1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20

대용량 터빈발전기에서 접지과전압 계전기의 동작 특성

김희동, 이영준, 김병한, 안준영*, 채규진*
한전 전력연구원, *영광원자력본부

Dynamic Property of Ground Overvoltage Relay in Large Turbine Generator

Hee-Dong Kim, Young-Jun Lee, Byong-Han Kim, Joon Young An* and Gyu Jin Chae*
Korea Electric Power Research Institute, *Younggwang Nuclear Power Division

Abstract - This paper deals with the dynamic property of ground overvoltage relay in large turbine generator. Relay operation is based on detecting the fundamental voltages originating from the generator. Calculations of fault voltage and current are reviewed for the neutral ground resistance. The frequency, ampitude and waveform of individual harmonics were measured using power quality analyzer and memory hi-corder at the secondary side of ground potential transformer. The ac and dc high-potential tests were applied to evaluate the condition of generator, main and auxiliary transformer, isolated phase bus, potential transformer, surge capacitor and arrester.

1. 서 론

최근 발전기, 변압기 및 고압전동기는 설계기술과 재료의 발달로 인해 고장 빈도가 현저하게 감소하여 운전의 신뢰도가 향상되고 있다. 그러나 고장이 발생하면 심한 손상과 장기 정지를 야기시키기 때문에 비정상적 조건을 즉시 인지하여 고장지역을 빠르게 분리시켜야 한다. 따라서 다른 전기설비와 마찬가지로 발전기도 고장과 비정상적 운전조건에 대해 다중 보호를 위해서 권선의 접지고장(ground fault), 상간 절연파괴, 과부하, 권선과 베어링의 과열, 과속도, 여자손실(loss of excitation), 발전기의 모터링(motoring of generator) 및 불평형 전류 등 여러 가지 보호계전기를 사용하고 있다[1, 2].

고정자 권선에서 접지고장이 발생할 때 고장전류를 최소화하여 검출 감도를 높이기 위해 발전기 중성점에 접지변압기(ground potential transformer)를 설치한다. 이 접지변압기에 고장전류가 흐르면 전위가 상승하게 되어 과전압 계전기가 동작하게 된다. 접지과전압 계전기는 59-1, 59-2 및 59-3으로 분류되는데, 이들의 기본 특성은 다음과 같다. 59-1 계전기는 기본주파수 60Hz에 민감하게 검출하여 동작하나 고정자 권선의 중성점 부근에서 접지고장은 전위가 낮기 때문에 검출을 할 수가 없다. 이를 보완하기 위해 철기계에 발생하는 제3고조파 특성을 이용하여 59-3 계전기가 중성점 부근의 접지고장을 검출하게 된다. 또한 59-2 계전기는 발전기가 계통에 병입되기 전에 접지고장을 검출하기 위해 기본주파수 부근의 넓은 범위에서 동작하게 되어 있다.

본 논문에서는 59-1 계전기만 설치되어 제3고조파에는 보호계전기가 동작되지 않는 대용량 터빈발전기(25 kV, 1150.8 MVA)의 계통병입을 위해 전압을 유기중 4kV에서 발전기 중성점 접지과전압 계전기(359N) 동작으로 정지되었고 재차 발전기 전압을 유기시켰으나 6kV에서 다시 동일 현상이 발생되었다. 따라서 동작된 접지과전압 계전기와 보호범위에 있는 기기들의 이상 여부를 조사하였으나 모두 양호하게 분석되었다. 따라서 원인을 분석한 결과 발전설비 용량이 커짐에 따라 단상 주변압기를 사용할 뿐만 아니라 기기들의 구조적인 정전용량이 증대하여 케이싱 접지상태에 의한 오동작으로 판단되었다.

2. 시험방법

본 논문에서는 접지과전압 계전기 보호범위에 포함된 발전기 고정자 권선, 상분리 모선(isolated phase bus), 주변압기 1차측 권선, 보조변압기 1차측 권선, 변성기(potential transformer) 1차측 권선 및 서지 흡수기(surge capacitor and arrester) 등의 건전성을 확인하기 위해 직류내전압(0~100kV, 5mA)과 교류내전압(60kV, 0.25A, 15kVA, 대광전자) 시험을 수행하였다. 접지변압기 2차측에 Power Quality Analyzer (Model 658, Dranetz)와 Memory Hi-Corder(Model 8840, Hioki)를 설치하고 터빈를 기동하여 정격회전수에서 발전기에 계자전류를 증가시키며 접지계전기에 인가되는 전압의 파형, 크기 및 주파수를 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 359N 계전기 동작시험 및 신호분석

