

웨이블릿 변환을 이용한 변압기 보호계전 알고리즘

論 文
52A-2-8

Protective Relaying Algorithm for Transformer Using Wavelet Transform

洪東奭* · 李鍾範**
(Dong-Suk Hong · Jong-Beom Lee)

Abstract - The power transformer is one of the very important electric facilities in power systems. Recently, current differential relay is widely used to protect such power transformer. But if inrush occurs in transformer, relay can be tripped by judging like internal fault. Therefore the correct discrimination between internal winding fault, inrush and overexcitation should be performed. This paper presents a new protective relaying algorithm which discriminates inrush, internal faults and overexcitation of transformer modelled using BCTRAN and HYSDAT of EMTP. Discrimination between internal winding fault and inrush is revealed in simulation within 1/2 cycle after fault. Accordingly, it is evaluated that the proposed algorithm has better discrimination characteristics in various cases than the current relaying for protection of transformer.

Key Words : Power transformer, Current differential relay, Internal fault, Inrush, Overexcitation

1. 서 론

경제성장에 따라 전력수요는 날로 증대되고 있어 전력계통은 대형화되고 이에 따라 변압기도 초고압화, 대용량화되고 있다. 이러한 변압기에서 고장이 발생되면 정전영역이 넓어지고, 공급지장 및 복구에 따른 경제적 손실은 매우 크게 되므로 고장을 즉시 검출한 후 변압기를 계통에서 분리하여 고장의 파급을 방지하여야 하는데 이를 위해 변압기용 보호계전기가 설치되어 운용되고 있다[1].

이러한 전력용 변압기 보호에는 차동전류에 기초한 전류차동 방식이 일반적으로 사용되고 있다. 이 방식은 변압기의 1차전류와 2차전류의 차에 의해 동작하며 부하전류에 오동작하지 않도록 변압기를 통과하는 전류, 즉 1차 측에서 2차 측으로 흐르는 전류와 변압기로 유입되는 전류와의 비율이 일정한 값 이상 일 때만 동작하도록 하는 방식이다. 그러나 외부사고시 변류기 포화등으로 인한 입력전류의 오차, 변압기 권선의 사고 위치에 따른 내부 사고시의 차동전류의 큰 편차와 변압기의 여자돌입 현상처럼 고장이 아닌 경우에도 고장이 발생한 경우처럼 전류가 크게 변하기도 하여 차동전류기법만으로는 여자돌입 및 과여자와 같은 외란을 내부고장과 정확하게 구분하기는 매우 어렵다. 이러한 계전기의 오동작을 방지하기 위하여 현재 가장 널리 이용되고 있는 것은 고조파 억제 방식인데 이는 내부고장과 여자돌입을

구분하기 위해서 차동전류의 2고조파 성분을 억제요소로, 과여자를 구분하기 위해서 5고조파 성분을 억제요소로 하는 보호계전 방식이다[2,3]. 그러나 계통의 변화와 철심의 재질이 변함에 따라 저차 고조파의 함유량이 줄어들게 되고, 송전 전압이 높아지게 되며 지중선로가 많아짐에 따라 내부고장시 2고조파의 함유량이 늘어나게 되어 고조파 억제방식은 수정이 불가피하게 되었다[4,5]. 또한 이 방식은 주파수 영역에서 판단을 하기 때문에 한주기 이상의 시간이 더 필요하다는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 변압기 보호용으로 퍼지 논리(Fuzzy Logic)와 신경회로망, 그리고 최근에 웨이블릿 변환을 이용한 알고리즘이 제안되었다[6]-[9]. 그러나 현재 웨이블릿 변환을 이용한 변압기 내부고장 판별에 관한 논문들은 웨이블릿 변환에 있어 중요하다 할 수 있는 마더 웨이블릿의 선정 기준이 확실치 않으며 내부고장과 여자돌입의 판별은 가능하나 판별속도에 있어 고장발생후 1주기가 지나서야 동작이 된다는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용한 새로운 형식의 변압기 보호계전 알고리즘을 제안하였다. EMTP를 이용하여 총 78여가지의 변압기 내부고장과 여자돌입, 과여자를 모델링 하였으며, 이를 통하여 얻어진 차동전류 데이터를 입력신호로 사용하였다. 문제점으로 제기되었던 마더 웨이블릿의 선정은 d1계수의 크기와 원신호 추출능력에 근거하여 마더 웨이블릿을 선정함으로써 변압기 내부고장 판별에 가장 적절한 마더 웨이블릿이 db4임을 제시하였다. 그리고 기존의 고조파 분석에 의존하는 알고리즘과는 달리 시간영역에서 보호를 수행하기 때문에 주파수 성분을 계산하기 위한 데이터 원도우가 필요하지 않아 동작시간 또한 빠른 새로운 개념의 알고리즘임을 확인하였다.

* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 院 研 究 員

** 正 會 員 : 圓 光 大 電 氣 電 子 情 報 工 學 部 教 授 · 工 博
接 受 日 字 : 2002年 2月 19日
最 終 完 了 : 2002年 12月 6日

2. 웨이블릿 분석

2.1 웨이블릿 이론

신호를 다양한 주파수의 정현파로 분해하여 시간영역의 관점에서 주파수 영역으로 변환시키는 방법으로 신호분석에 일반적으로 가장 많이 이용되는 푸리에 분석은 주파수 영역으로 변환할 때 시간 영역에 대한 정보는 소실된다는 단점을 가지고 있다. 이런 푸리에변환의 결점을 보완하기 위해 Dennis Gabor에 의해 1946년에 제안된 STFT(Short Time Fourier Transform)는 신호를 시간과 주파수 영역으로 분석함으로써 푸리에변환의 단점을 개선하였으나 일정한 크기의 윈도우를 사용하기 때문에 제한된 범위에서의 신호분석만 가능하다. 즉, 시간영역에서 윈도우 크기가 설정되면 모든 주파수 영역에서 윈도우 크기가 고정된다는 단점을 가지고 있다. 따라서 STFT를 이용한 방법도 비주기적이고 비정적인 전력계통의 과도특성을 분석하는데는 적절하지 못하다고 할 수 있다[10].

