	100%	2.42	2.22	1.56	1.19	1.05	2.37	1.83	1.25	1.0	0.84	
외부 사고	지락	1km	1.99	1.14	0.75	0.65	0.55	7.87	1.71	1.18	0.92	0.79	
	사고	20km	0.29	3.07	1.87	1.59	1.39	2.83	6.59	5.09	4.03	3.55	
	단락	1km	0.23	10.8	7.26	5.56	5.9	12.8	2.32	1.76	1.47	1.50	
	사고	20km	0.11	24.7	14.7	10.6	6.9	8.4	3.79	2.36	1.73	1.24	
돌입 현상	위상 각	0°	0.28	1.89	4.66	3.63	2.49	0.14	1.89	3.4	1.46	2.3	

5. 사례 연구

변압기 내부사고의 검출기법을 테스트하기 위하여 내부사고로는 20% 권선 지락사고 및 층간 단락사고 그리고 100% 지락사고와 단락사고 패턴을 가지고 신경회로망을 학습시켰고, 외부사고 학습패턴으로는 변압기에서 가까운 지점 1[km]와 먼 지점 20[km]를 B상 지락사고와 B상과 C상을 단락시켜 학습시켰다. 학습패턴의 우수성을 입증하기 위하여 테스트패턴으로는 학습패턴에서 사용하지 않은 10%, 25%, 33%, 50%, 66%, 70%, 75%, 90%, 권선사고를 모의하였고, 외부사고 테스트 패턴에서는 변압기에서 부하측으로 거리 2[km], 3[km], 4[km], 5[km], 25[km] 떨어진 지점에서 지락사고와 단락사고를 모의하였다. 또한 변압기 무부하 시 발생하는 돌입전류값으로 인한 오동작 발생을 알아보기 위하여 투입 위상각과 변압기 잔류자기 값을 변화시켜 신경회로망으로 테스트한 결과 우수한 성능으로 평가되었다.

표 4. 패턴별 사고
Table 4. Patterns of Fault Variety

구 분	학습패턴	테스트패턴	
내부 사고	지락사고	20%, 100% 권선사고	30%, 50%, 70% 권선사고
	단락사고	20%, 100% 층간사고	30%, 50%, 70% 층간사고
외부 사고	지락사고	1km, 20km 지점	2km, 3km, 5km, 10km 지점
	단락사고	1km, 20km 지점	2km, 3km, 5km, 10km 지점
돌입 현상	위상 각	-	0°, 45°, 90°, 180°
	잔류자기	-	최대자속의 40%, 80%
	부하연결	-	부하 50MW 역을 95%
	과 전 압	-	정격전압 110%, 120%

학습된 신경회로망을 표 4와 같이 변압기 내부사고와 외부사고 그리고 돌입현상과 과여자 현상에서 나타난 전류를 FFT 분석을 통하여 고조파 비를 획득하여 신경회로망의 입력지수로 이용 신경회로망을 출력시켰다.

5.1 변압기 내부사고

그림 2의 B상에서 FLT1과 FLT2 사이 권선비를 20%, 70%로 사고를 모의한 결과 그림 6과 그림 8에 나타나듯이 20%권선 지락사고와 20%단락사고 발생 시 현재 사용중인 비율차동계전기(DR)는 부동작

신경회로망을 이용한 변압기 사고 검출 기법 개발

한 결과를 나타냈다. 권선사고의 사고범위가 작을 수록 기준에 사용하고 있는 계전기는 동작하지 못하여 결과를 나타냈지만, 제시한 신경회로망을 이용한 방법으로는 사고범위가 작아도 정동작함을 나타내고 있다.

본 논문에서 제시한 신경회로망의 출력 지수값이 사고 후 1주기인 16샘플 동안 0.8이상 나타나게 되면 사고로 인식한 결과를 나타내므로 그림 6, 그림 8과 같이 작은 권선에서의 사고는 1주기 반에서 계전기가 동작하였다.

그러나 20%이상 권선 사고범위가 점차 확대될 수록 변압기 1, 2차 기본파의 동작전류는 증가하므로 기준에 사용중인 비율차동계전기(DR)는 사고로 인식하고, 제시한 신경회로망의 출력 지수값은 사고 후 1주기에 사고로 판정하는 결과를 알 수 있다. 그림 6에 나타난 편차전류는 1[A]지만 사고범위가 큰 그림 7의 편차전류는 5[A]이상의 값을 나타내고 있다.

