

500MVA급 단락발전기 여자시스템의 특성개선

정흥수, 김선구, 노창일, 김원만, 이동준, 김선호
한국전기연구원

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

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

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

1. 서 론

각종 전기기기의 (과)부하개폐, 단시간전류, 단락 투입 및 차단 성능을 검증하는 핵심 설비인 500 MVA 단락발전기는 주로 단락 및 (과)부하상태에서 기기의 성능을 검증하는 시험에 사용한다. (과)부하개폐, 단시간전류, 단락 투입 및 차단시험 중 발전기를 포함한 시험설비는 매우 가혹한 상태로 운전을 하게되는데, 어떠한 경우에도 단락발전기를 포함한 시험설비는 시험규격에서 요구하는 안정된 출력전압을 유지하여야한다. 또한 무부하 또는 저전압에서의 출력특성도 중요한데 이렇듯 단락 또는 저전압에서와 같이 다양한 환경에서 발전기의 출력전압을 발생시키고 안정적으로 유지하는 여자시스템의 특성을 살펴보고, 저전압의 영역에서 발전기의 출력전압을 조정하는 방법을 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 여자시스템의 특징

500 MVA 단락발전기용 여자시스템의 특징은 다음과 같다.

2.1.1 여자시스템의 정격

입력 전원 : 3상 AC 1 000 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

2.1.2 여자시스템의 성능

첨두 전압($I_0 R_f = 1.0$) : 4.5배 이상
최대 출력전압 : 정격전압의 130 %
전압 편차 : 1 % 이하
초기 여자전류 : 정격전압의 20 %에 해당되는 계자전류
계자권선 온도상승한도 : 130 °C
운전모드

자동모드 : 80 ~ 110 % V_G

수동모드 : 30 ~ 110 % I_0

V_G : 발전기 정격전압(계자전류 15 ~ 100 % I_3)

I_0 : 발전기 정격 전압에서 무부하시 계자전류

I_3 : 발전기 정격 전압에서 정격 부하시 계자전류

보호기능

게이트펄스 감시
퓨즈용단 검출회로
과전류 제어장치

2.1.4 여자시스템과 외부기기의 송수신 신호

송신신호

Exciter ON / OFF 상태
Exciter circuit breaker OPEN / CLOSE 상태
Fan running 상태
Exciter ON /OFF 신호
Exciter circuit breaker OPEN / CLOSE 신호
Exciter 이상상태에 대한 ALARM 신호
Exciter 이상상태에 대한 TRIP 신호
Exciter READY 신호
Exciter local control mode 신호
Field voltage
Field current
Rotor Temperature
Generator PT secondary voltage
Fan run command

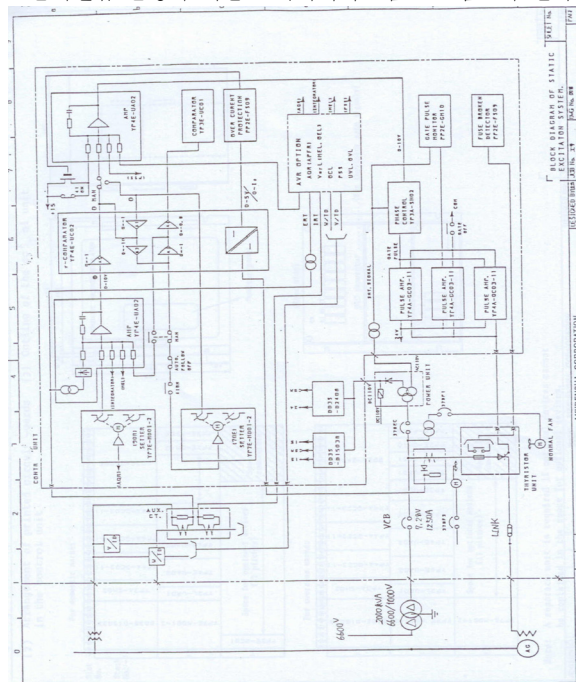
수신신호

Super-excitation control 신호
 $V_c = 0 \sim 10$ V (0~4.5 P.U / 0~10 V)
Reference level setting remotely 신호
 $V_{ref} = 0 \sim 10$ V (0~8.3 kV / 0~10 V-Δ)
(0~14.4 kV / 0~10 V-Y)
External analogue signal
 $\pm V_{ref} = \pm 0 \sim 10$ V

2.2 여자시스템의 출력특성개선

2.2.1 출력전압 발생

출력전압 발생에 대한 블록다이아그램은 그림 1과 같다.