그러나 웨이블릿 변환은 스케일이 주파수에 따라 변화한다. 즉, 시간-스케일 영역을 사용함으로써 가변윈도우의 특성을 나타내므로 Low Scale에서는 High Frequency 성분을 나타내고, High Scale에서는 Low Frequency 성분을 나타내게 된다. 이처럼 웨이블릿 변환은 웨이블릿 모함수를 정의하고 이 모함수를 시간에 따른 크기 변형(Scaling)과 시간에 따른 이동(Translation)을 통해 분석영역이 가변되는 윈도우를 사용함으로써 푸리에 변환과 STFT변환의 단점을 해결하였다[11].

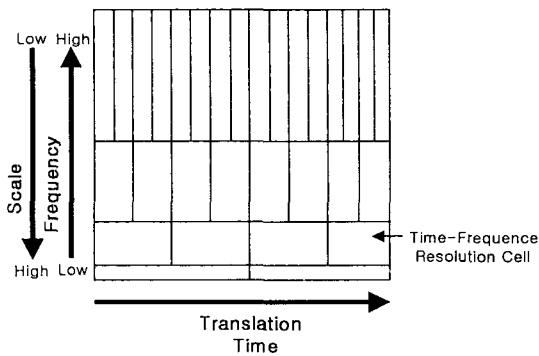


그림 1 웨이블릿 변환의 시간-스케일의 관계
Fig. 1 Relation of time-scale of wavelet transform

그림 1은 웨이블릿 변환의 시간-스케일의 관계와 스케일과 주파수의 관계를 도표로 나타내었다.

$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

$$D(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \cdot \psi\left(\frac{n-ka_0^m}{a_0^m}\right) \quad (2)$$

연속웨이블릿 변환(CWT)은 식 (1)의 마더 웨이블릿함수(ψ)의 Scale(a)과 Translation(b)에 의해 곱해진 Signal의 모

든시간에 걸친 합으로 정의된다. 하지만 연속웨이블릿 변환은 모든 스케일에서 웨이블릿 분석을 수행하게 되어 무한히 많은 데이터가 산출되므로 분석시간이 길어진다는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 식 (2)의 이산시간 웨이블릿함수(ψ)를 이용하여 Scale(a_0^m)과 Translation(ka_0^m)요소를 이산화시켜 효율적으로 웨이블릿 분석을 수행할 수 있는 이산웨이블릿 변환(DWT)을 사용하였다. 이산 웨이블릿함수와 Signal S(k)에 대한 이산웨이블릿 변환식은 식 (3)과 같다.

$$DWT(m, n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k S(k) \cdot \psi\left(\frac{n-ka_0^m}{a_0^m}\right) \quad (3)$$

2.2 마더 웨이블릿의 선정

마더 웨이블릿의 종류에는 Harr, Daubechies, Biorthogonal, Coiflets, Symlets, Morlet, Meyer 웨이블릿등 여러종류가 있으며, 이 중에서 일반적으로 전력계통 고장해석에 사용되어지는 마더 웨이블릿은 db4, db5, sym5, coif4 등이 있다.

그러나 이들 중 어떤 것이 변압기 내부고장 검출에 적합한지는 아직 결론이 나온 것이 없다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 웨이블릿 분석을 통하여 변압기의 내부고장 검출을 위해 DWT의 1단계 분석으로부터 얻어진 각 d1계수의 절대값의 크기를 비교하였으며, 또한 웨이블릿의 원신호 추출능력을 평가하기 위해 원신호를 DWT를 이용하여 1단계로 분해한 후 이를 다시 역변환(IDWT)하여 그 합수를 원신호와 비교함으로써 얻어진 오차율로 적정 마더 웨이블릿을 선정하였다. 표 1은 Daubechies, Coiflets, Symlets의 마더 웨이블릿을 이용해 차수별로 분석하여 추출한 d1계수의 합과 역변환된 원신호와 오차율을 나타낸 도표이다. 표 1에서 알 수 있듯이 d1계수의 합은 Daubechies의 db4가 가장 높게 나타났으며, db3와 sym3도 db4와 유사한 계수값이 분포되어 있다. 또한 이들 3개 마더 웨이블릿의 오차율을 비교한 결과 db4가 가장 양호한 특성을 나타내어 본 논문에 사용될 마더 웨이블릿은 db4를 선정하였다.

