

IGBT소자로 구성된 디지털 여자시스템에 관한 분석

이재도, 임익헌, 이주현, 류호선, 신만수
한전 전력연구원

Analysis for digital excitation system with IGBT devices

Lee Jae Do Lim ick hun Lee ju hyun Ryu Ho Sun Shin man su
Korea Electrical Power Research Institute

Abstract - 일반적으로 정지형 여자시스템은 사이리스터 제어 정류기를 사용하고 있으나 제주화력에는 IGBT 소자로 구성된 강압형 초퍼방식으로 하드웨어 연구가 필요한 실정이다. 발전기 제어시스템이 후비보호가 없는 경우 사소한 고장으로 인한 코아 발전소의 정지로 계통 파급효과가 크게 발생되므로, 이런 현상을 방지위해 디지털 다중화 방식의 설비를 개발하여 신뢰도의 증강 및 안정적인 전력공급이 필요하다. 이를 위해 우선적으로 IGBT 소자로 구성된 디지털 여자시스템의 분석을 통해 현장적용에 알맞은 디지털 여자시스템의 신뢰성, 안정성, 기능성을 갖춘 발전기 여자시스템을 개발하고자 한다.

위한 전력 변환기 그리고 전력계통 안전화 장치 등을 포함하고 있다. 여자 제어부는 여자 제어 기능과 계자 전류 제어의 안정화를 위한 내부 제어루프를 포함하는 캐스캐이드 제어를 행한다. 계자전류 제한 기능은 대전력 계통 해석에는 일반적으로 사용되지 않지만 속응 제한기를 사용하는 전압원 정지형 여자기의 모델에서 채용하고 있다.

2.2 사이리스터 초퍼방식과 IGBT 초퍼방식 비교

IGBT소자는 일반적으로 전기 모터 드라이버 소자로 널리 사용되고 있다. 기술의 발달로 인해 매우 신뢰성이 있는 부품으로 발전하고 있다. IGBT 모듈의 구성은 신뢰할 수 있는 절연소자이며 정상상태와 과도상태의 전류 분포가 정형화되어 있다. IGBT 초퍼방식은 지속적인 발전은 거대한 시스템에 적용되어지고 용량이 큰 드라이브 안정과 초퍼의 신뢰도를 향상시키고 있다.

1. 서 론

발전기 여자시스템의 기본 기능은 동기기의 계자권선에 직류 전류를 공급하는 기능으로서 계자전압을 조정하여 계자전류를 제어함으로써 전력계통의 만족스런 성능 구현에 필수적인 보호기능과 제어기능을 수행하는 것이다. 동기발전기의 관점에서 여자시스템은 동기발전기가 운전할 수 있는 범위 내에서의 출력 변화에 용하여 동기기의 계자전류를 자동제어 함으로써 단자전압을 유지할 수 있어야 하고, 발전기의 순간적이고 단시간에 부합하는 계자강화를 수행함으로써 과도적인 외란에 대응할 수 있어야 한다. 정지형 여자시스템은 발전기의 계자전류를 제어 정류기를 사용하여 직접 제어하기 때문에 속응 속도가 극히 빠르고 시스템의 구성이 간단하여 널리 채용되고 있다. 디지털 기술의 발전으로 발전소 핵심 제어설비는 많은 비용을 투자하지 않아도 설비를 다중화하여 내고장 설비를 구축하고 있는 추세에 있으나 제주화력 경우 단일 시스템 운전으로 사소한 고장시에도 발전소가 정지될 소지가 있다. 여자시스템 정류기를 사이리스터를 사용하지 않고 IGBT(Isolated Gate Bi-polar Transistor)를 사용한 초퍼방식으로 계자전류를 제어하는 특이한 모델을 사용하고 있어 연구가 필요한 실정이다.

