

도비시 웨이브렛 변환을 이용한 변압기의 여자돌입과 내부 권선고장 판별논리 기법

論 文
50A-5-1

A Daubechies Wavelet Transform Based Criterion Logic Scheme for Discrimination Between Inter-Turn Faults and Magnetizing Inrush in Transformer

權 命 鉉* · 朴 哲 圓** · 申 明 澈***
(Myong-Hyun Kwon · Chul-Won Park · Myong-Chul Shin)

Abstract - This paper proposes a new fault detection criterion logic that extracts the features of magnetizing inrush and internal faults by making use of Daubechies Wavelet Transform which analyzes distinct features. To prove the effectiveness of proposed method, the paper constructs power system model including power transformer by using EMTP, and collects data through simulation using various fault inception angle and magnetizing inrush. The conclusions implemented by the C program and the Wavemenu of MATLAB Toolbox are more effective and simpler to distinguish inter-turn faults from magnetizing inrush states.

Key Words : Daubechies Wavelet Transform, transformer protection, magnetizing inrush, inter-turn faults, EMTP, fault detection

1. 서 론

전력계통에서 대용량변압기보호는 권선 내부고장(inter-turn faults)과 여자돌입(magnetizing inrush)을 정확하게 구분하는 데 주안점을 두고 있다. 가압시 발생하는 여자돌입전류는 실제 사고가 발생된 것이 아니기 때문에 계전기가 동작하지 말아야 한다. 현재, 이에 관한 계전기의 오동작 방지책으로는 제2고조파 억제방식이 가장 널리 이용되고 있다. 디지털 계전기에서 이 방식은 과도상태의 차전류로부터 이산 푸리에 변환(DFT) 등의 디지털 필터로 특정주파수를 추출한 후, 기본파에 대한 제2고조파의 함유율을 이용한다. 그런데, 최근에는 변압기 제작기술이 발달하고 코어의 재료기술이 향상됨에 따라 여자돌입시 제2고조파 성분이 상대적으로 감소하는 경향이 있으며, 또한 내부고장시에도 제2고조파 성분이 상당히 함유될 수 있다는 연구가 발표되었다. 따라서, 현재 사용되는 제2고조파 억제방식으로는 변압기의 내부고장과 여자돌입 상태를 정확하게 구별하기 어렵기 때문에 변압기 고장판별의 신뢰도가 떨어질 수 있다[1]~[3].

이런 문제점을 보완하기 위해서 1990년대 중반이후, 인공신경회로망(ANN)과 퍼지논리(Fuzzy Logic)를 이용한 지능형 보호계전기법(intelligent protective relaying)들이 제시되었다. 그러나 신경회로망을 이용한 기법은 다른 전력용 변압기 시스템에서 사용되기 위해서는 새로운 학습 및 설정이 필요한 단점이 있으며, 퍼지 논리를 이용한 기법

도 파라미터 정정을 위한 제시된 정확한 판별기준이 없는 실정이다[4,5].

한편, 전통적으로 전력계통의 동적인(dynamic) 과도상태 신호를 분석하는 데 푸리에 변환이 사용되었다. 그런데, 이 분석은 신호를 주파수 영역으로 변환하는 과정에서 시간정보가 손실되는 결점이 발생하기 때문에 왜곡된 과도상태의 계통신호를 분석하는데 한계가 있다. 이를 보완하기 위하여 Garbor에 의해 제안된 단축시간 푸리에 변환(Short Time Fourier Transform : STFT)은 시간과 주파수의 2차원 함수로 맵핑되는데, 윈도우 창 크기에 따라 정확도가 결정된다. 그러나 STFT는 일정한 윈도우의 크기만큼 주기적으로 가정하는 고정윈도우를 이용하기 때문에 빠른 비주기성 과도파형을 분석하는데 적절하지 못했다. 이에 보다 유연성 있는 접근법으로서 웨이브렛 변환(Wavelet Transform : WT)이 제안되었다[6]. 다양한 모 함수를 사용하는 웨이브렛 변환은 스케일(scale)과 이동(shift)을 가변 할 수 있는 특성을 갖기 때문에 시간상에서의 주파수 특성을 얻을 수 있다. 그러므로 다양한 고조파를 함유한 전력계통의 과도파형 분석에 적합하다. 이 웨이브렛 변환은 초창기에 영상신호처리 분야에서 많이 사용되었으며, 현재 전력외란 식별과 고저항 지락사고(HIF) 검출 및 송전선로의 고장점 추정(fault locator) 등 전력시스템 분야에 적용한 연구들이 많이 발표되고 있다[7]~[12].

