

발전기 과여자 및 과전압 계전기 보호협조에 관한 연구

A Study on the Protective Coordination of Generator Overexcitation and Overvoltage Relay

박지경* · 김광현* · 김철환* · 유영식** · 양정재**

(Ji-Kyung Park · Kwnag-Hyun Kim · Chul-Hwan Kim · Young-Sik Lyu · Jeong-Jae Yang)

Abstract - After North American wide area black out on August 14, 2003, various studies have been conducted to find out the reason of the disaster. One of main reasons was misoperation of generator protection system. Since then, protective coordination between generator protection system and excitation system controls has been hot issue among electrical engineers. Among various generator protection relays, in this paper, we focused on generator overvoltage and overexcitation relay, which protect the over-flux condition of the generator. Thus, at first, we modeled the generator overvoltage, overexcitation relay and detailed power system including excitation system, governor and etc., based on actual field data. And then, we reviewed the protective coordination of generator overvoltage and overexcitation relay using electromagnetic transient program. In addition, we discussed the protective coordination method for redundant protection relays in both automatic voltage regulator and generator side.

Key Words : AVR Protective Function, Generator Protection System, Overvoltage Relay, Overexcitation Relay, Protective Coordination

1. 서 론

최근 전력 계통의 규모가 점차 확장됨에 따라 계통의 복잡성 및 발전단지의 집중화가 증가하고 있다. 이러한 현실에서 적절한 발전기 보호시스템 및 보호 협조 방안의 부재, 발전기 보호시스템의 오동작으로 인한 설비의 손상과 같은 잠재적 위험요인들은 국가 산업 및 국민 생활에 막대한 피해를 야기할 수 있기 때문에 발전기 보호시스템에 대한 면밀한 연구가 요구된다.

전력계통에서 사용되고 있는 발전기 보호시스템과 자동 전압조정기 (Automatic Voltage Regulator, AVR) 내부의 보호요소는 상당수 중복되어 동작하며, 이러한 중복 보호요소들을 정정하는 방법에 대한 체계적인 정정기준, 정정방법 및 관련연구가 없는 실정이다. 실제로 중복된 보호요소들이 동일한 정정값으로 운용되거나 혹은 각기 상이한 정정값으로 운용되는 등 발전기 보호를 위한 일관적이지 못한 보호 체계가 적용되어 있다. 때문에, 실제 발전기 보호시스템과 AVR 내부의 보호요소 간의 비협조에 따른 고장이 발생할 가능성이 있다. 해외에서는 2003년 미국 북동부 대정전의 원인으로 발전기 보호시스템의 오동작이 제기됨에 따라 이러한 발전기 보호시스템과 AVR 내부의 제한기능 및 보호요소 간의 협조에 관한 기준을 수립하여 시행하고 있다[1, 2]. 국내에

서도 이러한 점을 고려하여 현 기술상태의 취약성을 보완할 필요가 있다.

따라서, 본 논문에서는 발전기 보호시스템의 다양한 보호 항목 중 AVR 내부 보호요소와 중복적으로 적용되어 운용되고 있는 발전기 과여자 및 과전압 계전기를 대상으로 선정하여 상세 연구를 진행하였다. 이를 위하여 발전기 과여자 및 과전압 계전기를 ElectroMagnetic Transient Program-Restructured Version (EMTP-RV)를 이용하여 모델링하고, 실제 A 발전소의 정정값을 바탕으로 발전기 과여자 및 과전압 계전기 정정 현황을 검토 및 분석하였다. 그리고 발전기 과여자 및 과전압 계전기 정정 시 고려해야 할 요소, 정정 방법에 대하여 서술하였으며, AVR 측 및 발전기 측에 중복으로 적용된 보호요소의 용도 및 동작 순서를 구분함으로써 적절한 협조 방안에 대하여 논의해보았다. 제안된 협조 방안의 결과를 시뮬레이션으로 검토하였으며, 이 결과를 바탕으로 향후 중복된 보호요소를 정정하는 대표적인 방안과 기준을 마련할 수 있는 기반으로 활용하고자 한다.

2. 발전기 과여자 및 과전압 보호

2.1 발전기 과여자 보호

2.1.1 발전기 과여자

발전기 내부의 자기장은 회전자 운동의 기계적 에너지를 고정자의 전기적 에너지로 변환하기 위하여 반드시 필요하다. 발전기 고정자 코어에 공급되는 자속은 식 (1)과 같이 정현파 특성을 가

† Corresponding Author : Dept. of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea.
E-mail: hmwkim@hanmail.net

* Dept. of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea.