표 1 마더 웨이블릿 d1 계수합 및 역변환된 원신호와의 오차율 비교

Table 1 Comparison of d1 coefficient summation and error rate after IDWT in mother wavelet

MW		db2	db3	db4	db5	db6		
총간단락	5%	0.7447	1.3968	1.5424	1.2734	0.8665		
	30%	1.9754	3.6705	4.0300	3.3169	2.2593		
권선지락	5%	4.5033	8.5789	9.5069	7.8733	5.3869		
	30%	2.9870	5.7302	6.3761	5.2966	3.6289		
오차율		2.524 E-12	5.411 E-11	1.045 E-11	2.621 E-11	1.011 E-11		
MW		coif3	coif4	coif5	sym3	sym4	sym5	sym6
총간단락	5%	0.901	0.896	0.894	1.396	0.725	0.463	0.751
	30%	2.346	2.339	2.337	3.670	1.888	1.241	1.960
권선지락	5%	5.595	55.56	5.558	8.578	4.532	2.926	4.683
	30%	3.769	3.748	3.739	5.730	3.068	1.958	3.156
오차율		3.127 E-12	1.534 E-10	3.131 E-8	5.411 E-11	2.149 E-12	8.177 E-13	3.367 E-12

3. 변압기 보호 알고리즘 개발

3.1 변압기 보호 알고리즘

본 논문에서 사용된 외란 판단 기준은 변압기 3상 차동전류의 웨이블릿 분석 결과인 d1계수값을 입력으로 사용하였다. 이는 그림 10에 나와 있는 알고리즘 블록도에서 볼 수 있듯이 우선 반주기(1/2주기) 데이터 윈도우(32샘플)의 웨이블릿 분석 결과인 d1계수의 절대값을 합한 뒤 이 값들의 평균값을 구한다. 여기서 d1계수의 절대값의 합을 S라 하고 각각 상별로 S_a, S_b, S_c 라 하였으며, 이 값들의 평균값을 M1이라 하였다.

$$S_a = \sum_{k=n-1}^n abs((d1(k))) \quad (4)$$

$$S_b = \sum_{k=n-1}^n abs((d1(k))) \quad (5)$$

$$S_c = \sum_{k=n-1}^n abs((d1(k))) \quad (6)$$

$$M1 = \frac{[S_a + S_b + S_c]}{3} \quad (7)$$

이 과정을 거쳐 얻어진 값들을 아래의 식 (8), (9), (10)과 같이 각각 상의 평균값에 대한 상승률 P(a,b,c)를 적용하여 나온 값들의 평균값 M2에서 처음 반주기 값을 외란 판단 기준으로 정하였다.

$$P_a = \frac{S_a - M1}{S_a} \quad (8)$$

$$P_b = \frac{S_b - M1}{S_b} \quad (9)$$

$$P_c = \frac{S_c - M1}{S_c} \quad (10)$$

$$\frac{[P_a + P_b + P_c]}{3} = M2 \quad (12)$$

본 논문에서는 이 외란 판단 기준값의 임계치를 100%로 정하여 평균값 M2의 처음 반주기 값이 임계치를 넘으면 내부고장으로 판정하고, 이 임계치를 넘지 않으면 외란 즉, 여자돌입과 과여자로 판정하도록 하였다.

그림 2는 본 논문에서 사용된 변압기 보호 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다.

3.2 CT 결선

일반적으로 변압기 결선과 CT 결선은 1, 2차측 전류 위상차이의 보상을 위해 변압기의 Δ 결선 측에 설치되는 CT의 결선은 Y로, 변압기의 Y결선 측에 설치되는 CT의 결선은 Δ 로 한다. 본 논문에서는 변압기가 Y결선일 때 Δ 결선을 기준으로 전류를 추출 하였기 때문에 변압기 결선이 Y결선일 때 CT 결선도 Y결선인 경우 변환식이 필요하다[5]. 표 2에 각 결선에 따른 전류 추출식을 나타내었으며 본 논문에서는 표 2에서 1의 경우를 기본값으로 하였다.

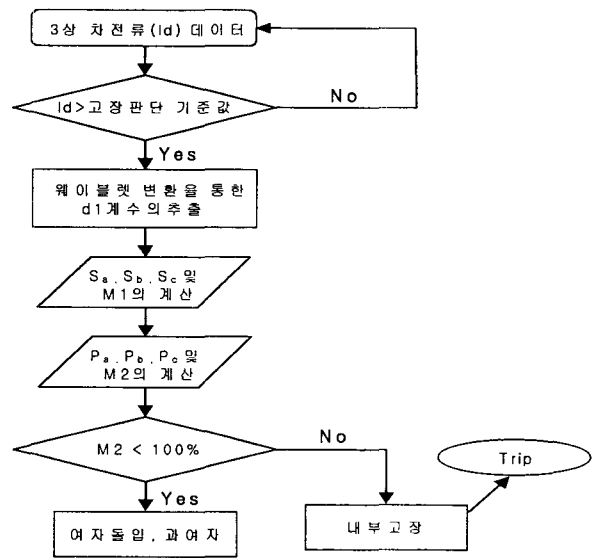


그림 2 알고리즘 흐름도
Fig. 2 Flow chart of algorithm

표 2. CT 결선에 따른 전류 상전류 변환

Table 2 Phase current transform following CT connection

TR 결선	CT 결선	각상 추출 전류	변환식
Y	1 Y	i_a, i_b, i_c	$i_a' = i_a - i_b$ $i_b' = i_b - i_c$ $i_c' = i_c - i_a$
	2 Δ	$i_a - i_b$ $i_b - i_c$ $i_c - i_a$	그대로 사용

4. EMTP를 이용한 변압기 모의 및 고조파 분석

제시한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 그림 3과 같은 모델계통을 선택하였다. 대상 변압기는 154[kV]/22.9[kV], Y-Y결선, 용량이 40[MVA]이고, 부하용량 또한 40[MVA]이다. 변압기 고장은 EMTP를 이용하여 모델링 되었으며, 모의 시간은 총 10주기이고, 주기당 64샘플링을 하였으며, 전류는 변압기 1, 2차측 정보를 이용하였다. 그리고 변압기 차동전류 파형의 신뢰도를 위해 DFT변환을 이용하여 각 외란의 고조파를 분석하였다.

