

대형 동기 발전기 계자제어를 위한 PWM 인버터에 관한 연구

류호선, 이주현, 임익현
전력연구원

A Study of PWM Inverter for Field Control on Large Synchronous Generator

Ryu Ho-Seon, Lee Joo-Hyun, Lim Ick-Hun
KEPRI(Koera Electric Power Research Institute)

Abstract - For the life extension of Jeju thermal power plant, digital PWM excitation system was replaced by KEPRI. This system consist of TMR(Triple Modular Redundant) controller, dual PWM power inverter for field current control and MMI etc. The Performance test during the commissioning verified the reliability of digital PWM excitation system and recently, this system has been operated successfully.

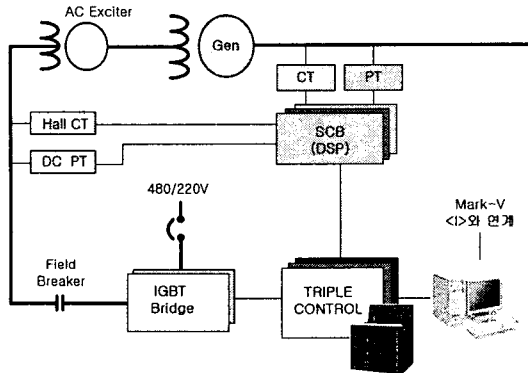
1. 서 론

첨단 디지털 기술의 발전으로 발전소 핵심제어 설비를 다중화 하여 내고장 설비로 구축하고 있는 것이 최근 기술의 추세이나, 내구 년수 10~20년 이상 운전한 국내 발전설비 일부는 후비보호 시스템 이 취약하여 사소한 제어카드 1개 고장으로 인한 과급효과가 크게 발생되어 발전소가 정지되는 경우가 종종 발생하고 있다. 연구원은 이러한 현상을 방지하기 위해 발전기의 중요 제어요소인 계자전류를 제어하는 여자시스템의 전력 변환부를 이중함은 물론 지금까지의 여자시스템 제어 정류기는 통상의 컨버터 방식인 싸이리스터 위상제어 정류기를 사용하고 있었으나, IGBT(Insulated Gate Bi-polar Transistors)를 사용한 초퍼방식 방식의 인버터를 이용하여 동기 발전기 계자전류를 제어함으로써 회전형 여자시스템의 속응성을 향상시킬 수 있었고 실제 제주화력 2호기 발전기에 현장 적용하여 성능 평가를 함으로써 제어기능을 확인할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 발전기 계자전류 제어 위한 PWM 인버터 구성도

대상발전소인 제주화력 발전소의 발전기 제어시스템은 Brushless 방식의 간접 여자시스템으로 제어기는 삼중화, PWM 인버터 전력 변환부를 이중화 시스템으로 구성하였다. PWM 인버터 전력변환부는 입력 전원부(480/220V), DC link 그리고 변환 출력부로 이루어져 있는데, 인버터 출력 전압은 DC Link 전압을 가지고 펄스(Pulse) 폭으로 IGBT를 통해 조정된다. IGBT Chopping 주파수는 대략 1kHz이다. 이 출력은 조절된 전압과 전류로서 회전 여자기 계자로 공급되고 이를 통해 발전기 출력전압을 제어하게 된다.

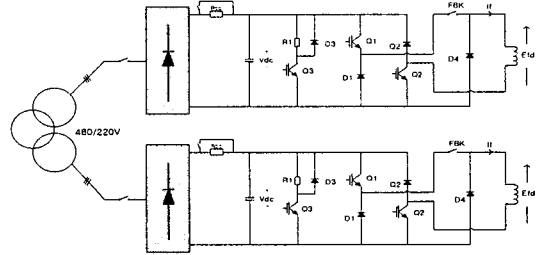


〈그림 1〉 발전기 계자제어를 위한 PWM 인버터 구성도

2.2 계자전류 제어 위한 이중화 PWM 인버터

〈그림 2〉는 이중화 PWM 인버터를 나타내고 있다. 입력 전압은 발전소 중요 전원인 480V를 입력받아 사용하고, 입출력 절연을 위하여 여자변압기가 사용되었다. 입력 변압에는 여러 탭이 있어 현장 여건에 맞추어서 전압조절이 가능하도록 설계 하였다. 변압기 2차전압은 다시 다이오드 전파정류기로 DC로 변화되어 Q1, Q2의 스위칭 모드에 따라서 계자에 파워를 공급하게 된다. Q3의 역할은 DC 링크단의 과전압 억제 보호기로 동작된다. 그림에서 볼 수 있듯이 2개의 PWM 인버터가 서로 간섭을 주지 않게 하기 위하여 입력 전원이 절연되었고, 계자전선에는 각각 비상시 차단할 수 있게 차단

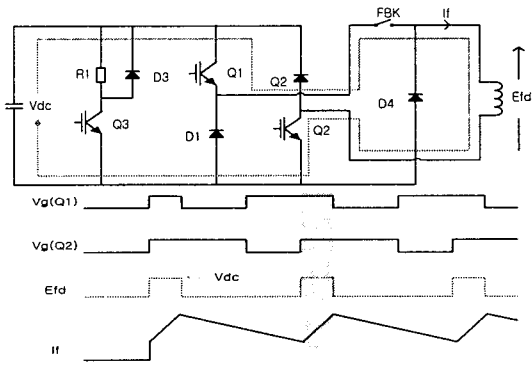
기가 설치 되어 있다.



