

A Comparative Study on Fault Detection Algorithm of AC Generator

朴 哲 圓[†] · 申 光 哲^{*} · 申 明 澈^{**}
 (Chul-Won Park · Kwang-Chul Shin · Myong-Chul Shin)

Abstract - AC generator plays an important role of power system. The large AC generator fault may lead to large impacts or perturbations in power system. And then the protection of a generator has very important role in maintaining stability in a power system. In present, the DFT(discrete Fourier transform) based RDR(ratio differential relay) had been widely applied to a internal fault of a generator stator winding. But DFT has a serious drawback. In the course of transforming a target signal to frequency domain, time information is lost. DWT uses a time-scale region. This paper proposes an advanced fault detection algorithm using DWT(discrete Wavelet transform) to enhance the drawback of conventional DFT based relaying. To evaluate the performance of the proposed relaying, we used the test data which were sampled with 720 [Hz] per cycle and obtained from ATP(alternative transient program) simulation. And we made a comparative study of conventional DFT based RDR and the proposed relaying.

Key Words : ATP, DWT, DFT, Generator Protection, Internal Fault, RDR, Stator Winding

1. 서 론

교류발전기에서는 절연열화로 인한 내부적인 요인과 외부요인에 의해 돌발적인 사고가 발생된다. 특히 발전기의 고정자 권선에서 사고가 많이 발생하는데, 주로 권선의 상간단락, 층간단락, 지락사고 및 과열에 의한 단선사고가 일어난다. 이때 사고를 감지한 보호계전기는 사고의 경중에 따라 비상정지, 급정지, 무부하정지, 경보 등의 조치를 취하게 된다[1-3].

한편 울진 원자력발전소(nuclear power plant:N/P) 등 한국형 표준 원전을 탄생시킨 우리나라에서 조차 발전소의 핵심인 보호제어시스템은 완성인도방식으로 전량 도입되고 있는 실정이다. 이에 따라 발전기에 사고가 발생할 경우, 계전 설비에 대한 자체 기술력이 부족한 상태인 우리는, 외부에 종속적인 대응을 하는 등 비효율적으로 운영되고 있다. 더구나 국내에 도입된 발전소 보호제어시스템은 회사 및 발전방식에 따라 제각기 다르기 때문에 운영 및 보수에 어려움을 개선하지 못한 채 답습형태 건설과 도입이 계속 반복되고 있다. 이에 발전기보호제어의 원천기술에 대한 독자적인 연구개발이 시급한 형편이다. 최근 기술과 관련해서 분산전원의 계통연계를 위해 풍력발전의 고장시 계통에 대한 영향 평가가 시작되었다니 매우 고무적인 일이다[4-6].

해외에서는 Sachdev와 Wind[7]는 발전기의 내부고장검출을 위하여 디지털컴퓨터를 사용한 기법을 발표하였다. 또 Hope, Dash와 Malik[8]은 선전류 증성점 측 전류로 표현된 페이지의 실수부와 허수부를 상관함수기법에 의한 알고리즘을 제안하였다. Dash, Malik와 Hope은 발전기 단자의 역

상분전력의 흐름의 방향과 계자전류의 제2고조파성분을 모니터링하여 발전기의 불평형고장을 검출하는 기법을 제시하였다[9]. 초창기에는 대부분 아날로그를 디지털로 변환할 경우에 발생하는 문제를 경감하고 계산시 요구되는 CPU 타임을 감소하기 위한 연구들이었다[10]. 근래에는 계자전류의 고조파를 이용하는 기법[11], 영상분전압을 이용하는 방법[12], 그리고 제3고조파 전압에 의한 기법들이 발표되었다[13]. 또 인공신경회로망(artificial neural network:ANN)을 이용하는 방법[14]과 DWT에 의한 발전기의 고장검출 기법[15]이 제안되었다. 한편 IEEE 계전기 위원회에서는 교류발전기 보호에 관한 표준을 제정하기에 이르렀다[16]. 그러나 아직까지 발전기 권선의 전 범위를 대상으로 하는 완벽한 보호알고리즘이 공인된 바는 없는 실정이다.

현재 교류발전기 고정자 주보호로 가장 많이 사용되는 방법은 이산푸리에변환(discrete Fourier transform:DFT) 필터 기반 비율차동계전기법(Ratio Differential Relay:RDR) 이다[1,2]. 그런데 DFT 필터를 적용할 경우 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환하는 과정에서 시간 정보가 손실될 수 있다는 결점이 지적되었다[15,17]. 이에 전통적인 푸리에 변환(FT)은 STFT(Short Time Fourier Transform) 과정을 거쳐서 Scale과 Shift를 이용한 웨이블릿 변환(Wavelet Transform:WT)이 발표되었다. 이산 웨이블릿변환(Discrete Wavelet Transform:DWT)은 신호처리분야 뿐만 아니라 전력계통의 외란 식별, 고 임피던스 사고(high impedance fault:HIF) 검출 등 여러 분야에 대한 적용을 시도하고 있다.