** Korea Power eXchange, Korea.

Received : November 4, 2016; Accepted : July 17, 2017

지는 것으로 가정할 수 있다. 패러데이의 법칙에 따라 식 (2)와 같이 자속의 변화율에 비례하는 유기 전압식을 확인할 수 있으며, 식 (3)을 정리하면 식 (4)와 같이 발전기 내부 코어의 최대 자속은 전압에 비례하며 주파수에 반비례하는 관계를 가짐을 확인할 수 있다.

$$\phi(t) = \phi_{\max} \sin(2\pi ft + \theta) \tag{1}$$

$$v(t) = N \frac{d\phi}{dt} \tag{2}$$

$$v(t) = 2\pi f N \phi_{\max} \cos(2\pi ft + \theta) = \sqrt{2} V \cos(2\pi ft + \theta) \tag{3}$$

$$\phi_{\max} = \frac{\sqrt{2} V}{2\pi f N} \tag{4}$$

- 여기서, ϕ : 발전기 자속
- f : 발전기 주파수
- N : 고정자 권선 수
- V : 발전기 단자 전압

상기의 원리를 바탕으로 발전기의 과여자(과자속) 상태를 전압과 주파수의 비율(V/Hz)로 계산할 수 있다. 발전기 과여자 계전기는 과도한 자속 밀도로부터 발전기나 변압기를 보호하는 역할을 수행한다. 발전기 내부에 과도한 자속 밀도가 장시간 유지되면 자속이 이동하는 경로가 포화되어 자속이 누설되어 흐르게 된다. 이러한 누설 자기장(Leakage magnetic field)은 고정자 코어 말단의 적층부에 큰 와전류를 유도시켜 손실 및 과열을 발생시킬 수 있고 심할 경우 말단의 소손을 야기할 수 있다.

하지만, 이러한 발전기 과여자 계전기 즉, V/Hz 비율을 이용한 보호기법은 주파수와 전압이 비례하여 증가하는 외란이 발생할 경우, V/Hz 비율 값이 일정하기 때문에 발전기 과여자 계전기는 정상적으로 고장 상태를 판별할 수 없는 단점도 존재한다 [3~8].

2.1.2 발전기 과여자 보호계전기 특성

발전기 과여자 계전기의 보호 특성은 누설 자속과 코어 과열의 상관관계를 바탕으로, 설비 제작자가 시간에 대한 V/Hz의 크기 측면에서 허용 운전 가능한 발전기의 제한 범위를 제공한다. 그림 1은 발전기 과여자 계전기의 정한시, 반한시 조합형 특성 곡선을 보여준다. 이 특성 곡선은 기기의 V/Hz 용량 곡선에 맞춘 최적의 보호와 발전기 운영의 유연성을 가질 수 있는 이점이 있다. 뿐만 아니라 Dual-Level 정한시 특성을 가지는 과여자 계전기도 널리 사용되고 있다. AVR 측과 발전기 측에 중복 적용되는 발전기 과여자 보호계전기는 상기 서술한 특성과 동일한 원리로 동작한다.

2.2 발전기 과전압 보호

2.2.1 발전기 과전압

발전기 과전압 보호는 발전기 및 변압기를 과도한 자속 밀도

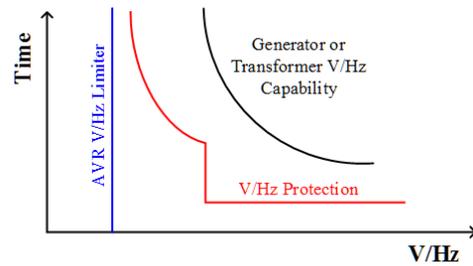


그림 1 발전기 과여자 보호계전기 특성 곡선
Fig. 1 Characteristic curve of V/Hz protection relay

상태로 부터 보호하기 위하여 적용되며, 발전기 과여자 보호와는 독립적인 보호요소이다. 일반적으로 발전기의 과전압은 갑작스러운 부하의 탈락 혹은 자동전압 제어기의 제어 고장 등에 의하여 야기된다. 발전기는 정격 전압의 105%에서 지속적으로 운전할 수 있도록 설계 되지만, 허용 가능한 값 이상의 과전압 상태가 지속될 경우 발전기 과여자에 따른 코어 과열이 발생하게 되고 발전기 내부의 절연체에 전기적 스트레스가 유발되어 절연 파괴가 일어날 수 있다. 이를 위해 발전기 과전압 계전기를 적용하여 발전기 단자 전압이 정정값을 초과하고 시간 지연 조건을 충족하게 될 경우 발전기를 트립하여 보호한다[7, 8].

2.2.2 발전기 과전압 보호계전기 특성

발전기 과전압 계전기의 보호 특성은 순시 혹은 반한시 특성만 가지는 것이 있으며 단계적으로 정한시 특성(Multi-Level)을 가지는 과전압 계전기도 있다. 일반적으로 계통의 주파수가 60Hz로 거의 일정하게 유지되므로 정상 시 발전기 과전압 계전기는 발전기 과여자 계전기와 동일한 역할을 수행하게 된다. AVR 측과 발전기 측에 중복 적용되는 발전기 과전압 보호계전기는 상기 서술한 특성과 동일한 원리로 동작한다.

