

# 발전기시스템의 고정자보호 IED를 위한 개선된 알고리즘

論 文

57P-2-5

## Advanced Algorithm for IED of Stator Winding Protection of Generator System

朴 哲 圓<sup>†</sup>  
(Chul-Won Park)

**Abstract** - The large AC generator fault may lead to large impacts or perturbations in power system. The generator protection control 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. In present, the algorithm using the current ratio differential relaying based DFT for stator winding protection or a fault detection had been applied that of internal fault protection of a generator. the DFT used for the analysis of transient state signal conventionally had defects losing a time information in the course of transforming a target signal to frequency domain. In this paper, the discrete wavelet transform (DWT) was applied a fault detection of the generator being superior to a transient state signal analysis and being easy to real time realization. The fault 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 and the commend line function for the real time realization after analyzing MATLAB's graphical interface. The advanced technique had improved faster a speed of fault discrimination than a conventional DFR based on DFT.

**Key Words** : Daubechies, DFR, DFT, MATLAB, MLD, Fault Discriminant, Generator Protection, Wavelet Transform

### 1. 서 론

대용량 교류발전기는 전력계통의 중요한 요소이다. 교류발전기에 여러 가지 이유로 사고가 발생하여 발전기가 불시정지하게 되면 주파수가 저하 될 뿐만 아니라 일시적으로 계통의 불안정을 유발하게 된다. 또 경제적인 면에서 탈락된 발전량을 보충하기 위해 발전단가가 비싼 발전기의 추가 기동으로 인한 전력거래 비용의 증가를 초래할 수 있다[1].

발전기 내부사고는 송·변전설비 사고에 비해 빈도는 적으나 발전기 용량에 따라 전력계통에 미치는 영향은 차이가 날 수 있으나 일반적으로 그 충격은 매우 크게 된다. 대규모의 사고와 외란은 전형적으로 여러 가지 단락 및 개방 회로에서 비롯되게 되는데, 발전소의 사고가 계통에 미치는 영향과 기기보전이라는 측면에서 볼때 신뢰성이 높은 보호제어시스템이 필요하다[2-5].

교류발전기의 유지비용과 시간을 고려해 볼 때 고정자 권선의 사고가 가장 심각한 사고로 알려져 있다. 이런 사고들은 내부 단락사고 및 지락 사고로 대개 절연파괴와 관련이 있다. 내부 단락사고는 큰 과도한 단락 전류에 의해 대단히 심각한 손상으로 발전기를 더 이상 운전할 수 없는 상태로 만들게 되며 궁극적으로는 인근 계통의 붕괴를 가져 올 수도 있다. 반면에 지락사고는 그 발생 초기단계에서는 전력계통에 가벼운 손상을 주게 되나 오랫동안 방치하여 지속되게 되면 내부 단락사고로 진전될 수

도 있다[6-13].

해외에서는 1979년 디지털 컴퓨터를 사용하여 발전기의 내부고장 검출을 위한 알고리즘이 처음 제안된 이후, 수치적인기법, 인공지능 및 적응형기법 등 다양한 고장검출 알고리즘이 제안되었으나, 아직까지 발전기 전체 권선에 대한 완벽한 보호를 제공하지 못하고 있다[1,9]. 또 IEEE Power System Relaying Committee에서는 AC Generator Protection와 AC Generator Ground Protection에 관한 표준규격을 제정, 발표하는 등 많은 연구가 이루어져 왔다[18-21]. 그러나 국내에서 이에 대한 연구는 볼모지라고 해도 과언이 아닐 만큼 낙후되어 있다. 한국형 표준형 원자력 발전소의 건설 등으로 어느 정도 설비 및 시공 기술수준에 도달되어 있지만, 그 핵심기술인 보호제어시스템 설비는 전량 해외로부터 완성인도방식으로 도입되어 운용되고 있는 실정이다. 다만 KEPRI와 KPX를 중심으로 발전소 보호계통의 최적운용 및 보호방안에 대한 관심이 증대되고 있는 형편에 있고, 일부 외주업체에서는 발전소의 준공시험 관련 계전기들의 동작시험과 이들의 정정 등의 업무를 대행하고 있을 뿐이다 [1,14-17].