접지과전압 계전기 형식은 CV-8(Style 183A205A-15)이며, 정정치는 5.4V이고 TD(Time Delayed)는 5sec(한시형) 이다. 계전기 동작상태를 점검한 결과 계전기 동작치는 5.5V, TD는 4.6sec이며, 접지변압기 2차측에 정현파 60Hz를 인가한 동작시험에서도 양호하게 나타났다. 계전기 동작 특성은 보호범위 내의 접지전류에 동작, 즉 60Hz 전류에 민감하게 동작하고 부하불평형 또는 제3고조파 전류에는 동작하지 않았다.

접지변압기 2차측에 Power Quality Analyzer와 Memory Hi-corder를 설치하고 터빈를 기동하여 정격회전수에서 발전기에 계자전류를 증가시키며 접지과전압 계전기에 인가되는 전압의 파형, 크기 및 주파수를 측정하여 그림 1에 나타냈다. 측정결과 발전기 전압이 4kV 부근에서 제3고조파가 포함된 60Hz 기본파가 나타나고 359N 계전기 동작이 시작되어 발전기를 정지시켰다.

전압 크기는 기본 주파수(60Hz)에서 5.5Vrms 및 Total 전압은 5.8Vrms 이며, 주파수 성분은 기본 주파수(100%), 2고조파(1.3%), 3고조파(28.4%), 4고조파(0.4%), 5고조파(0.4%)로 분석되었다.

그림 1. 기본파(60Hz)와 제3고조파의 합성파형

3.2 접지변압기 특성[3]

그림 2는 359N 계전기 보호범위 단면도를 나타냈으며, 발전기 중성점을 고려한 등가저항은 중성점 접지변압기 권선비(turns ratio)의 제곱에 부하저항을 곱한 값과 일치한다. 이것은 중성점에서 절연재료의 필요조건을 감소시키기 위해서 낮은 전압에서 저항을 사용한다.

그림 2에서 2차 저항을 1차측으로 환산한 저항값은

$$R_n = 0.45 \times (14400/240)^2 = 1620\,\Omega$$

발전기 단자에서 한 상이 단락된 경우에 발전기 중성점을 흐르는 전류는

$$I_n = \frac{E_{lg}}{R_n} = \frac{25000/\sqrt{3}}{1620} = 8.91\,A$$

접지변압기의 권선비에 발전기 중성점 전류를 곱하면

$$I_s = 8.91 \times (14400/240) = 534.6A$$

이 전류는 중성점 접지변압기의 2차측 권선과 저항을 통하여 흐른다.

2차 저항에 인가된 전압은

$$V_R = I_s R = 534.6 \times 0.45 = 240.57\,V$$

따라서 접지변압기의 정격은

KVA = I_s×변압기 2차측 정격전압 = 534.6×0.24
= 128.3KVA

그러므로 중성점 변압기 정격은 130KVA를 필요로하지만 발전기 고정자 권선을 고려하여 50KVA를 선택하였다. 그리고 계전기 동작에 필요한 접지전류는 0.2A(8.91A×5.4V/240V)이다.

3.3 보호범위 기기의 분석

접지과전압 계전기 보호범위에 포함된 발전기 고정자 권선, 상분리 모선, 주변압기 1차측 권선, 보조변압기 1차측 권선, 변성기 1차측 권선 및 서지 흡수기 등에서 절연저항(5000V Megger)을 측정한 결과 양호하였다. 표 1은 접지과전압 계전기 보호범위에 포함된 기기에서 직류와 교류 내전압 시험결과 실제로 이상이 없는 것으로 나타났다.

표 1. 내전압 시험 결과

기 기 명		직류내전압	교류내전압
발전기	인가전압[kV]	8	8
	누설전류[mA]	5.17/5.17/5.17	162/162/152
상분리모선,주/보조변압기	인가전압[kV]	23	8
	누설전류[mA]	0.17	182.5
서지흡수기	인가전압[kV]	34.7	10
	누설전류[mA]	1.49/1.44/1.44	135/135/135
변성기	인가전압[kV]	23	10
	누설전류[mA]	0.008	123/135/135

3.3.1 누설전류 시험

그림3 은 구조적인 캐패시턴스 성분 구성도를 나타냈으며, 절연구조물의 면적이 커서 구조적인 캐패시턴스 성분이 또한 크게 된다. 운전중에 구조적인 캐패시턴스를 통해 흐르는 누설전류는 발전기 중성점 접지변압기를 통해 흐르게 된다. 이 누설전류도 상별로 120° 위상각을 가지고 흐르기 때문에 상간 평형된 상태에서는 발전기 중성점에 벡터적으로 "0"이 된다. 그러나 구조적인 캐패시턴스를 통한 누설전류가 상간 불평형 발전기, 주변압기, 보조변압기 등에서 크게 발생되었을 경우는 359N 계전기가 동작할 수 있는 것으로 분석되었다.

