

전력용 변압기 보호를 위한 Wavelet 변환의 적용

·박철원*·권명현**·이종주***·정호성***·신명철***
*원주대학 **여주대학 ***성균관대학교

An Application of Wavelet Transform to Power Transformer Protection

*C.W.Park **M.H.Kwon ***J.J.Lee ***H.S.Jung ***M.C.Shin
*Wonju National College **Yonju College ***SungKyunKwan University

Abstract - This paper describes an application of discrete wavelet transform for power transformer protection. It is shown that the moving wavelet coefficients method based feature extraction for discrimination between actual internal faults and energizing state. The simulations of power transformer have been carried out using EMTP. The proposed method is more effectively and simpler to distinguish internal faults from inrush currents.

1. 서 론

변압기보호에서는 가압시 발생하는 여자돌입전류에 의한 오동작 방지를 위하여 내부고장과 여자돌입전류를 정확하게 판별해야 된다. 대처 방안으로서 제2고조파 억제방식은 여자돌입동안에 측정된 전류로부터 DFT 등의 필터로 추출된 제2고조파 함유율을 이용하여 계전기의 동작을 억제시킨다[1]. 그러나, 내부고장시에도 제2고조파의 양이 상당히 함유될 수 있다는 연구가 발표되었으며, 또한 코어 재료기술이 향상됨에 따라 여자돌입시 제2고조파의 양이 상대적으로 감소하는 경향이 있다는 보고가 있다. 그러므로 효과적이고 정확한 판별을 위한 새로운 기법의 개발이 요구된다[2].

최근에, 다양한 전력용 변압기 보호계전기법들이 제시되었는데, 대부분 신경회로망과 퍼지 논리를 이용한 기법에 초점이 맞추어졌다. 이 중에서 신경회로망 기법은 여자돌입과 내부고장의 판별에 적용되었으나, 다른 전력용 변압기 시스템에서 사용되기 위해서는 새로운 학습 및 설정이 필요하게 된다. 그리고 퍼지 논리를 이용한 기법도 계전기의 내부 파라미터 정정을 위한 제시된 판별기준이 없는 실정이다[3,4].

신호분석에서, 푸리에 해석은 신호를 주파수 영역으로 변환하는 과정에서 시간정보가 손실되는 결점이 있다. 시간과 주파수의 2차원 함수로 맵핑되는 STFT(Short Time Fourier Transform)는 윈도우 창의 크기에 따라 정확도가 결정된다. 즉, 일정한 윈도우의 크기만큼 주기적으로 가정하는 고정윈도우를 이용하기 때문에 빠른 비주기성 과도파형을 분석하는데 적절하지 못했다. 이에 보다 유연성 있는 접근법으로서 웨이블릿 변환(WT, Wavelet Transform)은 크기(scale,dilation)와 이동(shift, translation) 가변으로 얻어지는 다양한 모(mother, original)함수를 사용하기 때문에 시간상에서의 주파수 특성을 얻을 수 있는 등, 다양한 고조파를 함유한 과도파형의 분석에 적합하다[5]. 영상신호처리 분야에서 많이 사용되는 웨이블릿 변환은 최근에는 고저항 지락사고 검출, 송전선로의 고장점 추정 및 전력의란 자동식별 등 전력시스템에 적용되고 있다[6~8].

이에 본 논문에서는 FIR 필터형태로서 실시간 구현이 용이한 Discrete Wavelet Transform(DWT)을 적용하여 변압기의 여자돌입과 내부고장의 특성을 분석한 후, 그 판별법을 모색하였다. 제안된 기법은 EMTP 시뮬레이션

의 출력데이터를 활용한 사례연구를 통하여 검증되었다.

2. Wavelet 변환을 이용한 변압기 보호

2.1 Wavelet 변환

웨이블릿 변환(WT)은 하나의 고정된 함수, 즉 모 웨이블릿 $\psi(t)$ 의 크기와 이동으로 변환된 함수들을 사용하여 원 신호 $f(t)$ 를 변환한다. 웨이블릿 함수는 식(1)과 표현된다.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \text{ with } a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (1)$$

여기서, 변수 a 는 모함수 $\psi(t)$ 의 크기를 의미하며 변수 b 는 이동을 표시한다. 이러한 함수를 이용하여 연속웨이블릿 변환(CWT, Continuous Wavelet Transform)은 식(2)와 정의된다.

$$W(a, b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

CWT에서는 시간에 대한 함수를 시간과 크기라는 두 변수의 함수로 나타내기 때문에 불필요한 정보를 많이 포함되나 DWT에서는 특정 위치에서의 값만을 취하기 때문에 불필요한 데이터를 줄일 수 있다. DWT은 식(3)과 같으며, 변수 $a = a_0^n$ 와 $b = na_0^m$ 에 의하여 n 과 m 으로 대체되었다.