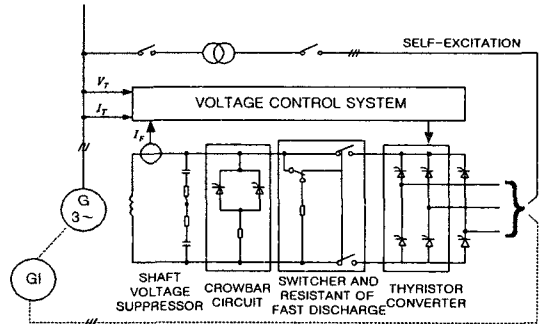


그림 1 사이리스터 초퍼방식의 여자시스템

2. 본 론

2.1 정지형 여자시스템의 특성

정지형 여자시스템은 발전기의 계자전류를 제어 정류기를 사용하여 직접 제어하기 때문에 속응 속도가 극히 빠르고 시스템 구성이 간단하여 널리 채용되고 있으나 자여식이기 때문에 전압 조정 범위에 한자를 갖는다. 정지형 여자시스템의 구성 요소로는 크게 여자용 변압기와 정류기, 제어장치 그리고 초기여자 회로로 구성되고 있다. 정지형 정류기는 슬립링을 통하여 발전기의 계자에 직접 계자전류를 공급한다. 정류기는 발전기 단자에 연결된 여자변압기를 이용하여 적절한 전압으로 강압된 전원을 공급받거나 동기발전기의 전기자 내 설치된 보조 권선이나 또는 발전소 내 보조 모선으로부터 전원을 공급받는다. 발전기 여자시스템의 구성은 단자전압 신호 변환기, 부하 보상기, 여자 제어부, 계자전류를 공급하기

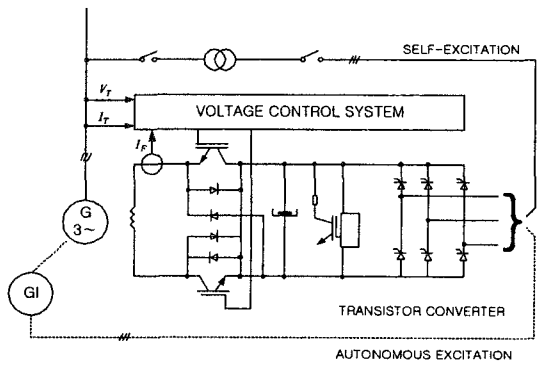


그림 2 IGBT 초퍼방식 여자시스템

2.2.1 여자 변압기(Excitation transformer)

여자변압기는 사이리스터 초퍼방식과 IGBT 초퍼방식

둘 다 발전기가 작동하는 동안 여자기 전원을 연속적으로 확보하도록 설계되어져 있다. 만약 전기적 전력시스템의 외란에 의해 여자 전원 확보에 어려움이 있을시 단시간에 여자 전류를 강제로 공급할 수 있어야 한다. 일반적으로 강제 계수는 2를 넘지 않는데 싸이리스터 여자 방식 여자 변압기는 IGBT 방식과 비교하여 소수의 강제 계수에서 동작한다.

2.2.2 여자회로의 과전압 보호

동기발전기 출력 측의 3상 단락, 동기탈조 등으로 발전기 계자 코일에는 큰 과전압이 발생된다. 이를 효과적으로 제한하지 못할 경우에는 계자 코일의 소손과 전력용 반도체와 다이오드에 과도한 역전압이 인가되어 손상을 입을 수 있다. 과전압 보호 형식은 정류기 정류 방식에 종속적이다. 6 싸이리스터 브릿지 시스템에서는 과전압 검출 및 전압 감쇄회로(FDR : Field Discharge Resistor)를 써서 과도전압을 억제시킨다. 이 회로를 크로바라 한다. 그러나 IGBT 초퍼방식 여자시스템에서 크로바라 필요없다. AC 전원이 턴오프될때 생기는 여자에너지는 충전할 수 있는 저항을 가진 콘덴서 배터리로 전달된다.

2.2.3 발전기 초기 여자회로

정지형 방식의 여자시스템은 초기 발전기 전압을 확립시켜 주는 설비가 있어야 한다. 대부분 발전소는 축전지를 이용한 직류전원 설비가 있기 때문에 이를 이용하는데 축전지 전원이 접지 방식이기 때문에 비접지 계자 회로에서는 초기여자 공급 중에는 계자접지 검출 계전기 기능을 잠시 정지시키는 방안이 필수이다. 보통 발전소에는 125[Vdc] 소내 축전지 설비가 있어서 소내 축전지를 직류전원으로 사용하고 이와 독립적으로 소내 교류전원을 변압기로 강압시켜 이를 정류해서 계자 전류를 공급하는 것이 일반적인 추세이다. 더욱이 IGBT 방식 여자시스템은 발전기 초기 여자를 확보하기 위해 외부 전원을 설치해야한다.

2.2.4 자동 전압 제어

동기발전기는 필수적으로 자동전압제어 갖추고 있으며, 새로운 여자시스템은 디지털 자동제어기들을 장치되어있는 추세이다. 자동전압제어기는 유효, 무효 보상의 기본적인 특성을 가지고 있으며 최소여자전류 제한기, 최대여자전류 제한기, 최대전기자전류 제한기, V/Hz 제한기, 계통안정화 장치들로 구성되어 있다. 자동 전압 제어기는 단일 또는 이중 채널로 할수 있으며 싸이리스터 초퍼방식은 공급되는 전압 컨버터의 AC 전압을 동기하여 임펄스의해 이행되고 IGBT 초퍼방식은 PWM(Pulse

width modulator)방식으로 이행된다.

