

고장전류의 웨이브릿 변환을 이용한 동기 발전기 보호 알고리즘

論 文

56-5-3

Synchronous Generator Protective Algorithm using Wavelet Transform of Fault Currents

朴 哲 圓[†] · 申 明 澈^{*}

(Chul-Won Park · Myong-Chul Shin)

Abstract - A generator plays an important role in transferring an electric power to power system networks. The generator protection systems in Korea have been imported and operated through a turn-key from overseas entirely. Therefore, a study of the generator protection field has in urgent need for a stable operation of the imported goods, and for preparation of next generation protection system. The paper describes the fault detection algorithm using WT(Wavelet Transform) of currents for a generator protection. The fault current signals after executing a terminal fault modeling collect using a MATLAB package, and calculate the wavelet coefficients through the process of a multi-level decomposition (MLD). The proposed algorithm for a fault detection using the Daubechies WT (wavelet transform) was executed with a C language for the command line function and for the real time realization after analyzing MATLAB's graphical interface. The advanced technique had complemented the defects of a DFT by applying a Daubechies WT, and had improved faster a speed and more accurate of fault discriminant than a conventional DFR.

Key Words : Daubechies, DFR, DFT, MATLAB, MLD, Fault discriminant, Generator protection, Wavelet transform

1. 서 론

계통의 근원인 발전소내 대용량 발전기가 여러 가지 요인으로 불시정지하게 되면, 주파수가 저하될 뿐만 아니라 일시적으로 계통이 불안정하게 된다. 이때 탈락된 발전량을 보충하기 위해 발전단가가 비싼 발전기의 추가 기동이나 투입으로 전력거래 비용의 증가하거나, 발전소의 운전정지로 인하여 막대한 경제적 손실을 초래할 수 있다[1,2].

국내 발전기의 보호계전방식은 현재까지 일정한 기술기준이 없이 건설계약자마다 발전방식에 따라 제각기 다르다. 한국형 표준N/P의 개발로 플랜트 기술수준이 상당히 향상되었지만, 발전소 핵심기술인 보호제어시스템 설비는 전량 해외로부터 완성인도(turn-key)방식으로 도입되어 운용되고 있는 실정이다[1,3]. 다만 KEPRI와 KPX를 중심으로 계통의 과도현상 해석과 발전소 보호계통의 최적운용 및 보호방안에 대한 관심이 증대되고 있는 형편에 있고[7,9], 일부 외국 업체에서는 발전소의 준공시험 관련 계전기들의 동작시험과 정정 등의 업무를 대행하고 있을 뿐이다[4]. 이에 도입된 외산 보호시스템의 안정적인 운용과 차세대 발전기 보호시스템의 국산화 기반을 조성하기 위하여 발전기용 보호계전기 및 차세대 전력기기(IGT)에 대한 연구가 시급하다[1,5].

대규모의 외란(disturbance)은 여러 가지 단락회로에 기인하게 되는데, 유지보수를 고려해 볼 때 발전기의 여러 부분 중에서 고정자(stator) 고장이 가장 심각하다. 발전기 사고는 단락고장 보다는 지락고장 발생 가능성이 많다. 지락고장을 신속하게 검출함으로써 단락고장으로 진전되어 고장이 확대되는 것을 방지할 수가 있다. 권선의 단락고장(층간 또는 선간)은 대부분 중단 연결부위에서 발생 가능성이 많다. 이러

한 고장발생시 보호계전기의 고장검출(fault detection)로 인하여 발전기는 계통에서 즉시 분리해야 하며, 정밀진단 및 보수를 수행해야 한다. 현재 단락사고 보호를 위하여 고정 또는 가변 비율특성을 가진 전류비율차동계전(DFR) 알고리즘이 적용되고 있다[1~3].

해외에서는 발전기의 보호계전시스템 및 보호계전기법에 대하여 많은 관심을 가지고 연구되었다. IEEE Power System Relaying Committee(전력계통계전기위원회)에서는 AC Generator Protection와 AC Generator Ground Protection에 관한 Standards를 제정, 발표하였다[10,11]. 발전기를 위한 디지털 차동보호[12]가 시도된 이후, 주요 논문으로, 계자전류의 고조파를 이용하는 기법[13], 영상분전압을 이용하는 방법[14], 제3고조파 전압에 의한 기법[15], ANN을 이용한 고장검출 기법[16]이 제안되었고, 고장현상과 부하영향[17] 등이 해석되었다. 그러나 발전기 권선의 전 범위를 대상으로 하는 완벽한 보호를 제공하지 못했고, 어떠한 실험적인 검증도 공인된 바가 없다. 또한 발전기 접지시스템에 따라 고장전류의 크기가 적어짐에 따라 고장검출을 위한 보완이 요구된다.