3. 발전기 과여자 및 과전압 계전기 보호협조 현황

A 발전소의 발전기 과여자 및 과전압 계전기의 보호협조 검토를 위하여 표 1의 1, 3, 4호기 및 표 2의 5, 6호기 정정 현황값을 대표적으로 선정하였으며, 각 정정값을 시각적으로 그림 2와

표 1 A 발전소 1, 3, 4호기 발전기 과여자 및 과전압 보호협조 정정값

Table 1 Protective coordination of generator V/Hz and overvoltage of A power plant unit #1, 3, 4

	Overexcitation (V/Hz, 24Ry)		Overvoltage (59Ry)
Generator Protection	Level 1 Trip : 1.1p.u./45s Level 2 Trip : 1.18p.u./2s		Alarm : 1.05p.u./2s
AVR Protection	Inverse Pick-up : 1.12p.u. Trip : 1.2p.u./45s	Definite Trip : 1.2p.u./2s	Trip : 1.2p.u./2s

표 2 A 발전소 5, 6호기 발전기 과여자 및 과전압 보호 협조 정정값

Table 2 Protective coordination of generator V/Hz and overvoltage of A power plant unit #5, 6

	Overexcitation (V/Hz, 24Ry)	Overvoltage (59Ry)
Generator Protection	Level 1 Trip : 1.1p.u./45s Level 2 Trip : 1.18p.u./2s	Alarm : 1.05p.u./2s
AVR Protection	Inverse Pick-up : 1.11p.u. Trip : 1.15p.u./45s	Definite Trip : 1.18p.u./2s Trip : 1.06p.u./10s

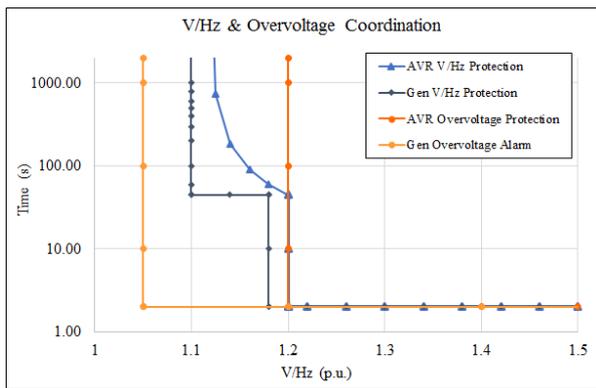


그림 2 A 발전소 1, 3, 4호기 발전기 과여자 및 과전압 보호 협조 정정 다이어그램

Fig. 2 Protective coordination diagram of generator V/Hz and overvoltage of A power plant unit #1, 3, 4

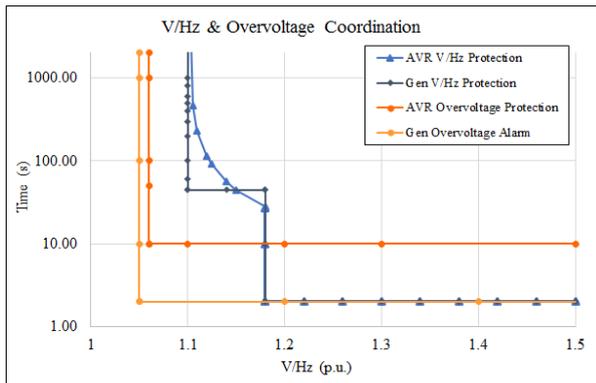


그림 3 A 발전소 5, 6호기 발전기 과여자 및 과전압 보호협조 정정 다이어그램

Fig. 3 Protective coordination diagram of generator V/Hz and overvoltage of A power plant unit #5, 6

그림 3처럼 나타내었다. 앞서 서술한 바와 같이, 최근 여자시스템 측에는 발전기를 보호하기 위한 AVR 보호요소들이 내재되고 있으므로, 발전기 측 보호계전기와의 중복 보호 가능성이 높다. 따

라서 본 논문에서는 AVR 측과 발전기 측의 중복된 보호요소를 모두 포함한 발전기 과여자 및 과전압 계전 보호협조 정정 현황을 고려하였다. 일반적으로 중복된 보호요소를 검토할 경우, AVR 측의 제한기능도 함께 고려할 필요가 있으나 본 논문에서는 관련 정보 취득의 제약으로 인하여 생략하였다.

4. 발전기 과여자 및 과전압 계전기 보호협조 현황 시뮬레이션 검토 및 분석

4.1 계통 모델링

발전기 과여자 및 과전압 계전기의 보호협조 검토를 수행하기 위하여 본 논문에서는 A 발전소를 연구 대상 계통으로 선정하였다. 국내 전체 계통의 데이터가 포함된 PSS/E 조류 계산 결과를 바탕으로 A 발전소의 인접 송전계통을 그림 4와 같은 형태의 단선도를 가지도록 등가화 모델링하였다. A 발전소의 1~8호기에 포함된 여자기, 조속기 등을 모두 포함하여 모델링 하였으며 대표적으로 발전기 1호기에 대한 파라미터를 표 3과 같이 정리하였다.