3상 권선이 한 케이싱 내에 제작된 발전기, 보조변압기, 변성기는 상별로 누설전류가 동일 접지계통을 통해 흐르기 때문에 불평형될 가능성은 매우 적다.

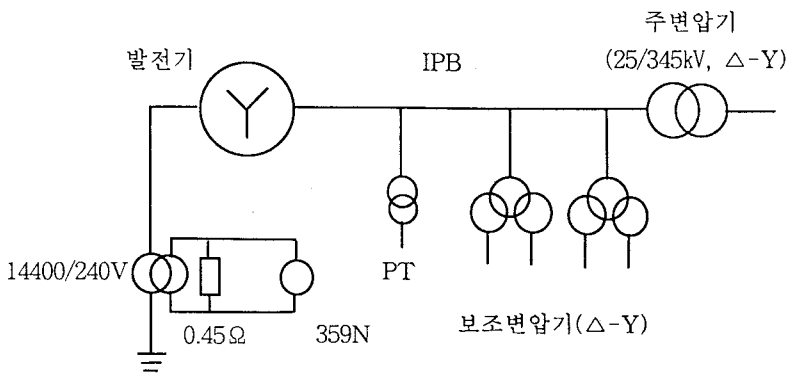

그림 2. 359N 계전기 보호범위 단면도

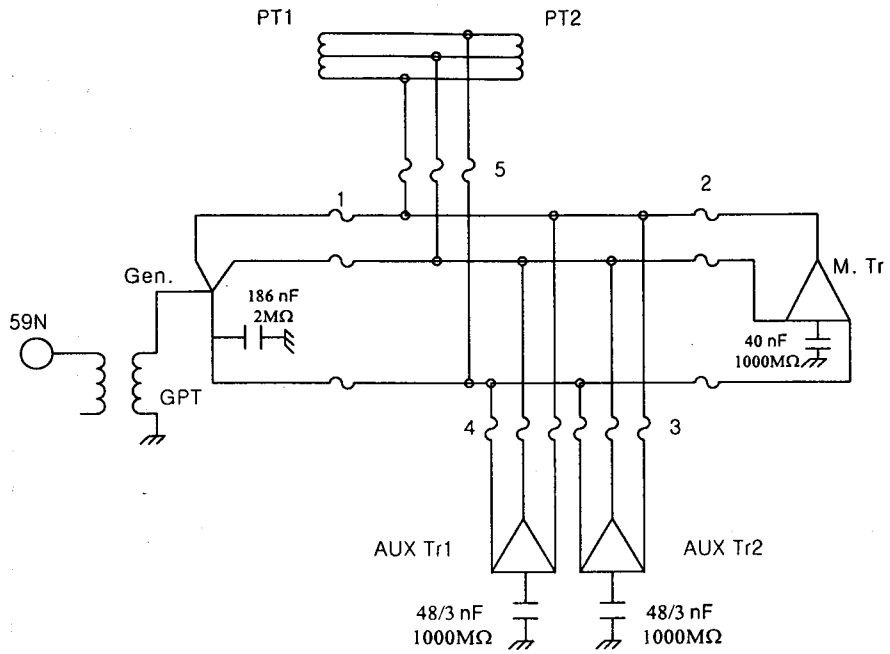

그림 3. 구조적인 캐패시턴스 성분 구성도

그러나 주변압기는 단상변압기로 상별로 제작되어 별도의 접지계통을 통해 누설전류가 흐르므로 한곳에 접지계통이 전기적으로 차단되었을 경우는 발전기 중성점으로 불평형 전류가 흐르게 된다.

주변압기는 상분리모선에서 절연되어 있고 단상 변압기 케이싱은 각각 두곳을 접지하게 되어 있으나 한곳에만 볼트로 연결되어 있었다. 다른 주변압기의 경우는 단상 변압기당 접지가 두곳에 시공되어 있었다. 보조변압기도 한 변압기당 두곳이 접지되어 있었다. 따라서 주변압기 및 보조변압기 케이싱의 접지단자를 풀고 페이퍼로 연마후에 조립하였다.

