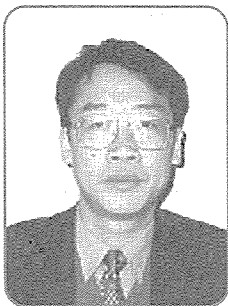


참고문헌

- 1) 1988, "ASME Code Section II," Part A, D.
- 2) 1988, "ASME Code Section VIII," pp. 62~66.
- 3) "高温スタッド ボルトのメネジ点検について," Hitachi LTD. Engineer Sheet, 1993, ES NO. TAA-93-001.
- 4) "Thread Wobble Measurement 600930," 1993, PGBU Process Specification
- 5) Williams, D. K., 1997, "Current Topic in the Design and Analysis of Pressure Vessels and Piping," ASME PVP-Vol. 354, pp. 165~253.
- 6) Hsu, K. H. and Sawa, T., 1998, "Analysis of Bolted," ASME PVP-Vol. 367, pp.1~133.
- 7) Hsu, K. H. and Sawa, T., 1998, "Analysis of Bolted," ASME PVP-Vol. 382, pp.1~169.
- 8) Zerres, H., Perez, M., Gorree, C. and Sciffet, L., 1998, "Comparison between the Analysis of the Mechanical Behavior of Bolted Joints by the Finite Elements Method and by the European Approach," ASME PVP-Vol. 367, pp. 69~73.
- 9) Fukuoka, T. and Takaki, T., 1997 "Mechanical Behavior of Bolted Joint in Various Clamping Configuration," ASME PVP-Vol. 354, pp. 195~202.
- 10) 정남용, 김문영, "장기간 사용된 고온 스테드 볼트의 암나사부 관리 방법," 대한기계학회 추계학술대회 논문집 A, 2000, pp. 199~205.
- 11) 김문영, 정남용, 2000, "발전설비 고온부에서 사용되는 스테드 볼트의 교체기준의 설정," 한국자동차공학회 제8권 6호, pp. 279~286.
- 12) 김문영, 1998, "일반적인 볼트 토크의 적용 방법," 한전기공(주), pp. 4~7.
- 13) Fukuoka, T. and Xu, Q., 1998, "Analysis of the Tightening Process of Bolted Joint with a Bolt Heater," ASME PVP-Vol. 367, pp. 53~59.

발전기 여자시스템(Ⅱ - I) (자동전압 조정장치)



한전전력연구원
발전연구실 발전계전그룹
책임연구원 임익현
Tel : (042)865-5265

1. 발전기 여자 시스템 기술

1. 여자시스템의 종류 및 특징

여자시스템은 크게 6가지 모델로 대분류 된다.

1) 직류(DC) 여자 시스템

직류 여자 시스템은 교류 회전형 여자 시스템이나 정지형 여자 시스템으로 대체되어 현재는 거의 생산되지는 않으나 60년대에 세워진 발전소에는 아직도 운용 중에 있는 것이 많다. 직류 여자 시스템은 여자전원으로써 직류 발전기를 이용하며 슬립링을 통하여 동기 발전기에 전류를 공급한다. 이러한 여자 시스템은 발전기의 축이나 다른 전동기를 이용하여 여자발전기를 구동하는데 자여자식(Self-excited)이나 타여자식(Separately Excited)으로 다시 세분화 할 수 있다. 여기서 타여자식인 경우에는 여자발전기의 여자전류를 영구자석 발전기를 갖고 있는 부 여자기(Pilot-exciter)에 의해 공급된다. 이러한 형태의 여자 시스템은 1920년부터 1960년대까지 많이 사용되었으며 초창기 가변저항을 이용하는 형태에서 자기증폭기나 앰플

리다인을 이용하는 형태까지 여러 종류가 있다. 그림 1.1은 앰플리다인 전압조정기를 갖고 있는 여자 시스템을 나타낸 것으로 여자발전기의 여자전류를 제어하는 앰플리다인과 슬립링을 통하여 발전기에 전원을 공급하는 직류 여자발전기로 구성되어 있다. 그리고 표1.1은 직류 여자 시스템의 각 제작사의 제품명이 있으며 표1.2는 직류 여자 시스템의 장단점을 나타낸다.

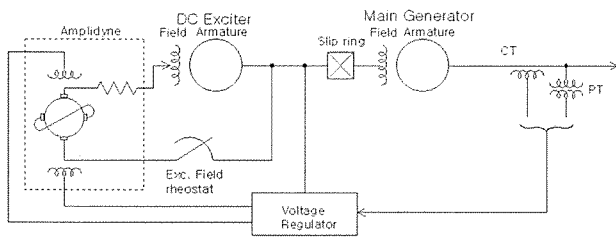


그림 1.1

앰플리다인 전압 조정기를 갖고 있는 직류 여자시스템

표1.1 직류 여자시스템의 모델제품

제작사	제품명
Allis Chalmers	- Regulex regulator
General Electric	- Amplidyne regulator
	- GDA regulator
	- Type SVR
	- GFA4 regulator
Westinghouse	- Mag-A-Star regulator
	- Rotortrol regulator
	- Silverstat regulator
	- TRA regulator
	- Type PRX 400
	- BJ30 regulator
	- Type AB regulator
Brown Boveri	- Type KC regulator

