

전류 부스터 정류기를 갖는 정지형 여자시스템 특성 개선 연구

임익현*, 김장목*, 김경철**

*한국전력공사 전력연구원, **홍익대학교

The Current Boost Type Static Excitation Systems for Synchronous Generator

Ick-Hun Lim*, Jang-Mok Kim*, Kyung-Chul Kim**

*Korea Electric Power Research Institute, **Hong-ick University

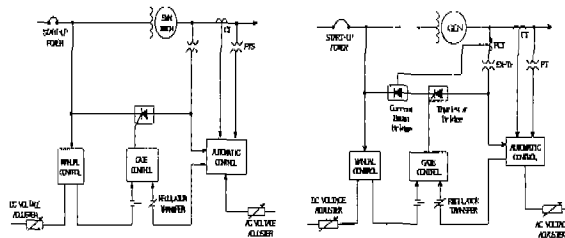
Abstract

The current boost type static excitation system for synchronous generator that can sustain proper output voltage level even at fault condition is proposed. The proposed excitation system is capable of supplying the ceiling field currents long as the input voltage level 60% of the rated voltage. The proposed system is verified and tested using computer simulations as well as load tests. The load tests are performed with a 5KVA synchronous generator driven by a ac motor. The actual tests results indicated a good performance.

I. 서론

발전기 여자시스템은 IEEE Std 421.5.1992 모델에 분류하면 9개 모델로 분류된다. 주로 사용되는 모델은 회전여자기 발전기가 주 발전기 축에 직결되어 회전하는 회전형[그림1(b)]과 발전기 자신의 출력단에서 여자용 변압기로 전압을 강하시킨 후 위상제어정류해서 발전기 계자회로에 직류전류를 공급하는 정지형 여자시스템[그림1(a)]이 있다. 회전형은 고속으로 회전하는 발전기축에 여자용 교류발전기를 직결함으로써 축이 길어져 축 진동에 취약하고 여자가 갖는 시정수 때문에 응답특성이 상대적으로 느리다. 또한 회전 기기이므로 유지보수에 시간과 인력이 많이 투입되며 효율이 떨어진다. 그러나 발전기축과 직결되어 있어 안정적인 기계적 에너지를 공급받기 때문에 여자전원 확보 측면에서는 가장 안정적인 방식이다.

정지형은 반도체 정류기가 출현하면서부터 많이 활용하게 되었다. 정지 기기로 고장율이 적고 유지보수가 간편하며 속응성이 매우 빠르다는 장점은 있으나 발전기 출력단에서의 전력계통사고시에 발전기 출력단에 연결된 여자변압기 입력전압이 낮아져서 문제가 된다. 따라서 위상제어 정류기가 제어점호 신호를 최대로 가해도 천장전압을 출력하지 못해서 발전기 계자강화 능력이 떨어진다. 정지형 여자시스템의 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문은 새로운 방식을 시도하였는데 3상 Full Bridge 다이오드 위상제어 정류기에다 전류 부스트 다이오드 정류기를 추가한 것이다. 전 부하 출력을 내고 있는 발전기에서 안정적인 계자전류 확보를 위한 발전기 전압 기준치는 정격전압의 64.1% 이상이다(1).



(a) 정지형 (b) 회전형

그림 1 : 일반 정지형과 회전형 여자시스템

이 값 이하로 3상 정류기 입력 단의 전압이 감소하면 발전기 정격전압 발생이 어려워지는 상황에 이르게 된다. 그래서 전류 Boosting 브리지를 추가해서 상기의 과도상황, 즉 발전기 전압은 떨어져 있어서

계자전류를 최대에 올려주어야 하는 시점에서 발전기 출력단의 전압이 강하되어 여자전원이 부족한 경우엔 전류 Boosting 브리지는 다이리스터 정류기에서 부족한 계자전류를 Boosting 함으로서 정지형 여자시스템의 능력을 크게 개선시킨 것이다[그림2].