2.2.5 동적 특성

정지형 여자시스템의 동적 특성들은 자동전압제어의 파라미터, 구조, 알고리즘, 시스템 구성 파라미터로 여자 시스템을 정의한다. 싸이리스터 초퍼방식과 IGBT 초퍼방식은 전력시스템 회로가 개방 또는 단락되는 경우를 제외하고는 부분적으로 동일하나 정지형 IGBT 여자 시스템은 발전기 여자 전압의 감소는 싸이리스터 초퍼방식보다 서서히 내려간다. 컨덴서 에너지는 여자 전압의 감소를 늦추고 발전기의 안정성에 영향을 준다.

2.3 제주화력 IGBT 초퍼식 여자시스템 분석

그림6는 IGBT 소자로 구성된 여자시스템으로 2상한 동작 모드로 동작하고 있다. 여자변압기와 다이오드 정류기를 통해 연결되어 있으며 발전기 여자 전류와 필요한 과잉여분의 양에 의존되어 IGBT 초퍼가 병렬로 연결되어 있다. IGBT 초퍼식 방식은 DC LINK, 출력 부분으로 구성되어 있다. DC LINK 부분은 AC 입력 범위는 90~275V, 주파수 360Hz의 PMG와 입력전원 이상시 125V 배터리로 부터 백업 전원을 필터하여 3상 다이오드 출력으로 결합되어 있다. 그들 전원소스들은 IGBT 초퍼 모듈의 DC LINK 부분 형태로 저항(R1)을 통해 전력 캐패시터들을 충전시킨다. DC LINK의 전압조절레벨의 코어 제어는 동적 방전회로에 의해 공급된다. 이 회로는 방전 저항(R3) 통해 초과 전력을 방출한다. 또한 전원보드로부터 전력이 공급이 중단되었을시에는 저항(R2)을 통해 전력이 재 공급된다. 출력부분은 IGBT 디바이스 부분으로 출력전압은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{OUTPUT} = V_{DCLINK} \times \left(\frac{timeon}{timeon + timeoff} \right) \quad (1)$$

IGBT 초퍼 주파수는 1000Hz로 동작하고 출력은 여자 계자에 의해 정해진 전압과 전류를 공급한다.

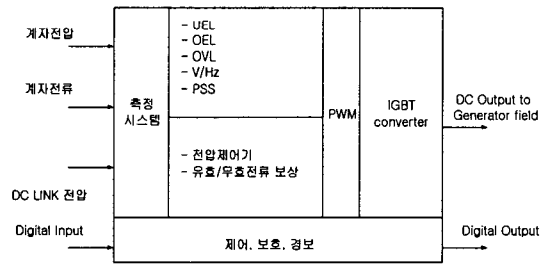


그림4 발전기 AVR제어기 블록도

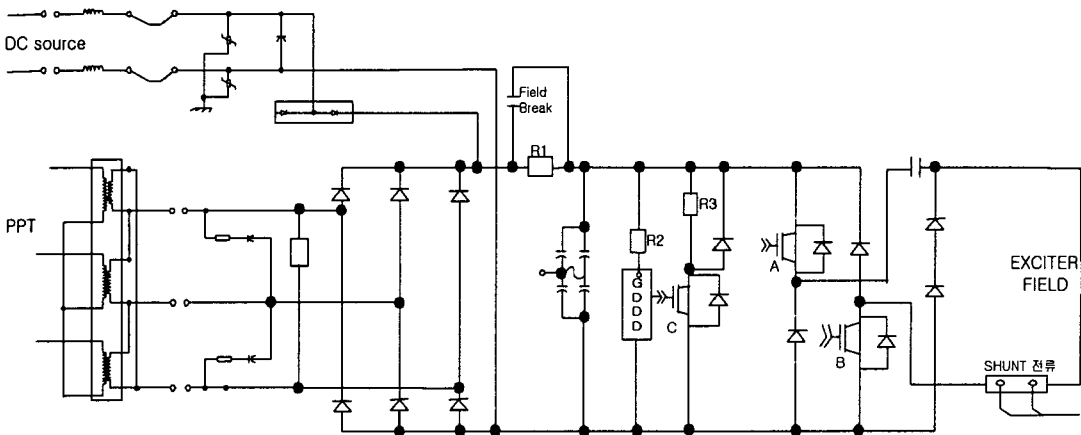


그림 3 제주화력 IGBT 초퍼방식 여자시스템 회로도

그림 4는 발전기 AVR의 전체적인 블록도를 나타낸다. 계자전압, 계자전류, DC LINK전압을 피드백 받아 제어기를 구성하여 PWM 방식의 출력을 IGBT 게이트에 점호시킨다.