표1.2. 직류 여자시스템의 장단점

장점	1) 여자시스템의 안정도 해석에 많이 이용 (시스템 파라메타가 분명)
단점	1) 브러쉬와 정류자의 존재로 주기적인 유지보수가 필요. 2) 과전류나 브러쉬의 원인에 의하여 국부적으로 전류집중에 의한 불꽃 발생 3) 사용환경에 제한받음(불꽃 때문에)

2) 교류 회전형 여자 시스템

교류 회전형 여자 시스템은 여자 시스템의 입력 전원으로 회전형 교류 발전기(여자기)를 이용한다. 일반적으로 이러한 여자 시스템은 터빈 발전기의 축에 여자기 연결되어 있고 여자기 출력은 발전기의 계자에 필요한 여자전류를 만들기 위해 정류기를 통한다.

그림 1.2에 대하여 간단히 설명하면 우선 부여자기 출력 전원을 이용하여 여자시스템의 전원공급에 사용한다. 그리고 부여자기에서 나오는 전원을 다이오드나 싸이리스터를 이용하여 주 발전기의 계자에 슬립링을 통하여 전압을 공급한다. 여자용 발전기의 회전유무에 따라 회전형과 정지형으로 나눌 수 있으며 발전기의 계자권선에 전원을 인가하는 여자발전기를 싸이리스터를 이용하여 제어하느냐 아니면 단순히 다이오드를 이용하여 정류만 하느냐에 따라 여러 가지 형태의 여자 시스템이 나올 수 있으나 크게는 정지형과 회전형의 범주에 포함된다.

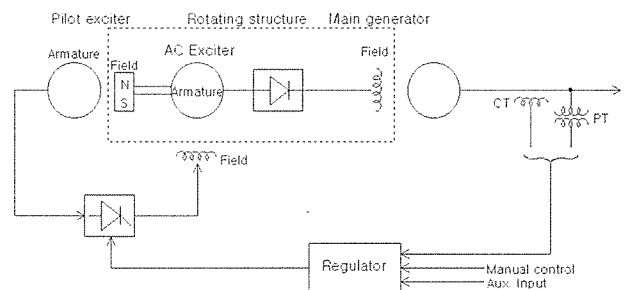


그림 1.2. 브러쉬가 없는 교류 회전형 여자 제어 시스템

교류 회전형 여자 시스템은 그림 1.2와 같이 여자발전기와 정류기를 회전하게 만들어 발전기의 계자에 전원을 인가 할 때 브러쉬와 슬립링을 통하지 않게 하여 여자 발전기의 전압을 단순히 다이오드를 통해 주 발전기의 계자에 입력시키는 형태이다.

교류 정지형 여자 시스템은 그림 1.3과 같이 여자기에서 나오는 전원을 여자기의 계자전원으로 사용하여 여자기 전압을 조정하고 결국은 여자기 출력은 다이오드로 정류하여 발전기 계자에 보내진다. 여자기의 전압을 단순히 다이오드를 통해 주 발전기의 계자에 입력시키는 방법과 그림 1.4에서와 같이 여자발전기의 전원을 무정전 전원공급기(UPS)나 부여자기 발전기를 이용하여 발전기의 계자에 입력되는 전압을 단순히 다이오드를 사용하지 않고 싸이리스터를 이용하여 제어의 정밀도를 높이는 방법도 있다.

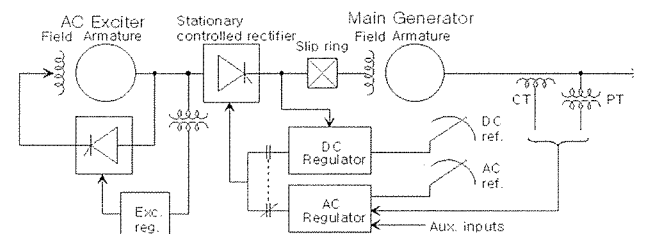
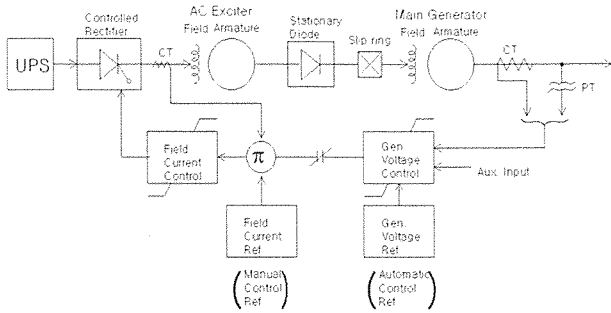


그림 1.3. 교류 정지형 여자 제어 시스템



Type 3 Modified field controlled alternator rectifier excitation system

그림 1.4. 고정 전원을 갖는 교류 정지형 여자 제어 시스템

이러한 교류 여자 시스템은 특성상의 우수성 때문에 지금도 많이 쓰이고 있으며 교류 여자 시스템을 모델로 하여 생산된 제품의 장단점은 표1.3, 표1.4에 각각 나타나 있다.

