

500MVA 단락발전기 여자시스템 특성 개선에 관한 고찰

정홍수, 나대열, 김선구, 노창일, 김원만, 이동준, 김선호
한국전기연구원

A study of excitation system of 500MVA short-circuit facilities

Heung-Soo Jung, Dae-Ryeol La, Sun-Koo Kim, Chang-il Roh, Won-Man Kim, Dong-Jun Lee, Sun-Ho Kim
KERI

Abstract - The excitation system of 500MVA short-circuit generator is very important because of operation of various condition, for example, (over) load switching, short-time current, short-circuit current, etc. This paper introduces a feature of excitation system of 500MVA short-circuit facilities and the function and construction of each part.

1. 서 론

각종 전기기기의 (과)부하개폐, 단시간 및 단락 성능을 검증하는 500MVA 대전력시험설비는 주로 단락사고를 모의하는 시험을 실시하므로, 시험 중 설비는 매우 가혹한 상태로 운전을 하게 된다. 이 경우에도 단락발전기를 포함한 시험설비는 시험규격에서 요구하는 주파수 범위 내에서 운전이 되어야 하며, 또한 시험규격에서 요구하는 안정된 출력전압을 발생하여야 한다. 이렇듯 매우 다양한 상태의 부하 또는 단락상태에서 안정적인 발전기 출력전압을 발생시키는 여자시스템의 특성을 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 500 MVA 단락발전기 여자시스템의 성격

입력 전원 : 3상 AC 1000 V 245 A
 정격출력 : 30 kW
 정격 DC 전압 : 100 V
 정격 DC 전류 : 300 A
 정격 주파수 : 60 Hz
 정격 운전시간 : 100%에서 연속
 375%에서 5분
 3333%에서 16 cycle

상수 : 3상
 출력전압조정 : AVR 방식

2.2 500 MVA 단락발전기 여자시스템의 성능

2.2.1 옥내사용환경
 온도 : -10 ~ 50 ℃
 습도 : 45 ~ 85 %

2.2.2 조작전원
 AC 입력 : 3상 120 V 60 Hz
 DC 입력 : DC 125 V

2.2.3 주회로 시스템의 구성
 싸이리스터 형식 3상 전파 브릿지회로
 2회로 병렬

2.2.4 성능
 침투 전압($I_0 R_f = 1.0$) : 4.5배 이상
 최대 출력전압 : 정격전압의 130 %
 전압 편차 : 1 % 이하
 초기 여자전류 : 정격전압의 20 %에 해당되는 제자전류
 제자전선 온도상승한도 : 130 ℃

2.2.5 운전모드
 자동모드 : 80 ~ 110 % V_G
 수동모드 : 30 ~ 110 % I_0
 V_G : 발전기 정격전압(제자전류 15 ~ 100 % I_3)
 I_0 : 발전기 정격 전압에서 무부하시 제자전류
 I_3 : 발전기 정격 전압에서 정격 부하시 제자전류

2.2.6 보호기능
 게이트펄스 감시
 퓨즈용단 검출회로
 과전류 제어정지

2.3 감시 및 제어판넬의 구성

2.3.1 "DC 전압계", "전압절환 스위치", "CHECK" 기기의 7군데 지점에서 전압을 확인할 수 있다. 전압절환 스위치

로 측정 지점을 선택하고, DC 전압계($\pm 15 V$)를 사용하여 측정한다. 디지털 전압계를 "CHECK" 단자에 연결하여 정확한 값을 측정할 수 있는데, 이때 "CHECK" 단자에는 부하저항이 10 Ω 이상인 계측기를 사용하여야 한다.

2.3.2 전원표시장치
 전원장치가 정상일 때, + 24 V, + 15 V, - 15 V용 LED가 점등된다. 정확한 전압은 "CHECK" 단자를 통하여 측정할 수 있다.

2.3.3 게이트 펄스 감시
 게이트 펄스가 비정상적이 되면, "Abnormal phase" LED가 점등되며, "Reset" 버튼을 눌러 초기화 시킬 수 있다.

2.3.4 퓨즈용단
 각 상에 설치된 싸이리스터 퓨즈 중 1개가 용단되면 "Alarm" LED가 점등되고, 2개 이상이 용단되면 "Trip" LED가 점등된다.

2.3.5 과전류
 제자전류가 I_3 (정격전압 및 정격부하에서 제자전류)의 250 %까지 상승하면 "Over current" LED가 점등된다. "Reset" 버튼을 눌러 초기화 시킬 수 있다.

2.4 외부 입력 및 출력

2.4.1 제어전원 (최대 소비전력 300 W)
 DC 입력 : DC 110 V
 AC 입력 : AC 3상 110 V 50/60 Hz
 접지

2.4.2 시퀀스 입/출력
 시퀀스 출력은 표 1, 시퀀스 입력은 표 2와 같다.