2007년 5월 고장전류의 웨이블릿 변환을 이용한 동기 발전기 보호 알고리즘이 제안한 바가 있다[18]. 그런데 여기에 사용된 시뮬레이션 데이터는 MATLAB package를 이용하여 발전기 방정식으로부터 평형 및 불평형 고장 모델링[19]을 수행한 것으로 여자전압 400[V]로 무부하운전중 고장이 발생한 경우로 한정되어 있다. 또 제안된 알고리즘은 계통 측의 편단 고장전류만을 이용하는 것으로 종래 양단의 차전류를 이용하는 DFT 기반 RDR과는 구조적으로 비교할 수 없었다[20]. 이에 본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환에 의한 개선된 보호알고리즘의 타당성을 입증하기 위하

[†] 교신저자, 終身會員 : 江陵大學校 電氣情報通信工學部 教授 · 工博
 E-mail: cwpark1@kangnung.ac.kr

^{*} 正會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 博士課程 修了

^{**} 終身會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 教授 · 工博
 接受日字 : 2008年 3月 5日
 最終完了 : 2008年 4月 18日

여 먼저 종래의 RDR과 유사한 차전류를 얻기 위하여 ATP를 이용하여 모델계통을 구성하였다. 다음 수집된 양단 전류를 이용하여 종래의 DFT 기반 RDR과 제안된 기법과 비교 검토를 수행하였다. 또 고장판별속도를 개선하기 위하여 임계치를 수정하였다.

2. 교류 발전기의 고정자 보호

2.1 교류 발전기 보호

교류발전기의 보호기능은 고정자 차동보호, 계자상실 보호, 전류 불평형 보호, 모니터링 검출, 과전압 보호, 전압 억제 과전류보호, 100% 고정자 지락보호 등이 있다. 교류발전기 고정자 권선의 주보호는 비유차동계전기(RDR, 87G)가 사용된다. 그림 1과 같이 RDR은 3상 입력전류와 출력전류, 3상 권선전압과 중성점 전압 등 10가지의 계전신호가 사용된다. 여기서 I_{1a}, I_{1b}, I_{1c} 는 3상 입력전류, I_{2a}, I_{2b}, I_{2c} 는 3상 출력전류, V_a, V_b, V_c 는 3상 고정자 권선전압, V_N 는 중성점 전압이다[20].

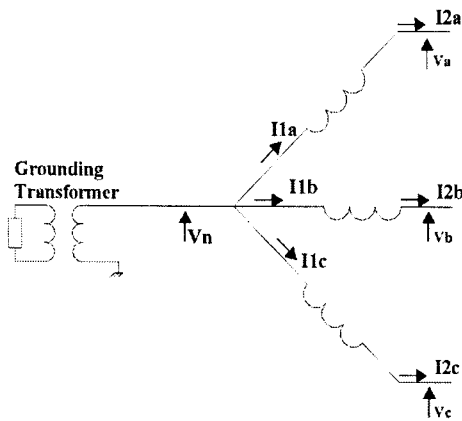


그림 1 계전신호의 페이지
Fig. 1 Measured relay phasors

2.2 디지털 비유 차동 계전기법

RDR은 중성점 측의 전류와 발전기 출력단자 측의 전류를 비교하면 발전기의 내부고장을 검출할 수 있다. 디지털 비유차동보호를 위한 기본적인 판별은 식(1)에 따른다. 이때 각 상별로 입력 전류 및 출력 전류의 벡터차와 입력 전류 및 출력전류의 스칼라합이 사용된다. 디지털계전기나 차세대 전력기기(Intelligent Electronic Device:IED)의 디지털기법에서는 차전류와 억제전류를 계산할 때 기본과출출을 위해 DFT 필터가 전처리로 사용된다. 또 최근에는 대전류 영역과 소전류 영역에 동작 특성을 달리한 변곡점이 있는 동작특성곡선이 적용되고 있다[2,3].

$$|I_1 - I_2| > = K_1 \frac{|I_1| + |I_2|}{2} \quad (1)$$

여기서, I_1 : 각 상의 고정자 권선의 입력 전류, I_2 : 각 상의 고정자 권선의 출력 전류, K_1 : 기율기

3. DWT를 이용한 개선된 고장 검출 알고리즘

3.1 DWT에 의한 개선된 고장 검출 알고리즘

다음은 DFT 필터의 근본적인 결함을 보완할 수 있도록 본 논문에서 제안

된 DWT를 이용한 개선된 고장검출알고리즘에 대한 단계별 설명이다. 임계치 1은 변환된 고장전류의 웨이브릿값의 분포 및 경향을 파악할 때 사용되며, 임계치2는 식(1)에 의해 연산된 비율식의 추이값으로 최종 고장여부를 판별할 때 사용된다[3].

- Step 1 : 다 레벨 분해(multi level decomposition:MLD)과정을 통하여 얻은 전류에 대해 발전기의 고장판별에 용이한 적당한 모 웨이브릿(mother Wavelet) 변환을 선정한다.
- Step 2 : 선정된 모 웨이브릿 변환의 차수(order)와 레벨(level)을 가변하면서, 적당한 차수와 레벨을 선택한다.
- Step 3 : 선정된 모 웨이브릿 변환에 의해 계산된 detail 1 값의 분포와 경향은, 임계치1에 의하여 비교 여부를 판단한다.
- Step 4 : 고장판별을 명확하게 하기 위해서 제안된 비율식인 특정 웨이브릿 변환의 성분에 대한 비율 값을 계산한다.
- Step 5 : 계산된 비율식 값은 설정한 임계치2와 비교 여부를 판단하여 고장이 판별됨으로 차단기로의 트립신호 발생 여부를 결정한다.
- Step 6 : 반복여부 또는 종료를 확인한다.