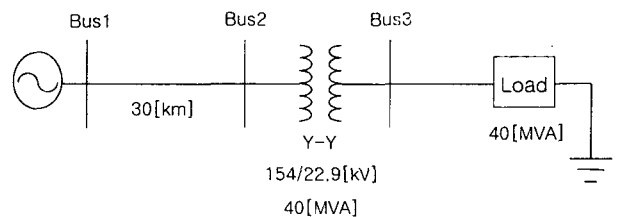


그림 3 모델 계통
Fig. 3 Model systems

4.1 내부고장

변압기 내부고장 모델링은 변압기 선형 모델링 기법인 LICTRAN 보조프로그램을 이용하였다[12]. 모의한 내부고장 조건으로는 층간단락(5%~80%) 24가지, 권선지락(5%~90%) 20가지를 다루었고, 전압투입 위상각은 0°, 90°로 하였다.

그림 4와 5는 0°고장시 변압기의 1차측 A상권선에 5% 층간단락(Turn-to-Turn) 고장이 발생된 경우와 30% 권선지락(Turn-to-Ground) 고장이 발생된 경우 3상의 차동전류이며, 그림 6과 7은 DFT(이산 푸리에 변환)를 이용한 고조파 분석결과이다. 그림 6과 7에서 보는바와 같이 내부고장의 경우 기본과 성분은 증가를 하지만 2고조파나 5고조파는 고장 발생 초기에는 많이 발생하지만 한주기가 지나면 거의 없어지는 경향을 보이고 있다.

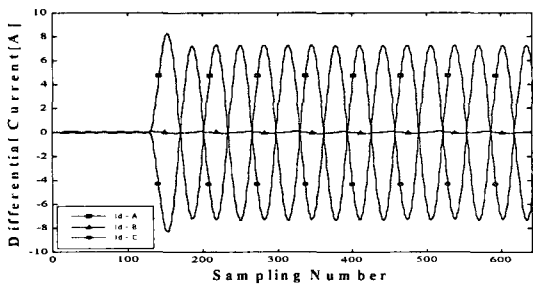


그림 4 A상 5% (0°) 층간단락 고장시 3상 차동전류
Fig. 4 3-Phase Differential currents on A phase 5% turn to turn fault (0°)

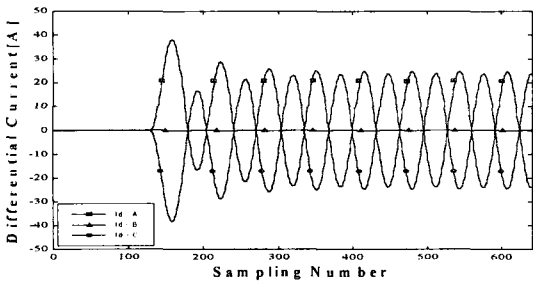


그림 5 A상 30% (0°) 권선지락 고장시 3상 차동전류
Fig. 5 3-Phase Differential currents on A phase 30% turn to ground fault (0°)

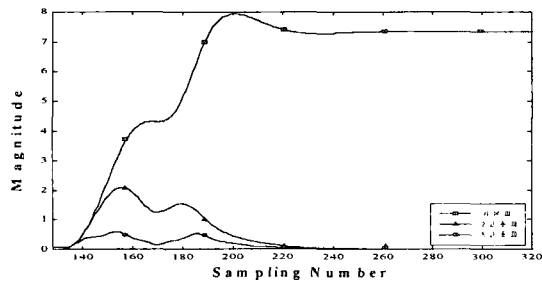


그림 6 층간단락 고장시 고조파 분석
Fig. 6 Harmonic analysis on turn to turn fault

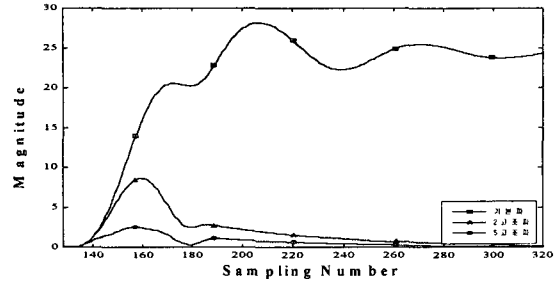


그림 7 권선지락 고장시 고조파 분석
Fig. 7 Harmonic analysis on turn to ground fault

4.2 여자돌입 및 과여자

여자돌입과 과여자와 같이 변압기 포화모델이 필요한 외란을 모의하기 위해서는 변압기 자화곡선이 필요하다. 따라서 여자돌입은 EMTP내에 자화곡선 모델링이 가능한 Type-96소자를 이용하여 모델링 하였으며, 여자돌입은 모의시 전압 위상각에 크게 의존하는 사실에 입각하여 전압투입 위상각을 0°에서 90°로 변화시켜가며 총 19가지를 다루었다. 그리고 과여자에서는 처음부터 전원에 과전압을 가하여 모의하였으며 전압의 크기를 102%~130%로 변화시켜가며 총 15가지를 다루었다. 그림 8은 전압 전압투입 위상각을 90도로 하였을 때의 3상 여자돌입 전류 신호의 차동전류이고 그림 9는 110%의 과전압을 인가하였을 때의 차동전류이다.