표1.3. AC 여자시스템의 모델제품

제작사	제품명
General Electric	- ALTER-REX
	- ALTHYREX
Basler	- AC exciter
Electric Machinery	- AC exciter
C.A.Parson	- AC exciter

표1.4. AC 여자시스템의 장단점

장점	단점
1) 전압조정 범위가 넓다. 2) 여자 시스템의 전원이 계통사고의 영향을 받지 않는다. 3) 계통사고시 Clearing Time 이나 발전기 리액턴스의 여유도가 높다. 4) 계자차단기의 용량이 작아도 된다. 5) 냉각의 문제점이 작다.	1) 발전기의 축이 길어진다. 2) 계통에 존재하는 Sub-harmonic에 의해서 Torsional Mode가 생기기 쉽다. 3) 회전기를 사용하기 때문에 보수성이 용의 하지 않다. 4) 교류여자 시스템에 계자가 존재하기 때문에 시지연이 상당히 크다.

3) 정지형 여자 시스템

정지형 여자 시스템은 그림 15에서 보는 바와 같이 발전기의 계자전원을 발전기의 출력단에서 변압기를 통하여 계자에 공급하는 것으로 교류 여자 시스템에 비하여 구조가 간단하고 설치가 쉽기 때문에 현재의 여자 시스템의 주종을 이루고 있다. 그러나 이러한 여자 시스템은 발전기 출력단의 전원을 여자 시스템의 전원으로 이용하기 때문에 운전제어범위가 좁고 발전기 출력단에서 고장이 생긴 경우에는 여자

전원을 상실하기 때문에 상당히 불완전한 요소를 가지고 있다.

그림 15와 같은 시스템의 단점을 보완한 시스템이 그림 16과 같은 컴파운드형 시스템으로 개발되었는데 이는 발전기 출력단에 고장이 생기더라도 정전류 기능을 갖고 있는 인덕턴스를 이용하여 여자 시스템의 안정도를 높이는 것이다.

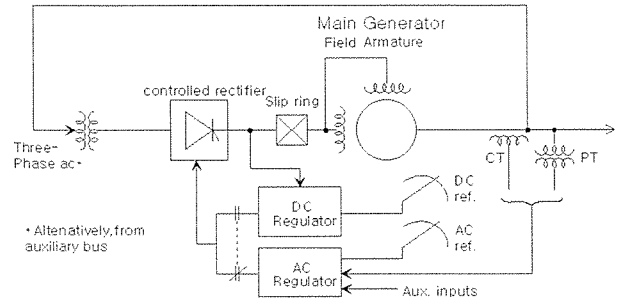


그림 1.5 정지형 여자 제어 시스템

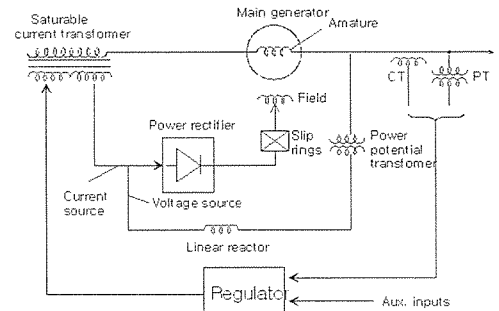


그림 1.6 컴파운드형 정지형 여자제어 시스템

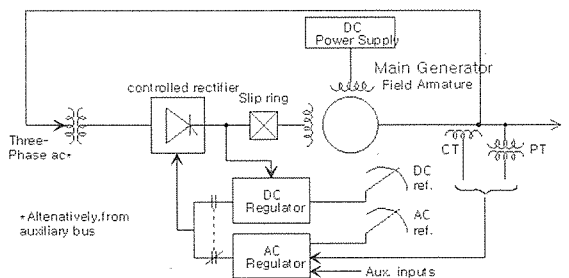


그림 1.7 직류전원을 갖는 정지형 여자제어 시스템

그림 17과 같이 계자를 2중으로 만들어 하나는 정지형 여자 시스템과 같이 만들고 또 하나는 직류전원을 인가하여 고장에 대한 안정도나 제어범위를 넓히는데 목적을 둔 정지형 여자 시스템이 있다. 또한 이러한 정지형 여자 시스템은 발전기에서 나오는 대용량의 전원을 바로 제어하기 때문에 전류 제한기나 전압 제한기와 같은 보호 성분이 많아야 한다. 정지형 여자 시스템을 모델로 하여 생산된 여자 시스템은 다

음과 같다. 그리고 정지형 여자 시스템의 제작사별 제품명은 표 1.5와 같고 장단점은 표 1.6에 나타나 있다.