3.2 DWT에 의한 고장 판별 논리

특정 웨이브릿 변환으로 인한 detail 1 값은 진동성을 갖게 되는데, 이를 고장판별이 용이하도록 수정한 것이 식(2)이다. 즉 각 상별로 변환된 절대치의 평균치 형태로 연산을 간소화함으로써 구현이 쉽도록 하였다. 고장판별은 각 상별로 비율식의 추이를 연산하면서 임계치2를 초과할 때 최종적으로 이루어진다[18].

$$I_{\text{phase-ratio}} = \frac{I^k_{\text{phase-avg-|mw|}}}{I_{\text{phase-avg-of-|d1|}}} \quad (2)$$

여기서, $I_{\text{phase-ratio}}$: 정상상태 각 상전류의 DWT로 변환된 d1 절대값의 평균치에 대한 현재 각 상전류의 DWT로 변환된 k번째 이동 윈도우 절대값의 평균치 비율, $I_{\text{phase-avg-of-|d1|}}$: 정상상태 각 상전류의 DWT로 변환된 d1 절대값의 평균치, $I^k_{\text{phase-avg-|mw|}}$: 현재 각 상전류의 DWT로 변환된 k번째 이동 윈도우 절대값의 평균치이다.

4. 교류 발전기의 사고 모델링

4.1 교류 발전기에 대한 사고 모델링

PSCAD/EMTDC 제작사인 Manitoba HVDC Research Centre에서는 발전기 사고모델링을 할 수 없다는 의견을 주었는데, 접지 측에 CT와 접지변압기 등을 고려할 수 없기 때문에 접지 측의 전류를 수집할 수 없다는 것이다[3,21]. 현재까지 발전기 고정자 권선에 대한 층간, 상간, 권선간의 완벽한 사고 모델링 기법은 발표된 바가 없다. 대부분 고정자 권선 단자에서의 사고모의가 연구되었다. 그러나 무부하의 경우로 제한되어 정식화된 사고모델링 및 과도해석[19]은, 부하를 고려해 차원(dimension)을 확장하여 새로운 발전기의 기계방정식(machine equation)을 확대 유도하면 MATLAB package에서 구현이 가능하리라고 생각된다. PSCAD/EMTDC에서는 발전기 내부사고와 유사한 상황을 연출하기 위하여 모의하고자하는 발전기 내부 정수의 일부를 고정자 외부에 여러 개로 나누어 배치함으로써 사고에 대한 시뮬레이션을 제한한 바가 있으나, 근본적인 문제점을 벗어날 수 없다[20]. 또 향후 사용자 정의 모델(user defined model:UDM)에 의하여 해결책을 도모하거나 제작사의 보안과 관련된 연구를 바라면서 차선책으로 5.1절 사례연구에서는 ATP를 이용하여 고장전류의 차이를 수집할 수 있는 사고모델링 방식을 채택하였다[21].

5. 사례연구

5.1 ATP에 의한 사고 모델링

제시한 개선된 고장판별알고리즘의 타당성을 입증하기 위하여 그림 2와 같은 모델 계통도를 구성하였다. ATP를 이용하여 사고모델링을 수행한 후 사례 연구용 사고모의 데이터를 수집하였다. 모델계통은 과도상태 해석을 위하여 송전선로, 송압변압기, 부하 및 발전기로 구성하였다. 발전기의 과도리액턴스는 0.33[pu], 정격전압은 13.8[kV], 정격 PF는 0.8[lag], 3상 정격용량은 250[MVA]로 하였고, 송전선로의 임피던스는 0.8+j0.6[pu] 이다[20].

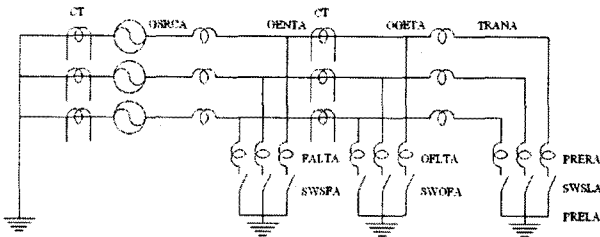
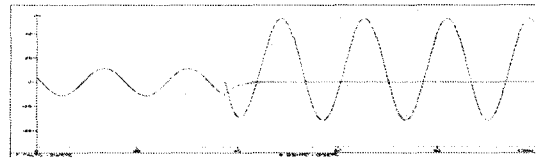


그림 2 모델 계통도
Fig. 2 Modeling system diagram

SWSLA의 스위치를 닫음으로서 정상상태 시뮬레이션을 수행하고 CT를 중심으로 왼쪽 측, SWSFA의 스위치를 닫음으로서 내부고장을, CT를 중심으로 오른쪽 측, SWOFA의 스위치를 닫음으로서 외부고장 상황을 각각 모의하였다. 모의한 사고의 종류는 3상 단락고장, 2상 단락고장, 1선지락고장이다. 직류오프셋에 의한 영향을 검토하기 위하여 A상 전류의 사고각을 기준으로 0°, 30°, 60° 및 90°를 고려하였고 한 주기당 샘플링 수는 12sample/cycle이고 샘플링주파수는 720[Hz]로 수행하였다. 고장발생시점은 0.037503[sec], 0.038892[sec], 0.040281[sec]와 0.0416703[sec]로 정상적인 가압이후 각각 27번째, 28번째, 29번째, 30번째로 하였다.