발전기용 87G(DFR) 보호기능의 개발이나 시험을 위해서 발전기의 접지측과 계통측 양단의 전류들이 필요하다. 그런데 PSCAD/EMTDC나 ATP/EMTP에서 이러한 전류데이터를 생성하기 위한 시뮬레이션은 현재로서는 한계가 있다[1,5,9]. 또 지금까지 보호계전이나 과도상태 신호를 분석하는 데 전통적으로 푸리에 변환(FT)이 사용되었다. 하지만 이는 대상 신호를 주파수 영역으로 변환하는 과정에서 시간 정보가 손실되는 결점이 있다. 이에 보다 유연성 있는 신호 분석법으로서 웨이브릿 변환(Wavelet Transform:WT)이 제안되었다[18]. 이는 다양한 모(mother) 함수를 사용하는 WT는 스케일(scale)과 이동(shift)을 가변 할 수 있는 특성을 갖기 때문에 시간상에서의 주파수 특성을 얻을 수 있는 장점이 있다. 이에 외란 식별, HIF 검출 및 T/L의 고장점 추정 등 전력계통에 적용이 확대되고 있다[19].

본 논문에서는 과도파형 분석에 뛰어나고 FIR 필터 형태로 구현이 용이한 이산 웨이브릿 변환(DWT)[18]을 동기 발전기의 보호알고리즘에 적용하였다[1]. MLD(Multi

[†] 교신저자, 終身會員 : 江陵大 電氣情報通信工學部
副教授 · 工博

E-mail : cwpark@kangnung.ac.kr

^{*} 終身會員 : 成均館大 情報通信工學部 教授 · 工博
接受日字 : 2007年 1月 29日
最終完了 : 2007年 3月 9日

Level Decomposition) 과정을 거쳐 선정된 다우비시 (Daubechies) WT를 이용하여 종래의 DFT기반 DFR과 전혀 다른 새로운 고정자 보호계전 알고리즘을 제안하였다. 제시된 고장전류를 이용한 동기 발전기 보호 알고리즘은 MATLAB Package의 command line function과 C 언어로 구현하였다. 제안된 기법의 실효성을 입증하기 위하여, MATLAB에서 발전기 방정식으로부터 평형 및 불평형 고장 모델링[1,6]을 수행하여 고장사례를 수집한 후, 샘플링수를 가변하면서 고장판별시간을 비교·검토하였다.

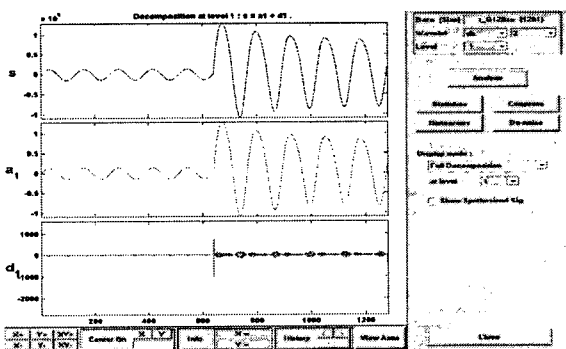
2. 다우비시 웨이브릿 변환에 의한 보호 알고리즘

2.1 특징추출과 정식화

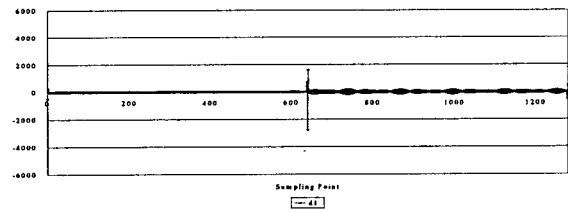
웨이브릿 변환을 이용하여 보다 독특한 신호의 특징을 추출하고, 추출된 특징의 양을 계산하여 그 정량화된 특징들의 차이로 발전기의 보호알고리즘에서 고장을 판별하는 단서를 제공하게 된다.