사례연구에 나타난 모든 그림의 파형은 사고 전 2[cycle]과 사고 후 16[cycle]이다.

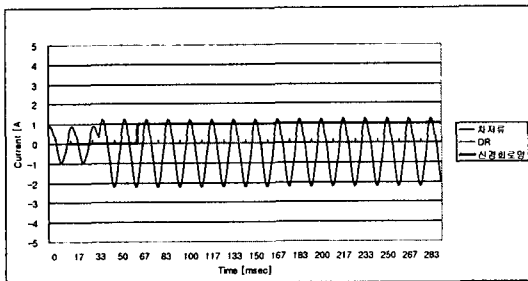


그림 6. 20% 내부 권선 지락사고
Fig. 6. 20% Internal Ground Fault

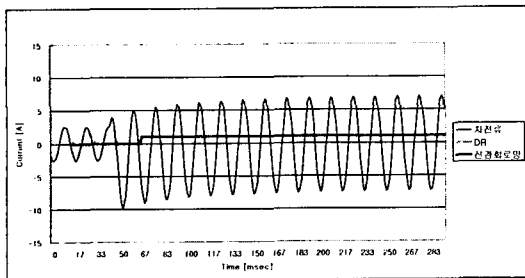


그림 7. 70% 내부 권선 지락사고
Fig. 7. 70% Internal Ground Fault

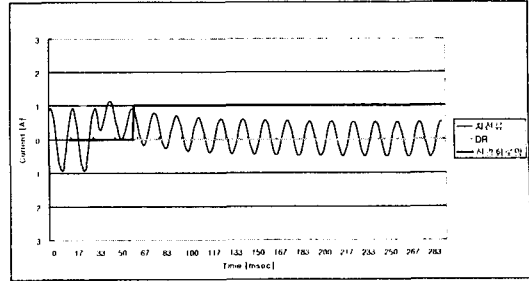


그림 8. 20% 내부 층간 단락사고
Fig. 8. 20% Internal Short Fault

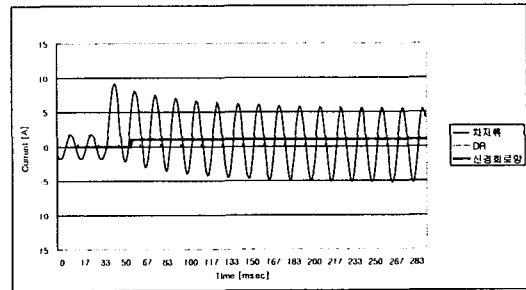


그림 9. 70% 내부 층간 단락사고
Fig. 9. 70% Internal Short Fault

그림 8의 작은 층간사고에서의 동작전류인 편차 전류값은 그림 6의 권선 지락사고 보다 작게 나타나지만 사고범위가 증가할수록 그림 9와 같이 편차전류는 증가한다.

5.2 변압기 외부사고

외부사고는 그림 1의 모델 계통도에서 변압기 TR2 2차측 BUS3에서 부하 LOAD쪽으로 가장 근접한 거리 1[km] 지점과 먼 거리 25[km]에서 외부 지락사고와 단락사고를 모의하였다.

그림(10)~(13)과 같이 외부사고 시에는 동작전류의 증가에 비례하여 억제전류의 증가가 더욱 커 현재 적용되고 있는 비율차동계전기는 부동작하고, 제시한 신경회로망에서도 부동작 것으로 나타나고 있다.

그러나 사고지점이 전원측에서 부하쪽으로 갈 수록 계전기에서 검출된 사고 편차전류인 동작전류와 억제전류의 실효치는 점차 작아지지만 고조파량은 증가하는 결과를 나타내고 있다.