4.2 발전기 과여자 보호계전기 모델링

본 논문에서는 발전기 과여자 계전기를 그림 5과 같이 모델링

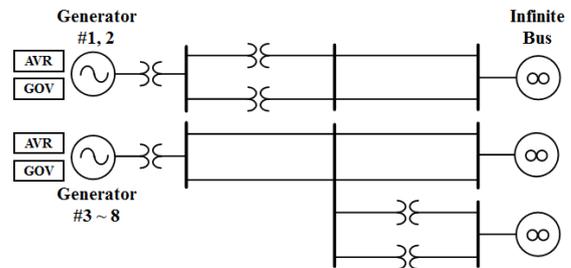


그림 4 시뮬레이션 계통 (A 발전소 송전 계통)

Fig. 4 Simulation system (A power plant transmission system)

표 3 A 발전소 1호기 발전기, 여자기, 조속기 데이터

Table 3 Parameters of A power plant unit #1 generator, excitation system and governor

Generator	Excitation System (EXST3)	Governor (TGOV1)
정격용량 : 612MVA 정격전압 : 22kV Xd : 1.7241 Xq : 1.6587 X'd : 0.2586 X'q : 0.4524 X''d : 0.2029 X''q : 0.2029 T'do : 3.826 T'qo : 0.5084 T''do : 0.0316 T''qo : 0.0592	TR : 0.00 VIMAX : 0.2 VIMIN : -0.2 KJ : 200 TC : 1.0 TB : 10.0 KA : 8.26 TA : 0.4 VRMAX : 1.0 VRMIN : 0.0 KG : 1.0 KP : 4.8 KI : 0.0 EFDMAX : 5.8 KC : 0.1 XL : 0.0 VGMAX : 5.6 Theta P : 0.0	R : 0.05 T1 : 0.49 VMAX : 0.858 VMIN : 0.40 T2 : 2.1 T3 : 7.0 Dt : 0

하였다. 발전기 과여자 계전기는 크게 전압 및 주파수 측정부, V/Hz 비율 계산부, 계전기 동작 판단부로 나뉘어 모델링 되었다. 먼저 전압 및 주파수 측정부에서 발전기 단자 전압과 전류의 주파수를 계산하여 측정된 뒤, V/Hz 비율을 계산한다. 이렇게 계산된 V/Hz 비율은 계전기 동작 판단부에 입력되어 정정된 Pick-up 값 초과 여부와 시간 지연 충족 여부를 판단하고 조건을 모두 충족할 경우 차단기 트립 신호를 생성한다.

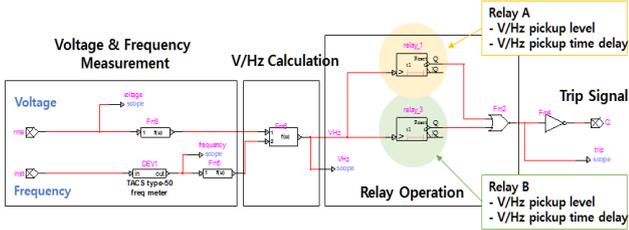


그림 5 발전기 과여자 보호계전기 모델링
Fig. 5 Modeling of generator V/Hz protection relay

4.3 발전기 과전압 보호계전기 모델링

여러 개의 정한시 특성을 가지는 Multi-Level 발전기 과전압 계전기를 그림 6과 같이 모델링 하였다. 또한, 필요에 따라 반한시 특성 또한 모델링 가능하다.

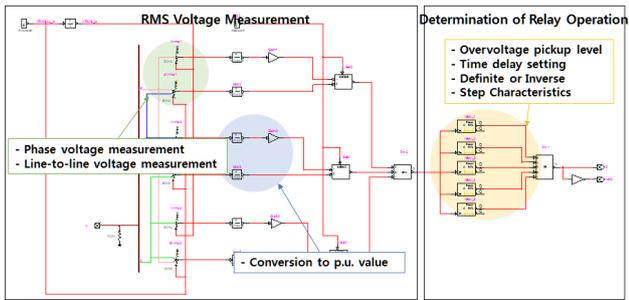


그림 6 발전기 과전압 보호계전기 모델링
Fig. 6 Modeling of generator overvoltage protection relay

발전기 과전압 계전기는 크게 전압 측정부 및 계전기 동작 판단부로 나뉘어 모델링 되었다. 먼저 전압 측정부에서 발전기 단자의 상전압 및 선간전압 RMS 값을 측정하고 이 값이 계전기 동작 판단부에 입력되어 정정된 Pick-up 값 초과 여부와 시간 지연 충족 여부를 판단하고 조건을 모두 충족할 경우 차단기 트립 신호를 생성한다.

4.4 시뮬레이션을 통한 보호협조 검토

4.4.1 시뮬레이션 조건

상기 발전기 과여자 및 과전압 계전기 보호협조 정정값을 바탕으로 발전기 외란 발생 시, 보호협조 결과가 어떻게 나타나는

지를 검토해보았다. 발전기의 과여자 및 과전압 상태를 모의하기 위하여 AVR의 기준전압 신호가 증가되는 오류를 가정하였다. 상세한 시뮬레이션 조건은 표 4와 같다.