$$DWT(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n f(n) \psi\left(\frac{k - na_0^m}{a_0^m}\right) \quad (3)$$

2.2 Wavelet 변환을 이용한 특징 추출

그림 1은 특징추출을 위한 다레벨분해과정(Multiple Level Decomposition Process)이다. DWT를 통하여 첫 번째 단계에서 원 신호는 각각 고역통과 필터와 저역통과 필터를 통과하며, 신호들이 정의된 수준으로 분해될 때까지 동일한 절차가 반복수행하게 된다. 즉, 차등전류는 Approximation과 Detail에 의하여 식(4)로 재현(Reconstruction)이 가능하다.

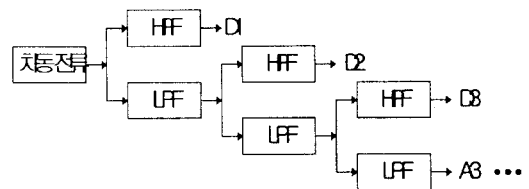


그림 1 다 레벨 분해 과정

$$\text{차동 전류} = A_3 + D_3 + D_2 + D_1 \dots \quad (4)$$

2.3 차동전류의 DWT에 의한 변압기 보호계전

내부고장과 여자돌입을 판별하는 위한 결정은 그림1에 의한 추출된 특징에 근거하여 식(5)로 표시되는 웨이블릿 성분의 비율에 의하여 정해질 수 있다.

$$I_{\text{dif phase-ratio}} = \frac{I_{\text{phaseD1 max}}^k}{I_{\text{phaseD1 max}}^1} \quad (5)$$

여기서, $I_{\text{phaseD1 max}}^1$ 는 첫번째 윈도우, 차동전류 detail1에서의 각상 웨이블릿의 최대치이고, $I_{\text{phaseD1 max}}^k$ 는 연속되는 k번째 윈도우, detail1에서의 각상 웨이블릿의 최대치이며, $I_{\text{dif phase-ratio}}$ 는 그 비율이다. 그림 2는 제안된 차동전류의 DWT에 의한 보호기법의 흐름도이다. 본 논문에서의 이동 윈도우는 반주기 및 1/4주기를 활용하였다. 차동전류는 변류비와 30°의 위상을 보정한 후 계산되었다.

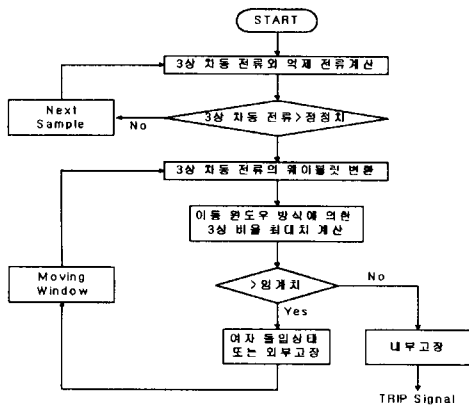


그림 2 차동전류 DWT에 의한 기법의 흐름도

3. 모델 계통

제안된 기법의 효용성을 입증하기 위한 데이터의 수집은 그림 3과 같은 3상 45/60(MVA), 154/22.9(KV) 변압기의 송전선 모델 전력계통을 대상으로, EMTP의 BCTRAN 루틴을 이용하여 내부고장을, XFORMER를 이용하여 여자돌입현상을 각각 모의하였다(9). 여자돌입은 가압시의 초기 위상각을 가변하였고, 내부고장은 권선과 대지간(Turn-to-Ground) 고장과 임의 권선간(Turn-to-Turn) 단락고장을 모델링하였다.

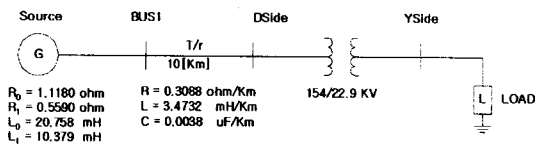


그림 3 모델 전력 계통의 단선도

4. 사례 연구

본 논문에서는 여러 가지 모함수를 활용하여 레벨 6까지 분해하였으나, 이 중에서 Daubechies 5(db5)를 모 웨이블릿으로 이용한 레벨 1의 detail1 결과는 다음과 같다.

4.1 여자돌입의 경우

그림 4는 투입위상각이 A상 기준 0° 인 경우의 A상 여자돌입전류로서 반파의 형태가 된다.