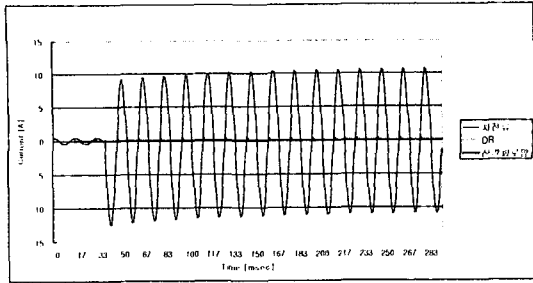


그림 10. 1(km)지점 외부 단락사고
Fig. 10. External Short Fault at 1(km) Distance

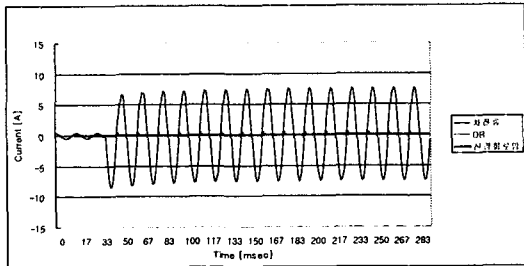


그림 11. 25(km)지점 외부 단락사고
Fig. 11. External Short Fault at 25(km) Distance

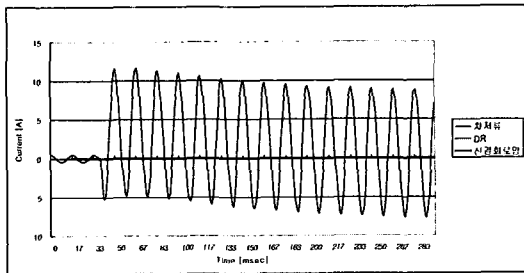


그림 12. 1(km)지점 외부 지락사고
Fig. 12. External Ground Fault at 1(km) Distance

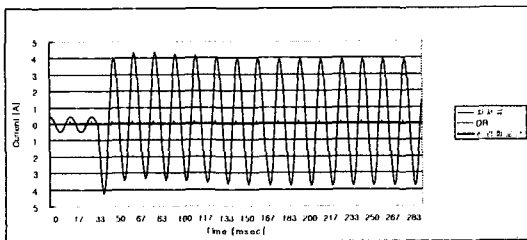


그림 13. 25(km)지점 외부 지락사고
Fig. 13. External Ground Fault at 25(km) Distance

5.3 변압기 돌입현상

변압기 2차측을 개방하고 전원측에서 전압을 인가하는 순간 과도 여자전류가 나타나지만, 이 과도 전류는 변압기에 인가되는 순간의 전압 위상각과 전압의 크기 그리고 변압기 철심에 남아있는 잔류자속의 크기에 따라 좌우된다.

그림 14에서는 가장 돌입전류가 크게 발생하는 전압 위상각 0° 와 변압기 내부 잔류자속 값이 변압기 최대자속의 40%일 경우 과도현상 프로그램에 적용시킨 결과 비율차동계전기와 신경회로망은 부동작한 결과를 나타내고 있다.

일반적으로 3상 변압기에서는 각상이 120° 의 위상편차를 가지고 있으므로 변압기가 전원에 인가하는 순간 어느 한상은 전압 위상각이 0° 부근에서 투입할 수 있다.

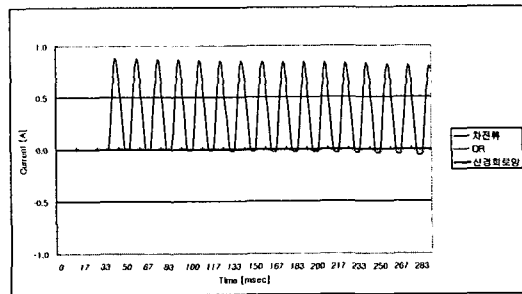


그림 14. 여자돌입전류(위상 0° , 잔류자속 40%)
Fig. 14. Inrush Current (Phase 0° , Remaining Flux 40%)

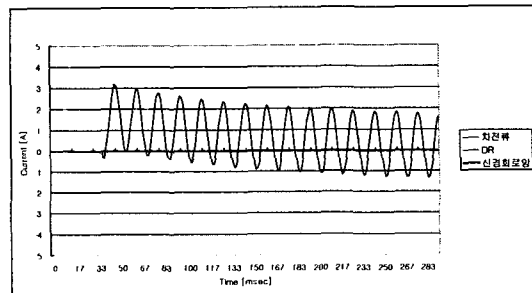


그림 15. 부하연결 시 과도전류(부하 50(MW), 역률 95%)
Fig 15. Transition current at Load(50(MW), 95%)

그림 15는 일반적으로 빈번하게 발생하는 현상으로 변압기 2차측에 부하를 연결하고 변압기 1차측에

신경회로망을 이용한 변압기 사고 검출 기법 개발

서 전원을 투입한 순간 돌입전류가 미치는 영향을 알아보기 위한 그래프이다.