4.4.2 Case 1 : 1, 3, 4호기 검토 결과

먼저 A 발전소 1, 3, 4호기의 경우 그림 7과 같이 115%, 120%의 AVR 제어 오류에 따른 발전기 과여자 및 과전압 조건이 주어진 경우 V/Hz 비율 값이 증가하여 지속되는 것을 알 수 있다. 증가된 전압으로 인하여 발전기 측 과전압 보호요소에서 1차적으로 경보가 발생하게 되며, 적절한 조치가 취해지지 않을 경우 과여자, 과전압 상태가 지속되어 발전기 측 과여자 보호요소가 우선 동작하여 발전기 트립 신호를 생성하게 됨을 알 수 있다. 또한 외란이 더 심각해질수록 관련 보호요소의 동작이 더

표 4 발전기 과여자 및 과전압 보호협조 검토 시뮬레이션 조건
Table 4 Simulation conditions

Simulation Cases	Case 1 : Power Plant A Unit #1, 3, 4
	Case 2 : Power Plant A Unit #5, 6
Disturbance Conditions	2 seconds later from simulation start, AVR reference(V_{REF}) error (115%, 120% increased)

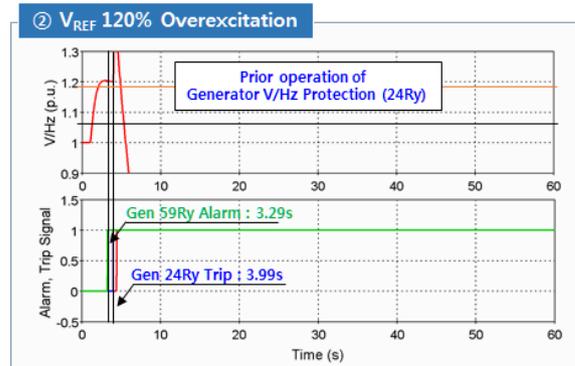
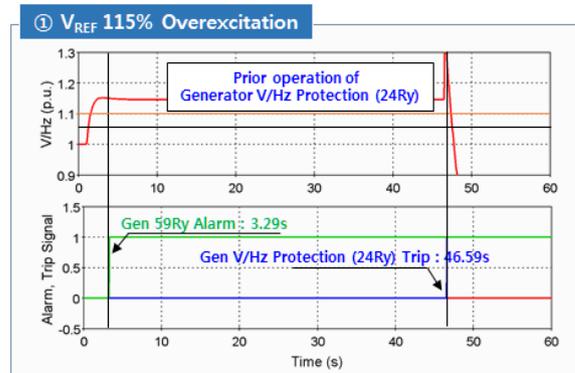


그림 7 A 발전소 1, 3, 4호기 발전기 과여자 및 과전압 보호협조 검토 결과

Fig. 7 Analysis of protective coordination of generator V/Hz and overvoltage relay of A power plant unit #1, 3, 4

빨라지는 것을 알 수 있다. 요약하면, 과여자 및 과전압 조건이 만들어질 경우, 발전기 측 과전압 계전기에서 경보 신호를 발생시키고, 이후 발전기 측 과여자 계전기가 우선 동작하여 발전기를 트립시키도록 보호협조 정정되어 있다.

4.4.3 Case 2 : 5, 6호기 검토 결과

A 발전소 5, 6호기의 경우 그림 8과 같이 115%, 120%의 AVR 제어 오류에 따른 발전기 과여자 및 과전압 조건이 주어진 경우, 증가된 전압으로 인하여 발전기 측 과전압 보호요소에서 1차적으로 경보가 발생하게 된다. 115%의 AVR 제어 오류의 경우, 과여자 보호요소보다 민감하게 정정된 AVR 측 과전압 보호요소가 우선동작 하는 것을 볼 수 있으며, 이는 발전기가 허용 운전 범위 이내에 있음에도 불구하고 과보호 될 수 있음을 의미한다. 120%의 AVR 제어 오류의 경우 AVR 측 및 발전기 측 과여자 계전기가 동시 동작하게 된다. 즉, 야기된 과여자 및 과전압의 크기에 따라 AVR 측과 발전기 측 보호요소 중 우선적으로 동작하는 보호요소가 다음을 확인할 수 있다.

이와 같이 동일한 발전소임에도 불구하고 호기 별로 정정값이 상이함을 확인할 수 있으며, AVR 측과 발전기 측에 중복된 보호

요소의 우선 동작 순서가 일관성 없이 정정되어 있다. 이 경우 유사 시 발전기를 트립시킨 보호주체가 AVR 측인지 발전기 측인지 확인해야하는 문제가 야기될 수 있으므로 향후 면밀한 검토가 요구된다.