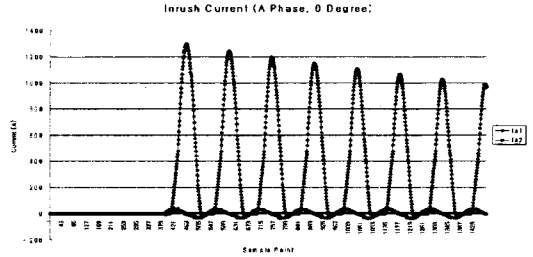


그림 4(a) A상 여자돌입전류(투입위상각 0°)

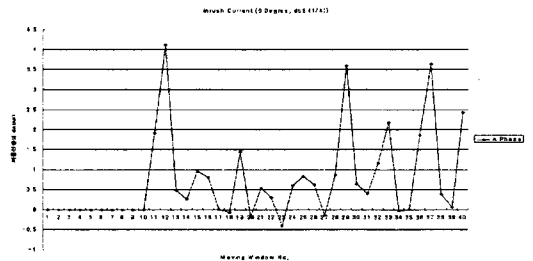


그림 4(b) 차동전류의 db5 detail1(1/4)

그림 5는 투입위상각이 A상 기준 90° 인 경우의 B상 여자돌입전류이다.

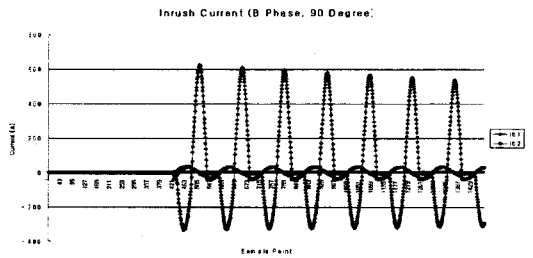


그림 5(a) B상 여자돌입전류(투입위상각 90°)

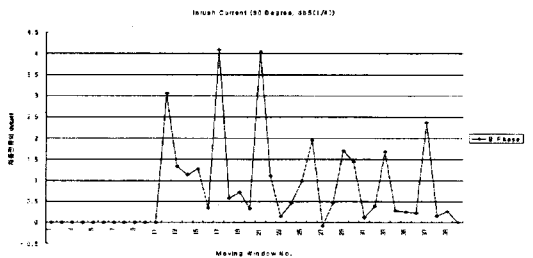


그림 5(b) 차동전류의 db5 detail1(1/4)

4.2 내부고장의 경우

그림 6는 1차측 A상의 70:30 권선과 대지간에 고장이 발생한 경우이고, 그림 7는 2차측 B상의 15:85:05 권선간의 단락고장이 발생한 경우의 내부고장전류이다.

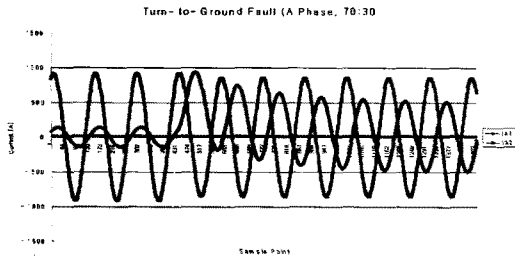


그림 6(a) 권선 대지간 A상 고장전류(70:30)

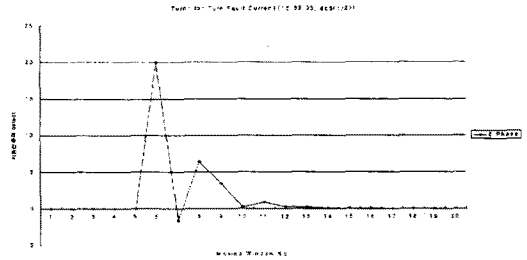


그림 7(c) 차동전류의 db5 detail1(1/2)

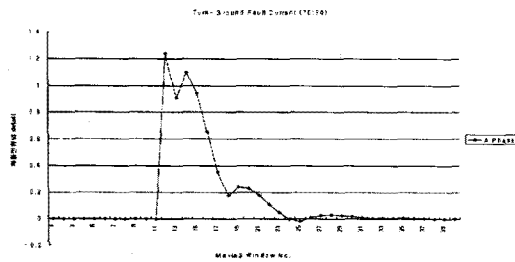


그림 6(b) 차동전류의 db5 detail1(1/4)