먼저, 원 신호는 각각 HPF와 LPF를 통과하면서 신호들이 정의된 수준으로 분해될 때까지 동일한 절차가 반복 수행하게 된다. 즉 MATLAB 웨이브릿의 Graphical Interface 인 Wavemenu의 MLD를 통하여 각 상의 고장전류에 대해 적당한 모 웨이브릿, 차수(order), 레벨(level)을 산정한다. 수차례의 MLD를 통하여 평형 및 불평형 고장전류를 분석한 결과, 발전기 보호용 고장판별을 위한 특징으로 2차 모 웨이브릿(db2) 레벨1(level 1)이 적당한 것임을 알게 되었다. 특히 변환된 값의 분포 및 경향에 대해 임계치1(ϵ_1)을 고려한 결과, d1(detail 1) 값이 정상상태와 지락 및 단락 등 고장상태를 검출할 수 있는 단서로 충분하였다.

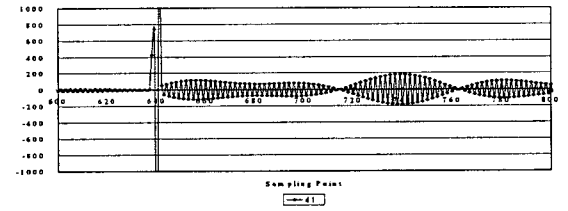
그림 3은 MLD에 의한 분석 결과이다. 3상 단락사고 (128s/c)의 경우에 1,920Hz~DC(a1) 레벨의 저역 주파수 영역 내의 근사 신호뿐만 아니라, 3,840Hz~1,920Hz(d1)의 고역 주파수 영역으로 분리되게 된다. (a)는 db2 level 1의 분해 결과이고, (b)는 detail 1의 값, (c)는 확대한 detail 1의 값이다. (c)와 같이 과도파형을 웨이브릿 변환으로 MLD하게 되면, 웨이브릿 특성상 외란이 발생할 경우 그 부근에서 심해지는 진동의 형태를 나타낸다.



(a) db2 level 1의 분해 결과
(a) Decomposition result of db2 level 1



(b) db2 level 1의 d1 값
(b) d1 value of db2 level 1



(c) db2 level 1의 d1 값(확대)
(c) d1 value of db2 level 1(enlarge)

그림 1 MLD 분석 결과

Fig. 1 MLD analysis result

그림 1과 같은 진동의 형태를 고장판별을 위한 특징으로 삼아 구현이 용이하도록 식(1)과 같이 특정 웨이브릿 성분의 비율을 정의한다.

$$\begin{aligned}
 I_{a-ratio} &= \frac{I_{a-avg-lmwl}^k}{I_{a-avg-of-d1l}} \\
 I_{b-ratio} &= \frac{I_{b-avg-lmwl}^k}{I_{b-avg-of-d1l}} \\
 I_{c-ratio} &= \frac{I_{c-avg-lmwl}^k}{I_{c-avg-of-d1l}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, $I_{a-ratio}$, $I_{b-ratio}$, $I_{c-ratio}$ 는 각 상의 db2 level 1 d1된, 정상상태 절대값의 평균치에 대한 각 상의 k번째 이동 윈도우에 대한 비율이고,

- $I_{a-avg-of-d1l}$: a상전류의 db2 변환된 detail 1의 정상상태 절대값의 평균치,
- $I_{b-avg-of-d1l}$: b상전류의 db2 변환된 detail 1의 정상상태 절대값의 평균치,
- $I_{c-avg-of-d1l}$: c상전류의 db2 변환된 detail 1의 정상상태 절대값의 평균치,
- $I_{a-avg-lmwl}^k$: a상전류의 db2 변환된 detail 1의 k번째 이동윈도우 절대값의 평균치,
- $I_{b-avg-lmwl}^k$: b상전류의 db2 변환된 detail 1의 k번째 이동윈도우 절대값의 평균치,
- $I_{c-avg-lmwl}^k$: c상전류의 db2 변환된 detail 1의 k번째 이동윈도우 절대값의 평균치.

2.2 웨이브릿 변환에 의한 고장 검출 알고리즘

그림 2는 제안한 웨이브릿 변환에 의한 고장검출 알고리즘의 흐름도이다. 편의상 단상으로 표시하였다. 발전기의 전류데이터를 입력받아 MLD과정을 거치면서 적당한 웨이브릿의 차수와 레벨을 결정한다. 이때 임계치1(ϵ_1)의 값은 최대치 10으로 설정하였다. 다음, 진동성을 지닌 변환된 d1

값에 식(1)의 웨이브렛 비율을 적용하여 절대치의 평균값을 계산한다. 계산된 각 상의 비율은 임계치(ϵ_2)와 비교되어 고장이 판별되고, 고장시 트립신호를 발생하게 된다. 이때 ϵ_2 는 잡음과 여유를 고려해 3으로 설정하였다. 입력되는 모든 전류데이터에 대하여 이동윈도우 과정을 거쳐서 각 상별로 비율을 계산하여 고장을 검출하게 된다.