표1.5. 정지형 여자시스템의 모델 제품

제 작 사	제 품 명
General Electric	- Silicomatic
	- Potential Source Static
	- EX-2000
Westinghouse	- Solide State Thyristor
	- Type PS Static with WTA, WHS, WTA- 300 regulator
	- Static Excitation System
ASEA	- Static Excitation System
Brown Boveri	- Static Excitation System
Rayrolle-Parson	- Static Excitation System
GEC	- Eliott
Toshiba	- Static Excitation System
Mitsubishi	- Static Excitation System
Basler	- Model SSE
ABB	- UNITROL

표1.6. 정지형 여자 시스템의 장단점

장 점	<ol style="list-style-type: none"> 1) 발전기의 축이 짧아진다. 2) 계통에 존재하는 Sub-harmonic에 의해서 Torsional mode의 영향을 덜 받는다. 3) 회진기를 사용하지 않기 때문에 보수성이 용의 하다. 4) 사이리스터 직접제어를 하기 때문에 속응성이 극히 빠르다.
단 점	<ol style="list-style-type: none"> 1) 전압조정 범위가 좁다. 2) 여자 시스템의 전원이 계통사고의 영향을 쉽게 받는다. 3) 계통사고시 Clearing Time이나 발전기 리액턴스의 여유도가 낮다. 4) 계차차단기의 용량이 커야 한다. 5) 용량이 증가함에 따라 냉각의 어려움이 존재한다.

2. 여자시스템의 제어기능과 보호기능

여자 시스템의 기능은 전력계통에 안정적인 전력 공급을 위해서 발전기 전압을 일정하게 유지해야함은 물론 계통의 급격한 전압강하가 있을 때는 빠르게 회복시킬 수 있는 능력을 보유해야 한다. 그러기 위한 기능으로 발전기 전압 제어기능, 발전기와 주변시스템을 보호하기 위한 보호기능이 있다. 그림 1.8은 여자 시스템의 전체 블록도이며 각 블록도의 기능과 역할은 아래와 같다.

1) 제어기능

(1.1) AVR (Automatic Voltage Regulator)

자동 전압 조절기의 기능은 발전기의 운전 상황의 변화에도 불구하고 주어진 설정값에 일치하도록 발전기 단자 전압을 자동으로 조절하는 역할을 한다. 자동 전압 조절기의 형태는 고전적인 비례적분(PI) 제어기나 지상/진상 보상제어기의 형태이며 궤환된 발전기의 단자 전압과 자동전압 조절 설정치(AVR Set-point)의 출력과 비교해서 제어를 위한 편차 신호를 만든다. 생성된 편차신호(Error Signal)는 자동전압 조절 제어기 내의 PI 제어기 및 자동전압 조절 제어기 출력 제한기를 거쳐 최종 출력이 된다. 자동전압 조절 제어기의 최종 출력은 다시 과여자 제한기의 입력으로 사용되어 과여자 제한기의 출력과 비교되어 실제의 SCR(Silicon Controlled Rectifier)을 점호하기 위한 값으로 사용된다. 여자의 운전이 수동 전압조절 운전일 경우 자동전압 조절 제어기의 적분기는 수동 전압 조절기의 출력을 추종하는데 이는 수동 전압조절 운전에서 자동 전압조절 운전으로 재 전환할 때 발생할 수 있는 충격을 최소화하기 위한 것이다.

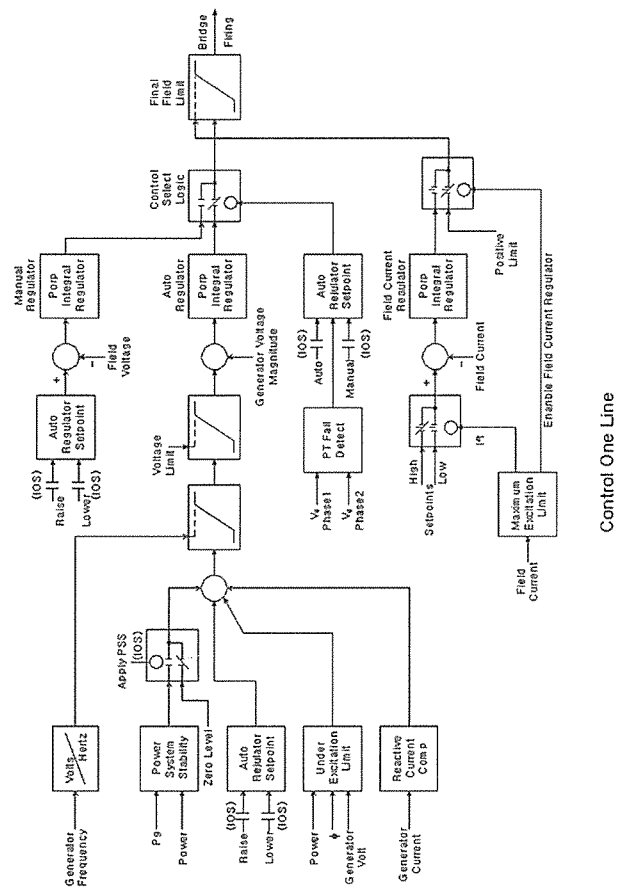


그림 1.8 여자시스템의 전체 블록도

자동 전압조절기는 기동시 발전기 단자 전압에 발생 할 수 있는 Over Shoot를 방지하기 위하여 무부하 계자 전압에 해당하는 초기값을 갖도록 기동시작 명령을 주든지, 설정기 자체를 완만한 기울기를 주어서 무부하 전압 목표치까지 서서히 끌어 올리는 완기동 (Soft Voltage Build up) 방식을 사용한다.