이에 따라 외산 발전기 보호제어시스템의 최적 운용을 기하고 향후 국산 차세대 디지털 발전소 보호제어시스템 개발의 토대를 마련하기 위한 원천기술인 발전기 시스템의 모델링과 과도현상에 대한 해석이 선행 되어야 한다. 한편 중대 발전기의 주보호에 적용되고 있는 이산푸리에변환 (DFT) 기반 비율차동계전기법(DFR)에는 대상 신호를 주파수 영역으로 변환하는 과정에서 시간정보가 손실되는 DFT의 구조적인 결함이 제기 되었다. 이에 보다 유연성 있는 신호분석법으로서 모 웨이브릿에 의한 이산웨이브릿변환(Discrete Wavelet Transform:DWT)이 제안되었다

<sup>†</sup> 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

接受日字 : 2008年 2月 21日

最終完了 : 2008年 3月 27日

[9,13,23].

본 연구에서는 교류발전기의 전압방정식으로부터 2상 변환하여 기기 방정식과 결합하여 동기 발전기 시스템의 모델링을 수행하였다. 또 MATLAB을 이용하여 발전기 고정자 권선의 평형고장과 불평형고장을 모의한 후 발전기의 과도현상을 해석하였다. 끝으로 DFT의 단점을 제거하기 위하여 고장전류를 MLD(Multi Level Decomposition)로 분석함에 따라 다우비시 웨이브릿 변환(Daubechies Wavelet Transform)을 적용하여 차세대 전력기기(IGD)용 개선된 알고리즘을 제안하였다. 사례연구를 통하여 제안된 기법이 단락고장 및 지락고장을 신속하고 정확하게 판별하는지를 검토하였다[1,22,23].

2. 교류 발전기 모델링

교류발전기는 고정자 위에 3개 고정자 권선과 회전자 위에 2개 계자 권선으로 구성할 수 있다. 또 회전자에 2개의 가상권선이 추가되는데 이는 댐퍼 권선으로 단락회로 경로 모델로 직축과 횡축으로 되어있다. 고전적인 해석 방법에서 이상적인 동기 발전기는 회전자의 각속도와 관련되어 있는 인덕턴스가 자기적으로 결합된 그룹으로 표현할 수 있다. 단, 포화는 무시하고 전기자 mmf의 분포는 정현파라고 가정한다. 그림 1은 상호 결합된 회로도이다[22].

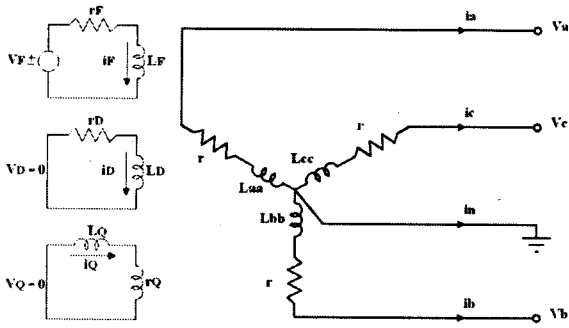


그림 1 상호 결합된 회로도  
Fig. 1 Schematic diagram of mutually coupled circuits

그림 1로부터 전압방정식은 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ -V_F \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_F & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ i_F \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} - \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_a \\ \lambda_b \\ \lambda_c \\ \lambda_F \\ \lambda_D \\ \lambda_Q \end{bmatrix} \quad (1)$$

자기 및 상호 인덕턴스 함수로 쇠교자속을 구하고, Park 변환에 의해 machine 방정식은 식(2)가 된다.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_d \\ V_q \\ -V_F \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & \omega L_q & 0 & 0 & \omega kM_Q \\ 0 & -\omega L_d & r & -\omega kM_F & -\omega kM_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_F & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_d \\ i_q \\ i_F \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} L_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_d & 0 & kM_F & kM_D & 0 \\ 0 & 0 & L_q & 0 & 0 & kM_Q \\ 0 & kM_F & 0 & L_F & M_R & 0 \\ 0 & kM_D & 0 & M_R & L_D & 0 \\ 0 & 0 & kM_Q & 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_d \\ i_q \\ i_F \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} \quad (2)$$