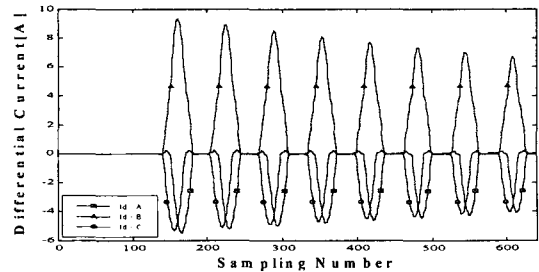


그림 8 여자돌입시 3상 차동전류(90°)
Fig. 8 3-Phase Differential currents on magnetizing inrush (90°)

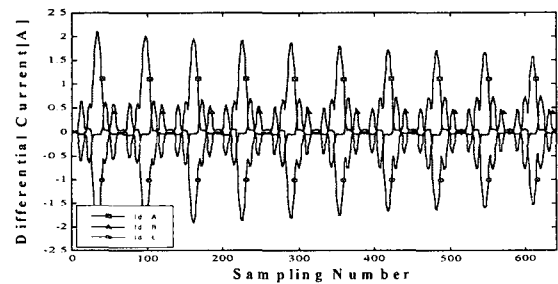


그림 9 과여자시 3상 차동전류(110%)
Fig. 9 3-Phase Differential currents on overexcitation (110%)

그림 10과 11은 전압투입 위상각 90도시의 여자돌입과 110% 과여자시의 DFT변환을 이용한 고조파 분석결과이다.

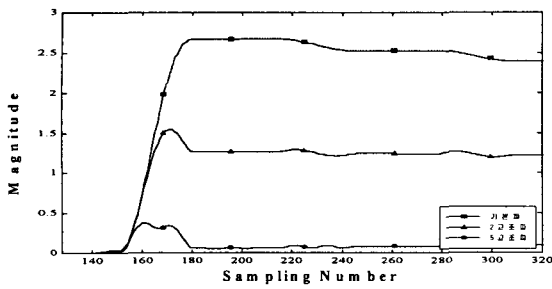


그림 10 여자돌입시 고조파 분석
Fig. 10 Harmonic analysis on magnetizing inrush

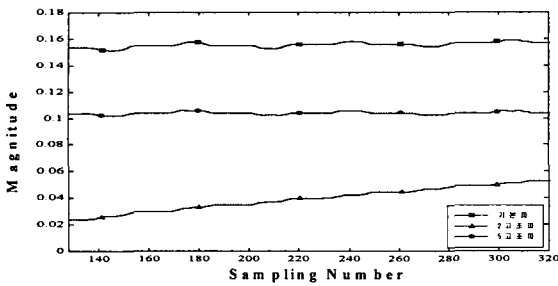


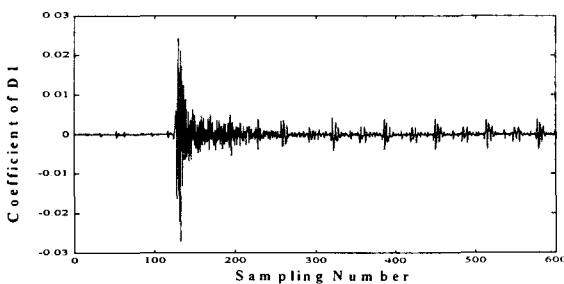
그림 11 과여자시 고조파 분석
Fig. 11 Harmonic analysis on overexcitation

그림 10에서의 여자돌입의 경우는 앞의 고조파 억제 방식에서 설명한 것처럼 5고조파는 감소하지만 2고조파는 기본파 성분의 약 30%이상을 차지하였고, 그림 11에서의 과여자의 경우는 이와 반대로 5고조파가 기본파 성분의 약 50% 이상을 차지하였다. 하지만 이 고조파를 억제 요소로 사용하는 방식은 수치해석적인 에러로 인하여 처음 한주기 내의 고조파 정보는 계전신호로서 사용할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

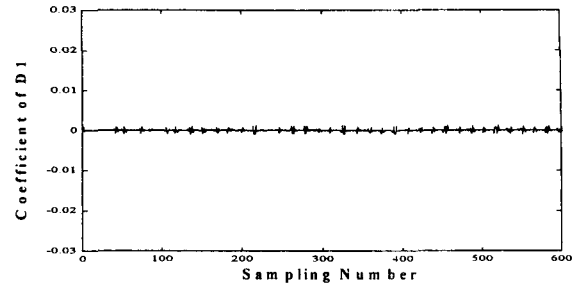
5. 사례 연구

5.1 내부고장

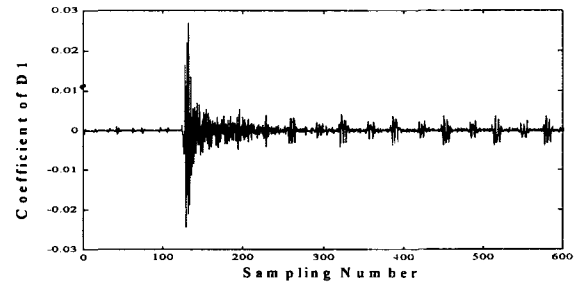
아래 그림 12는 A상 5% 층간단락시(0도) 3상 차동전류의 d1 웨이블릿 변환결과이다.



(a) 5% 층간단락시(0°) A상 차동전류의 d1



(b) 5% 층간단락시(0°) B상 차동전류의 d1



(c) 5% 층간단락시(0°) C상 차동전류의 d1

그림 12 5% 층간단락시(0°) 3상 차동전류의 d1
Fig. 12 Detail 1 of 3-phase Differential currents during 5% turn to turn (0°)

그림에서 볼 수 있듯이 고장순간에 아주 큰값의 d1계수가 발생하고 시간이 지날수록 감소하는 형태를 보이고 있다.