본 논문에서는 과도파형 분석에 뛰어나고, 유한 임펄스 응답(Finite Impulse Response : FIR) 필터형태로 간단하여 실시간 구현이 용이한 이산 웨이브렛 변환(Discrete Wavelet Transform : DWT)을 변압기의 여자돌입과 내부고장의 판별에 적용하고자 한다. 특히, Daubechies 웨이브렛 변환을 이용한 특징추출 방식을 채택함으로써 종래의 제2고조파 억제방식과는 전혀 다른 새로운 판별논리 기법을 제안

* 正 會 員 : 麗州大 電氣科 副教授 · 工博
** 終身會員 : 原州大 電氣科 助教授 · 工博
*** 終身會員 : 成均館大 電氣電子 및 컴퓨터 工學部 教授 · 工博
接受日字 : 2000年 11月 28日
最終完了 : 2001年 4月 16日

한다. 제시된 기법은 상세 모델링한 변압기[13]를 포함한 전력계통을 구성한 후, 전자과도해석 프로그램(EMTP)을 시뮬레이션하여 수집된 사례연구용 출력데이터를 활용하여 Turbo C 프로그램과 MATLAB Toolbox의 Wavemenu를 이용하여 검증하였다[14]~[16].

2. 도비시 웨이브렛 변환에 의한 변압기보호

2.1 웨이브렛 변환

연속 웨이브렛 변환(Continuous Wavelet Transform : CWT)은 전체 시간영역에서 모 웨이브렛 ψ 를 스케일하고 이동함으로써 얻어지는 웨이브렛들과 분석할 신호 $f(t)$ 를 적분하여 식 (1)과 같이 수행된다[6,14].

$$C_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \quad (1)$$

이때 연속 웨이브렛 변환의 계수값 $C_{a,b}$ 는 분석한 신호와 각 웨이브렛 성분들의 유사정도를 나타낸다. 한편, 특정한 신호에 대한 정확한 웨이브렛 분석을 수행하기 위해서는 모든 스케일에서 웨이브렛 계수를 계산하여야만 한다. 그러나 여러 단계의 웨이브렛 변환을 수행하면 많은 양의 데이터가 산출되기 때문에 분석을 위한 연산시간이 길어지는 문제점이 발생한다. 따라서, 대다수의 신호분석은 2의 멱승형태에 기초한 스케일과 이동을 이용하여 이산 웨이브렛 변환에 의하여 웨이브렛 필터로 구현될 수 있다. 이산 웨이브렛 변환 $D_{a,b}$ 는 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$D_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum S[n] \cdot \Psi\left[k - \frac{na_0^m}{a_0^m}\right] \quad (2)$$

여기서, a_0^m 은 스케일을 나타내는 변수이고, na_0^m 은 이동을 나타내는 변수이며, $\frac{1}{\sqrt{a_0^m}}$ 은 모 웨이브렛과 같은 크기의 에너지를 유지시키기 위한 에너지 정규화 성분이다.

일반적으로 신호에서 저주파 성분은 신호의 고유한 특성을 나타내고 고주파 성분은 미세한 특성을 나타내게 되는데, 웨이브렛 변환에서는 이와 같은 특성은 전체적인 모양(approximation)과 세밀한 부분(detail)으로 표현된다. 여기서, 전체적인 모양은 고차 스케일을 통해서 얻어진 신호의 저주파 성분을 나타내고 세밀한 부분은 저차 스케일을 통해서 얻어진 고주파 성분을 나타낸다. 따라서, 이산 웨이브렛의 수행과정은 고역 필터(D)와 저역 필터(A)를 사용하는 2가지 필터링의 개념으로 확장될 수 있다. 그림 1은 여러 개의 고역 필터($D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$)와 저역 필터($A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$)로 구성된 웨이브렛 필터뱅크이다. 원 신호 S 는 식 (3)과 같이 재구성 될 수 있다.