(1.2) 수동 전압 조절기(MVR : Manual Voltage Regulator)

수동 전압 조절기는 주로 자동전압 조절 제어기의 고장시 또는 각종 시험을 위하여 사용되는 일종의 후비 제어기로서 자동전압 조절 제어기와 동일하게 고전적인 PI 제어기의 형태를 갖고 있다. 수동 전압 조절기는 발전기 단자전압 대신 계자전압 또는 계자전류를 폐환신호로 사용하고 있다. 운전자 조작반 (IOS : Intelligent Operator System)에서 절제하던지 또는 발전기 전압폐환신호를 상실했을 경우에 자동에서 수동으로 절환된다. 자동전압 조절 제어기 운전에서 수동운전으로 절환시 발생할 수 있는 충격을 최소화하기 위하여 자동전압 조절 제어기의 출력을 수동조절기가 늘 추종하도록 되어 있다.

(1.3) 부족 여자 제한기(UEL : Under Excitation Limiter)

계통병입된 발전기의 전압을 낮추어서 진상운전, 즉 발전기 능력 곡선상의 부족여자 지역에서 운전을 하면 발전기 전기자 철심 단부의 과열과 발전기 정태 안정도가 떨어지는 문제가 발생한다.

발전기 고정자 철심 단부의 과열은 다음과 같은 현상에 의하여 발생한다. 발전기 고정자 권선 단부에서의 누설 자속은 고정자 철심의 적층 방향에 대하여 수직으로 입사되는데 이에 의하여 철심 단부에 와전류가 형성되고 와전류가 형성된 부위에 국부적인 과열이 발생하게 된다. 과여자 운전상태 (지상 역률)에서는 계자 전류에 의하여 계자단부의 유지환 (Retaining Ring)이 포화된 상태에서 운전되므로 고정자 권선단부의 누설 자속의 크기는 그리 크지 않으므로 문제가 되지 않는다. 그러나 부족 여자상태(진상 역률)에서는 계자 전류의 크기가 작기 때문에 유지환은 포화되지 않은 상태이고 따라서 고정자 권선 단부의 자속이 전기자 철심에 축 방향으로 입사하여 누설

부분이 크게 된다. 뿐만 아니라 부족여자 상태에서는 고정자 권선전류에 의하여 발생한 자속이 계자 전류에 의한 자속과 합쳐지게 되므로 고정자 단부의 국부적인 과열은 문제가 되며 특히 원통형 계자를 사용하는 발전기의 경우 운전 영역을 크게 제한하는 요인이 될 수 있다(그림 1.9 참조).

정태 안정도 제한은 일정한 계자전압 크기에서 계통으로 공급할 수 있는 최대 유효 전력의 크기를 나타낸다. 속응형 자동 전압 조절장치를 적용했을 경우 이와 같은 제한치를 실질적으로 상당히 증가시킬 수 있으나 자동 전압 조절장치에 비하여 수동전압 조절장치의 경우 응답성이 떨어지도록 설계하므로 운전 중 자동 운전에서 수동 운전으로 절제될 때를 대비하여 발전기의 운전 점을 언제나 안정한 영역내에 유지하도록 하여야 한다. 부족 여자 상태의 운전(진상 영역에서의 운전)으로 발생하는 위의 두 문제중 기계적인 발열에 의한 제한이 정태 안정도의 확보보다 더 심각한 문제라고 볼 수 있다. 부족 여자제한 장치의 기능은 발전기 능력 곡선을 참조하게 되는데 전기자 철심 단부의 과열을 방지하기 위하여 곡선의 진상 영역 제한선으로 부터 5~15% 정도의 여유를 두고 설정한다.