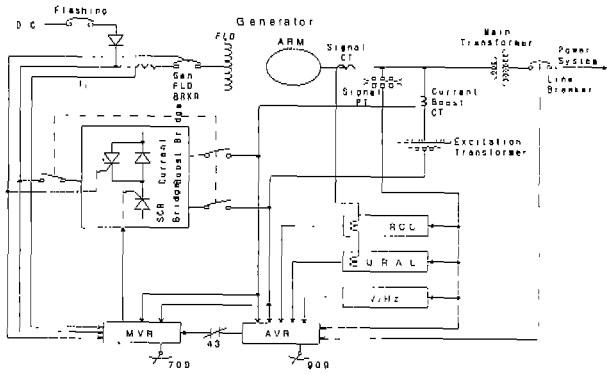


그림 2 전류 부스트형 정지형 여자시스템

II. 본론

1. Current Boosting의 목적

여자전원을 발전기 출력단에서 공급받는 정지형 여자시스템은 갑작스런 전력계통의 선로 고장으로 인한 발전단 전압의 급감은 여자시스템 전원의 붕괴를 의미한다. 그러나 여하한 경우에도 여자전류는 공급할 수 있어야 한다. 이러한 상황 속에서도 떨어진 발전기 단자전압을 급속히 회복시키기 위해서는 몇가지 방법이 제안될 수 있다.

첫째는 과도상황에서 추가로 필요한 여자전원을 별치형 축전지에서 따로 공급받는 경우이다. 정지형 여자시스템의 초기 여자전류 공급과 같이 SCR 위상제어 정류기 출력단에 병렬로 공급토록 하는 것이다.

둘째는 복권형 여자시스템이다. 발전기 출력단의 부하전류에 비례하게 여자전류를 공급할 수 있도록 출력단에 전류포화변성기를 연결해서 60% 이상의 여자전원을 전류원으로 확보하고, 나머지는 발전기 출력단에 여자변압기(Power Potential Transformer)를 설치하여 전류원과 전압원을 합산시켜 발전기 계자에 공급하는 모델이다.

셋째는 본 논문에서 제안하는 방식이다. 발전기 전압이 정상상태에 있을 때는 발전기 출력전압을 적정값으로 강하시켜 다이리스터에서 정류해서 발전기 계

자코일에 공급하다가 선로고장으로 발전기 출력단의 전압이 비정상적으로 낮아질 경우에는 전류 부스터 브릿지가 부족한 여자전류를 공급하는 방식이다.

계통단락이나 계통접지와 같은 선로고장이 발생의 확률은 매우 낮지만, 이러한 적은 발생 확률 속에서도 발전소 시스템을 무정지로 안정되게 운전하기 위해서는 대비책이 필요하다. 상대적으로 다른 설비에 비해서 이용 빈도수가 매우 낮으므로 시스템을 단순화하고 간단히 하면서, 유지보수가 거의 필요 없는 설계 개념을 가져야 한다. 그리고 제작하는데 또는 설치하는 비용이 적어야 한다. 이러한 관점에서 상기의 3가지 모델을 서로 비교했을 때는 세 번째의 방법이 가장 유리하고 할 수 있을 것이다. 첫 번째 방안은 대전류 용량의 축전설비와 차단기 등을 구비해야 하기 때문에 비경제적이고 두 번째 방안은 발전기 출력단에 포화형 전류변성기를 설치하고 대용량의 리액터를 전압원과 전류원사이에 구성해야하는 문제를 쉽게 해결할 수 없다. 그러나 세 번째 전류 부스팅 방식은 구조가 비교적 간단하며 설치공간이 작으며 다이오드 정류기만을 추가하고 상대적으로 작은 포화용 전류변성기를 여자변압기 1차측에 설치해서 정지형 여자시스템이 갖는 최대의 단점을 간단히 해결할 수 있다.