5. 발전기 과여자 및 과전압 계전기 최적 보호협조 방안

5.1 보호협조 시 고려사항

발전기 과여자 및 과전압 계전기 보호협조 시 고려해야 될 사항은 표 5와 같다. AVR 측에서는 과여자, 과전압 제한기능 및 보호요소가 고려되어야 하며, 발전기 보호계전시스템 측에서 발전기 과여자 계전기(24Ry), 과전압 계전기(59Ry)가 고려되어야 한다. 추가적으로 발전기, 변압기 등 설비의 V/Hz 용량 곡선에 대한 고려도 요구된다.

표 5 발전기 과여자 및 과전압 계전기 보호협조 시 고려사항
Table 5 Consideration factors for coordination of generator V/Hz and overvoltage relay

Excitation System (AVR)		Generator Protection System	Equipment Capability Curve
Limit Function	Protective Function		
Overexcitation Overvoltage	Overexcitation Overvoltage	24Ry 59Ry	Generator, Transformer V/Hz Capability Curve

발전기가 계통에 연계되어 있을 경우에는 주파수가 거의 일정하기 때문에 과여자 보호 곡선은 과전압 보호 곡선과 밀접한 연관이 있다. 이때, 발전기 과여자 제한기능 및 보호요소는 과전압 보호요소와 동일한 기능을 제공한다. 주파수와 전압이 비례하여 증가하는 과전압의 경우 발전기 과여자 계전기가 과전압 이벤트를 감지하지 못할 수 있기 때문에 독립적인 과전압 보호요소의 적용이 필요하다. 일반적으로 과전압 보호요소는 경보 용도로 사용되며 특별한 경우 발전기를 트립할 수 있도록 사용된다.

5.2 보호협조 시 정정 순서

본 논문에서는 발전기 과여자 및 과전압 계전기 보호협조 정정 고려사항을 바탕으로 이를 정정하는 방법을 다음과 같이 정성적인 측면에 집중하여 서술하였다. 보호협조 정정의 정량적인 측면의 경우, 발전기, 계통의 중요도 및 보호 엔지니어의 관점에 따라 각 보호협조 요소들의 정정을 결정하고 시뮬레이션 분석을 통한 시스템의 정정 관계를 면밀히 검토해야 한다.

① 제한기능 및 보호요소들의 곡선이 설비의 V/Hz 용량 곡선을 바탕으로 정정되어야 하므로 가장 제한적인 V/Hz 용량 곡선을 결정한다.

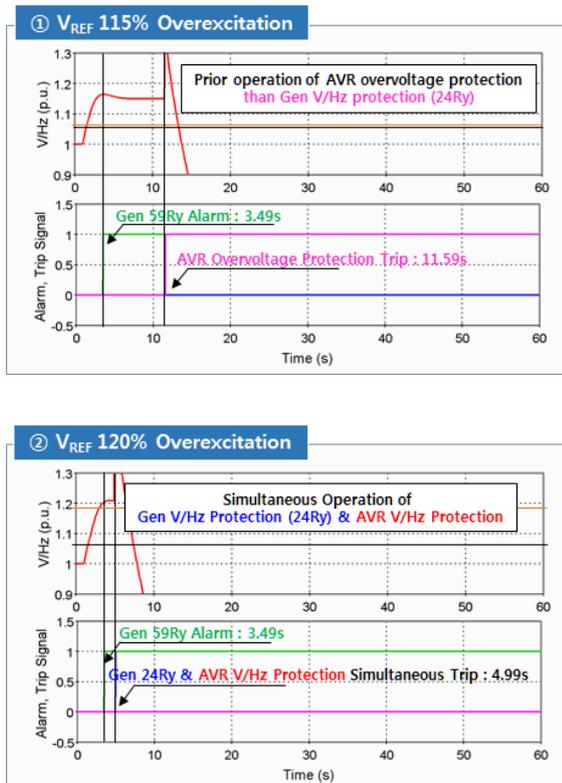


그림 8 A 발전소 5, 6호기 발전기 과여자 및 과전압 보호협조 검토 결과

Fig. 8 Analysis of protective coordination of generator V/Hz and overvoltage relay of A power plant unit #5, 6

- ② AVR 과여자 및 과전압 제한기능의 특성 곡선을 정정한다. 이때 제한기능이 동작할 수 있도록 보호요소 곡선과의 충분한 제어 여유가 필요하다. 다시 말해 제한기능은 발전기가 정상 범위 이내에서 운전할 수 있도록 제어하는 기능이므로 보호요소 특성 곡선에 가깝게 정정하지 않도록 유의한다.
- ③ AVR 측 과여자 보호요소 및 발전기 측 과여자 계전기 특성 곡선을 정정한다. 이때, AVR 제한기능 곡선 및 설비 V/Hz 용량 곡선을 침범하지 않도록 유의한다.
- ④ AVR 측 과전압 보호요소 및 발전기 측 과전압 계전기 특성 곡선을 정정한다. 이때, AVR 제한기능 곡선 및 설비 V/Hz 용량 곡선을 침범하지 않도록 유의한다.