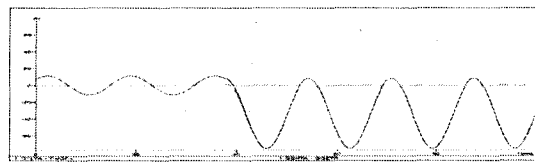
그림 3은 고장발생시점이 0.037503[sec]인 A상 전류의 사고각 0° 인 경우, 3상 단락사고모의를 수행한 후, ATP의 WPCplot를 이용하여 그린 각 상의 입력전류(부하전류) 및 출력전류(고장전류)의 순시치 이다. 그림 4는 외부고장시 고장전류와 부하전류이다. 그림 3으로부터 내부고장이 발생한 후, 부하전류는 급격히 감소하는 반면에 내부고장전류는 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 4로부터 외부고장이 발생한 후 부하전류와 외부고장전류는 크기가 유사하게 되는 것을 알 수 있다.



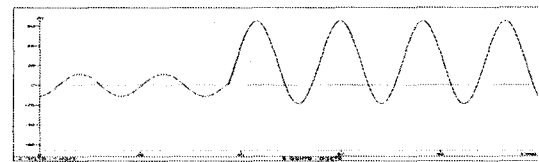
(c) C상 전류
(c) C phase current

그림 3 내부고장시의 3상 전류 (사고각 0°)

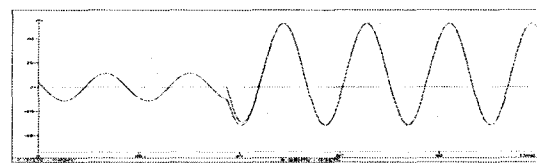
Fig. 3 Three phase currents during internal fault (fault angle 0°)



(a) A상 전류
(a) A phase current



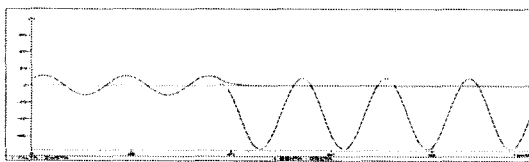
(a) B상 전류
(a) B phase current



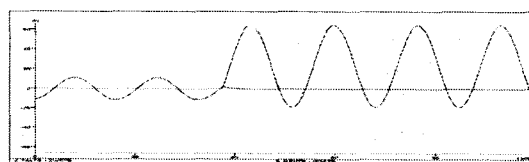
(a) C상 전류
(a) C phase current

그림 4 외부고장시의 3상 전류 (사고각 0°)

Fig. 4 Three phase currents during external fault (fault angle 0°)

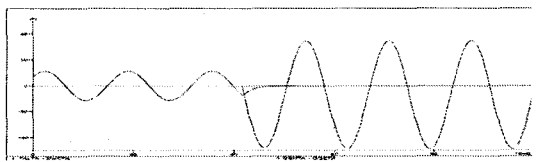


(a) A상 전류
(a) A phase current

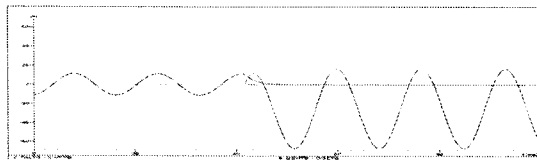


(b) B상 전류
(b) B phase current

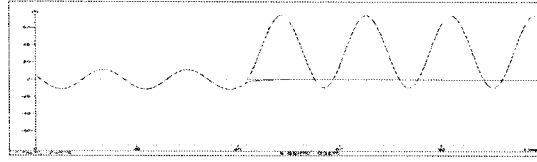
그림 5는 고장발생시점이 0.0416703[sec]인 A상 전류의 사고각 90° 인 경우, 3상 단락사고모의를 수행한 후, ATP의 WPCplot를 이용하여 그린 각 상의 입력전류(부하전류) 및 출력전류(고장전류)의 순시치 이다. 그림 6은 외부고장시 고장전류와 부하전류이다. 그림 5로부터 내부고장이 발생한 후 부하전류는 급격히 감소하는 반면에 내부고장전류는 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 6으로부터 외부고장이 발생한 후 부하전류와 외부고장전류는 크기가 유사하게 되는 것을 알 수 있다.



(a) A상 전류
(a) A phase current

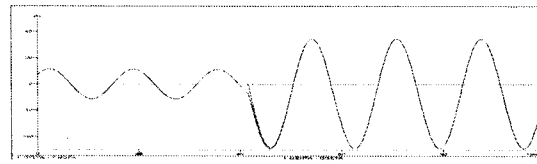


(b) B상 전류
(b) B phase current

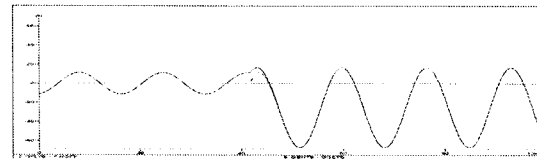


(c) C상 전류
(c) C phase current

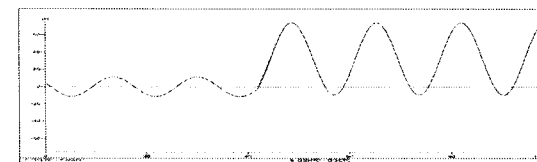
그림 5 내부고장시의 3상 전류 (사고각 90°)
Fig. 5 Three phase currents during internal fault (fault angle 90°)