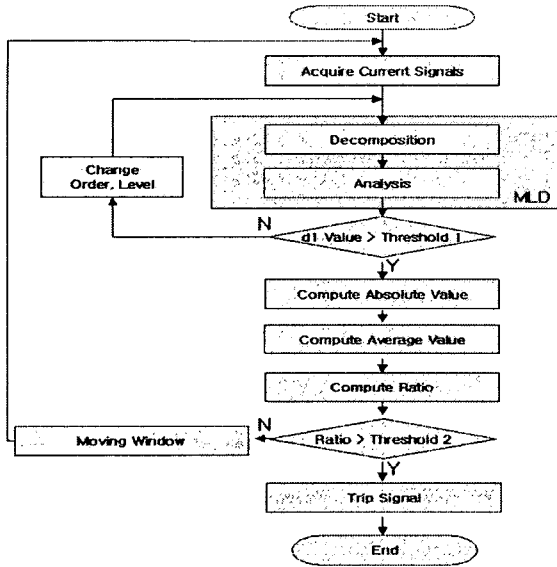


그림 2 Flowchart of proposed fault detection algorithm
Fig. 2 제안된 고장검출 알고리즘의 흐름도

3. 사례연구

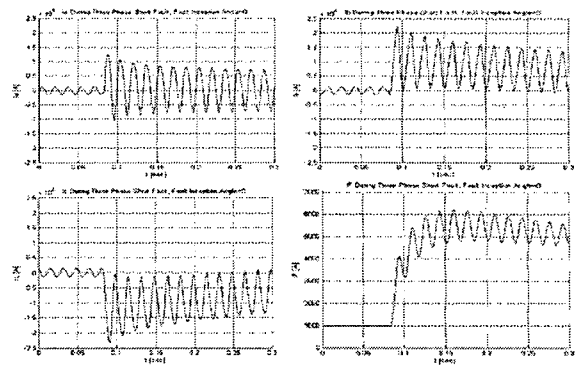
3.1 시뮬레이션

시뮬레이션에서는 3상 500[MVA], 30[kV], 60[Hz] 정격의 발전기가 사용되었다. 사례연구는 선정된 발전기정수에서, 여자전압 400[V]로 무부하운전중에 고장이 발생한 경우로 한정하였다[6,20]. 표 1은 시뮬레이션 조건이다. 제안된 기법의 오프라인 시험을 위해서, 주기당 샘플링수를 12s/c, 16s/c, 32s/c, 64s/c, 128s/c로 하였다.

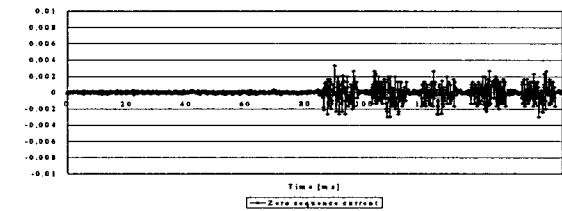
표 1 시뮬레이션의 조건
Table 1 Simulation condition

고장의 종류	시뮬레이션				
	주기당 샘플링 수(s/c)				
3상 단락고장	12	16	32	64	128
2선(bc상) 단락고장					
1선(a상) 지락고장					

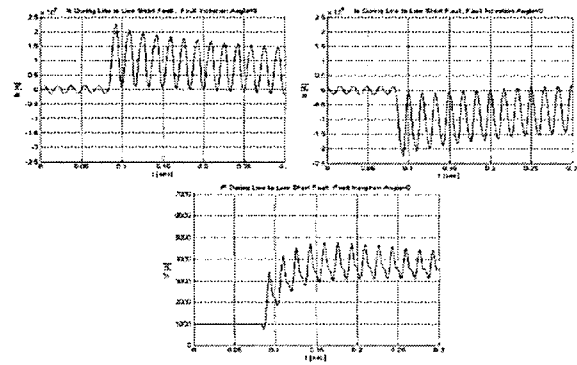
그림 3은 MATLAB에서 발전기 방정식으로부터 수행된 평형 및 불평형 고장시 전류(128s/c)이다. 사고발생위상각은 a상 기준 0도이고, 정상상태이후 5주기체인 83.33[ms]에서 고장을 발생시켰다. (a)로부터 정상상태에서는 9.62[kA]의 정격전류가 흐르나 고장직후에는 그 사고발생위상각에 따라 각 상별로 다르게 직류옴셋이 포함된 큰 고장전류가 흐르게 되고, 계자전류는 정상상태에서 1000[A]로 흐르다가 고장직후 동요하면서 증가하는 것을 알 수 있다. 이 경우 (b)와 같이 고장전후에 영상전류 값이 0이 된다. (c)로부터 b상전류와 c상전류의 절대치가 동일한 것을 알 수 있다. (d)로부터 지락고장시 고장전류는 3상 단락고장 및 선간 단락고장 시와 비교해 그 크기가 가장 작은 것을 알 수 있다.