<그림 1> 출력전압발생 블록다이아그램

2.2.2 전류 loop

시험설비의 특성, 온도, (과)전류 및 (과)전압 보호 장치에 대한 협조관계를 고려하여, 첨두전류를 1.5배로 설정하고 각 루프에서 이득 $K_P \cdot K_F = 1.5 \frac{I_3}{10} = 0.15 I_3$ (I_3 :발전기 정격전압, 정격출력에서 계자전류), T_B 를 Td_0 (상승시간)로 설정한다면, 전달함수는 다음과 같이 간략화 시킬 수 있다.

$$0.2I_3 \cdot \frac{1 + 0.04S}{1 + \frac{Td_0}{0.75K_B} \cdot S + \frac{0.04Td_0}{0.75K_B} \cdot S^2}$$

만약 Td_0 를 3초로 설정한다면, VR1은 50%가 된다. 그러므로, 계인의 1차측 지연 시스템 응답특성은 $0.2I_3$, 시정수는 약 0.5초가 된다.

2.2.2 전압 loop

전압 major loop의 전달함수는 다음과 같이 표현된다.

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

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

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

2.2.2 저전압영역에서 출력전압 특성개선

외부의 출력전압 발생 신호 및 Super-excitation control 신호에 응답하여 정격전압까지의 전압특성은 단락 및 (과)부하상태에 따라 안정적인 특성을 유지하지만(AVR회로), 저전압영역에서는 내부 신호의 노이즈등으로 출력전압의 변동폭이 커져서, 각종 시험규격에서 요구되는 오차의 변동범위를 초과하게 되는 현상이 발생한다. 이러한 발전기 출력전압의 변동폭을 줄이기 위해서는 여자시스템과 발전기 출력전압의 특성을 이해하고, 여자시스템의 응답특성을 재설정하여야 한다. 그림 1에서 알 수 있듯이 여자시스템의 특성은 자동검출 및 출력조정회로(출력 AMP, 그림 2 참조)에 따른다. 자동운전모드에서 전류 및 전압출력특성은 위 식에서와 같이 여자시스템의 설계시 고정되어 있으므로, 저전압영역에서 출력전압특성을 개선하기 위하여 별도의 여자시스템을 구성하거나 수동운전모드에서 사용하여야 하나, 별도의 여자시스템을 구성하는 것은 현실적으로 불가능하므로, 기존 여자시스템의 운전방법을 수동모드로 전환한 후 그 전달함수 특성을 설정하는 것이 출력전압의 변동폭을 시험규격에서 규정하는 오차범위 이내로 유지하는 현실적인 방법이 된다.

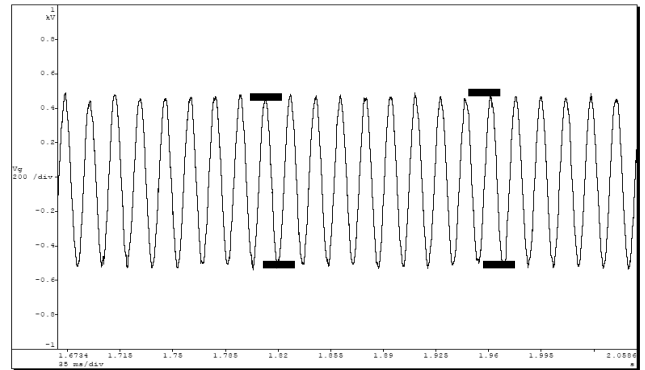
현 500MVA 대전력시험설비의 시험회로 중 가장 저전압을 얻을 수 있는 회로로 구성되어 제어가 가능한 전압의 목표를 10V로 설정하였다. 출력전압 발생회로는 발전기 Δ 결선, 변압기 Δ - Δ 결선(전압률은 19.636/0.6kV)으로 구성하였고, 변압기 2차측에서 최소 안정출력전압 10V를 얻기 위하여 발전기의 여자전압을 역으로 환산한 결과 발전기 여자전압을 327 V로 설정하면 변압기 2차측 출력전압이 10V가 됨을 알 수 있다.