<표 1> 시퀀스 출력

항목	접속단자 번호	설명	전압, 전류
과전류	CN1-20 CN1-25		110 V, 100 mA
Alarm	CN1-20 CN1-26	1개의 싸이리스터 퓨즈 용단시	110 V, 100 mA
Trip	CN1-20 CN1-27	2개 이상의 싸이리 스터 퓨즈 용단시	110 V, 100 mA
게이트 감시	CN1-20 CN1-28		110 V, 100 mA

<표 2> 시퀀스 입력

항목	접속단자 번호	설명	전압, 전류
41 ON	CN3-1	여자시 접점 ON	110 V, 20 mA
HAN	CN3-3	수동모드선택시 접점 ON	110 V, 20 mA
Gate OFF	CN3-2	게이트 고장시 접점 ON	110 V, 20 mA
90R Raise	CN3-9	90R Raise 활성화시 접점 ON	110 V, 20 mA
90R Lower	CN3-10	90R Lower 활성화시 접점 ON	110 V, 20 mA
90R Reset	CN3-4	90R이 원상태로 복귀시 접점 ON	110 V, 20 mA
Gate Pulse Monitor	CN3-35 CN3-36	게이트 펄스 모니터 사용시 접점 ON	15 V, 10 mA

2.4.3 여러 검출회로 입력
 기타 검출회로의 입력은 표3과 같다.

〈표 3〉 기타 검출회로 입력

항목	접속단자 번호	설명
발전기 전압	CN-1, 2, 3	2차측 PT(AC 110 V)로부터 직접 입력됨
발전기 전류	R : CN1-9 T : CN1-10	R-T 상 AC 10 V (정격전류에서)
계자전류	+ : CN1-11 - : CN1-12	DC 5 ~ 10 V (I_3 에서)

2.5 동작원리 및 조정법

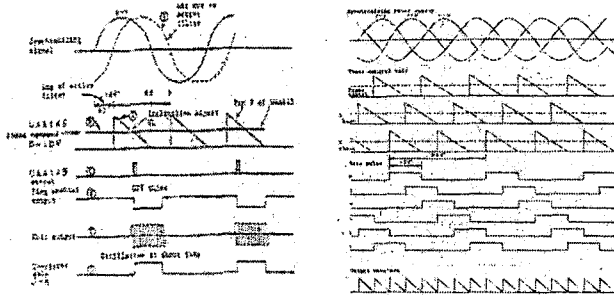
2.5.1 게이트 회로

2.5.1.1 동작 원리

그림 1은 한상의 펄스 발생과정을 나타낸다. 동기화 신호는 능동 필터(Active filter) 및 톱니파(Sawtooth wave) A로 인하여 60° 늦어진다. 즉 IC UAA145에 의해서 발생된 파형 S와 동기화 된다. 펄스 C는 이 톱니파와 위상 제어명령 B(0 - 10 V)가 교차하는 상에서 발생된다.

이 펄스 C는 링카운터에 의해서 120°의 OFF 펄스 D로 변하고, 펄스증폭 P보드 YP4A-GC03-11에 의해 대략 8 kHz로 진동하는 펄스 E로 변환된다.

싸이리스터에 있는 펄스 변환기 P보드(YPWA-DO03)로 펄스 E를 정류하면 파형 G가 생성된다. 이 파형이 싸이리스터의 게이트 G 및 K간에 인가된다.



〈그림 1〉 펄스 발생과정

2.5.2 조정법

2.5.2.1 상 제어 P 보드

U_0, V_0, W_0 : 영점 조정

U_G, V_G, E_G : 이득 조정

U_P, V_P, W_P : 능동필터의 지연(60° 세팅)

U_L, V_L, W_L : 감마위상의 조정(60° 세팅)

조정용 핀번호 : 능동필터의 지연

병렬인 싸이리스터 번호	107-108, 207-208	109-110, 209-210
3	Short	Short
2	Short	Open
1	Open	Open

2.5.3 자동조정 회로

2.5.3.1 발전기 전압 검출

발전기 전압이 정격레벨인 경우에, 증폭 P 보드에 의해 약 10 V가 검출된다.

2.5.3.2 계자전류 검출

감마 비교기 P 보드에 의해 5 V (VR5로 조정)가 검출된다.

2.5.3.3 전류 minor loop

침투전류를 1.5배, $K_P \cdot K_F = 1.5 \frac{I_3}{10} = 0.15 I_3$ (I_3 : 발전기 정격전압, 정격출력에서 계자전류), T_B 를 T_{d0} 로 설정한다면, 전달함수는 다음과 같이 간략화 시킬 수 있다.

$$0.2 I_3 \cdot \frac{1 + 0.04 S}{1 + \frac{T_{d0}}{0.75 K_B} \cdot S + \frac{0.04 T_{d0}}{0.75 K_B} \cdot S^2}$$

만약 T_{d0} 를 3초로 설정한다면, VR1은 50%가 되고, HB는 6.75배가 된다. 그러므로, 계인의 1차측 지연 시스템 응답특성은 $0.2 I_3$, 시정수는 약 0.5초가 된다.