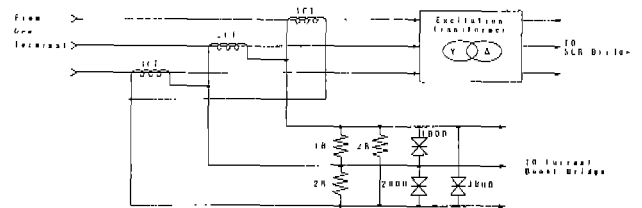


그림3 전류변성기 결선도

2. 전류 부스터 시스템의 용량 결정

정지형 여자시스템에서 여자전류를 공급하는 설비의 용량결정에는 계통의 과도 안정도 증진을 목적으로 발전기 정격 계자전류의 1.6배 전류를 공급할 수 있도록 여자변압기 및 제어 정류기를 설계한다. 위상 제어정류기 정류각 여유와 선로 전압 강하 등을 고려해서 여자변압기의 2차 전압 또한 결정한다.

$$V_2 = \frac{\pi(V_P \times V_{FB} + V_{FD})}{3\sqrt{2} \times ((1 + \cos \alpha)/2 - 1/2 \times I_Z)} \quad (1)$$

여기서,

V_2 = 변압기 2차 전압, V_P = 정상전압 V_{FB} = V_P 를 지정할 때의 기준전압, α = 최대출력 점호각,

V_{FD} = 주회로 케이블 및 기타전압강하, I_z =여자변압기 임피던스, $\frac{\pi}{3\sqrt{2}}$ = 3상컨버터 AC입력과 DC출력사이 계수

계통에서 단락이 발생하면 발전기 출력단의 전압은 단락지점으로부터의 선로 임피던스 분포에 비례해서 전압강하가 일어날 것이다. 발전기 전압 하강에 비례해서 여자변압기 2차전압 또한 감소함으로 다이리스터 위상제어 정류기를 최대 값으로 정류한다고 해도 1.6배의 전류는 공급할 수 없을 것이다. 발표된 논문과 실험을 통해서 확인한 결과, 시스템 설계에 따라 다소의 차이는 있을 수 있으나 정지형 여자시스템의 발전기 전압강하 허용 범위는 정격전압의 60% 근방이다. 자동전압조정장치는 강하된 발전기 전압을 정상 치로 회복시키기 위해서 다이리스터의 제어정류각을 최대로 열 어 계자전류는 크게 증가하게 될 것이다. 그러나 이 때의 전류는 발전기 단자전압이 정격값을 기준으로 해서 설계한 천장전류(Ceiling Current)에는 크게 부족한 값일 수밖에 없다. 따라서 별도의 계자전류를 추가 공급할 능력이 없다면 발전기 전압은 회복되지 못한다. 따라서 Current boost diode bridge(CBDB)에서 공급해야하는 여자전류는 정격 계자전류의 1.6배 전류값($I_{1.6}$)에서 여자변압기 2차 전압이 정격전압의 60%이고 이때 SCR 위상제어 정류기가 Full Firing을 할 때의 전류값(I_{60MAX})을 뺀 값을 공급할 수 있는 능력을 가져야한다. 즉 여자변압기 2차 전압이 정격 치의 60%이고 SCR 제어정류기가 Full Firing을 할 때에 변압기 일차에 흐르는 전류와 상기에서 필요로 하는 전류를 함수로 해서 부스트 전류변성기의 전류용량(I)을 결정해야만 한다.

$$I_{BT} = I_{1.6} - I_{60MAX} \quad (2)$$

$$I = x \cdot I_{BT} \quad (3)$$

3. 전류 부스팅 회로 구성 및 동작원리

Current Boost 브릿지의 시스템 구성은 통상의 정지형 여자시스템에 몇 가지 부품을 추가하는데 그림에서와 같이 여자변압기 일차측 각 선로상에 3상으로 전력용 포화전류변성기를 설치하고 이 출력을 저항부하에 연결하여 전류원을 전압원으로 바꾼다. 전압원으로 바뀐 부분에 3상전파 다이오드 정류기 브리지에 연결한다. 다이오드 브리지는 다이리스터 위상제어정류기 정극(+)쪽 버스에 연결한다. 음극(-)쪽