그림 13은 각상의 d1계수들을 알고리즘에 적용한 결과를 보이고 있다. A, C상과 B상의 상승률(P)이 현저한 차이를 가지고 있어 그 평균값인 M2가 알고리즘의 외란판단 기준값인 100%를 넘음으로써 계전기가 트립하였다.

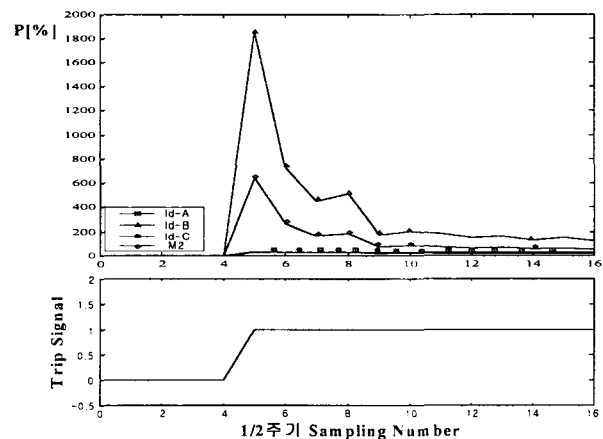
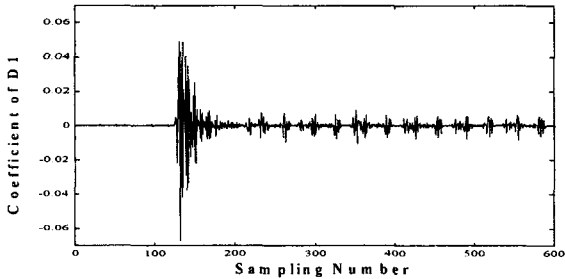


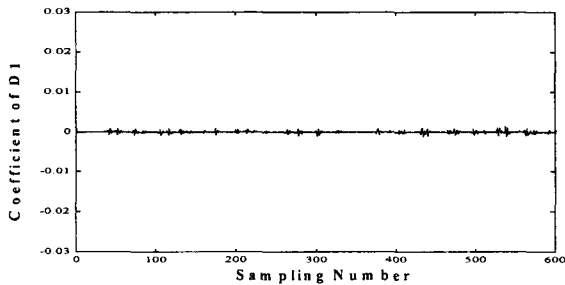
그림 13 5% 층간단락시(0°) 1/2주기 데이터 윈도우 및 트립 신호

Fig. 13 Data window and trip signal of 1/2 period during 5% turn to turn fault (0°)

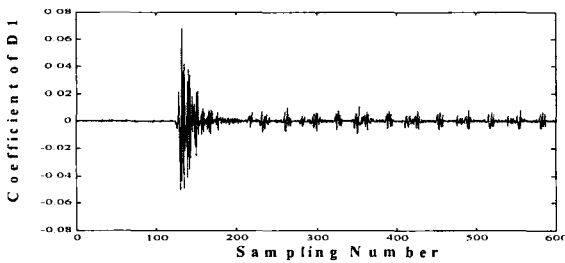
그림 14와 15는 A상 30% 권선지락시(0도) 3상 차동전류의 웨이블릿 분석결과와 각상 차동전류의 d1 계수들을 알고리즘에 적용한 결과이다. 이 그림 또한 위의 층간단락시와 비슷한 파형을 나타내며 알고리즘 적용결과 이것 또한 외란 판단 기준값인 100%를 넘음으로써 계전기가 트립하였다.



(a) 30% 권선지락시(0°) A상 차동전류의 d1



(b) 30% 권선지락시(0°) B상 차동전류의 d1



(c) 30% 권선지락시(0°) C상 차동전류의 d1

그림 14 30% 권선지락시(0°) 3상 차동전류의 d1
Fig. 14 Detail 1 of 3-phase Differential currents during 5% turn to ground (0°)

5.2 여자돌입 및 과여자

그림 16은 여자돌입시(90도) 3상 차동전류의 웨이블릿 결과이다. 이 파형은 내부고장의 파형과는 달리 고장후에 시간이 지날수록 감소하지 않고 주기적으로 비슷한 파형들이 나타난다. 그림 17은 여자돌입 파형의 알고리즘 적용결과인데 내부사고와는 달리 A,B,C상의 상승률(P)의 차이가 별로 없어 평균값 M2의 고장후 처음 반주기 값이 약 15%가 되어 외란 판단 기준값인 100%를 넘지 않아 계전기가 트립하지 않았다.

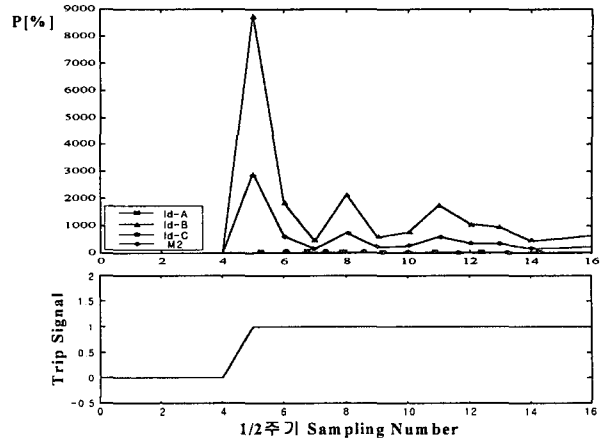
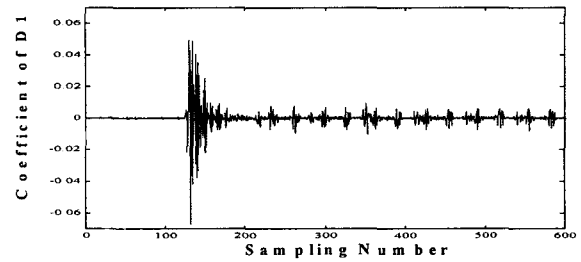
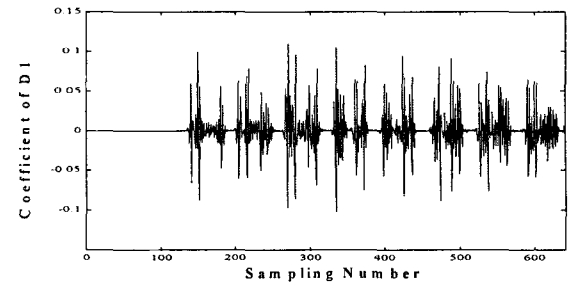