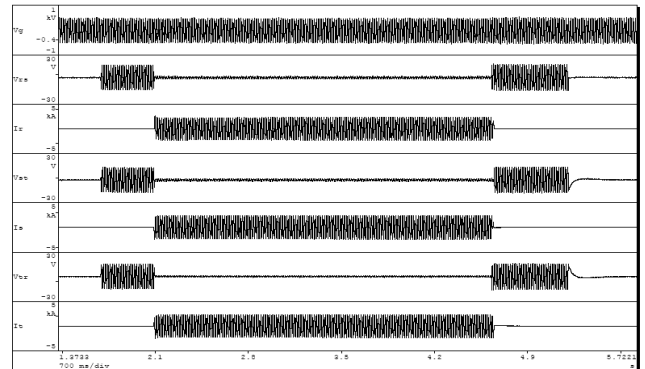
〈그림 2〉 설정변경용 출력 AMP

여자시스템을 수동 모드로 전환하여 자동 검출회로의 기능을 정지시킨 후, 발전기 여자전압 신호를 인가하여 출력조정회로(90R, 출력 AMP)의 SPAN 및 ZERO의 저항을 미세조정하면서 발전기의 출력전압을 측정하였다. 출력조정회로 AMP의 OUT이 4~20mA가 0~750 Ω 로 설정되어 있으므로, 어느정도 큰 저항값(실험적으로 650 Ω 이상)에 도달하면 출력 AMP의 저항을 미세 조정하더라도, 전압 loop의 전달함수에서 출력시정수 및 계인이 변하지 않게 되어 그림 3(안정된 발전기 출력전압 파형) 및 그림 4(안정된 발전기 및 변압기 2차측 출력특성)과 같은 특성을 구현할 수 있게 된다. 변동폭이 더 작은 안정된 출력특성을 얻기 위해서는 외부에 별도의 추가적인 저항을 접속하면 가능할 것으로 판단되지만 그렇게 되면 외부 여자전압의 설정신호에 대해서 시스템에서 정확하게 응답(출력 발생)하지 않으므로 출력전압의 변동폭을 없앨 수 있을 정도로 안정시킬 수는 없었다.

그림 2에서 측정한 발전기 출력전압은 3-crest 측정법으로 최소 321.6 V, 최대 336.2 V가 측정되어 변동범위는 4.34%를 얻을 수 있었다. 그림 3은 발전기 출력전압을 사용하여 시스템의 임피던스를 조정하여 시험전압(변압기 2차측 전압) 10.5 V 시험전류 1 610 A를 구현한 파형이다.



〈그림 3〉 설정변경 후 발전기 출력전압 파형



〈그림 4〉 설정변경 후 발전기 및 변압기 2차측 출력파형

3. 결 론

정기시험의 대전력시험설비 중 핵심부분인 단락발전기는 정격출력에서 사용하도록 설계되어 있으므로, 정격 출력에 비해 저전압, 소전류의 특성을 구현하는 경우, 시험설비의 조정에 어려움이 있다. 설비의 안정적 운영을 위해서는 자동모드에서 운전하여야 하나, 발전기 정격출력의 5% 미만의 영역에서 저전압출력특성을 얻고자 하는 경우 설비를 수동모드에서 운전하면 그 특성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이 경우 수동모드에서 운전하므로, 시험 중 안전에 특히 주의하여야 하며, 오실로스코프 등으로 출력 AMP의 저항 및 전류를 주의하여 측정하여야 한다.

[참 고 문 헌]

- [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
- [3] 정홍수, "500MVA 단락발전기 여자시스템 특성개선에 관한 고찰", 전기학회, B권, p685-686, 2006