다시 표현하면 식(3)과 식(4)가 된다.

$$V = -Ri - L \frac{d}{dt} i \quad (3)$$

또는

$$\frac{d}{dt} i = -L^{-1}Ri - L^{-1}V \quad (4)$$

그림 2는 Park변환을 이용한 동기 발전기의 모델링에 대한 흐름도이다. 초기조건을 이용하여 평형 3상 단락고장과 불평형 고장인 2선 단락 고장 및 1선 지락고장의 전압방정식을 구성하여 식(4)를 이용하여 과도 상태의 상전류를 구할 수 있게 된다.

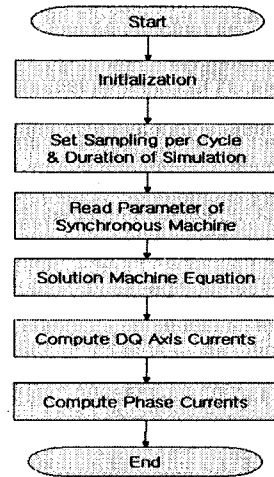


그림 2 모델링 흐름도  
Fig. 2 Modeling flowchart

3. 웨이브릿 변환에 의한 고장검출

3.1 개선된 고장검출 알고리즘을 위한 특성 추출

발전기의 정상상태와 여러 가지 고장상태를 판별하기 위해 웨이브릿 GUI의 MLD를 통하여 적당한 모 웨이브릿의 차수와 레벨을 선정한다. 수 차례의 MLD 결과 웨이브릿 모함수의 레벨2가 발전기의 고장판별이 가능하였다. 그림 3은 MLD의 분해결과이다. 다단계의 저역 주파수 필터(LPF)와 고역 주파수 필터(HPF)에 따라 사고 신호는 dl과 같이 웨이브릿 특성상 변환시 진동의 형태를 갖게 된다[1,9].

이를 하드웨어에서 구현이 용이한 고장 검출알고리즘으로 정립하도록 본 논문에서는 식(5)와 같이 각 상별로 특정 웨이브릿 성분의 비율을 정의한다. 편의상 a상에 대하여 표현하였으나, 실제로는 3상에 모두에 해당된다.

$$I_{a-ratio} = \frac{I_{a-ag-lm}}{I_{a-ag-dl}} \quad (5)$$

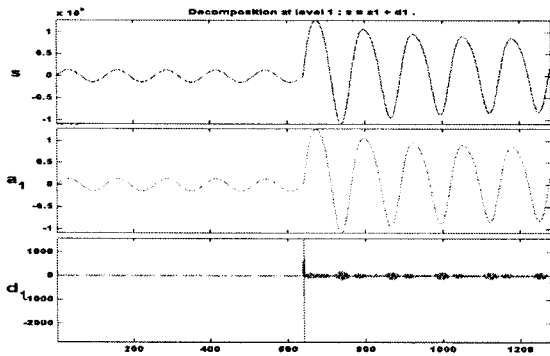


그림 3 MLD 분해 결과  
Fig. 3 Analysis result by MLD

여기서,  $I_{a-ratio}$ 는 정상상태 a상의 변화된 d1 절대값의 평균치에 대한 a상의 k번째 이동 윈도우 비율,  
 $I_{a-ag-|d1|}$  : 정상상태 a상의 변환된 d1의 정상상태 절대값의 평균치,  
 $I_{a-ag-|m1|}^k$  : 현재 상태 a상의 변환된 d1의 k번째 이동윈도우 절대값의 평균치이다.