참고로 과전압 보호의 정정은 용도에 따라 구분할 수 있다. 과전압 보호요소를 경보용으로 사용할 경우, 발전기 과여자 보호요소보다 민감하게 정정함으로써 발전기의 과여자, 과전압 운전을 사전에 인지할 수 있다. 반면에 과전압 보호요소를 트립용으로 사용할 경우, 발전기 과여자 보호요소보다 둔감하게 정정함으로써, 과여자 보호요소의 Back-up 보호 역할을 수행하게 할 수 있다.

5.3 중복된 보호요소를 고려한 최적 보호협조 방안

상기 보호협조 정정 방법에서 AVR 측과 발전기 측 보호요소가 중복될 경우 각각의 보호요소를 어떠한 용도 및 순서로 동작을 시킬 것인지에 대한 명확한 구분이 요구된다. 그림 9는 중복된 AVR 보호요소 및 발전기 보호계전 시스템의 협조 및 구분 방안을 보여 준다. 이 방안은 1차적으로 외란 발생 시, AVR 측의 제한기능이 동작하여 발전기를 최대한 정상운전 범위로 제어할 수 있도록 한다. 만일 AVR 제한기능의 동작이 실패할 경우, 발전기 보호계전 시스템보다 민감하게 정정된 AVR 보호요소가 경보 동작을 하게 된다. 만일 이러한 경보에도 불구하고 적절한 조치가 취해지지 않을 경우 최종적으로 발전기 보호계전 시스템 측의 계전기가 발전기를 보호하기 위하여 트립 신호를 생성하게 된다.

이 방안은 AVR이 가지는 본연의 목적인 제어기능과 발전기 보호계전 시스템이 가지는 본연의 목적인 발전기 보호기능을 최대한 활용하기 위함이다. AVR 측의 제한기능, 보호요소의 순차적인 경보를 통하여 운전원이 사전에 문제를 인지하고 대처할 수 있으므로 발전기가 트립까지 가는 상황을 최대한 지양할 수 있으므로 발전기의 운영 안정성 및 지속성 측면에서 이점을 가질 수

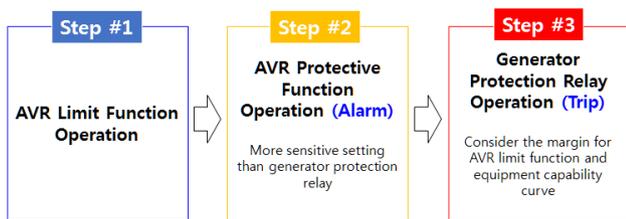


그림 9 중복된 보호요소를 고려한 최적 보호협조 방안

Fig. 9 Protective coordination method for redundant protective functions

있다.

5.4 중복된 보호요소를 고려한 최적 보호협조 방안의 검토

상기에 서술된 중복된 보호요소를 보호협조 할 수 있는 방안을 시뮬레이션을 통하여 검토하였다. 본 시뮬레이션 검토에서 적용된 정정값 및 발전기 과여자 외란의 정도는 (V_{REF} 제어 오류 125%) 예시적으로 적용된 것이며, 그림 10과 같이 AVR 측의 과여자 보호요소 및 발전기 측의 과여자 보호계전기가 중복되었을 경우 상기의 보호협조 방안을 바탕으로 정정하였을 경우에 나타날 수 있는 결과를 확인하였다. 그림 11에서 볼 수 있듯이 발전기 측에 과여자 상태가 만들어지게 되면 1차적으로 AVR 측의 과여자 보호요소가 발전기의 과여자 상태를 경보하게 되며, 적절한 조치가 취해지지 않을 경우 발전기 측의 과여자 보호계전기가 동작하여 발전기를 트립 시키는 결과를 확인할 수 있다. 따라서 AVR이 가지는 제어기능, 외란의 경보 역할과 유사 시 발전기를 트립하여 보호하는 역할을 구분함으로써 중복된 보호요소를 운용하는 체계적인 방안으로 활용할 수 있다.

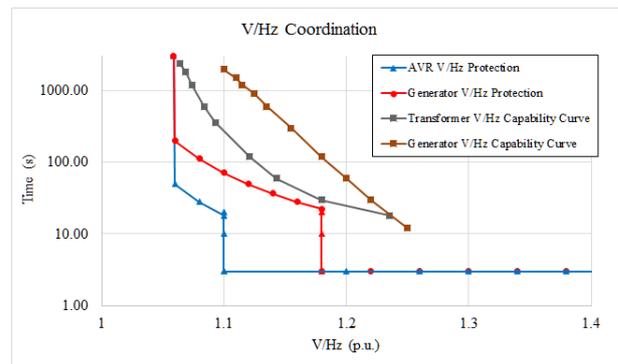


그림 10 중복된 발전기 과여자 보호요소의 최적 보호협조 예시

Fig. 10 Protective coordination for redundant generator V/Hz protection (Example)