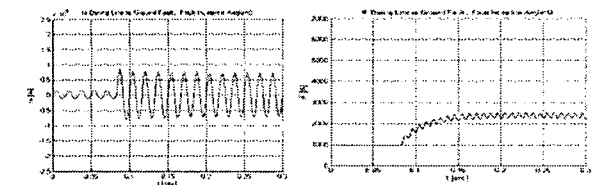
(a) 3상 단락고장시의 전류
(a) Currents during three phase short fault



(b) 영상분 전류
(b) Zero sequence current



(c) 2선 단락고장시의 전류
(c) Currents during double line to short fault



(d) 1선 지락고장시의 전류
(d) Currents during one line to ground fault

그림 3 Balance and unbalance fault currents
Fig. 3 평형 및 불평형 고장전류

3.2 알고리즘의 결과 및 고찰

3.2.1 3상 단락고장의 경우

제안된 기법의 유효성을 입증하기 위하여 편의상 각 상별로 10주기의 전류데이터(166.7[ms])를 사용하였다. 그림 4는 모의시험에 사용된 3상 단락고장시 전류신호이다. 그림 5는 제안된 기법을 이용하여, a상의 변환된 웨이브렛 값에

대한 계산된 식(1)의 비율과 고장판별의 결과이다. 고장이 판별된 시간은 고장후 3번째 샘플인 0.391[ms]가 된다. 이때 계산된 비율값은 4.633 이었다.

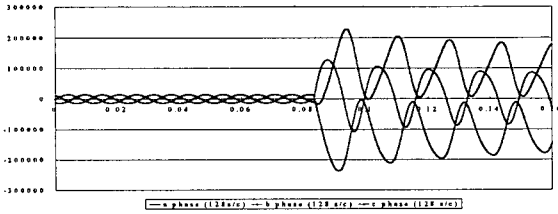
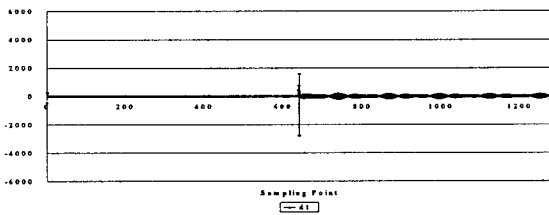
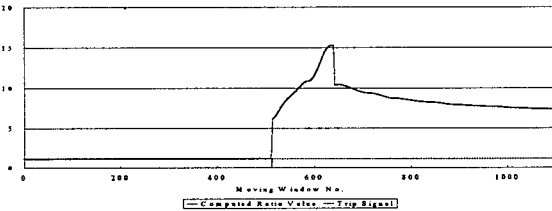


그림 4 3상 단락사고시 전류신호(128s/c)
Fig. 4 Currents during three phase short fault



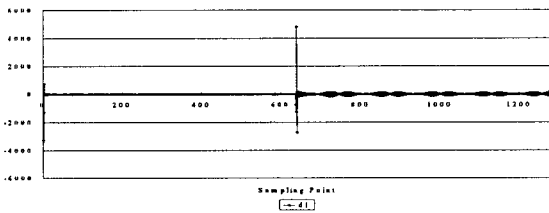
(a) a상의 웨이브릿 변환된 d1 값
(a) d1 value by WT in a phase



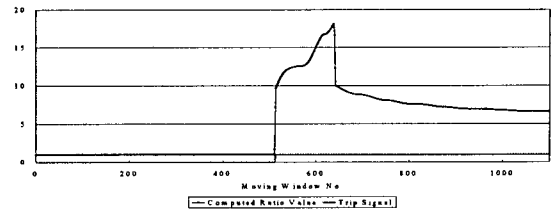
(b) a상의 계산된 비율값과 트립신호
(b) Computed ratio value and trip signal in a phase

그림 5 a상의 d1과 고장판별
Fig. 5 d1 value and fault discriminant in a phase

그림 6은 제안된 기법을 이용하여, b상의 변환된 웨이브릿 값에 대한 계산된 비율과 고장판별의 결과이다. 고장이 판별된 시간은 고장후 3번째 샘플인 0.391[ms]가 된다. 이때 계산된 비율값은 7.218 이었다.