2.4 제주화력 발전기 여자시스템 시험

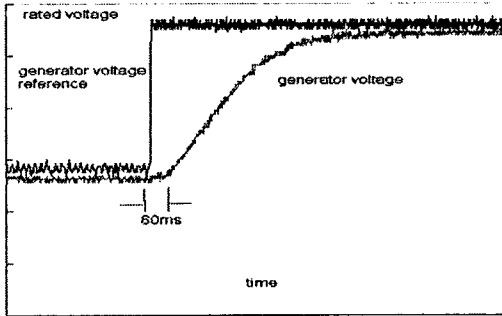


그림 5 3% Step Up 응답시험 결과

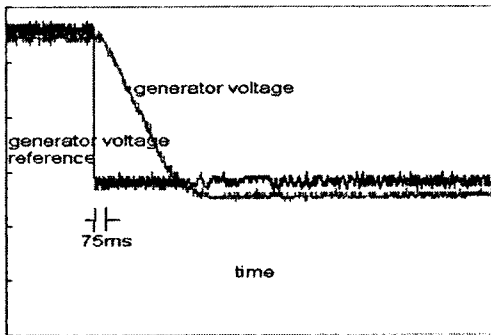


그림 6 3% Step Down 응답시험 결과

제주화력은 응답속도가 70~80ms 정도로 가지며, 발전기 전압의 3% Step Up/Down 응답속도시 발전기의 단자전압의 안정된 형태를 볼수 있다.

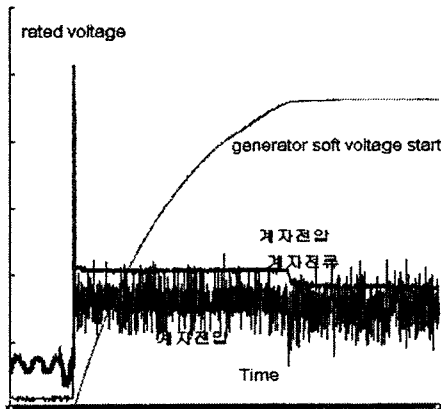


그림 7 발전기 전압 Build-up

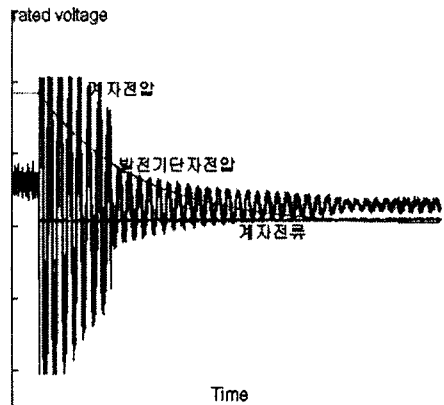


그림 8 계자차단시 파형

그림 7은 발전기 전압 Build-up시 발전기 단자전압과 계자전압, 계자전류의 특성을 나타낸 그림이다. 그림 8은 계자기 차단시 나타나는 그림으로써 발전기 단자전압이 오실레이터하면서 급격히 감소하는 형태를 알수 있다.

3. 결 론

제주화력은 국내 유일의 IGBT 초퍼방식의 여자시스템으로 구성되어 있어 신뢰성, 안정성 향상을 위해 연구가 필요한 실정이다. 지역적 특성에 있어 후비보호의 필요성이 있으며 사소한 고장으로 인해 전력계통 시스템에 나쁜 영향을 줄 수 있는 소지가 다분하여 시스템 개선에 필요하다. 따라서 IGBT 초퍼방식의 여자시스템의 특성 분석을 통하여 설비개선과 유지보수가 가능토록 하고 차후 디지털 다중화 설비 구축을 통해 기술확보와 고도의 안정성있는 여자시스템 연구개발에 지속적인 노력이 필요할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Kundur, "Power System Stability and Control," McGraw-Hill Inc., pp 318 ~ 375, 1994.
- [2] 류홍우, "동기발전기용 승강압 초퍼식 정지형 여자시스템에 관한 연구", 1996
- [3] 임익현, "동기 발전기 디지털 여자시스템 개발에 관한 연구", 2001
- [4] Gorislav Erceg, "Specific Applications of the Transistor Converter in Excitation Systems of Synchronous Generators", 2001
- [5] Li peng, "A Novel PWM Technique in Digital Control and Its Application to an Improved DC/DC Converter", IEEE, 2001