⇒ 부족여자시 retaining ring이 포화되지 않아 누설 자속 증가

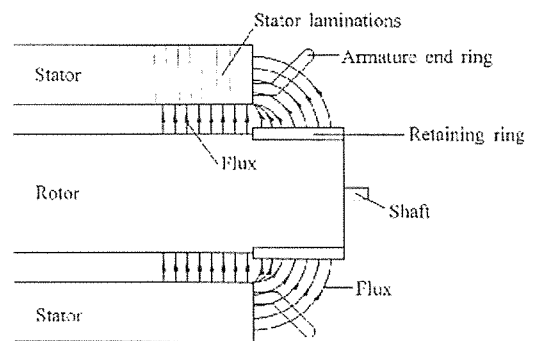


그림1.9. 동기발전기 end region의 구조

(1.4) 과여자 보호기(OEL : Over Excitation Limiter)

과여자 보호기는 비례/적분기로 구성된 제어기로서 과전류 제한기로 동작하며 On-Line 또는 Off-Line V/Hz 제한기에 대하여 우선 동작하도록 설계되었다. 과여자 제한기는 계자전류에 대하여 일정값 이하가

되도록 상황에 따라 설정값 중 적당한 값을 선택하여 동작하는데 설정값에는 Off-Line 과전류 제한치, On-Line 과전류 일차 제한치, On-Line 과전류 이차 제한치 등이 있다. 발전기가 계통 병해된 Off-Line 상태에서 과여자 제한기의 제어 목표는 발전기와 발전기에 연결된 각 변압기에 과자속이 발생하는 것을 방지하는데 있으며 계통 병입된 On-Line 상태에서는 과열에 의한 계자 권선의 손상을 방지하는데 있다. 과여자 제한기의 동작은 출력이 수동전압조절기 또는 자동전압조절기의 출력에 비하여 작을 경우 IOS에는 경보가 발생하고 SCR(Silicon Controlled Rectifier)의 점호각은 과여자 제한기의 출력에 의하여 결정된다. 만일 과여자 제한기가 동작하면 SCR의 점호각이 과여자 제한기에 의하여 결정되며 이 상황에서 자동 전압 조절기 또는 수동 전압 조절기의 설정값을 낮게 하여 자동 전압 조절기 또는 수동 전압 조절기의 출력이 과여자 제한기에 비하여 작아질 때까지 계속 유지된다.

(15) 과자속(V/Hz) 제한기

발전기의 전압과 주파수의 비(V/Hz Ratio)라고도 하는데 발전기와 발전기의 모선에 연결된 변압기의 자속량을 감시하기 위한 것이다. 발전기 또는 변압기 등과 같은 전력에 관련된 기기 들은 철심에 과도한 자속이 가해지는 것을 방지하기 위하여 내부의 자속량을 아는 것이 매우 중요하다. 만일 자속량이 너무 많아지게 되면 누설자속 또한 커지게 될 뿐만 아니라 내부의 적층되지 않은 부위에는 와전류(Eddy Current)가 흐르게 된다. 발전기 또는 변압기 내부의 적층되지 않은 부위는 철심을 고정하기 위한 Bolt, Bracket등이 있는데 이러한 부위에 와전류에 의한 과열이 발생하여 열팽창이 일어나게 되면 철심을 고정시키는데 필요한 힘 또는 압력을 잃게 되므로 철심 자체에 진동이 발생할 우려가 있다. 철심의 진동은 철심과 철심의 마찰을 가져오므로 때때로 철심간의 절연물을 파괴하므로 상당히 중대한 문제를 야기한다. 따라서 발전기 및 변압기의 보호를 위해서 내부 자속의 량을 감시하는 기능이 필요한데 흔히 이 기능은 발전기 보호기기 내에 포함되나 이는 경보 또는 운전정지 등의 보호 기능만을 포함하고 있으므로 자속량에 따라 능동적으로 제어하는 기능은 없다. 따라

서 경보 또는 운전정지 이전에 능동적인 제어를 위하여 여자제어기기 내에 조절기능을 두는 것이 일반적이다.

(16) 자동 무효전력 /자동 역률 조절기 (AQR/APFR)

자동 무효전력 조절기와 자동역률 조절기는 동일한 알고리즘으로 동작하는 선택기능이다. 자동무효전력 조절기는 유효 전력의 크기에 상관없이 일정한 무효 전력을 생산하기 위한 기능이며 자동 역률 조절기는 일정한 역률을 유지하기 위한 기능이다. AQR 및 APFR은 일반적으로 전력만을 생산 공급하는 발전소에서는 사용되지 않고 대단위 공업단지과 같은 독립된 부하에 전력을 공급하는 장치에 주로 사용된다. AQR 및 APFR은 자동 전압조절기 운전에서만 동작하도록 되어있으며 AVR의 전압 설정값을 변경함으로써 제어 목표를 달성하게 된다.

AQR 또는 APFR의 설정값은 별도로 없으며 IOS의 전면 판넬에 배치된 해당 Key를 누르면 누르는 순간의 무효 전력 또는 역률이 각 조절기의 참조 값이 된다. AQR 또는 APFR의 전압 제어특성을 악화시키는 특성은 동작 시에 자동 전압 조절기의 설정값에 영향을 미치는 값을 작게 하거나 또는 오차에 대한 Dead Band를 크게 함으로써 조절할 수 있다. 그러나 이 값이 너무 작거나 크게 되면 AQR 또는 APFR의 제어 특성이 나빠지게 되므로 현장에서 시험을 통하여 적당한 성능을 갖도록 설정해야 한다. 또 AQR과 APFR은 서로 배타적으로 동작하므로 AQR이 동작 중일 때 APFR로 전환하기 위해서는 반드시 AQR을 먼저 해제하여야만 한다.