$$S = D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n + A_n \quad (3)$$

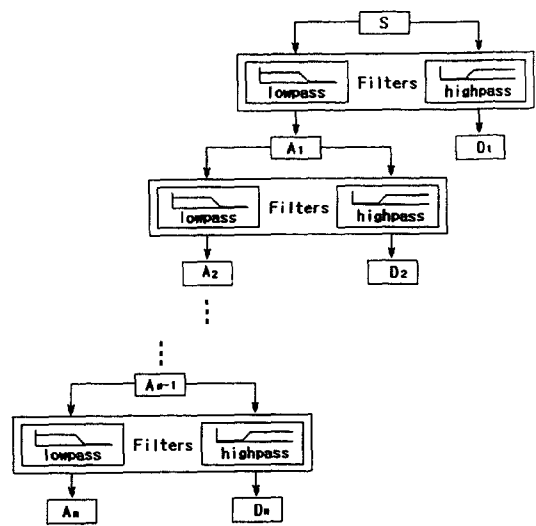


그림 1. 다레벨 웨이브렛 필터뱅크
Fig. 1. Multi-level Wavelet filter bank

2.2 모 웨이브렛의 선정

모(mother) 웨이브렛의 종류에는 하알(Haar), 도비시(Daubechies), 코이플렛(Coiflets) 웨이브렛 등이 있다. 본 연구에서는 과도 파형의 정확한 특징추출을 위하여 DB1~DB6, Coiflet1~Coiflet5를 적용한 결과, DB5의 세밀한 부분 1이 가장 좋은 결과를 나타내었다. 그림 2는 도비시 5 모 웨이브렛을 나타낸 것이다. 이 도비시 모 웨이브렛은 이산 웨이브렛 분석을 실용화할 수 있도록 만든 직교(orthonormal) 웨이브렛으로서 현재 전력계통분야에서 가장 많이 활용되고 있다.

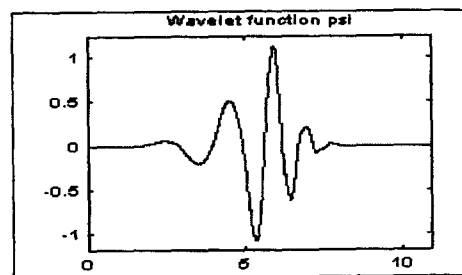


그림 2. 도비시 5 모 웨이브렛
Fig. 2. Daubechies 5 mother Wavelet

2.3 특징추출을 이용한 판별논리 기법

내부고장과 여자돌입의 판별은 과도상태의 차전류를 DB5 모 웨이브렛 변환으로 특징을 추출한 후, 식(4)와 같이 웨이브렛 계수값의 비율을 계산, 이용할 수 있다.

$$I_{A-비율} = \frac{|I_{dif A_{max}}^k|}{I_{dif A_{max}}}$$

$$I_{B-비율} = \frac{|I_{dif B_{max}}^k|}{I_{dif B_{max}}}$$

$$I_{C-비율} = \frac{|I_{dif C_{max}}^k|}{I_{dif C_{max}}}$$

여기서, 분모 $I_{dif A_{max}}$ 는 A상 차전류를 웨이브렛 변환시킨 후, 과도상태 후 첫번째 윈도우의 detail 1의 최대값을 나타낸다. 분자 $|I_{dif A_{max}}^k|$ 는 A상 차전류를 웨이브렛 변환시킨 후, k번째 윈도우에서의 detail 1의 최대값의 절대치이다. 그리고 $I_{A-비율}$, $I_{B-비율}$, $I_{C-비율}$ 는 첫 번째 윈도우와 k번째 이동 윈도우사이의 최대값의 비율을 표시한다.

그림 3은 제안된 이산 웨이브렛 변환에 의한 보호기법의 흐름도이다. 본 연구에서는 이동 윈도우를 반주기(60Hz의 경우 8.335msec)와 1/4주기(4.1675msec)로 적용하였다. 최종적으로, 여자돌입상태와 내부고장상태의 판별은 각 이동 윈도우내 $I_{A-비율}$, $I_{B-비율}$, $I_{C-비율}$ 의 비율 변화를 이용하여 수행된다. 여기서, 본 연구에서는 고장판별시간 및 정확도를 고려하여 미리 정의된 임계치(ϵ)로 0.4를 적용하였다.

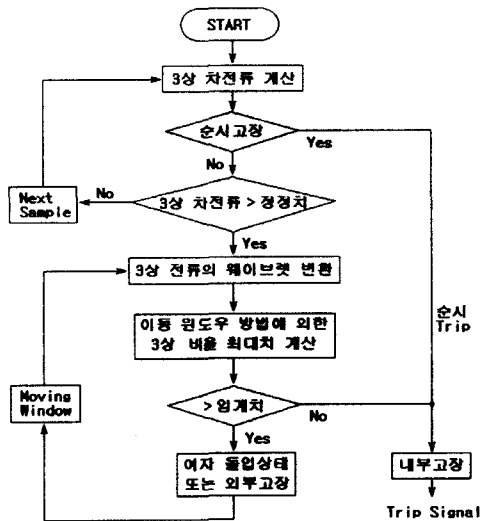


그림 3. 이산 웨이브렛 변환을 이용한 변압기 고장판별
Fig. 3. Fault discrimination of power transformer by Discrete Wavelet Transform

3. 사례 연구

제안된 기법의 효용성을 입증하기 위하여, 그림 4와 같은 모델 계통이 고려되었다. 여기서, 전력용 변압기는 3상 2권선, 45/60MVA, 154kV/22.9kV, Δ -Y 결선으로 EMTP 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션이 수행되었다. 주기당 샘플링수는 144로 샘플링 주파수는 8640Hz 이다. 여자돌입각, 고장발생각, 고장위치, 고장종류들을 바꿔가면서 표 1과 같이 다양한 상황을 모의하였다.