3.2 개선된 알고리즘의 고장판별 논리

개선된 알고리즘의 고장판별 논리는 각 이동 윈도우내에서  $I_{a-ratio}$ ,  $I_{b-ratio}$ ,  $I_{c-ratio}$ 의 특정웨이브릿 성분의 비율 변화에 의하여 다음과 같이 표시된다. 여기서,  $\epsilon_2$ 는 미리 정의된 임계치이다.

```

if (  $I_{a-ratio} > \epsilon_2$  or  $I_{b-ratio} > \epsilon_2$  or  $I_{c-ratio} > \epsilon_2$  ) then
    " 발전기에 고장상태가 발생했습니다. "
else
    " 발전기는 정상상태입니다. "
endif
    
```

이 고장판별논리는 임계치의 크기에 의해 고장판별시간과 고장검출의 신뢰도가 결정되기 때문에 다양한 모의 분석이 수행되었다. 연산된 비율  $I_{a-ratio}$ ,  $I_{b-ratio}$ ,  $I_{c-ratio}$ 의 3가지 중에서 적어도 하나는 임계치  $2(\epsilon_2)$ 보다 크게 되면, 고장이 발생한 경우를 지시하고, 반면에 그렇지 않으면 정상상태인 경우를 나타내게 된다.

제안된 알고리즘은 먼저, 발전기의 전류데이터를 입력받아 MLD과정을 거치면서 적당한 웨이브릿의 차수(order)와 레벨(level)을 결정한다. 이때 임계치1( $\epsilon_1$ )의 값은 최대치 10으로 설정하였다. 다음 진동성을 지닌 변환된 d1값에 식(5)의 웨이브릿 비율을 적용하여 절대치의 평균값을 계산한다. 계산된 각 상의 비율을 임계치2와의 비교에 의하여 트립신호를 결정하게 된다. 여기서 임계치2는 잡음과 여유를 고려해 3으로 설정하였다. 입력되는 모든 전류데이터에 대하여 이동 윈도우과정을 거쳐서 각 상별로 비율을 계산하여 고장을 검출하게 된다.

4. 사례연구

4.1 시뮬레이션

사례연구를 위해 3상 500[MVA], 30[kV], 60[Hz] 정격의 발전기가 사용되었고, 발전기 정수는 표 1과 같다[1,22]. 시뮬레이션 조건은

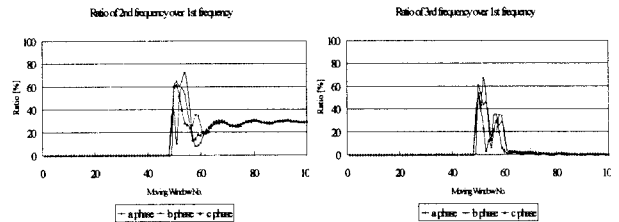
여자전압 400[V]로 무부하운전중에 고장이 발생한 경우로 제한하였다. 사례연구를 위해 주기당 샘플링수는 16s/c, 32s/c, 64s/c, 128s/c로 하였다.

표 1. 발전기 정수  
Table 1. Generator parameter

$L_d$ [H]	0.0071	$L_q$ [H]	0.0070	$L_f$ [H]	2.500
$L_d$ [H]	0.0068	$L_d$ [H]	0.0016	$M_d$ [H]	0.100
$M_d$ [H]	0.0054	$M_d$ [H]	0.0026	$M_q$ [H]	0.125
$r$ [Ω]	0.0020	$r$ [Ω]	0.4000	$r_d$ [Ω]	0.015
$r_d$ [Ω]	0.0150	$L_o$ [H]	0.0010		

4.2 고장전류의 과도해석

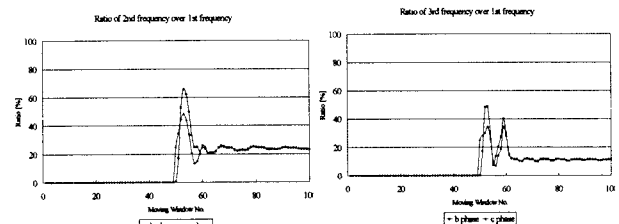
MATLAB 시뮬레이션으로 수집한 고장전류에 대해서 크기 및 직류오프셋 함유 정도를 확인하였다. 그림 4는 3상 단락고장시 DFT에 의한 기본파에 대한 제2고조파와 제3고조파의 비율이다. 그림 4(a)로부터 고장발생직후 기본파에 대한 제2고조파 비율은 동요를 하지만, 약 1.25주기의 이동윈도우 동안에는 약 30%정도를 지속적으로 함유하는 것을 알 수 있다. 또 그림 4(b)로부터 기본파에 대한 제3고조파의 비율은 고장후 동요하다가 약 1.25주기의 이동윈도우 이후에는 매우 작은 값으로 감소하는 것을 알 수 있다.



(a) 제2고조파 비율 (b) 제3고조파 비율  
(a) 2nd harmonic ratio (b) 3th harmonic ratio

그림 4 3상 단락고장시 고조파 비율  
Fig. 4 Harmonic ratio during three phase short fault

그림 5는 2선 단락고장시 기본파에 대한 제2고조파와 제3고조파 비율이다. 고장발생직후 제2고조파 비율은 동요를 하지만, 고장후 약 1.25주기의 이동윈도우 동안에는 약 25%정도를 함유하게 되는 것을 알 수 있다. 또 기본파에 대한 제3고조파의 비율은 고장후 동요하다가 약 1.25주기의 이동윈도우 이후에는 약 10%정도 함유하는 것을 알 수 있다.

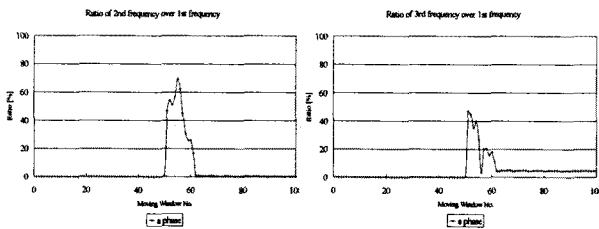


(a) 제2고조파 비율 (b) 제3고조파 비율  
(a) 2nd harmonic ratio (b) 3th harmonic ratio

그림 5 2선 단락고장시 고조파 비율  
Fig. 5 Harmonic ratio during two phase short fault

그림 6은 1선 지락고장시 기본파에 대한 제2고조파와 제3고조파 비율이다. 고장발생직후 과도상태로 기본파에 대한 제2고조파 비율은 동요를

하지만, 고장후 약 1.25주기의 이동윈도우 이후에는 매우 작은 값으로 감소하는 것을 알 수 있다. 또 기본파에 대한 제3고조파 비율은 고장후 동요하다가 약 1.25주기의 이동윈도우 이후에는 약 7-8%정도를 함유하는 것을 알 수 있다.



(a) 제2고조파 비율 (a) 제3고조파 비율  
(a) 2nd harmonic ratio (a) 3th harmonic ratio

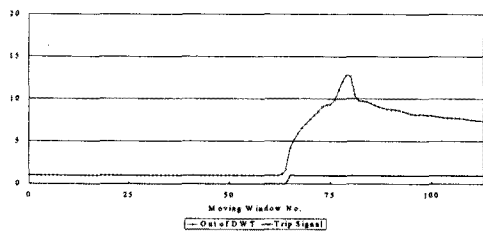
그림 6 1선 지락고장시 고조파 비율

Fig. 6 Harmonic ratio during one line to ground fault

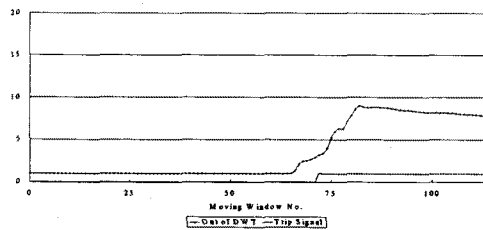
4.3 개선된 알고리즘의 결과 및 고찰

4.3.1 3상 단락고장의 경우

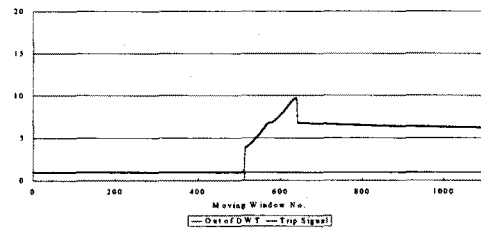
그림 7은 주기당 16 샘플링한 경우, 각 고장에 대한 제안된 특정 웨이브릿 성분의 비율에 대한 연산 결과이다. 그림 7(a)는 3상단락고장의 경우 db2 level 1 분해파형의 d1에 대한 제안된 기법에 의한 고장판별의 결과이다. 고장판별된 시점은 고장후 3번째 샘플인 0.004166667[sec]가 된다. 이때 계산된 비율값은 4.120541 이었다. 그림 7(b)는 2선(bc상) 단락고장의 경우 b상의 웨이브릿 결과이다. 고장이 판별된 시점은 고장후 9번째 샘플인 0.009375[sec]가 된다. 이때 계산된 비율은 3.195633 이었다. 그림 7(c)는 1선(a상) 지락고장의 경우 a상의 웨이브릿 결과이다. 고장이 판별된 시점은 고장후 4번째 샘플인 0.004166667[sec]가 된다. 이때 계산된 비율은 3.307888 이었다.



(a) 3상 단락고장의 경우 a상의 연산값  
(a) Computed value in a phase value during three phase short fault



(b) 2선 단락고장의 경우 b상의 연산값  
(b) Computed value in a phase value during line to line short fault



(c) 1선 지락고장의 경우 a상의 연산값  
(c) Computed value in a phase during one line to ground fault

그림 7 웨이브릿 결과와 고장판별

Fig. 7 Wavelet result and fault discriminant

표 2, 3, 4는 샘플링 수에 따른 각 고장의 경우 제안된 기법의 고장판별결과이다.

표 2. 3상 단락고장시의 고장판별결과

Table 2. Fault discrimination result during three phase short fault

3상 단락고장	고장판별시간 [sec]	특정 웨이브릿 성분의 비율
128s/c	a상	0.000390625
	b상	0.000390625
	c상	0.000390625
64s/c	a상	0.00078125
	b상	0.00078125
	c상	0.007291667
32s/c	a상	0.0015625
	b상	0.0015625
	c상	0.005729167
16s/c	a상	0.004166667
	b상	0.005208333
	c상	0.004166667

표 3. 2선 단락고장시의 고장판별결과

Table 3. Fault discrimination result during line to line short fault

2선 단락고장	고장판별시간 [sec]	특정 웨이브릿 성분의 비율
128s/c	b상	0.003125
	c상	0.000390625
64s/c	b상	0.00546875
	c상	0.00078125
32s/c	b상	0.006770833
	c상	0.003645833
16s/c	b상	0.009375
	c상	0.010416667

표 4. 1선 지락고장시의 고장판별결과

Table 4. Fault discrimination result during one line to ground fault

1선 지락고장	고장판별시간 [sec]	특정 웨이브릿 성분의 비율
128s/c	a상	0.000390625
64s/c	a상	0.001041667
32s/c	a상	0.002083333
16s/c	a상	0.004166667

5. 결 론

본 논문에서는 발전기시스템의 고장시 과도상태를 해석하였고 IED용 개선된 알고리즘을 제안하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 전압방정식으로부터 상태 공간에서의 발전기방정식을 유도하였다.
- (2) MATLAB 기반 수치해석 기법을 이용하여 평형 및 불평형 사고를 모델링한 후, 과도현상을 해석하였다.
- (3) 이산 웨이브릿 변환을 사용하여 구조적인 DFT의 결합을 극복하였다.
- (4) 고장전류를 Wavemenu의 MLD 과정과 command line function을 이용하여 분석함으로써 발전기의 고장검출을 위한 특징과 보호 방안을 도출하였다.
- (5) 판단 고장전류를 이용하여 2차 다우버시 웨이브릿 변환의 detail 1에 의하여 개선된 알고리즘을 제안하였다.
- (6) 다양한 시뮬레이션을 수행한 결과 개선된 알고리즘은 주기당 샘플링 수가 증가할수록 고장판별이 신속한 경향이 있었다.
- (7) 제안된 기법은 주기당 샘플링 수에 관계없이 3상 단락고장의 경우에는 고장후 0.391[msec]~7.031[msec]에서, 2선 단락고장의 경우에는 고장후 0.391[msec]~0.417[msec]에서, 1선 지락고장의 경우에는 고장후 0.391[msec]~4.167[msec]에서 각각 해당 사고가 확실하고 신속하게 검출하였다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부 전력산업연구개발사업 전력선행기술에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 박철원, "발전기 시스템의 과도해석과 IED 용 개선된 알고리즘 개발", 최종보고서 pp. 1-120 2006.12.
- [2] 박철원 외 3인, "대용량 발전기보호를 위한 발전기모델링", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 121-122, 2006.7.
- [3] 박철원 외 4인, "발전소의 발전기 보호계전시스템", 대한전기학회 하계학술대논문집 pp. 151-152, 2006.7.
- [4] 박철원 외 2인, "동기 발전기의 과도해석", 대한전기학회 전문대학교육위원회 논문집 pp. 120-125, 2006.10.
- [5] 박철원 외 3인, "고장전류를 이용한 동기 발전기 보호", 대한전기학회 전력기술부논문회 논문집 pp. 399-401, 2006.11.
- [6] 박철원 외 4인, "동기 발전기의 평형 및 불평형 고장해석", 대한전기학회 전력기술부논문회 논문집 pp. 402-404, 2006.11.
- [7] 박철원, "이산 웨이브릿 변환을 이용한 발전기 보호", 대한전기학회 강원지회 학술대회 논문집 pp. 1-5, 2006.12.
- [8] 박철원 외 2인, "교류발전기 보호를 위한 고장검출 알고리즘의 비교 분석", 대한전기학회 전력기술부논문회 하계학술대회 논문집, pp. 75-77, 2007.11.
- [9] 박철원, 신명철, "고장전류의 웨이브릿 변환을 이용한 동기 발전기 보호 알고리즘", 대한전기학회 논문지 Vol. 56, No. 3 pp. 834-839, 2007.5.
- [10] 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.
- [11] 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.

- [12] 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. 153-165, Mar. 2005
- [13] 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.
- [14] 이승재, 최연승, 강상희, 현승호 조성진, "발전기 보호기본 알고리즘을 적용한 보호계전 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 326-328 2003.7.
- [15] 강상희, 권영진, 김철훈, "발전기 과도현상에 따른 발전기 보호 계전기 동작 분석", 대한전기학회 전력기술부논문회 논문집 pp. 378-380 2006.11.
- [16] 전력연구원, "울진 N/P #4 Unit 발전기 준공시험 보고서, 1998. 4.
- [17] 전력연구원, "원자력발전소 표준화설계를 위한 조사용역", pp. 83-269, 1999.
- [18] IEEE Power System Relaying Committee, "IEEE Guide for AC Generator Protection", IEEE Std. C37.102-1995.
- [19] IEEE Power System Relaying Committee, "IEEE Guide for Generator Ground Protection(C37.101- 1993)
- [20] Working Group Report, "Grounding and Ground Fault Protection of Multiple Generator Installations on medium-Voltage Industrial and Commercial Power Systems" : Part1 - Part4 (Part3 : Protection Methods), IEEE Trans. on Industrial Applications Vol. 40, No. 1, pp. 24-28, 2004.
- [21] IEEE Tutorial Course, "Advancements in Microprocessor Based Protection and Communication", Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society, pp. 1-81, 1997.
- [22] Hadi Saadat, "Power System Analysis", WCB/McGraw-Hill, pp. 314-335, 1999.
- [23] Michel Misiti et al., "MATLAB Wavelet Toolbox", User's Guide Version 1, pp. 1-1~2-42, 1997.

저 자 소 개



박철원 (朴哲園)

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1989년~1993년 금성산전연구소 주임연구원. 1993년~1996년 프로컴시스템기술연구소 선임연구원. 1993년~1997년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 강사. 1997년~2006년 국립원주대학 전기과 부교수. 2007년~현재 국립강릉대학교 전기정보통신공학부 전기공학전공 교수.

Tel : 033-760-8786

Fax : 033-760-8781

E-mail : cwpark1@kangnung.ac.kr