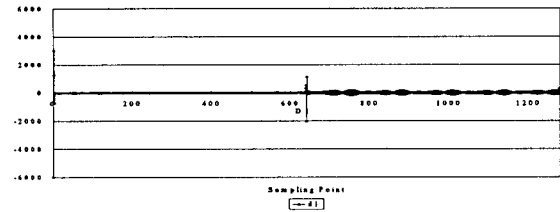
(a) b상의 변환된 d1 값
(a) Transformed d1 value in b phase



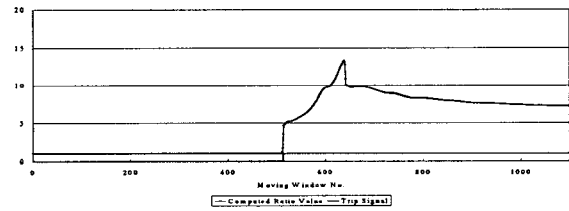
(b) b상의 웨이브릿 결과와 트립신호
(b) Wavelet result in b phase and trip signal

그림 6 b상의 d1과 고장판별
Fig. 6 d1 in b phase and fault discriminant

그림 7은 제안된 기법을 이용하여, c상의 변환된 웨이브릿 값에 대한 계산된 비율과 고장판별의 결과이다. 고장이 판별된 시간은 고장후 3번째 샘플인 0.391[ms]가 된다. 이때 계산된 비율값은 3.616 이었다.



(a) c상의 변환된 d1 값
(a) Transformed d1 value in c phase



(b) c상의 웨이브릿 결과와 트립신호
(b) Wavelet result in c phase and trip signal

그림 7 c상의 d1과 고장판별
Fig. 7 d1 in c phase and fault discriminant

3.2.2 2선 단락고장의 경우

그림 8은 10주기의 2선 단락고장시 전류신호이다. 그림 9는 제안된 기법을 이용하여, b상의 변환된 웨이브릿 값에 대한 계산된 비율과 고장판별의 결과이다. 고장이 판별된 시간은 고장후 24번째 샘플인 3.125[ms]가 된다. 이때 계산된 비율값은 3.025 이었다.

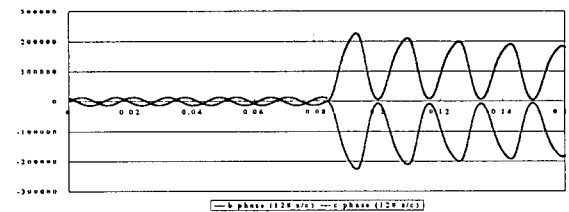
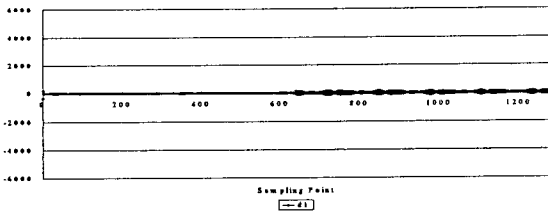
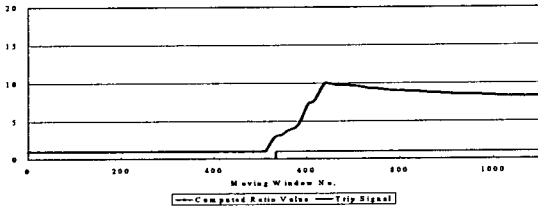


그림 8 2선 단락사고시 전류파형(128s/c)
Fig. 8 Currents during double line short fault



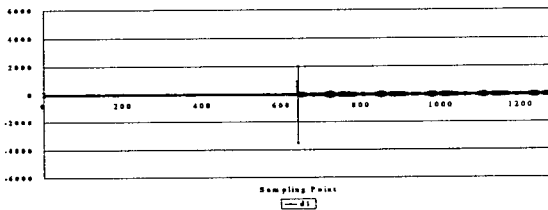
(a) b상의 변환된 d1 값
(a) Transformed d1 value in b phase