주변압기 케이싱 접지상태를 보완한 후에 단상 변압기당 접지와 권선간에 교류전압을 인가하여 상당 캐패시턴스와 누설전류를 측정하여 비교하였으며, 누설전류가 발전기 중성점까지 확실히 흐르는지를 확인하기위해 교류전압 인가지점을 발전기 중성점으로 하였다.

표 2. 주변압기 및 보조변압기 누설전류

구 분		A상	B상	C상
주변압기	캐패시턴스	40.56nF	40.06nF	41.86nF
	누설전류	199mA	196mA	205mA
보조변압기 (X04)	캐패시턴스	49.54nF		
	누설전류	241mA		
보조변압기 (X05)	캐패시턴스	49.52nF		
	누설전류	246mA		

또한 보조변압기에 대해서도 3상 일괄하여 수행하였다. 표 2는 주변압기 및 보조변압기에서 교류 13kV를 인가하여 누설전류를 측정하여 분석한 결과 양호하게 나타났다.

3.3.2 누설전류 시험

그림 3에서 나타낸 바와 같이 주변압기 1상의 캐패시턴스는 40nF(Y결선 환산 : 120nF = 3×40nF)이며, 359N 계전기 동작전류는 200mA 이다. 한상의 변압기 케이싱 접지가 전기적으로 차단되었을 경우 구조적인 캐패시턴스를 통해 발전기 중성점으로 누설전류가 흘러 359N 계전기가 동작할 수 있는 발전기 전압은 아래와 같이 계산되었다.

$$V = \frac{I}{2\pi fC} = \frac{0.2}{2\times 3.14\times 60\times 120\times 10^{-9}} = 4423(V)$$

앞에서 점검한 결과와 같이 계전기와 기기에는 아무 이상이 없었으나 실제 접지계전기 동작신호가 살아들어 오는 경험하기 매우 어려운 현상이 나타났다. 주변압기가 단상 변압기이고 크기 때문에 구조적인 캐패시턴스에 의한 누설전류에 의해 계전기가 오동작할 가능성을 이론적으로 접근하여 시험 및 조치한 결과 다행이 일치하였다. 또한 검토 결과 주변압기 케이싱의 접지상태가 불량할 때는 발전기 단자전압이 4.4 kV 정도로 낮은 상태에서도 계전기가 오동작 할수 있는 가능성이 수치적으로 분석되었으며, 실증시험에서도 4kV 정도에서 계전기가 동작하였다. 결론적으로 계전기의 동작은 단상 주변압기중 1대에서 케이싱 접지가 불량하여 발생된 것으로 판단되었다.

4. 결 론

발전기 접지과전압 계전기와 보호범위에 있는 기기들의 이상 여부를 조사하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 접지과전압 계전기 동작상태를 점검한 결과 동작치는 5.5V, TD는 4.6sec이며, 접지 변압기 2차측에 정현파 60Hz를 인가한 동적 특성 시험에서도 민감하게 동작하고 부하불평형 또는 제3고조파 전류에는 동작하지 않았기 때문에 매우 양호하게 분석되었다.

(2) 발전기 고정자 권선, 상분리 모선, 주변압기 1차측 권선, 보조변압기 1차측 권선, 변성기 1차측 권선 및 서지 흡수기 등에서 절연전항, 직류내전압 및 교류내전압을 시험한 결과 양호하게 나타났다.

(3) 주변압기 케이싱 접지상태를 보완한 후에 단상 변압기당 접지와 권선간의 교류전압을 인가하여 상당 캐패시턴스와 누설전류를 측정하여 비교한 결과 양호하게 나타났다. 또한 주변압기 케이싱의 접지상태가 불량할 때는 발전기 단자전압이 4.4kV 정도로 낮은 상태에서도 계전기가 오동작 할수 있는 가능성이 수치적으로 분석되었으며, 실증시험에서도 4kV 정도에서 계전기가 동작하였다. 따라서 계전기의 동작은 단상 주변압기중 1대에서 케이싱 접지가 불량하여 발생된 것으로 판단되었다.

(참 고 문 헌)

[1] Applied Protective Relaying, Westinghouse Electric Corporation, pp. 6-3~6-5, 1982.

[2] IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Std 242-1986, pp. 441-471, 1986.

[3] IEEE Guide for Generator Ground Protection, IEEE Std C37.101-1993, pp. 34-36, 1993.