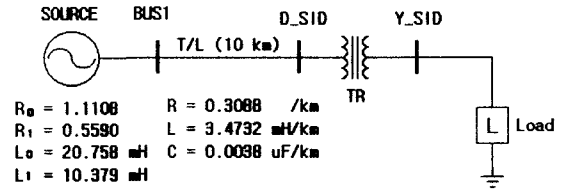


그림 4. 모델 전력계통도
Fig. 4. Power system model

표 1. EMTP 시뮬레이션 조건

Table 1. Conditions of EMTP simulation

샘플링 수 (Sample / Cycle)	144							
고장, 여자돌입 발생각	A상위상각	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
	B상위상각	-120°	-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°
	C상위상각	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°
고장, 여자돌입 발생 샘플시점 (SampleNo.)	384	396	408	420	432	444	456	
고장, 여자돌입 발생시간 [msec]	0.0442	0.0456	0.0470	0.0483	0.0497	0.0525	0.0539	
시뮬레이션의 종류	정상상태							
	여자돌입							
	권선 지락 고장							
	권선 단락 고장							

3.1 EMTP 시뮬레이션과 차전류

그림 5는 변압기 1차측에서 가압한 경우, 발생한 3상 여자돌입 전류신호의 차전류이다. 여기서, 가압 시점은 약 0.044192 초로 384번째 샘플값이고, 여자돌입 발생각은 A상 전압기준 위상이 0° 인 시점이다.

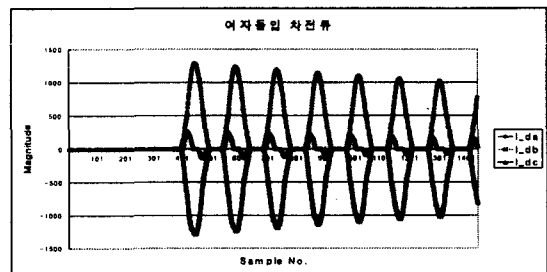


그림 5. 여자돌입시 변압기의 3상 차전류
Fig. 5. 3-phase differential currents during magnetizing inrush

그림 6은 변압기의 내부 권선지락고장이 발생한 경우의 1차측과 2차측의 3상 전류신호로부터 연산된 차전류이다. 권선지락고장의 발생시점은 약 0.05057 초로 432번째 샘플값이고, 발생위치는 2차측 C상권선의 15:85로 분리된 지점이다.

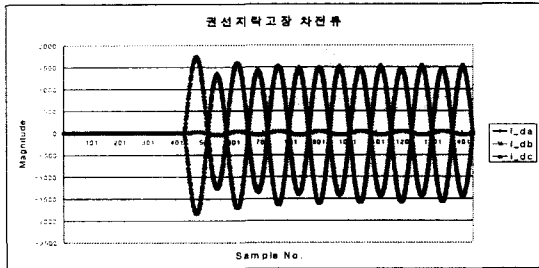


그림 6. 권선지락고장시 변압기의 3상 차전류
Fig. 6. 3-phase differential current during turn to ground fault

그림 7은 권선단락고장이 발생한 경우의 변압기 1차측과 2차측에서 측정된 3상 전류신호의 차전류이다. 권선단락고장의 발생시점은 약 0.05057 초로 432번째 샘플값이고, 발생위치는 2차측 C상권선의 05:30:65로 분리된 지점이다.

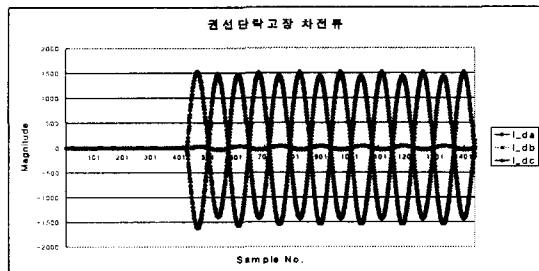
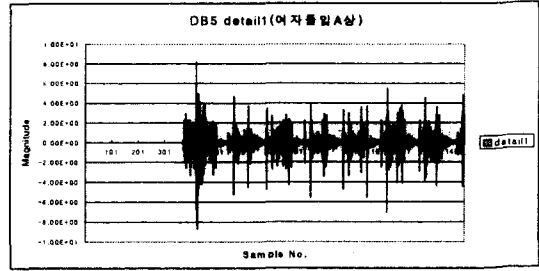