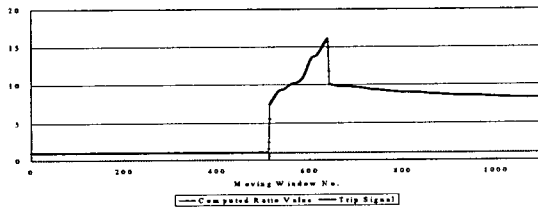
(b) b상의 웨이브릿 결과와 트립 신호
(b) Wavelet result in b phase and trip signal

그림 9 b상의 d1과 고장판별
Fig. 9 d1 in b phase and fault discriminant

그림 10은 제안된 기법을 이용하여, c상의 변환된 웨이브릿 값에 대한 계산된 비율과 고장판별의 결과이다. 고장이 판별된 시간은 고장후 3번째 샘플인 0.391[ms]가 된다. 이때 계산된 비율값은 5.573 이었다.



(a) c상의 변환된 d1 값
(a) Transformed d1 value in c phase



(b) c상의 웨이브릿 결과와 트립 신호
(b) Wavelet result in c phase and trip signal

그림 10 c상의 d1과 고장판별
Fig. 10 d1 in c phase and fault discriminant

3.2.3 1선 지락고장의 경우

그림 11은 10주기의 1선 지락고장시 전류신호이다. 그림 12는 제안된 기법을 이용하여, a상의 변환된 웨이브릿 값에 대한 계산된 식(1)의 비율과 고장판별의 결과이다. 고장이 판별된 시간은 고장후 3번째 샘플인 0.391[ms]가 된다. 이때 계산된 비율값은 3.070 이었다.

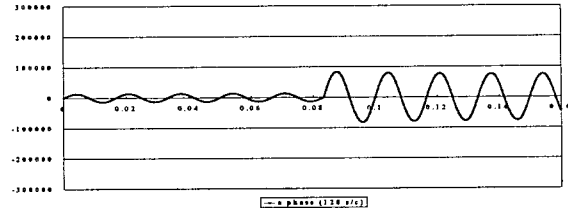
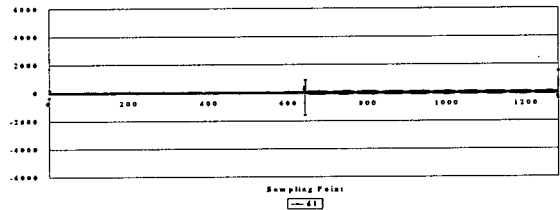
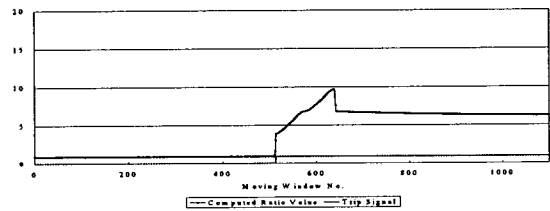


그림 11 2선 단락사고시 전류파형(128s/c)
Fig. 11 Currents during one line to ground fault



(a) a상의 변환된 d1 값
(a) Transformed d1 value in a phase



(b) a상의 웨이브릿 결과와 트립 신호
(b) Wavelet result in a phase and trip signal

그림 12 a상의 d1과 고장판별
Fig. 12 d1 in a phase and fault discriminant

상기의 시뮬레이션 결과는 주기당 128s/c인 경우이다. 표 2는 본 연구에서 수행한 사례연구의 시뮬레이션 조건 및 제안된 기법에 의한 고장판별결과이다.

표 2 고장판별 결과

Table 2 Fault discriminant result

고장종류		주기당 샘플링수 (s/c)	고장판별 시간[ms]	고장검출 샘플수
3상단락고장	a상	16	3.125	3
		32	1.563	3
		64	0.781	3
		128	0.391	3
	b상	16	5.208	5
		32	1.563	3
		64	0.781	3
		128	0.391	3
	c상	16	3.125	3
		32	5.729	11
		64	7.031	27
		128	0.391	3
2선단락고장	b상	16	9.375	9
		32	6.771	13
		64	5.469	21
		128	3.125	24
	c상	16	10.417	10
		32	3.646	7
		64	0.781	3
		128	0.391	3
1선지락고장	a상	16	4.167	4
		32	2.083	4
		64	1.042	4
		128	0.391	3