2.5.3.4 전압 major loop

전압 major loop의 전달함수는 다음과 같이 표현된다.

$I_3 = 2 I_0$ (I_0 : 발전기 정격전압에서 계자전류), $K_G = \frac{2 V_G}{I_3}$ (V_G : 발전기 정격전압), $T_A = T_I$ 로 설정한다면, 전달함수는 다음과 같이 간략화 시킬 수 있다.

$$0.1 V_G \cdot \frac{1 + 0.02 S}{1 + \frac{T_I}{4 K_A} \cdot S + \frac{0.02 T_I}{4 K_A} \cdot S^2}$$

T_I 를 약 0.5초로 설정한다면, VR1이 0%가 되고, K_A 가 1.1배가 된다. 그러므로, 계인의 1차측 지연 시스템 응답특성은 $0.2 V_G$, 시정수는 약 0.1초가 된다.

2.5.4 퓨즈 검출기, 과전류 제어 장치

2.5.4.1 퓨즈용단 검출 방법

병렬로 결선된 3개의 싸이리스터로 구성된 한상의 정류회로에서 1개의 퓨즈가 끊어진 경우에 Minor Fault가 발생하며, 2개 이상의 퓨즈가 끊어진 경우 Major Fault가 발생한다.

한상에서 1개의 퓨즈용단이 발생하면, HD1이 점등되고 RY1이 동작하여 Minor Fault 상태를 표시한다. 한상에서 2개 이상의 퓨즈용단이 발생하면, HD2가 점등되고 RY2가 동작하여 Major Fault 상태를 표시한다.

2.5.4.2 과전류제어 정지 동작

회로가 과전류를 검출하면, 외부로 정지신호를 보낸다. 그와 동시에 정지 동작과 게이트 정지를 수행한다.

계자전류를 검출하는 전압이 I_3 (발전기 정격전압, 정격부하에서 계자전류)가 되면 A18로 + 5 V가 입력된다. 증폭기의 게인이 -0.5배가 되고 VR4의 세팅값을 초과하면, HD3이 점등되고 RY가 동작한다. 그러면 게이트정지가 수행(약 3초의 시간지연을 가짐)되는데 A17, B17이 아날로그 스위치로 제어정지를 수행한 후, A16이 제어정지를 수행한다. 통상적으로 과전류 세팅값은 250 % I_3 , VR4의 세팅값은 6.25 V이다.

2.5.4.3 게이트펄스 모니터

게이트 펄스에서 에러(underpulse, overpulse 등)는 기준값으로 사용되는 동기화 전류에서 검출된다. 에러가 발생하면 타이머가 동작하고, 일정시간 후에 외부로 출력을 발생시킨다. 그리고 에러가 발생한 상을 LED로 표시한다. + 15 V가 A14로 연결되었을 때 이 회로는 자기유지되며, 회로가 분리되면 리셋트 된다. + 15 V를 B14로 연결하기 위한 회로는 별도로 요구된다.

2.5.5 이중채널 콘트롤(Dual channel control)

자동운전시스템에서 PT의 단선과 같은 에러가 발생하였을 때, 자동운전에서 수동운전으로 전환과 같이 발전기를 연속운전하기 위하여 이중채널 콘트롤 시스템으로 구성된다. 수동설정기(70E)로 마지막 단계에서 증폭기의 출력을 비교하여, 수동운전으로 전환되었다면 설정치를 확인하고, 발전기가 운전 중이면 충격이 없도록 전환한다.

2.5.5.1 자동전환

자동 스위치가 "ON" 위치에 있을 때, 70E의 서보모터가 비교기의 편차에 의해서 동작하여, 편차가 항상 0으로 유지된다. 그러므로 자동운전시스템에서 에러신호에 의해 충격이 없이 자동운전에서 수동운전으로 전환할 수 있다. 그러나 수동운전에서 자동운전으로 전환되지는 않는다.

2.5.5.2 수동전환

자동 스위치가 "OFF" 위치에 있을 때, 자동 운전하는 동안 70E가 동작하나, 90R이 수동 운전하는 동안 동작한다. Balance 메타 측정치가 0 V가 되었을 때 "AUTO-MANUAL" 선택 스위치가 동작한다.

3. 결 론

이외에도 500MVA 단락발전기 여자시스템은 시스템의 안정성 및 운전효율 향상을 위해서 여러 가지 보호장치와 상태감시기능 및 을 갖추고 있으며, 출력전압의 영점과 계인을 수동으로 조정할 수 있어, 정확도를 향상시키고 있다. 시스템의 사용이 제한되는 가장 큰 요인은 시스템의 과여자전류(DC 10 kA에서 16 cycle)와 계자권선 온도상승(130 °C, Trip)인데, 이로 인하여 정격 운전시간 및 발전기 여자전압이 제한된다.

〈참고 문헌〉

- [1] Meidensha corp, "Static excitation system control" 1997
- [2] IEC 60146-1-1, "Semiconductor converters - General requirements and line commutated converters - Part 1-1: Specifications of basic requirements", 1996