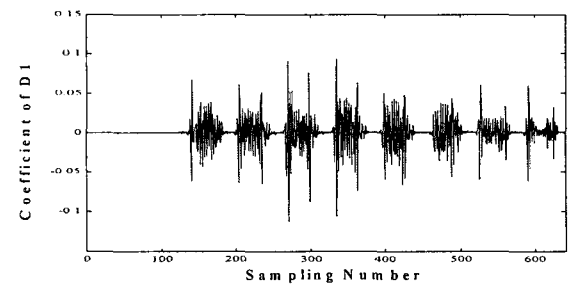
그림 15 5% 층간단락시(0°) 1/2주기 데이터 윈도우 및 트립 신호
Fig. 15 Data window and trip signal of 1/2 period during 5% turn to turn fault (0°)



(a) 여자돌입시(90°) A상 차동전류의 d1



(b) 여자돌입시(90°) B상 차동전류의 d1



(c) 여자돌입시(90°) C상 차동전류의 d1

그림 16 여자돌입시 (90°) 3상 차동전류의 d1
Fig. 16 Detail 1 of 3-phase Differential currents during magnetizing inrush(90°)

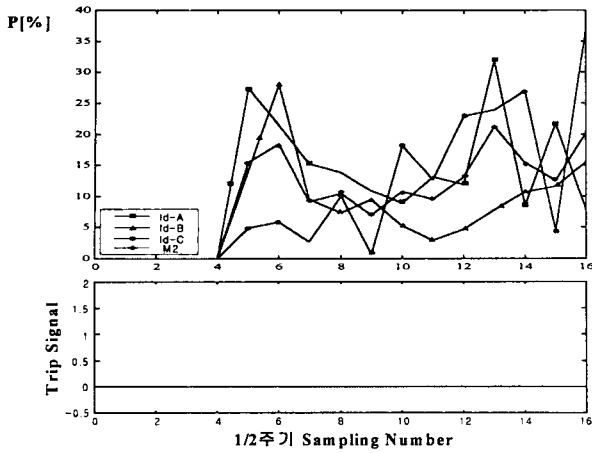
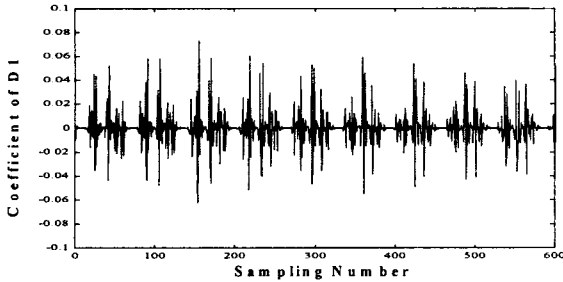
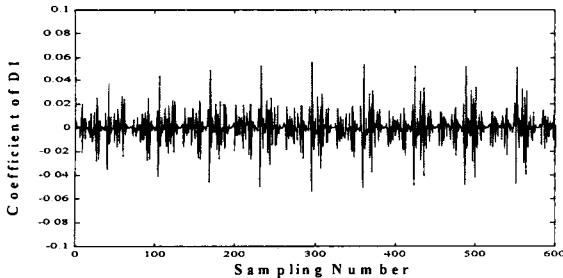


그림 17 여자돌입시(90°) 1/2주기 데이터 윈도우 및 트립 신호

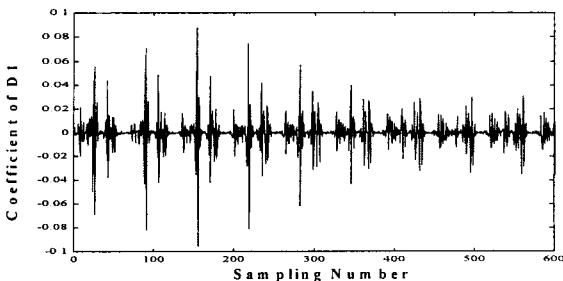
Fig. 17 Data window and trip signal of 1/2 period during magnetizing inrush (90°)



(a) 과여자시(110%) A상 차동전류의 d1



(b) 과여자시(110%) B상 차동전류의 d1



(c) 과여자시(110%) C상 차동전류의 d1

그림 18 과여자시 (110%) 3상 차동전류의 d1
Fig. 18 Detail 1 of 3-phase Differential currents during overexcitation (110%)

그림 18은 110% 과여자시 3상 차동전류의 웨이블릿 분석 결과이다. 이 파형은 또한 여자돌입시와 같이 주기적으로 비슷한 파형들이 나타난다. 그림 19는 과여자 파형의 알고리즘 적용결과인데 평균값 M2의 고장후 처음 반주기 값이 약 20%가 되어 외란 판단 기준값인 100%를 넘지 않아 계전기가 트립하지 않았다..