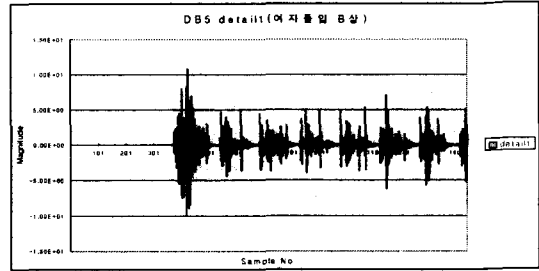
그림 7. 권선단락고장시 변압기의 3상 차전류
Fig. 7. 3-phase differential currents during turn to turn fault

3.2 판별논리 기법의 결과 고찰

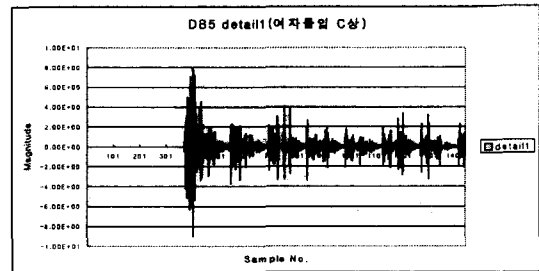
그림 8은 여자돌입시 차전류를 이산 웨이브렛 변환한 결과이다. 본 논문에서 사용된 모함수는 DB5 이고, 세밀한 부분의 비율을 나타낸 것이다. 그림으로부터 사 시간(dead time) 부근에서 큰 계수가 발생됨을 알 수 있다. 주기적으로 반복하여 발생되는 경향은 여자돌입을 검출하는 특징으로 이용할 수 있다.



(a) A상



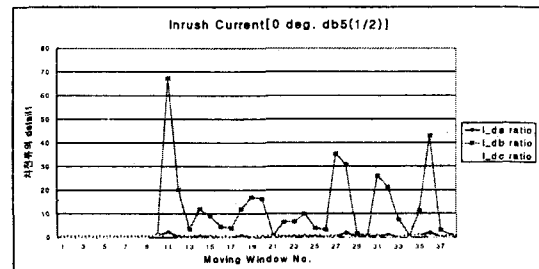
(b) B상



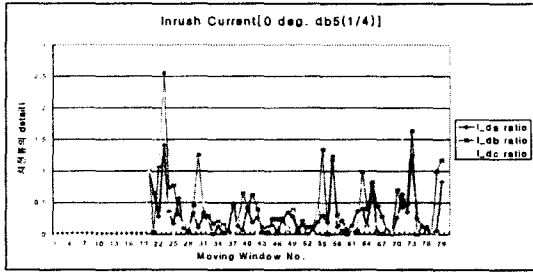
(c) C상

그림 8. 여자돌입시 3상 차전류의 세밀한부분1
Fig. 8. Detail1 of 3-phase differential currents during magnetizing inrush

그림 9는 반주기 이동 윈도우와 1/4주기 이동 윈도우를 적용하여 3상 차전류의 DB5 세밀한 부분1의 비율 변화를 나타낸 것이다. 그림으로부터 연산된 차전류의 비율은 각 상별로 일정한 값으로 수렴되지 않고 다소 불규칙적이다. 제안된 기법에 적용하면 적어도 3상중 한 상의 계수값이 선정된 임계치(0.4) 이내에 포함되지 않으므로 계전기는 트립을 발생하지 않게 된다.



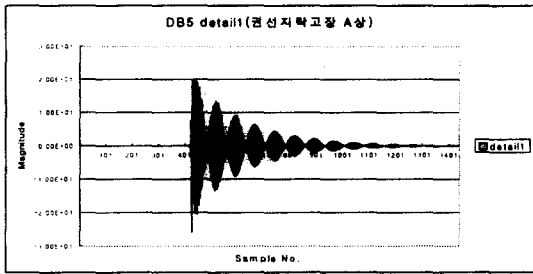
(a) 1/2주기 이동윈도우



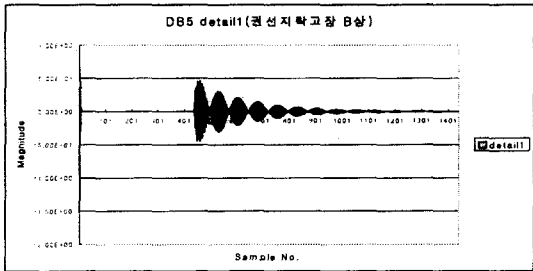
(b) 1/4주기 이동윈도우

그림 9. 여자돌입시 3상차전류의 세밀한부분1 비율
Fig. 9. Ratios of detail1 for 3-phase differential currents during magnetizing inrush