(17) 무효전류 보상기 / Active 무효전류 보상기 (RCC / ARCC)

(a) 무효전류 보상기능 (RCC : Reactive Current Compensation)

무효전류 보상기능은 지상역률의 운전상태에서는 발전기의 단자 전압을 강제로 강하시키고 진상 운전 상황에서는 강제로 상승시킴으로써 병렬 운전 중인 발전기 사이에 무효전력을 분배 시키는 역할을 한다. 무효전류 보상기는 임피던스 보상기능을 이용하여 구

현되었는데 발전기의 전류가 임피던스 보상기능을 통과하므로써 출력을 생성하고 이 출력은 제어기의 설정 값의 생성에 영향을 미친다.

(b) ARC (Active Reactive Current Compensation)

ARC의 기능은 발전기의 출력전압을 강제로 상승 시킴으로써 주변압기 및 계통선로에 의하여 발생하는 전압강하를 보상하여 발전기와 멀리 떨어진 지점의 전압을 일정하게 유지하는 역할을 수행한다. ARCC 기능의 구현은 RCC와 동일하고 단지 퍼센트 이득의 부호가 달라지는데 발전기의 유효전력과 무효전력의 크기가 상승하면 단자전압 역시 상승하도록 되어 있다.

2) 보호기능

여자기시스템의 보호기능은 흔히 발전기 보호기능과 여자기 자체 보호기능으로 분리되는데 여자기 자체에 대한 보호기능은 각 정류기에서 전달되는 신호 입력을 바탕으로 수행되며 발전기 보호기능의 경우 PT/CT 센서로부터 측정되는 값으로 수행된다.

(2.1) 계자 상실(LOE : Loss Of Excitation) 보호기능

동기 발전기의 계자 상실 사고는 비정상적인 계자회로의 운전상태에 의해 발생한다. 이와 같은 원인으로서는 예기치 못한 계자 차단기의 개로, 계자회로의 완전 단락, 완전 개로 또는 제어기기의 고장 등이 될 수 있다. 계통병입된 발전기에 계자 상실 사고가 발생하였을 경우 발전기는 정상적인 출력보다 적은 유효전력, 정격 속도 보다 높은 운전 속도로 운전되면서 여자 전력을 전력 계통으로부터 흡수하여 유도 발전기로 동작하게 되는데 이로 인하여 계통의 전압이 낮아지는 결과를 초래 할 수 있다. 계자상실 상태에서 유도 발전기로서 계속적인 운전은 고정자 쪽에는 정상상태 전류의 2-3배에 달하는 과전류에 의한 과열상태를 초래하며, 슬립 주파수에 의해 유기된 계자 전류는 계자 자체의 과열을 초래하는데 슬립의 크기에 따라 달라지나 보통 기계적인 위험수준에 도달하기까지는 수분정도이내에 기계적인 위험 수준에 도달한다. 뿐만 아니라 계통으로부터 무효 전력을 흡수함에 따라 계통의 안정도가 낮

을 경우에는 계통전반에 걸쳐 광범위하게 전압을 떨어뜨리게 되므로 이로 인해 부하의 이탈 및 정상 운전 중인 타 발전기의 동기 탈조를 초래 할 수 있다. 따라서 이와 같은 사고를 방지하기 위해서는 계자 상실사고가 발생한 발전기를 신속히 계통으로부터 분리할 필요가 있다.

(2.2) 과여자 보호(Over Excitation Protection)

과여자 보호기능은 On-Line과 Off-Line상황에서 각각 동작하는 보호계전기로 구현되어 있다. Off-Line 상황하에서 동작하는 과여자 보호기능의 주목적은 계자의 과여자로 부터 발전기를 보호하는데 있고 V/Hz 보호에 우선하여 동작한다. 따라서 On-Line 과여자 보호 기능은 I2t 기능을 갖도록 설계되어 있으며 Limit Level, Alarm Level, Trip Level을 갖고서 동작한다. On-Line 과여자 보호기능의 목적은 과전류로 인하여 발생하는 과열로부터 발전기의 계자를 보호하는데 있다. On-Line 과여자 보호기능의 보호 특성은 ANSI C50.13 Field Short Time Thermal Over Load에 명시되어 있는 값을 바탕으로 하여 동작하도록 설계 되어 있다.