5. 결 론

본 논문에서는, 계전신호의 디지털신호처리시 DWT를 사용함으로써 종래의 DFT의 구조적인 결함을 극복한 발전기 고장자를 위한 보호계전알고리즘을 제시하였다. MLD 과정과 command line function을 이용하여 고장전류를 분석하여 발전기의 고장검출을 위한 단서를 도출하였다. MLD 분석에 의한 진동의 형태를 발전기의 고장판별을 위한 특징으로 삼은 후 구현이 용이하도록 고장전류에 대한 특정 웨이브렛 성분의 비율식을 제안하였다. 종래의 DFR과 다른 고장전류의 2차 다우비시 WT의 detail 1에 의한 개선된 보호알고리즘을 제안하였으며, 주기당 샘플링수를 가변하면서 제안된 기법의 샘플링수에 대한 영향을 살펴보았다. 고장판별속도는 3상 단락고장의 경우에는 고장후 0.391[ms]~7.031[ms]에서, 2선 단락고장의 경우에는 고장후 0.391[ms]~10.417[ms]에서, 1선 지락고장의 경우에는 고장후 0.391[ms]~4.167[ms]에서 각각 해당 사고가 확실하고 신속하게 검출하였다. 본 논문의 결과로, 고장진전과 과급을 방지하여 전력공급의 성능을 향상시킬 수 있다. 또 해외로부터 도입된 외산 보호계전시스템을 최적의 안정적인 운용과 차세대 발전기 보호제어시스템의 기반을 조성하기 자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부 전력산업연구개발 사업 전력선행기술에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 박철원, "발전기 시스템의 과도해석과 IED 용 개선된 알고리즘 개발", 최종보고서 pp. 1-120, 2006.12.
- [2] 박철원 외 4인, "발전소의 발전기 보호계전시스템", 대한전기학회 하계학술대회논문집 pp. 151-152, 2006.7.
- [3] 전력연구원, "원자력발전소 표준화설계를 위한 조사용역", pp. 83-269, 1999.
- [4] 전력연구원, "울진 N/P #4 Unit 발전기 준공시험 보고서, pp. 1-157, 1998.4.
- [5] 박철원, 이상성, 신명철 외 1인, "대용량 발전기보호를 위한 발전기모델링", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 121-122, 2006.7.
- [6] 박철원 외 4인, "동기 발전기의 평형 및 불평형 고장해석", 대한전기학회 전력기술부문회 논문집 pp. 402-404, 2006.11.
- [7] Y.S. Lyu, B.S. Cho, J.j. Yang, H.J. Oh, B.C. Ahn, "A Study on the Optimal Protection of a In-Generator Earth Fault", The Asian Conf. on Power System Protection, pp. 212-217, Oct. 2003.
- [8] 강상희, 권영진, 김철훈, "발전기 과도현상에 따른 발전기 보호 계전기 동작 분석", 대한전기학회 전력기술부문회 논문집 pp. 378-380, 2006.11.
- [9] 차승태, 신재경 외 3인, "고정밀 발전기 보호계전기의 RTDS 모델을 이용한 발전기 사고 모의", 대한전기학회 전력기술부문회 논문집 pp. 302-304, 2006.11.
- [10] IEEE Power System Relaying Committee, "IEEE Guide for AC Generator Protection", IEEE Std. C37.102-1995.
- [11] IEEE Power System Relaying Committee, "IEEE Guide for Generator Ground Protection(C37.101-1993)
- [12] G.S. Hope, P.K. Dash and O.P. Malik, "Digital Differential Protection of a Generator Unit : Scheme and Real-Time Test Results", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-96, No. 2, March/April pp. 502-512, 1977.
- [13] J. Penman, H. Jjang, "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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] D. Bi, X. Wang, W. Wang, Z. O. Zhu, and Howe, "Improved transient simulation of salient-pole synchronous generators with internal and ground faults in stator winding", IEEE Trans. Energy Conversion vol. 20, no. 1, pp. 128-134, Mar. 2005.
- [18] Michel Misi et al., "MATLAB Wavelet Toolbox", User's Guide Version 1, pp. 1-1~2-42, 1997.

[19] 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.
[20] Hadi Saadat, "Power System Analysis", WCB/McGraw-Hill, pp. 314-335, 1999.

저 자 소 개



박철원 (朴哲園)

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

Tel : 033-760-8425

Fax : 033-760-8420

E-mail : cwpark@kangnung.ac.kr



申明澈 (申明澈)

1947년 4월 3일생. 1970년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1978년 연세대학원 전기공학과 졸업(공학). 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.

Tel : 031-290-7103

Fax : 031-290-7103

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