(a) A상 전류
(a) A phase current



(b) B상 전류
(b) B phase current

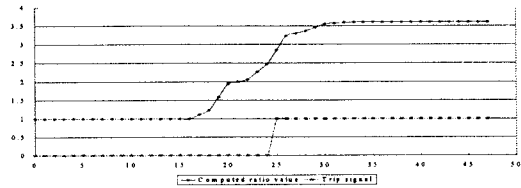


(c) C상 전류
(c) C phase current

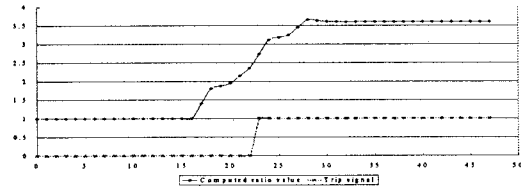
그림 6 외부고장시의 3상 전류 (사고각 90°)
Fig. 6 Three phase currents during external fault (fault angle 90°)

5.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

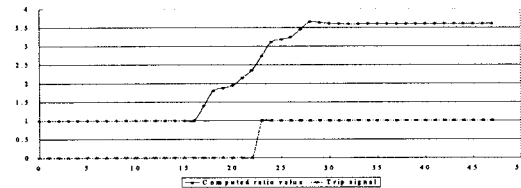
그림 7은 고장발생시점이 0.037503[sec]인 A상 전류의 사고각 0° 인 경우, 3상 내부단락고장시의 제안된 DWT에 의한 고장검출기법의 결과이다. 그림 7에서 x축은 연산된 비율식값(computed ratio value)이 경우 주기단위로 표기하였기 때문에 고장발생시점의 번째되는 구별된다. 번째로는 약 1주기(12번째) 정도 빨라 보일 수 있다. 그러나 트립신호(trip signal)에 대해서는 그대로 번째로 표시하였다. 그림 7로부터 내부고장시에 d1 비율값의 궤적에 따라 임계치 2.5를 초과하는 시점, 즉 A상의 경우에는 고장발생후 9샘플인 0.0125[sec]에서, B상의 경우에는 고장발생후, 7샘플인 0.009722[sec]에서, C상의 경우에는 고장발생후 7샘플인 0.009722[sec]에서 각각 고장이 검출되어 트립신호가 발생하는 것을 알 수 있다.



(a) A상
(a) A phase



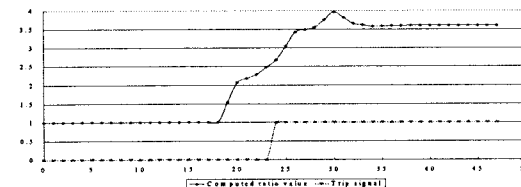
(b) B상
(b) B phase



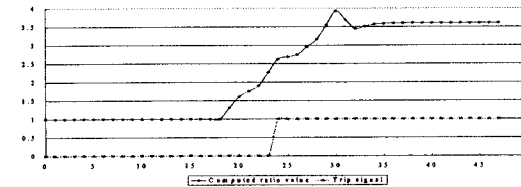
(c) C상
(c) C phase

그림 7 내부고장의 경우 연산된 비율식 값의 추이와 고장판별 (사고각 0°)
Fig. 7 Transition of computed ratio value and fault discrimination during internal fault (fault angle 0°)

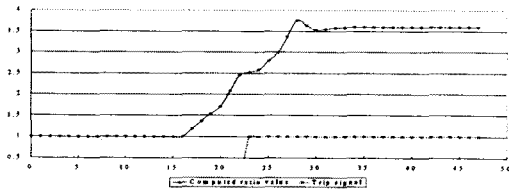
그림 8은 고장발생시점이 0.0416703[sec]인 A상 전류의 사고각 90° 인 경우 3상 내부단락고장시의 제안된 DWT에 의한 고장검출기법의 결과이다. 그림 8로부터 내부고장시에 d1 비율값의 궤적에 따라 임계치 2.5를 초과하는 시점, 즉 A상의 경우에는 고장발생후, 6샘플인 0.008333[sec]에서, B상의 경우에는 고장발생후, 6샘플인 0.008333[sec]에서, C상의 경우에는 고장발생후, 7샘플인 0.009722[sec]에서 각각 고장이 검출되어 트립신호가 발생하는 것을 알 수 있다.



(a) A상
(a) A phase



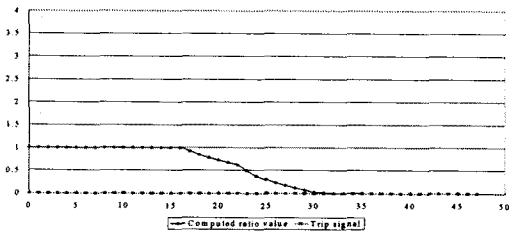
(b) B상
(b) B phase



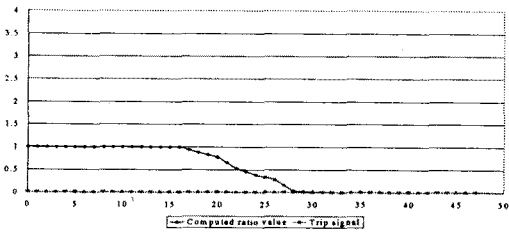
(c) C상
(c) C phase

그림 8 내부고장의 경우 연산된 비율식 값의 추이와 고장판별 (사고각 90°)
Fig. 8 Transition of computed ratio value and fault discrimination during internal fault (fault angle 90°)