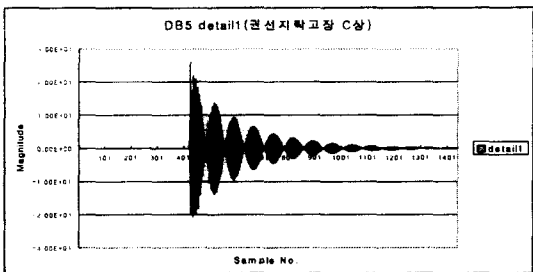
그림 10은 권선지락고장시 차전류를 이산 웨이브렛 변환한 결과이다. 그림으로부터 고장발생직후에는 세밀한 부분1 계수의 비값이 아주 커지다가 급격히 감소 하는 특징을 나타내는 것을 알 수 있다.



(a) A상



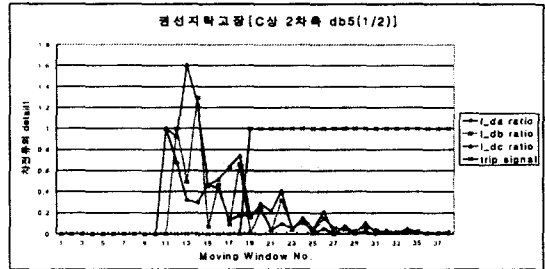
(b) B상



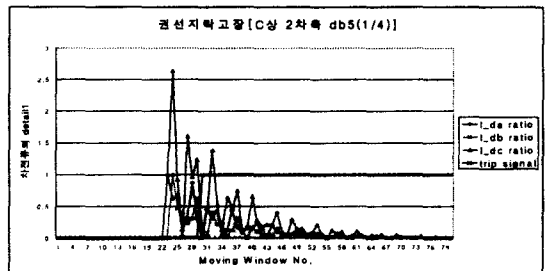
(c) C상

그림 10. 권선지락고장시 3상 차전류 세밀한부분1
Fig. 10. Detail1 of 3-phase differential currents during turn to ground fault

그림 11은 반주기 이동 윈도우와 1/4주기 이동 윈도우를 적용하여 3상 차전류의 DB5 세밀한 부분1의 비율 변화와 트립 지령을 나타낸 것이다. 권선지락고장이 발생한 경우, 세밀한 부분1의 비율은 최종적으로 모두 0으로 수렴된다. 3상의 모든 계수비의 값이 고장 발생 후 선정된 임계치(0.4) 이내에 포함되기 때문에 트립 지령이 발생하게 됨을 알 수 있다. 고장관별속도는 반주기 이동 윈도우 의한 방법이 2주기이고, 1/4주기 이동 윈도우에 의한 방법이 1.0주기가 된다.



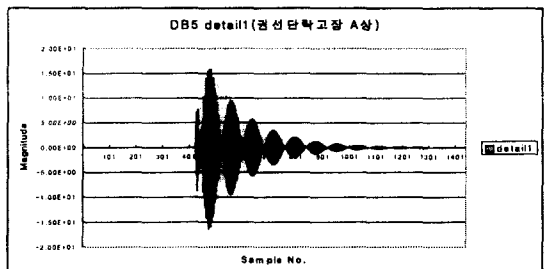
(a) 1/2주기 이동윈도우



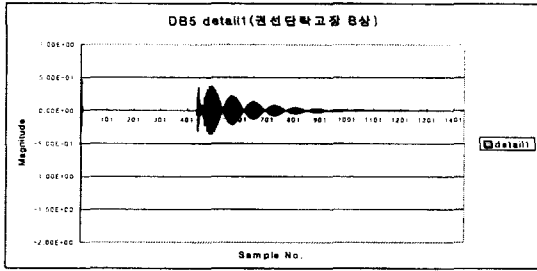
(b) 1/4주기 이동윈도우

그림 11. 권선지락고장시 3상차전류 세밀한부분1 비율
Fig. 11. Ratios of detail1 for 3-phase differential currents during turn to ground fault

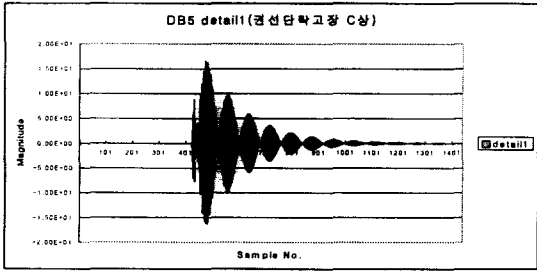
그림 12는 권선단락고장시 차전류를 이산 웨이브렛 변환한 결과이다. 정상상태에서는 세밀한 부분1의 계수비 값이 나타나지 않다가 단락고장발생직후에는 세밀한 부분1의 계수비가 아주 커지는 것을 알 수 있다.