개별 다이오드 브리지에는 Static Switch인 다이리스터를 역방향으로 연결한다. 발전기 전압이 정상상태에서는 Static Switch가 열려있어서 전류 부스트 기능이 막혀져 있다가 발전기 전압이 일정치 이하(정격값의 60%)로 강하시느 Static Switch가 닫혀서 전류 부스터에서 발전기 계자전류를 공급하게된다. 정상 상태에서는 발전기 전압유지는 다이리스터 위상제어 정류기에서 제어를 담당해서 수행하는데 이때 필요한 계자전류는 CBDB를 단순히 통과만 한다. 즉 CBDB는 다이리스터 위상제어 정류기에서 만들어낸 계자전류의 통로 역할만을 담당한다. 전류 부스트 전류(Current boost Current : CBC) 또한 CBDB내에서만 흐른다. CBC값이 계자전류값보다 작으면 다이리스터 위상제어 정류기에서 추가의 여자 전류를 CBDB를 통과해서 공급한다. 이러한 정상 상태 부하 조건하에서 브리지간 전압은 직렬 연결된 2개의 다이오드에서 정방향 전압강하만 있다. SCR 정류기는 제어상태에 있으며 회로내의 CBDB 존재에 의해서 영향을 받지 않는다.

정상운전 : 발전기 전압이 정격치의 60% 이상일 때다. 즉 Static Switch인 싸이리스터가 도통상태에 있는 상태로 이때는 전류 부스터 브리지의 전류는 브리지내에서 순환 만하고 밖으로는 흐르지 않는 것이다. 각각의 6개 다이오드에 흐르는 전류는 언제나 정극성이고, 영이 아니다. 그러나 발전기가 초기 전압 형성 과정에서, 즉 계통에 연계되지 않은 Off Line 상태에서는 전류 부스트 기능이 동작하지 않아야 한다. 만약 이 때 부스트 기능이 동작하면 발전기 전압의 유연한 상승(Soft Build-up)이 이루어 지지 않을 수 있다.

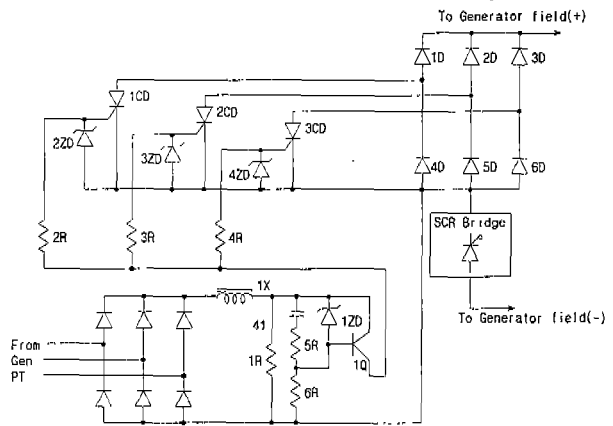


그림4 전류 부스터와 Static Switch

Current Boost Operation

계통의 전로사고시 발전기 전압이 60% 이하로 하강하면, 발전기 자동전압조정장치, 즉 여자시스템 제어기는 SCR 정류기를 최대 출력을 내도록 위상제어 신호를 내보내게 될 것이고 여자변압기 일차 측의 전류도 이에 따라서 증가하게 될 것이다. 한편 Static Switch 제어회로는 스위치를 닫는다. 스위치가 닫히자마자 전류 부스트 정류기는 동작을 시작해서 정류된 부스트 전류가 발전기 계자코일에 SCR 브릿지 전류와 합산되어져서 발전기 전압을 회복시키게 될 것이다. 다시 발전기 전압이 80% 이상 회복되면 Static Switch를 열어서 전류 부스트 기능을 정지하고 발전기 계자전류공급 임무를 SCR 브리지에 전적으로 넘겨준다. 여기서 강조하고자 하는 점은 전류포화 변성기는 결코 부하가 없어지지 않아야 한다는 것이다. 그들은 단락이 되거나 아니면 발전기 계자에 전력을 공급하거나 한다는 것이다.