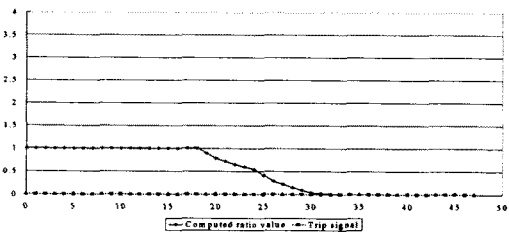
그림 9는 고장발생시점이 0.037503[sec]인 A상 전류의 사고각 0° 인 경우, 3상 외부단락고장시의 제안된 DWT에 의한 고장검출기법의 결과이다. 그림 9로부터 외부고장시에 dl 비율값은 점차 감소되기 때문에 외부고장으로 인식되어 내부고장을 검출하지 않음을 알 수 있다.



(a) A상
(a) A phase



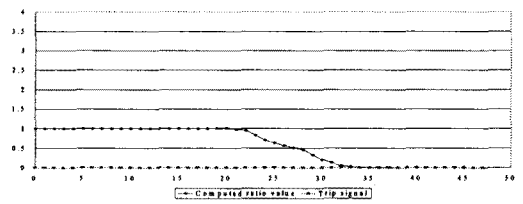
(b) B상
(b) B phase



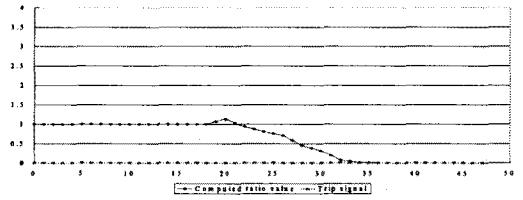
(c) C상
(c) C phase

그림 9 외부고장의 경우 연산된 비율식 값의 추이와 고장판별 (사고각 0°)
Fig. 9 Transition of computed ratio value and fault discrimination during external fault (fault angle 0°)

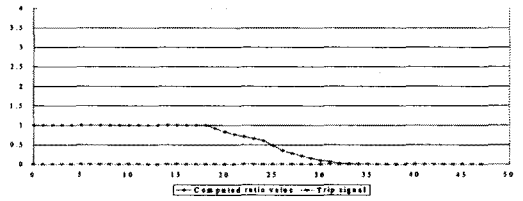
그림 10은 고장발생시점이 0.0416703[sec]인 A상 전류의 사고각 90° 인 경우, 3상 외부단락고장시의 제안된 DWT에 의한 고장검출기법의 결과이다. 그림 10으로부터 외부고장시에 dl 비율값은 점차 감소되기 때문에 내부고장으로 판별되지 않음을 알 수 있다.



(a) A상
(a) A phase



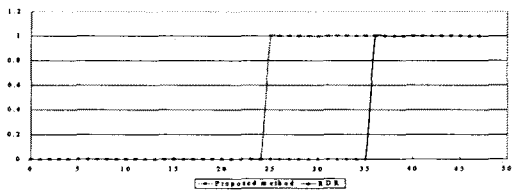
(b) B상
(b) B phase



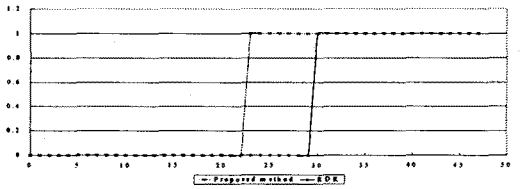
(c) C상
(c) C phase

그림 10 외부고장의 경우 연산된 비율식 값의 추이와 고장판별 (사고각 90°)
Fig. 10 Transition of computed ratio value and fault discrimination during external fault (fault angle 90°)

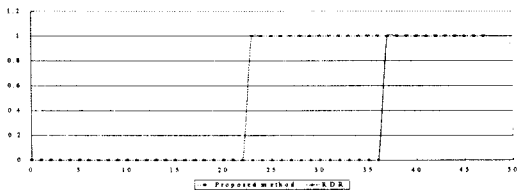
그림 11은 고장발생시점이 0.037503[sec]인 A상 전류의 사고각 0° 인 경우, 3상 내부단락고장시 종래의 DFT 기반 RDR 알고리즘과 제안된 기법에 대한 고장검출 비교결과이다. 종래의 RDR은 DFT 필터를 통과한 3상 고장전류와 부하전류의 실효치로부터 계산된 내부고장시 차전류 및 억제전류의 동작특성 궤적에 따라 내부고장과 외부고장이 판별된다. 그림 11로부터 제안된 기법이 RDR 보다 최소 7샘플(0.009722[sec])에서 최대 14샘플(0.019444[sec]) 신속하게 고장을 판별하는 것을 알 수 있다.