(a) A상



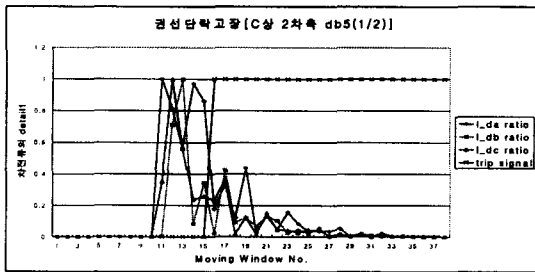
(b) B상



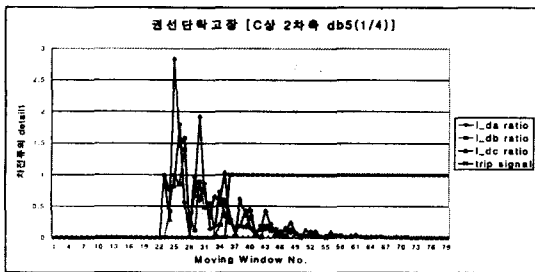
(c) C상

그림 12. 권선단락고장시 3상 차전류의 세밀한부분1
Fig. 12. Detail1 of 3-phase differential currents during turn to turn fault

그림 13은 반주기 이동 윈도우와 1/4주기 이동 윈도우를 적용하여 3상 차전류의 DB5 세밀한 부분1의 비율 변화와 트립지령을 나타낸 것이다. 이 권선단락고장시 세밀한 부분 1의 비율은 모두 0으로 수렴하며 지수함수적으로 감쇄한다. 제안된 기법에 적용하면, 트립 지령이 발생하게 됨을 알 수 있다. 고장판별속도는 반주기 이동 윈도우 의한 방법이 1.25주기가 되고 1/4주기 이동 윈도우에 의한 방법은 1.5주기가 된다.



(a) 1/2주기 이동윈도우



(b) 1/4주기 이동윈도우

그림 13. 권선단락고장시 3상차전류 세밀한부분1 비율
Fig. 13. Ratios of detail1 for 3-phase differential currents during turn to turn fault

상기와 같이 다양한 시뮬레이션과 분석을 통하여 여자돌입의 경우에는 연산된 비율 I_A -비율, I_B -비율, I_C -비율의 3가지 중에서 적어도 하나는 임계치 ϵ 보다 크게되는 것을 알 수 있으며, 반면에 내부고장인 경우에는 모두 ϵ 보다 작게되는 것을 알 수 있다. 따라서 이런 특징으로 인하여 제안된 기법은 여자돌입전류와 내부고장을 정확하게 판별함을 알 수 있다. 본 논문에서 제시한 기법은 18가지의 서로 다른 경우에 오동작이 단 한 차례도 발생하지 않았다.

4. 결 론

최근, 내부고장시에도 제2고조파가 상당히 포함될 수 있으며, 변압기의 코어 재료기술이 개선된 상대적으로 제2고조파비율이 감소하는 경향 때문에 종래의 여자돌입시 제2고조파 억제방법은 신뢰성에 문제가 발생하였다. 이에 본 연구에서는 특정 주파수 성분을 추출하는 기존의 방법과는 다른 독특한 특징을 분석할 수 있는 이산 웨이브렛 변환을 이용하여 여자돌입과 내부고장의 특징을 추출하고, 이에 근거한 새로운 고장판별리 기법을 제안하였다. 제시된 기법의 타당성을 입증하기 위하여 EMTP로 부터 수집된 다양한 여자돌입과 권선 내부고장 데이터를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

도비시 이산 웨이브렛 변환을 이용하여 여자돌입상태와 권선 고장상태의 판별이 가능하도록 새로운 특징추출기법을 제안하였으며, 다양한 시뮬레이션으로부터 DB5 세밀한 부분 1이 변압기 보호에 적합한 모 웨이브렛 함수임을 입증하였다. 또한, 차전류의 DB5 세밀한 부분1을 분석할 때 이동 윈도우 기법을 적용함으로써 빠른 과도 파형의 국부적인 분석을 효과적으로 수행하였으며, 1/4주기 이동 윈도우 방법이 더욱 우수함을 알 수 있었다. 그리고 제안된 기법은 차전류와 세밀한 부분1을 이용하기 때문에 실시간 구현이 용이하고, 여자돌입발생시 오동작이 발생되지 않았으며, 권선지락고장과 권선단락고장에는 고장 발생 후, 1주기에서 2주기이내에 정확하게 판별되었다.