표 1.7 과전류제한특성

시간(초)	10	30	60	120	비고
계자전압/전류	208	146	125	112	

(2.3) 과자속(V/Hz) 보호

제어 폐회로 내에 포함된 V/Hz 제한기 제어의 후비 보완책으로 V/Hz 보호기능을 포함한다. V/Hz 보호기능은 한시보호 계전기와 반한시 보호 계전기의 특성을 함께 보유하고 있어 각 순간에서의 V/Hz 비에 따라 적절한 알람 또는 트립 신호를 발생시킨다. V/Hz 보호에 사용되는 한시 및 반한시 보호계전기 특성 곡선은 일반적인 발전기 및 변압기의 V/Hz 곡선을 가장 유사하게 모의하였다. 필수적으로 선정된 보호 특성은 V/Hz의 비가 1.1 PU에서는 연속 운전이 가능하도록 하고 1.10 PU에서 1.18 PU까지는 1.12 PU에서 45초동안 운전이 허용되며, 1.18 PU에서는 2초 만에 순시 Trip이 되도록 하였다. 위에서 1.10PU - 1.18PU 사이의 V/H비와 Trip 신호의 발생 시간 사이에는 반한시 특성이 적용되므로 V/Hz 비

가 클수록 Trip 신호의 발생까지 지연되는 시간은 단축된다.

표 1.8 발전기 및 변압기 V/Hz 제한 특성

V/Hz(pu)		1.25	1.2	1.15	1.10	1.05
(분)	발전기	0.2	1.0	6.0	20.0	∞
	변압기	1.0	5.0	20.0	∞	-

(2.4) 계자 과전류 보호기능(Field Over Current Protection)

과여자 보호기능의 목적은 과전류 상태가 발전기 계자에 지속적으로 가해질 경우 초래되는 계자의 과열을 방지하기 위한 것이다. 그러나 계자의 과열을 방지하기 위한 목적과 상반되게 계통 고장시 고장이 해제되기 전까지 충분한 계자 전류 Forcing 능력을 갖기 위해서는 일정 시간동안 최대 전류의 인가를 허용해야만 한다.

(2.5) 발전기 과전압 보호기능(Generator Over Voltage Protection)

발전기 과전압 보호기능은 한시 보호계전기를 이용하여 구현되며 발전기에 과전압이 발생될 경우 전기가 권선의 손상을 방지하기 위한 것이다.

(2.6) 상불평형 보호장치 (Phase Unbalance Protection)

상불평형 보호장치는 여자용 변압기의 권선상에서 발생할 수 있는 각종 사고의 결과로 야기된 출력 전압에서의 불평형으로 인한 과열로부터 변압기를 보호하는 것이 주목적이다.

상불평형 보호기능을 수행하기 위하여 여자용 변압기 2차측 선간 전압 또는 상전압을 측정할 수 있도록 3개의 PT (Potential Transformer)가 필요하다. 측정 전압원이 달라져도 상불평형 보호기의 특성 또는 알고리즘은 동일하다.

(2.7) 위상제어 정류기 전류 불평형(Bridge Current Unbalance Protection)

여자 계통은 중소형 발전기를 포함하여 대형 발전기용 여자 계통으로 범용으로 적용할 수 있도록 설계된 계통이다. 따라서 단위 위상 제어 정류기의 용

량은 이미 확정되어 있고 필요한 여자의 용량에 따라 적절히 위상제어 정류기(PCR : Phase Controlled Rectifier)의 수를 조합함으로써 전체 용량을 맞추는 방식을 사용한다. 1개 이상의 정류기 판넬이 공동으로 여자 전력을 공급하는 계통에서 피할 수 없는 문제가 정류기 판넬간 여자로 전류의 크기에 편차가 생기는 문제가 발생한다. 이 전류 편차의 발생 원인 중 가장 큰 것은, 각 정류기 패넬을 여자 전력원이라 볼 때 개별 전력원과 부하(발전기 계자)사이의 거리가 상이로 인한 임피던스 상이 때문이다. 이에 대한 해결책으로 보통의 경우 주 DC Bus의 전류용량을 개별 정류기에 연결된 DC Bus의 크기를 증대시킴으로써 전반적인 임피던스를 균일하게 하는 방법을 사용하고 있다. 또 정류기내의 상간 단락 사고 등이 발생할 경우 해당 정류기에 상당히 큰 고장 전류가 흐르게 되므로 이때 역시 정류기간 전류의 크기에는 불평형이 발생한다. 위와 같이 정류기간 전류의 크기에 편차가 발생할 경우에 대비하여 보호 동작을 하는 것을 Bridge Current Unbalance 보호라 한다. Bridge Current Unbalance에 대한 보호는 Inverse Time Protective Relay Algorithm을 이용하여 구현되어 있다.

(2.8) 전압검출 변성기 고장 검지기능 (PT Failure Detection)

발전기의 모선에 연결된 PT신호의 상실은 보통은 PT Fuse의 단선에 의하여 발생하는데 이 결과 여자에 전달되는 전압 신호의 부분적 또는 완전한 상실을 초래한다.

전압 신호의 상실은 보통 여자의 최대 출력을 가져오고 이어 발전기의 단자 전압이 과대하게 상승하는 것을 막을 수 없다. 뿐만 아니라 전압 신호의 상실로 말미암아 여자기 보호기능 중, 계자 상실 보호 계전 기능의 동작으로 발전기의 비상정지까지 이르게 된다.