4. Static Switch의 구성 및 동작원리

Static Switch는 정상 운전 하에서 다이리스터 브리지와 다이오드 브리지 사이에서의 양립성을 확실하게 하기 위해 사용되었다. Static Switch의 주요 구성부품은 CBDB의 음극 버스쪽 다이오드에 각각 역극성으로 병렬 연결된 3개의 SCR들이다. 이 SCR은 발전기 정격전압이 0.6 P.U를 넘으면 계속해서 점호문이 열려있다. 발전기 전압이 0.6 P.U 아래로 내려가면 SCR의 점호문이 닫힌다. Static Switch가 닫히면 전류 부스트 브리지에는 출력전압이 형성되는 조건이 허용되는 것이다. SCR 게이트의 닫힘과 동시에 부극쪽 버스 다이오드들은 전류 부스트 전류변성기의 전류 크기에 관계없이 전류가 흐를 수 있는 순환통로를 제공한다. Static Switch용 점호회로 전원은 발전기 출력 단자로부터 받는다. 발전기 전압은 발전기 전압변성기를 통해서 다이오드 정류기로 공급된다. 출력전압은 정류 다이오드는 X1D ~ X6D에서 정류되고 초크코일 1X, 저항 1R에서 평활 된다. 평활된 직류는 Static Switch 제어 모듈로 입력된다. 제어모듈은 입력받은 전압이 발전기 정격의 60% 이하이면 절연된 점호펄스용 트랜스포머를 통해서 SCR을 닫기 위해 점호신호를 없애주고 80% 이상에서는 점호신호를 계속해서 발생시켜 SCR을 열어둔다. 개별 SCR gate 저항 (RS2R, RS3R, RS4R)과 안전한 SCR 점호 전압을 만들어 주는 SCR gate 제너 다이오드

(RS2ZD, RS3ZD, RS4ZD)에서 최종 SCR, 즉 Static Switch gate로 점호 신호가 공급된다.

III 모의시험

터빈발전기를 모의한 가변속 전동기로 구동되는 5KW 동기발전기에서 전류 부스트 기능을 시험하였다. 시험조건은 발전기 출력 모의송전선로의 단락용량이 불충분하여 발전기 부하를 무부하에서 60% 부하까지 계단으로 올리면서 발전기 출력단의 전압회복능력을 시험하였다. 부스터가 없을 때보다 있을 때가 전압하강폭이 1/3로 전압회복능력은 는 양호함.

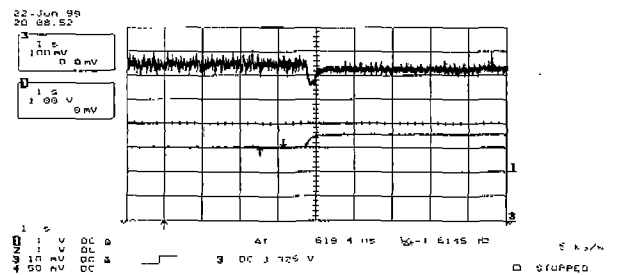


그림5 전류 부스터 동작시 발전기 출력전압 과 전류

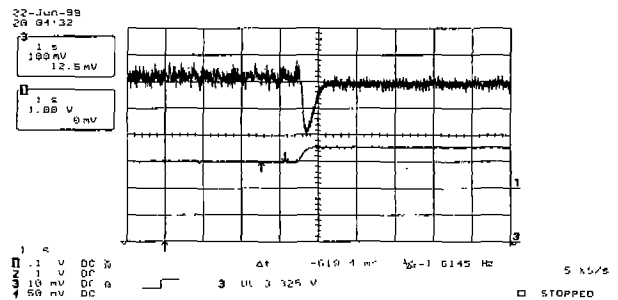


그림6 전류 부스터 없을 때 발전기 출력전압 과 전류

참고 문헌

- [1] Hong-Woo Rhew, Chang-Ki Jeong. A BOOST-BUCK CHOPPER TYPE STATIC EXCITATION SYSTEM FOR SYNCHRONOUS GENERATOR. Trondheim, Norway, September 8-10, 1997, pp.2664-2669
- [2] IEEE Std 421.5-1992, IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies
- [3] GEK-14870C ALTERREX EXCITATION SYSTEM STATIC CONTROL
- [4] P.M. Anderson and A.A. Fouad, "Power System Control and Stability," The Iowa State University Press U. S. A., 1977.