그림 1에서 부하 50[MW]와 역율 95%로 가정하고 변압기 TR2는 전원이 차단된 상태에서 TR1의 1차측 스위치를 투입하는 순간 인가측 변류기에 나타난 전류파형이다. 이 과도전류는 선로 저항과 부하로 인하여 약 10주기 이내에 정상적인 부하 전류파형을 나타내고 있고 비율차동계전기와 신경회로망도 부동작하고 있다.

6. 결 론

실 계통에서 사용되고 있는 154[kV]의 송전계통에 사고가 발생하게 되면 기존에 사용하고 있는 비율차동계전기로는 사고를 감지하지 못하여 사고범위가 확대될 우려가 있다.

따라서 본 논문에서는 변압기 내부사고를 정확하게 감지하기 위하여 오류역전과 신경회로망을 이용한 변압기 내부사고 검출 기법을 제안하였다. 변압기 내부사고 특성을 분석하기 위하여 과도해석 프로그램인 EMTP를 이용하여 변압기의 1, 2차측의 전류를 취득하였으며, 취득한 전류를 이용하여 역제전류와 동작전류로 구분하여 고조파 분석을 하였다. 또한 동작전류와 역제전류의 기본파 실효치 지수와 제2, 제3, 제4, 제5고조파 지수를 정의하고 이를 신경회로망의 입력지수로 이용한 결과 변압기 내부권선 20% 층간 지락사고와 20% 권선 단락사고 시 현재 사용중인 비율차동계전기는 부동작한 것으로 나타났지만, 본 논문에서 제시한 신경회로망의 알고리즘은 사고전류를 고조파 분석한 지수값을 이용하여 사고가능성을 패턴값의 출력값으로 사고를 분석한 결과 우수한 특성을 나타냈다. 또한 입력층과 출력층 그리고 은닉층의 개수를 최소화시켜 연산처리 시간을 줄이도록 하였다.

향후에는 다양한 부하 조건과 변압기 권선사고 범위를 다변화시켜 기존에 사용하고 있는 모든 비율차동계전기의 정정에 도움이 되고자 한다.

References

- (1) 한국수자원공사 기술발표회 논문집 “충주 제1수력 주변 압기 보호용 브흐출쓰계전기 동작” P.87~385. 1988.
- (2) Y.C.Kang외. “The difference of current restrained protective relaying algorithm for power transformers” 2000년 전력계통 보호제어연구회 기술세미나 논문집 P.143~151. 2000.
- (3) Y.C.Kang외. “A protective relaying algorithm for power transformers based on the ratio of primary and secondary induced voltages” 2000년 전력계통 보호제어연구회 기술세미나 논문집. p135~142. 2000.
- (4) A.C Phadkel , J.S Thorp “A new computer-based flux-restrained current-different relay for power transformer protection” IEEE Transaction power apparatus and system. Vol. pas-102, NO.11, November 1983.
- (5) C.H.A Koreman N.V.KEMA. Arnhem , The nether lands “Determination of the magnetizing characteristic of three phase transformers in field tests” IEEE Transactions on power delivery. Vol 4, NO.3, July 1989.
- (6) C-H Einvall , J.R. Linders “A Three-phase differential relay for transformer protection” IEEE Transactions on power apparatus and system. Vol. pas-94, NO. November/December 1975.
- (7) T.W Wheatley NEI electronics LTD. uk “A Microprocessor based current differential protection” IEEE cont. 4th. 1980.
- (8) J.V.H Sanderson B.AL-fakhri “Improved performance of modern differential protection for teed feeders-simulation studies” IEEE cont. 3rd 1985.
- (9) N.H.Kim. “Development of a high impedance fault detection method in distribution lines using the neural network” Journal of korea institute of illuminating and electrical installation engineers Vol.13, NO.2 P.80~87 May 1999.
- (10) S.H.Kang외. “Analyses of transformer characteristics for current differential protective relaying” ‘96 대한전기학회 하계학술대회 논문. P.671~673 1996.7
- (11) Patric bastard , Pierre bertrand , Michel meunier “A Transformer model for winding fault studies” IEEE Transaction on power delivery. Vol 9, NO.2, April 1994.

◇ 저자소개 ◇

김일남 (金日南)

1957년 10월 15일생. 1984년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1994년 강원대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 ~ 현재 한국수자원공사.

김남호 (金南豪)

1952년 3월 31일생. 1974년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1977년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1982년 ~ 현재 강원대학교 전기공학과 교수.