이상에서 서술한바와 같이 도비시 이산 웨이브렛 변환을 이용한 여자돌입과 내부고장 검출기법은 종래의 기법에 비하여 효과적이고 신뢰성이 우수함을 알 수 있었다. 향후 과여자 상태와 실 계통 데이터들을 수집하여 다른 모 웨이브렛에 적용한 후, 그 비교분석을 통하여 보다 효과적인 방법이 모색되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Michel Habib, Miguel A. Marin, "A Comparative Analysis of Digital Relaying Algorithm, for the Differential Protection of Three Phase Transformers", *IEEE Trans. on PS*, Vol.3, No.3, pp. 1378~1384, 1988.
[2] The Institution of Electrical Engineers, Power System Protection, Vol. I, II, III, IV Electricity

Association Services Ltd., London, U.K. 1995.

[3] B. Kaszteny E. Rosolwski, M. M. Saha, B. Hillstrom, "A Self-Organizing Fuzzy Logic Based Protective Relay -An Application to Power Transformer Protection", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 12, No. 3, pp. 1119~1127, July 1997.

[4] 박철원, 신명철 외 1인, "신경회로망을 이용한 변압기의 고장판별시스템에 관한 연구", *대한전기학회 논문지* 46권 6호 pp. 833~839, 1997년 6월.

[5] 박철원, 신명철, 서희석, 김수경, "퍼지시스템에 의한 변압기 보호용 디지털 보호계전 알고리즘", *대한전기학회 논문지* 46권 3호 pp. 317~324, 1997년 3월.

[6] Andrew Laine, *Wavelet theory and application*, University of Florida, 1993.

[7] W. A. Wilkinson, M. D. Cox, "Discrete Wavelet analysis of Power System Transient", *IEEE Transactions on Power System*, Vol. 11, No. 4, November 1996.

[8] L L Lai, "Wavelet Transform for High Impedance Fault Identification", *Energy systems Group*, pp. 188~191, 1998.

[9] J Liang, S Elangovan and J B X Devotta, "A wavelet multiresolution analysis approach to fault detection and classification in transmission lines", *Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 20, No. 5, pp. 327~332, 1998.

[10] Xiangning Lin, Pei Liu, Shijie Cheng, "A Wavelet Transform based Scheme Power Transformer Inrush Identification", *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, Vol. 3, pp. 1862~1867, 2000.

[11] 강용철 외 5인, "Wavelet 변환을 이용한 여자돌입현상 해석", *대한전기학회 1997년 하계학술대회 논문집*, pp. 920~923, 1997년 7월.

[12] 박철원, 권명현, 신명철의 2인, "Wavelet 변환을 이용한 전력용 변압기의 적용", *대한전기학회 2000년도 하계학술대회 논문집*, pp. 467~469, 2000년 7월.

[13] 강상희 외 3인, "Wavelet 변환을 디지털 거리계전 알고리즘", *대한전기학회 논문지*, 48A권 10호 pp. 1215~1221, 1999년 10월.

[14] Michel Misiti, Yves Misiti, Georges Openheim, Jean-Michel Poggi, *Wavelet toolbox for use with MATLAB*, The mathworks Inc. 1996.

[15] ATP Rule Book., LEUVEN EMTP CENTER, July 1987.

[16] Patrick Bastard, Pierre Bertrand, Michel Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies", *IEEE Trans. on PD.*, Vol.9, No.2, pp. 690~699, April 1994.

저 자 소 개



권명현 (權命鉉)

1961년 3월 25일 생. 1988년 성균관대 공과대학 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1993~1995년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터 공학부 강사. 1995년~현재 여주대 전기과 부교수.

Tel : 031-880-5194, Fax : 031-880-5190

E-mail : kmh@mail.yeojoo.ac.kr



박철원 (朴哲圓)

1961년 8월 13일 생. 1988년 성균관대 공과대학 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1989~1993년 금성산전연구소 주임연구원. 1993~1997년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터 공학부 강사. 1997년~현재 (국립)원주대 전기과 조교수.

Tel : 033-760-8425, Fax : 033-760-8420

E-mail : cwpark@sky.wonju.ac.kr

HomePage : <http://cwplove.hihome.com>



신명철 (申明澈)

1947년 4월 3일 생. 1970년 성균관대 전기공학과 졸업. 1978년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1975~1978년 충북대 전기공학과 조교수. 1982~1983년 미국 코넬대 전기공학과 교환교수. 2000~2001년 미국 펜실바니아 주립대 전기공학과 교환교수. 1978년~현재 성균관대 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수.

Tel : 031-290-7103, Fax : 031-290-7103

E-mail : mcshin@yurim.skku.ac.kr