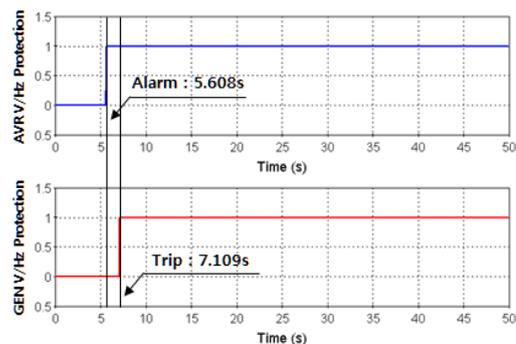


그림 11 중복된 발전기 과여자 보호요소의 최적 보호협조 시뮬레이션 검토 결과

Fig. 11 Simulation results of protective coordination for redundant generator V/Hz protection (Example)

6. 결 론

본 논문에서는 발전기 보호시스템의 다양한 보호 항목 중 AVR 내부 보호요소와 중복적으로 적용되어 운용되고 있는 발전기 과여자 및 과전압 계전기를 연구 대상으로 하여 보호협조에 관한 연구를 수행하였다. 실제 A 발전소에서 운용중인 정정값을 바탕으로 EMTP-RV를 이용하여 발전기 과여자 및 과전압 계전기를 모델링하고 보호협조 정정 현황을 검토 및 분석하였다. 그 결과 동일한 발전소의 호기입에도 불구하고 AVR 측과 발전기 측에 중복 적용된 발전기 과여자 및 과전압 계전기의 정정값이 상이함을 확인할 수 있었다. 따라서 공통된 기준에 따라 중복 적용된 보호요소의 보호협조 정정을 재검토할 필요가 있을 것으로 사료된다. 이를 위하여 본 논문에서는 발전기 과여자 및 과전압 계전기 정정 시 고려해야 할 요소, 정정 방법에 대하여 정성적으로 서술하였으며, AVR 측 및 발전기 측에 중복으로 적용된 보호요소의 용도 및 동작 순서를 구분함으로써 적절한 협조 방안을 제시하였다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 중복된 보호요소를 정정하는 기준 수립에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국전력거래소(Korea Power eXchange)의 지원으로 수행되었음.

이 성과는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2015 R1A2A1A10052459).

References

- [1] North American Electric Reliability Corporation, "Reliability Standards for the Bulk Electric Systems of North America", 31 August 2015.
- [2] Working Group J-5 of the Rotating Machinery Subcommittee, Power System Relay Committee, "Coordination of Generator Protection with Generator Excitation Control and Generator Capability", in Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 2008. ICPS 2008. IEEE/IAS, vol., no., pp. 1-17, 4-8 May 2008.
- [3] A. P. Kharel, R. J. Rusch and R. Thornton-Jones, "Review of generation system overflux limiters and protection and consequences of incorrect settings", IEEE PES General Meeting, Minneapolis, MN, 2010, pp. 1-6.
- [4] E. F. Alves and M. A. de Souza, "Analysis of overexcitation relaying set up in synchronous generators for hydro power plants", Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA), 2010 IEEE/PES,

Sao Paulo, 2010, pp. 298-303.

- [5] Shawn Patterson, "Coordinating Excitation limiters and Protective Relaying", US Bureau of Reclamation, 2004.
- [6] R. Schaefer, D. Jansen, S. McMullen and P. Rao, "Coordination of digital excitation system settings for reliable operation", Pulp and Paper Industry Technical Conference (PPIC), Conference Record of 2011 Annual IEEE, Nashville, TN, 2011, pp. 112-119.
- [7] IEEE Power System Relaying Committee, "IEEE Tutorial on the Protection of Synchronous Generators".
- [8] IEEE Standard C37.102, "IEEE Guide for AC Generator Protection".
- [9] GE Energy Product Description, GEI-100545A, "EX2100 35 A Regulator".

저 자 소 개



박지경 (Ji-Kyung Park)

1985년 5월 16일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2015년 동 대학원 정보통신대학 석박사통합과정 수료. 현재 한국원자력안전기술원 계측전기평가실 연구원

Tel : 042-603-3056

Fax : 042-868-0183

E-mail : k734pjk@kins.re.kr



김광현 (Kwang-Hyun Kim)

1992년 4월 17일생. 2015년 성균관대 정보통신대학 졸업. 2017년 동 대학원 정보통신대학 졸업(석사). 현재 네오피스(주) 사원

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : rlarhkdgus17@naver.com



김철환 (Chul-Hwan Kim)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 성균관대 정보통신대학 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124

Fax : 031-299-4137

E-mail : hmwkim@hanmail.net



유 영 식 (Young-Sik Lyu)

1963년 2월 11일생. 1989년 광운대학교 전기공학과 졸업. 현재 한국전력거래소 계통보호팀 차장

Tel : 061-330-8642

Fax : 061-330-8299

E-mail : ry@kpx.or.kr



양 정 재 (Jeong-Jae Yang)

1961년 2월 17일생. 1989년 건국대학교 전기공학과 졸업. 현재 한국전력거래소 계통보호팀 팀장

Tel : 061-330-8640

Fax : 031-330-8299

E-mail : jjyang@kpx.or.kr