(a) A상
(a) A phase



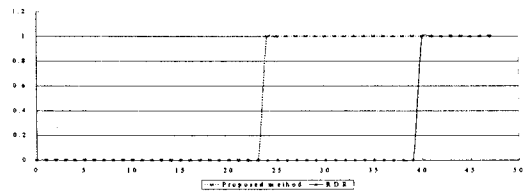
(b) B상
(b) B phase



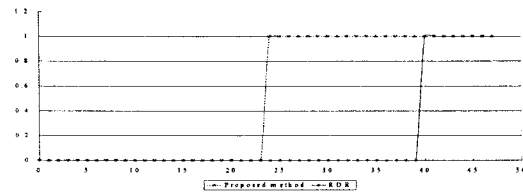
(c) C상
(c) C phase

그림 11 내부고장의 경우 고장판별의 비교 (사고각 0°)
Fig. 11 Comparison of fault discrimination during internal fault (fault angle 0°)

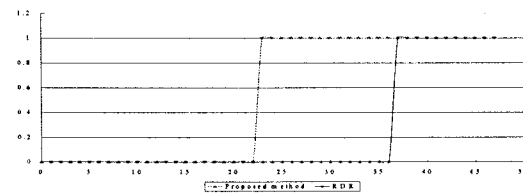
그림 12는 고장발생시점이 0.0416703[sec]인 A상 전류의 사고각 90° 인 경우, 3상 내부단락고장시 종래의 RDR 알고리즘과 제안된 기법에 대한 고장검출 비교 결과이다. 그림 12로부터 제안된 기법이 RDR 보다 최소 14샘플(0.019444[sec])에서 최대 16샘플(0.022222[sec]) 신속하게 고장을 판별하는 것을 알 수 있다.



(a) A상
(a) A phase



(b) B상
(b) B phase



(c) C상
(c) C phase

그림 12 내부고장의 경우 고장판별의 비교 (사고각 90°)
Fig. 12 Comparison of fault discrimination during internal fault (fault angle 90°)

한편 3상 외부단락고장시에는, 고장발생시점과 A상 전류의 사고발생각에 관계없이 종래의 DFT 기반 RDR 알고리즘과 제안된 기법 모두 오동작 하지 않았다. 표 1은 여러 가지 고장에 대한 RDR과 제안된 DWT 기반 개선알고리즘의 고장검출 비교이다.

본 연구에서는 2007년 5월 논문[18]에 비해 ATP 모델링을 통하여 사례연구를 변경하였으며, 종래의 DFT 기반 RDR과 비교검토를 수행함으로써 제안된 기법의 우수성을 입증하였다. 제안된 기법은 내부고장의 경우 고장종류와 관계없이 대체로 고장발생 후 약 6-9샘플 후에서 고장이 검출되었다. 고장판별은 고장발생 후부터 약 0.008333 - 0.0125[sec] 소요되었

는데, 제안된 기법이 종래의 DFT 기반 RDR보다 최소 0.09722[sec]에서 최대 0.019444[sec] 정도 신속하였다. 또 제안된 기법의 직류옴셋에 영향을 평가한 결과 전압사고각이 0도인 것이 전압사고각이 90인 경우보다 약 1-3 샘플정도인 0.001389-0.004167[sec] 정도 신속하게 검출하였다. 외부고장시에는 제안된 기법과 종래의 RDR 기법 모두 오동작을 하지 않았다.

표 1 3상 단락고장시의 고장판별결과

Table 1 Fault discrimination result during three phase short fault

사고종류	사고각	고장상	고장판별시간 [sec]	
			DFT 기반 RDR	제안된 기법
3상단락	0	A	0.027778	0.012500
		B	0.019444	0.009722
		C	0.029167	0.009722
	30	A	0.023611	0.011111
		B	0.019444	0.008333
		C	0.026389	0.009722
	60	A	0.019444	0.009722
		B	0.029167	0.009722
		C	0.027778	0.012500
	90	A	0.030556	0.008333
		B	0.030556	0.008333
		C	0.029167	0.009722
2상단락	0	A	0.027778	0.012500
		B	0.019444	0.009722
	30	A	0.023611	0.011111
		B	0.019444	0.008333
	60	A	0.019444	0.009722
		B	0.029167	0.009722
90	A	0.030556	0.008333	
	B	0.030556	0.008333	
A상지락	0	A	0.027778	0.012500
	30	A	0.023611	0.011111
	60	A	0.019444	0.009722
	90	A	0.030556	0.008333

6. 결 론

본 논문에서는 종래의 DFT 기반 RDR의 내재된 단점을 개선한 교류발전기 고정자 권선의 주보호 검출알고리즘을 제안하였다. 제안된 기법의 우수성을 입증하기 위하여 ATP 시뮬레이션으로 수집한 시험데이터를 이용하여 종래의 DFT 기반 RDR과 비교 연구를 수행하였다. 여기서 사용된 ATP 모의계통은, 현재까지 발전기 상세모델링과 사고모의에 대하여 완벽한 방법이 없는 상황에서 고장전후의 전류를 수집하기 위한 간편한 사고 시뮬레이션 방식으로 생각된다. 모의 시험결과 개선된 DWT 기반 고장검출기법은 기존 DFT 기반 RDR보다 고장검출속도면에서 최소 0.09722[sec]에서 최대 0.019444[sec] 정도 신속하다는 것을 알 수 있었다. 또 직류옴셋 영향을 확인하기 위하여 사고발생각을 가변하면서 제안된 기법의 성능을 관찰하였는데, 최대 0.004167[sec] 차이가 발생하였다. 제안된 기법은 DFT 필터에 내재되어있는 시간영역 신호를 주파수 영역으로 변환하는 과정에서 시간 정보가 손실된다는 단점을 보완할 수 있을 것이다. 또 고장판별을 위해 모 웨이브릿 변환을 통한 절대치의 평균치 비율식을 제안함으로써 연산을 간소화시켜 실시간 구현이 용이할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 최정림, 우준기, 신세균, 김정봉, 이진해, 유진태, 고재현, 양재구, "보호 계전기해설(제2집)", 남서울전력관리처 공무부 pp. 24-75, 1988. 12

[2] 전력연구원, "원자력발전소 표준화설계를 위한 조사용역", pp. 83-269, 1999.