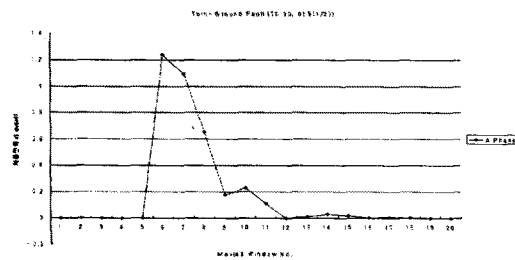


그림 6(c) 차동전류의 db5 detail1(1/2)

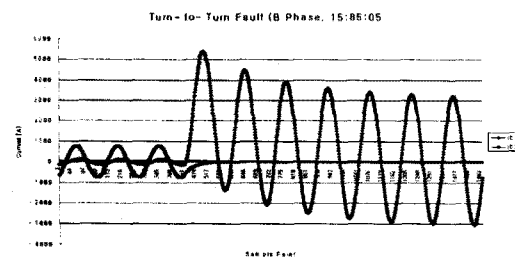


그림 7(a) 권선간 단락 B상 고장전류(15:85:05)

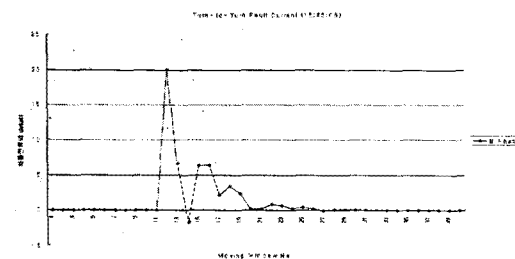


그림 7(b) 차동전류의 db5 detail1(1/4)

다양한 사례연구를 통하여 레벨1의 detail은 차동전류의 형태에서 따라 상이하게 나타나기 때문에 여자돌입과 내부고장 판별이 가능하다. 즉, 정상상태에서는 0으로 계속 유지 되다가, 여자돌입의 경우에는 수 주기동안의 완만한 감쇄와 반복적인 반파 대칭 특성에 나타나기 때문에 detail1은 주기적으로 나타나며, 적어도 한 상은 임계치 ϵ 보다 커지는 것을 알 수 있다. 반면에 내부고장인 경우에는 일정한 시간이 지난 후 0으로 수렴하기 때문에, 모두 선정한 임계치 ϵ 보다 작게되는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 여자돌입과 내부고장의 효과적이고 정확한 판별을 위하여 154/22.9[KV] 변압기가 설치된 모델전력계통에서 여자돌입의 투입위상각과 여러 가지 내부고장을 모의하였다. 간단한 Daubechies 모 웨이블릿을 이용한 차동전류의 분석을 통하여 여자돌입 판별을 위한 새로운 특징을 추출하였으며, 제시된 반주기(약 8.315[ms]) 및 1/4주기(약 4.157[ms]) 이동 윈도우에 의한 보호계전기법의 가능성을 검토하였다. 다양한 내부고장의 사례연구를 보완한다면, 변압기의 디지털 보호계전에 도움이 되리라고 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] M.A. Rahman et al., "A State-of-the Art Review of Transformer Protection Algorithm", IEEE PWRD., Vol. 3, No. 2, Feb., 1988, pp. 534~544.
- [2] Moises Gomez-Morante, et al., "A Wavelet-based Differential Transformer Protection", IEEE PWRD., Vol. 14, No. 4, Oct., 1999, pp. 1351~1358.
- [3] P. Bastard et al., "Neural Network Based Algorithm for Power Transformer Differential Relays", IEE Proc., Ge., Trans. and Distribution, Vol. 12, No. 4, Oct., 1995, pp. 386~392.
- [4] B. Kasztenny et al., "A Self-Organizing Fuzzy Logic Based Protective Relay-An Application to Power Transformer Protection", IEEE PWRD., Vol. 12, No. 3, July, 1997, pp. 1119~1127.
- [5] 이종범 외, "송전선에서의 Wavelets을 이용한 고장점 추정 에 관한 연구", 1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1999.7, pp. 1360~1362.
- [6] 강상희, 강용철, 손진만 외, "Wavelet 변환을 이용한 여자돌입현상 해석", '97 대한전기학회 창립 50주년 하계학술대회 논문집, 1997.7, pp. 920~923.
- [7] Fernando H. Magnago, Ali Abur, "Fault Location Using Wavelets", IEEE PWRD., Vol. 13, No. 4, Oct., 1998, pp. 1475~1480.
- [8] T.B. Litter et al., "Wavelets for the Analysis and Compression of Power System Disturbances", IEEE PWRD., Vol. 14, No. 4, April, 1999, pp. 358~364.
- [9] P. Bertrand, et al., "A Transformer Model for Winding Fault Studies", IEEE PWRD., Vol. 9, No. 2, April, 1994, pp. 690~699.