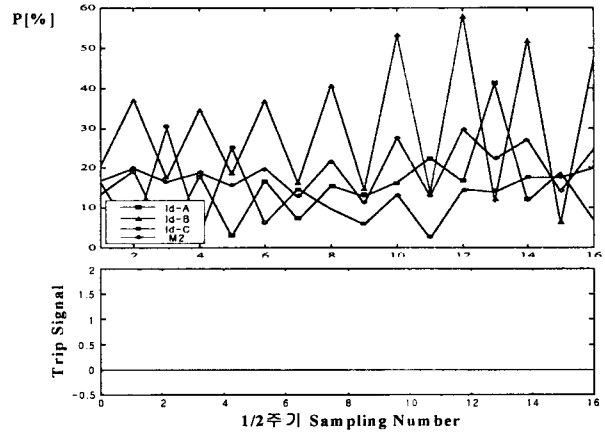


그림 19 과여자시(110%) 1/2주기 데이터 윈도우 및 트립 신호

Fig. 19 Data window and trip signal of 1/2 period during overexcitation (110%)

따라서 위의 사례연구 결과가 보여 주듯이 본 논문에서 제안한 알고리즘은 변압기 보호에 있어 문제가 되고 있는 내부고장과 여자돌입, 과여자를 정확하게 판별하였으며 판단 시간도 1/2주기인 빠른 시간내에 판별함으로써 아주 양호한 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 EMTP의 보조프로그램인 BCTRAN과 HYSDAT를 이용하여 총 78가지의 변압기의 내부고장과 여자돌입 및 과여자를 모의한 후 이를 통해 얻어진 변압기 3상 차동전류의 데이터를 웨이블릿 변환을 이용하여 분석함으로써 내부고장과 여자돌입, 과여자의 판별을 위한 기존의 방법과는 다른 새로운 알고리즘을 제시하였다. 본 연구를 통해 얻은 내용을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘과는 달리 기본파나 다른 고조파 분석없이도 웨이블릿 변환에서 신호의 고조파 성분을 나타내는 detail을 이용하여 변압기 내부고장과 여자돌입, 과여자를 판별하였다.
- (2) d1계수의 크기와 원신호 추출능력에 근거하여 변압기 내부고장 판별에 가장 적절한 모 함수가 db4 마더 웨이블릿을 제시하였다.
- (3) 제안된 알고리즘은 여러 가지의 시뮬레이션 결과 모든 경우에 대하여 고장발생 후 1/2주기 이내에 내부 고장과 여자돌입 및 과여자를 판별함으로써 아주 양호한 계전특성을 나타내었다.
- (4) 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘과는 달리 시간영

역에서 보호를 수행하기 때문에 계전기 동작시간을 감소할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨

참고 문헌

- [1] Walter A. Elmore, "Protective Relaying Theory and Applications", ABB Power T&D Company Inc., pp. 145~165, 1994
- [2] C. E. Lin, C. L. Huang and J. C. Yeh, "Investigation of Magnetizing Inrush Current in Transformers. Part I - Numerical Simulation", IEEE Trans. on PWRD. Vol. 8, No. 1, Jan. pp. 246~254, 1993
- [3] C. E. Lin, C. L. Huang and J. C. Yeh, "Investigation of Magnetizing Inrush Current in Transformers. Part II - Harmonic Analysis", IEEE Trans. on PWRD. Vol. 8, No. 1, Jan. pp. 255~263, 1993
- [4] J.Lewis Blackburn, Protective Relaying Principles and Applications, Second Edition, Marcel Dekker Inc., Chap 9, pp. 275~326, 1998
- [5] 김상태, 이승재, 강상희 외 3명, "전압, 전류 변화 추이를 이용한 전력용 변압기 보호계전 알고리즘", 대한전기학회 논문지, 50권 4호, pp. 157~165, 2001. 4
- [6] B. Kasztenny, E. Rosolowski, M. M. Saha, B. Hillstrom, "A Self-Organizing Fuzzy Logic Based Protective Relay - An Application to Power Transformer Protection", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 11, No. 3, pp. 1119~1127, July 1997
- [7] Moises Gomez-Morante, Denise W. Nicoletti, "A Wavelet-based Differential Transformer Protection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, October 1999
- [8] Xiangning Lin, Pei Liu, Shijie Cheng, "A Wavelet Transform Based Scheme Power Transformer Inrush Identification", IEEE PES WM. Vol. 3, pp. 1862~1867, 2000
- [9] 권명현, 박철원, 신명철, "도비시 웨이블릿 변환을 이용한 변압기의 여자돌입과 내부 권선고장 판별논리 기법", 대한전기학회 논문지, 50권 5호, 2001. 5
- [10] Martin, "Wavelet and Filter Banks : Theory and Design", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 40, No. 9, pp. 2207~2232, 1992
- [11] Wavelet Toolbox For Use With MATLAB
- [12] P. Bastard, P. Bertrand, M. Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 9, No. 2, pp. 690-699, April 1994

저자 소개



홍 동 식 (洪 東 奭)

1974년 1월 1일 생. 2000년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 ~ 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 연구원

Tel : (042)865-7825

E-mail : halubang@kepri.re.kr



이 증 범 (李 鍾 範)

1955년 7월 12일 생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987~1990년 한국전기연구소 지중송전연구실 실장. 1997~1998년 미국 Texas A&M

University 객원교수. 현재 원광대 공대 전기전자및정보공학부 교수

Tel : (063)850-6735, Fax : (063)850-6735

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr