

발전기 보호 기본 알고리즘을 적용한 보호계전 연구

조성진*, 최면송, 이승재, 강상희, 현승호
 명지대학교 차세대 전력기술 연구센터

A Study on the Development of Protection Relay applied
 a Generator Protection Basic Algorithm

Cho Seong-Jin*, Choi Myeong-song, Lee Seung-Jae, Kang Sang-Hee, Hyun seung- Ho
 Next-Generation Power Technology Center in Myoung-ji University

Abstract - In this paper, in order to generator protection from a electrical fault was occurred while a generator is operated, principles of existing generator protection algorithm is examined and analyzed. and a new generator protection algorithm was developed. also, during a generator operation, Algorithm, an analysis for the basic principle of protective relay to general faults, was developed. This paper, generator was simple analyzed on the assumption that three-phase winding and observe the IEEE std.

1. 서 론

발전소의 보호 계전방식은 발전방식, 보호계전기 제작사, 엔지니어링 회사 및 국가마다 조금씩 다른 방식을 사용 채택하고 있기 때문에 국제적으로 표준화된 방식은 없다. 일반적인 표준방식(Common Standard Practice)또한 국가별, 보호계전기 제작사 및 설계회사(A/E사)에 따라 약간씩 차이가 있으며, 또한 발전기의 용량 및 발전방식(원자력, 화력 등)과 발전기의 접지방식에 따라 발전기의 보호계전방식도 달라진다.[1] 하지만 보호계전방식의 기본원리는 모두 같다. 따라서 본 논문에서는 발전기 보호에 사용되는 다양한 계전기중 전류차동계전기(87G, 87GN), 주파수보호계전기(81),역전력계전기(32),동기검정계전기(25,25A)의 기본원리를 파악하고 IEEE std를 기준으로 하여 관련 보호요소 및 소스를 개발하여 각 사고별 보호동작을 시뮬레이션 하였다.

2. 본 론

2 발전기 보호 계전기

표 1은 발전기 보호용 계전기이다.

표 1. 보호 목적별 보호계전기[2]

보호 목적	보호계전기
고정자권선단락보호	비율차동계전기(87G)
고정자권선지락보호	중성점비율차동계전기(87GN)
	한시지락과전압계전기(59G)
	순시지락과전압계전기(59GS)
	지락부족전압계전기(27G)
제자상실보호	제자상실계전기(40)
역상전류보호	역상과전류계전기(46)
모터링보호	역전력계전기(32)
과,저주파수보호	주파수계전기(81)
과여자보호	과여자계전기(24)
과부하,과전압보호	과전압계전기(59)
후비보호	거리계전기(21)
	전압역제부 과전류계전기(51V)
동기체크루입차단	동기검정계전기(25G)
	자동동기검정계전기(25AG)

3 발전기 보호 계전기

3.1.1 권선단락보호 비율차동계전기(87G)

발전기의 고정자의 권선단락 고장을 방지하면 코일 손뿐만 아니라 계통사고로 파급된다. 일반적으로 비율 차동계전기를 사용하여 고장을 검출해 발전기 및 계자 주차 단기를 끊고 비상 정지시킨다. 발전기용량이 1000kVA 이상은 전압등급에 관계없이, 5kV 이상은 용량에 관계없이, 그리고 2.2kV 이상으로 50kVA 이상의 발전기에 대해 차동보호계전방식을 추천하고 있다.[3]

3.1.2 동작원리

비율차동계전기 억제 전류는 식(1) 과 같다.

$$I_H = \frac{(I_1 + I_2)}{2} \tag{1}$$

I_{min} 은 최소 동작전류이며 소전류 영역 동작 특성은 식(2)와 같다.

$$\Delta I = I_{min} + (I_H - 0.5I_N \in) \times Ratio \tag{2}$$

그리고 대전류 영역은 식(3)과 같다.

$$\Delta I = I_{min} + 0.25 \times Ratio + (I_H - 3I_N \in) \times 1.5 \tag{3}$$

3.2.1 권선지락보호 전류차동계전기(87GN)

발전기 고정자 권선으로부터 주변압기 저압 측 권선 사이에서의 접지사고를 조속 검출, 계통과 분리시켜 사고 확대를 막는 것이다. 지락사고는 발전기의 정격전류보다는 사고전류가 적게 나타나는 경우로 전류차동방식으로는 지락사고를 검출하기 어려울 때에 사용되며 영상전류비율 차동방식을 사용한다.[4]

3.2.2 동작원리

동작원리는 단락 보호계전기와 비슷하나, 지락전류가, 발전기 정격전류에 비해 작기 때문에 전용보호계전기로써 영상전류 비율차동계전기가 사용하며. 발전기의 중성점은, 지락전류 100A 전후로 제한하는 저항기로 접지하며 영상전류에 의한 차동보호 방식으로 고감도의 지락보호를 한다.[5]

억제전류는 식(4) 와 같으며,

$$I_H = \frac{(I_{abc0} + I_{abcl})}{2} \tag{4}$$

I_{min} 은 최소 동작전류이며 소전류 영역동작 특성은 식(5)와 같다.

$$\Delta I = I_{min} + (I_H - 0.5I_N \in) \times Ratio \tag{5}$$

그리고 대전류 영역은 식(6)과 같다.

$$\Delta I = I_{min} + 0.25 \times Ratio + (I_H - 3I_N \in) \times 1.5 \tag{6}$$

3.3.1 역전력계전기(32)

발전기가 계통에 연결된 상태에서 원동기 입력이 없거나, 발전기가 동기기로 운전되어 풍손에 의한 열로 인해 터빈이 가열되는 현상을 보호하기 위해 역전력 보호계전기를 사용한다. 이 계전기는 발전기를 보호하기 보다는 터빈(Prime Mover)을 보호하기 위해 사용된다.[6]

3.3.2 동작원리

역전력계전기는 전력 P로, 발전기 단자전압과 전류가 필요하다. 전력은 한 상의 전압, 전류만으로 측정가능하나, 신뢰도의 향상을 위해 그림 3과 같이 선간전압(V_{13})과 선간전류(I_{13})를 사용하여 전력위상을 구한다. 동작특성은 식(7)과 같다.[7]

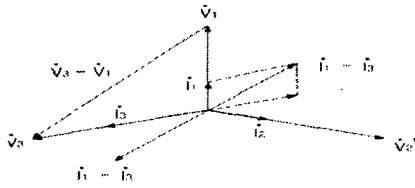


그림 1. 역전력 검출 벡터도

$$I_{13} > I_{dmin} \ \& \ (I_{13} \times V_{13} \times \cos\theta) > 0 \quad (7)$$

3.4.1 동기검정 계전기(25)

발전기를 계통에 투입하여 전력을 공급하려고 할 때나, 루프식 송전선로 계통에서 선로의 단락 및 지락 사고시 차단기의 트립으로 선로 차단하는 경우 고장의 성격상 그 원인이 시간 경과 후 소멸되면 차단기의 재투입을 하여 다시 송전하려고 할 때 먼저 동기검정을 수행하여 동기되었을 때 차단기를 투입해야한다.[8]

3.4.2 동작원리

다음 3가지요소를 검출하여 모두 만족 시 동작하며 식(8)과 같다.

- ① 전압검출요소 (V 요소)
:투입 측의 전압이 정격전압의 일정치 이상
- ② 차전압검출요소(ΔV 요소)
:투입하려는 전원전압의 크기와 계통의 전압차
- ③ 위상차검출요소($\Delta\theta$ 요소)
:전원전압과 계통전압의 위상차

$$V \ \& \ \Delta V \ \& \ \Delta\theta \geq \text{정정치}$$

(8)

3.5.1 자동 동기검정계전기(25A)

발전기를 계통에 투입하여 전력을 공급하려고 할 때, 발전기와 계통 간의 전압의 동기를 검정하고 만약 동기가 맞지 않았을 때 발전기가 동기를 맞추도록 하여야 한다. 발전기에 신호를 주어 동기를 자동적으로 맞추도록 하는 역할을 하는 계전기가 자동 동기 계전기 (25A)이다.

3.5.2 동작원리

25A 계전기는 차단기 양단의 전압의 위상차를 검출하여 위상차가 일정치 이상이 되었을 때 발전기 측 전압의 위상이 빠르고 늦음을 검출하며 정정치 25와 같이 3조건이 식(9)에 만족하면 투입되고, 식(10)이 만족하면 절체된다.

$$V \ \& \ \Delta V \ \& \ \Delta\theta \geq \text{정정치}$$

(9)

$$V \ \& \ \Delta V \ \& \ \Delta\theta < \text{정정치}$$

(10)

3.6.1 주파수계전기(81)

발전기가 과(저)주파수로 되는 상태는 터빈에 유입되는 증기량이 급증, 급감할 때 발생하며, 과(저)주파 운전을 계속하면 터빈에 악영향을 끼치므로 이를 검출하여 터빈 발전기를 보호하기 위해 사용 된다.[10]

3.6.2 동작원리

주파수를 측정하는 방법은 그림 5와 같이 DFT이 이용하여 식(11), (12) 식과 같이 전압 한 샘플의 위상각을 구하고 그 다음 샘플의 위상각을 구해 식(13)을 이용하여 주파수를 측정한다.[11]

$$\Delta V_1 = \tan^{-1} \frac{im V_1}{Re V_1} \quad (11)$$

$$\Delta V_2 = \tan^{-1} \frac{im V_2}{Re V_2} \quad (12)$$

$$f = \frac{(\Delta V_1 - \Delta V_2) \times 60 [Hz] \times N [Sampling]}{2\pi} \quad (13)$$

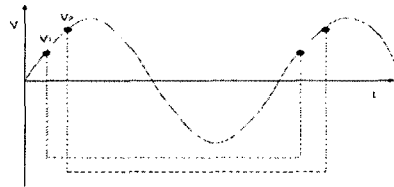


그림 2. 주파수 측정 원리

4. 기본 알고리즘을 이용한 보호계전기 시뮬레이션

4.1 보호계전기 정정치

표 2. 보호계전기 정정치[12],[13]

보호계전기	정정치	모의정정치
전류차동계전기(87G)	최소동작전류:0.5IN 비율특성:5~10%	최소동작전류:0.25[A] 비율특성:5%
지락전류차동계전기(87GN)	최소동작전류:0.1IN 비율특성:5~10%	최소동작전류:0.1[A] 비율특성:10%
역전력계전기(32)	모터링전력의 50%이하로 아래 참조 Condensing 터빈:정격의 3% Non-Condensing 터빈 :정격의 3%이상 디젤엔진터빈:정격의 25% 가스터빈:정격의 50% 수력터빈:정격의 0.2~0.25%	최소동작전류:0.2[A] 한시정정 32A=1.5사이클 32B=3사이클
주파수계전기(81)	제작사가 제시한 주파수 운전한계곡선에 따라 단계별 정정치	4단정정 :61.5-1사이클 58.5-2사이클 57.5-3사이클 56.5-5사이클
동기검정계전기(25)	위상차:30° 이내 최소전압:80%이상 전압차:±20%이내	위상차:30° 이내 최소전압:80[V]이상 전압차:±20 [V]이내
자동동기검정계전기(25A)	위상차:10° 이내 최소전압:80%이상 전압차:±20%이내	위상차:10° 이내 최소전압:80[V]이상 전압차:±20 [V]이내

4.2 보호계전기 시뮬레이션

각 계전기의 기본 동작원리를 매트랩을 통하여 계전기 알고리즘을 구현하였으며 그 정적치는 표 2를 기준으로 하였다. 이 정적치는 IEEE AC Generator Protection Guide를 바탕으로 하였으며, 모의 정적치는 그에 준한다.

4.2.1 87G 시뮬레이션

※그림 3 : CT2차:1[A], 동작전류:0.24[A]

※그림 4 : CT2차:1[A], 동작전류:0.25[A]

※그림 5 : CT2차:3[A], 동작전류:5[A]

※그림 6 : CT2차:5[A], 동작전류:12.5[A]

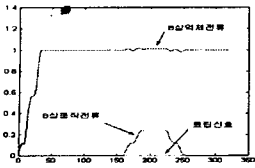


그림 3.

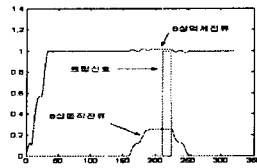


그림 4.

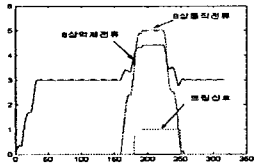


그림 5.

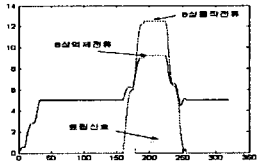


그림 6.

4.2.2 87GN 시뮬레이션

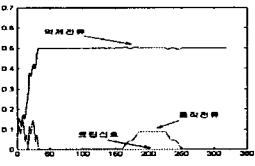


그림 7.

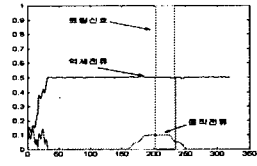


그림 8.

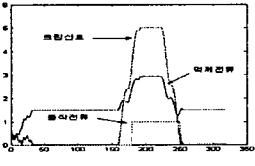


그림 9.

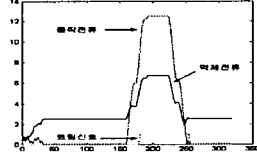


그림 10.

※그림 7: CT2차:1[A], 동작전류:0.09[A]

※그림 8: CT2차측 1[A], 동작전류 0.1[A]시

※그림 9: CT2차측 3[A], 동작전류 5[A]시

※그림 10: CT2차측 5[A], 동작전류 12.5[A]시

4.2.3 32 시뮬레이션

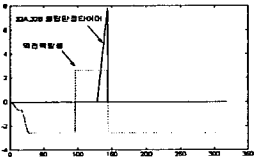


그림 11.

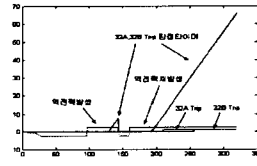


그림 12.

※그림 11: 역전력 3주기 후 발생 1.5주기 지속 후 소멸
 ※그림 12: 역전력 3주기 후 발생 1.5주기 후 소멸 다시 5 주기 후 재발생

4.2.4 25 시뮬레이션

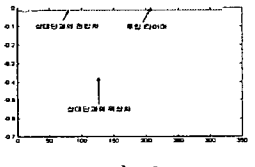


그림 13.

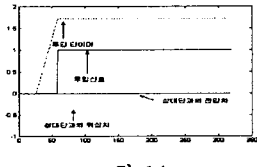


그림 14.

※그림 13: 상대단과 전압차 20V, 위상차 10°

※그림 14: 상대단과 전압차 10V, 위상차 10°

4.2.4 25A 시뮬레이션

※그림 15: 상대단과 전압차=10V, 위상차=5°

※그림 16: 상대단과 전압차=10V, 위상차=11°

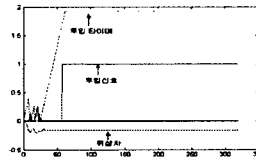


그림 15.

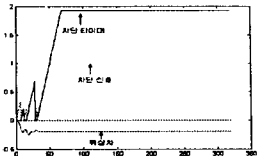


그림 16.

4.2.4 81 시뮬레이션

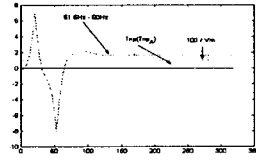


그림 17. 61.6[Hz]

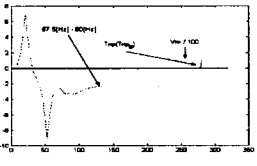


그림 18. 58.5[Hz]

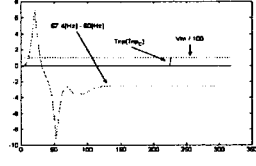


그림 19. 57.5[Hz]

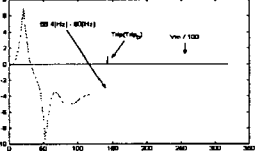


그림 20. 56.5[Hz]

각 시뮬레이션 결과 각 보호요소의 동작 특성은 모두 표 2의 모의 정정치 내에 따라 나타남을 알 수가 있다.

3. 결 론

발전기의 일반적인 전기적사고로부터 발전기 보호하기 위한 알고리즘에 대하여 연구하였다. 발전기는 보호계전 방식에 대하여 국제적으로 표준화된 방식은 없으나 소위 말하는 일반적인 표준방식(Common Standard Practice), IEEE.std를 기준으로 하여 비율차동계전기(87G, 87GN), 주파수보호계전기(81), 역전력계전기(32), 동기검정계전기(25,25A)의 기본 알고리즘 대해 파악할 수 있었으며, 각 고장현상 따른 시뮬레이션 결과 각 보호요소 동작특성이 정정치 내에 이루어짐을 알 수가 있었다.

[감사의 글]

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 지원으로 이루어 졌으며 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Lewis Blackburn, "Protective Relaying principles and applications second edition"
- [2][3][6][12] IEEE Std C37.102-1995 "IEEE guide for AC generator protection" December, 1995
- [4] IEEE Std C37.101-1993 "IEEE guide for generator ground protection." December, 1993
- [5] 신대승, "보호계전 시스템기술", 2001
- [7][13] 한국전력공사 중앙교육원, "전력계통보호(1)" 1999
- [8][9] 남서울전력관리처 공무부, "보호계전기해설(2집) (평택 T/P 보호계전기해설)", 1988
- [10] IEEE Std C37.106-1987 "IEEE guide for Abnormal frequency protection for generator Plants" November 2, 1993
- [11] IEEE Tutorial Course "Advancements Microprocessor Based Protection and Communication", 1997