[3] 박철원, "발전기 시스템의 과도해석과 IED 용 개선된 알고리즘 개발", 산업자원부 전력선행연구 최종보고서 pp. 1-120, 2006. 12

[4] 전력연구원, "울진 N/P #4 Unit 발전기 준공시험 보고서", 1998. 4

[5] 조성진, 현승호, 최면승, 강상희, 이승재, "발전기보호 기본 알고리즘을 적용한 보호계전연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.326-328, 2003. 7.

[6] 권영진, 강상희, "풍력발전단지 보호를 위한 내외부 고장 판별 알고리즘", 대한전기학회 논문지 Vol. 56, No. 5, pp. 854-859, 2007. 5.

[7] M.S. Sachdev, D.W. Wind, "An On-Line Digital Computer Approach for Generator Differential protection", Transactions of the Engineering and Operating Division, Canadian Electrical Association, Paper No. 73-SP-149, Vol. 12, No. 3, pp. 1-6, 1973.

[8] G.S. Hope, P.K. Dash, O.P. Malik, "Digital Differential protection of a Generating Units : Scheme and Real-Time Test Results, IEEE Trans. on PAS, Vol. 96, No. 2, pp. 502-512, 1977.

[9] P.K. Dash, O.P. Malik, G.S. Hope, "Fast Generator Protection Against Internal Asymmetrical Faults", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-96, No. 5, Sep/Oct. pp. 1498-1506, 1977.

[10] 박철원, 신명철, "동기발전기의 디지털 차동보호 알고리즘에 관한 연구", 성균관대학교 논문집 과학기술편 제45집 No. 2, pp. 19-32, 1994.

[11] J. Penman, H. Jiang, "The detection of stator and rotor winding short circuit in synchronous machines by analyzing excitation current harmonic", Proc. IEE Int. Conf. Opportunities and Advances in International Power Generation, No. 419, pp. 137-142, 1996.

[12] N.L. Tai and O. Ai, "Protection technique based on delta-zero sequence voltages for generator stator ground fault", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 151, No. 5, pp. 651-657, Sep. 2004.

[13] M. Fulczyk and R. L. Schlake, "Influence of the generator load conditions on third harmonic voltages in generator stator windings", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 20, No. 1, pp. 158-165, Mar. 2005.

[14] A. I. Taalab, H. A. Darwish, T. A. Kawady, "Ann-based Novel Fault Detection for Generator Windings Protection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp. 824-830, 1999.

[15] O. Ozgonenel E. Arisoy, M.A.S.K Khan M.A. Rahman, "A Wavelet Power Based Algorithm For Synchronous Generator Protection", IEEE PES Summer Meeting pp. 128-134, 2006. 6.

[16] IEEE Power System Relaying Committee, "IEEE Guide for AC Generator Protection", IEEE Std. C37.102-1995.

[17] Michel Misiti, Yves Misiti, Georges Oppenheim, and Jean-Michel Poggi, MATLAB Wavelet Toolbox, User's Guide Version 1, 1997.

[18] 박철원, 신명철, "고장전류의 웨이블릿 변환을 이용한 동기 발전기 보호 알고리즘", 대한전기학회 논문지 Vol. 56, No. 5, pp. 834-840, 2007. 5.

[19] Hadi Saadat, Power System Analysis, WCB/McGraw-Hill, 1999.

[20] 박철원, 신광철, 신명철, "교류발전기 보호를 위한 고장검출 알고리즘의 비교 분석", 대한전기학회 전력기술분회 하계학술대회 논문집, pp. 75-77, 2007. 11.

[21] 박철원, "교류발전기의 주보호와 사고 모델링", 대한전기학회 강원지회 2007년도 학술회의 논문집, pp. 12-15, 2007. 12.

저 자 소 개



박철원 (朴哲園)

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1989년~1993년 금성산전연구소 주임연구원. 1993년~1996년 프로컴시스템 기술연구소 선임연구원. 1993년~1997년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 강사. 1997년~2007년 국립원주대학교 전기과 부교수. 2007년~현재 국립강릉대학교 전기정보통신공학부 정교수.

Tel : 033-760-8786

Fax : 033-760-8781

E-mail : cwpark1@kangnung.ac.kr



신광철 (申光哲)

1962년 10월 15일 생. 1986년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1994년 한양대학교 대학원 전기전자공학부 졸업(공학석사). 1998년~2003년 금호엔지니어링 근무. 2003년~현재 (주)삼안 근무(이사). 2000년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정수료.

E-mail : kcshin@samaneng.com



신명철 (申明澈)

1947년 4월 3일생. 1970년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1978년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1975년~1978년 충북대학교 전기공학과 조교수. 1982년~1983년 미국 코넬대 전기공학과 교환교수. 2000년~2001년 미국 펜실바니아 주립대 전기공학과 교환교수. 1978년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수. 2006년 대한전기학회 회장. 2005년~2006년 성균관대학교 부총장.

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