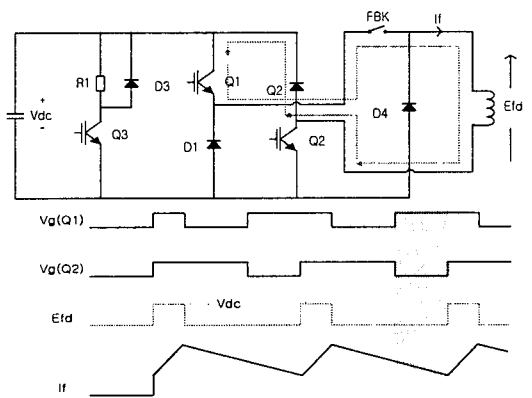
〈그림 2〉 계자전류 제어 위한 이중화 PWM 인버터

2.3 계자전류 제어 위한 PWM 인버터 운전모드

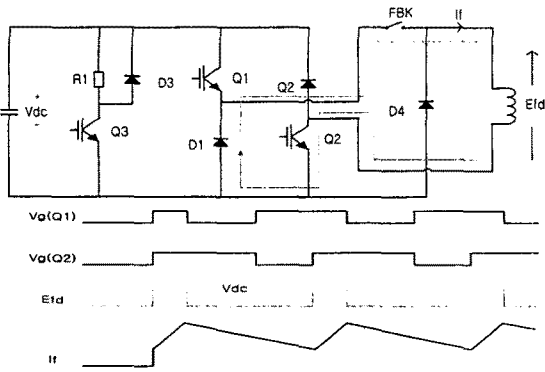
계자전류 제어 위한 PWM 인버터의 운전모드별 파형은 초퍼형 컨버터와 유사한 파형을 나타낸다. 〈그림 3〉은 Q1과 Q2 소자가 동시에 ON 되었을 때의 계자전압과 계자전류 파형을 나타내고 있다. 계자전압은 DC 링크 전압의 초핑 파형이 되며, 전류는 발전기 계자의 리액터 성분 때문에 평활된 DC전류가 된다. 〈그림 4〉와 〈그림 5〉는 프리휠링 모드로 Q1 또는 Q2 중 하나의 소자만 ON 되었을 때 다이오드를 통하여 계자에는 파워가 계속 공급된다. 〈그림 6〉은 발전기의 계자차단기를 개방하였을 때 다이오드 통하여 회생모드가 동작되는 파형을 나타내고 있다. 계자차단기가 오동작으로 개방되지 않았을 때도 IGBT 게이트 신호를 OFF 시키면 에너지가 회생하여 발전기 계자전류가 감소됨을 알 수 있다.



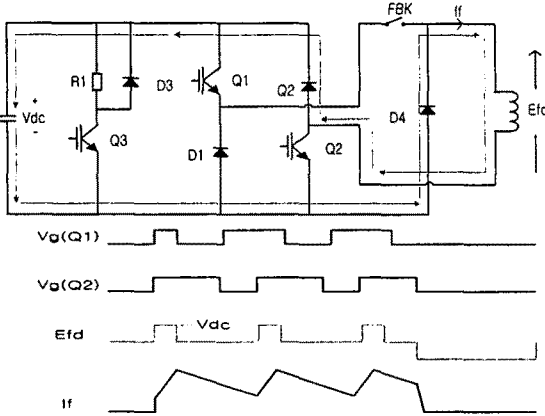
〈그림 3〉 순방향 전력모드(Q1 and Q2 ON)



〈그림 4〉 프리휠링 모드(Q1 ON and Q2 OFF)



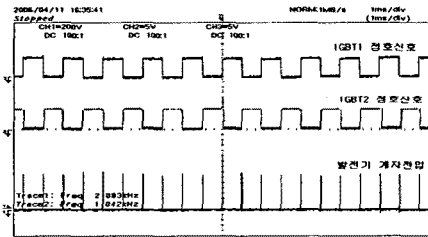
<그림 5> 프리휠링 모드(Q1 OFF and Q2 ON)



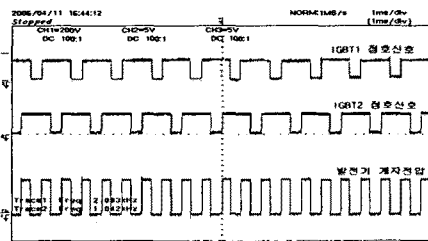
<그림 6> 회생 모드(Q1 OFF and Q2 OFF)

2.4 삼중화 제어기 출력에 따른 계자 전압의 실속 변화과정

<그림 7-8>은 삼중화 디지털 여자시스템의 제어신호(4-20mA)에 따른 Q1,Q2 IGBT 게이트 파형과 계자전압(Efd)를 나타내고 있다. 20mA일때 계자 전압이 완전 DC 전압이 되지 않게 게인값과 리미트 값을 설정하여 입력DC 링크전압에 대하여 50-60%를 넘지 않게 설계하였다.



<그림 7> 제어신호 4mA 일때 Q1, Q2 점호신호와 계자전압



<그림 8> 제어신호 20mA 일때 Q1, Q2 점호신호와 계자전압

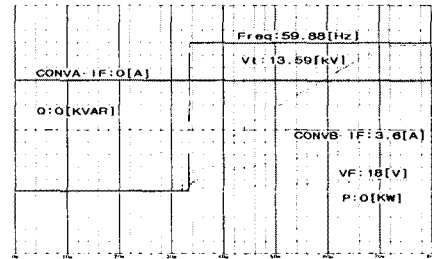
2.5 제주화력 2호기 시운전 결과

제주화력 2호기는 제주도의 전체발전량의 1/4을 담당하는 코어 발전소이다. 06년 4월에 실시된 시운전은 HVDC의 연계선 고장으로 그 중요성이 상당히 커진 상태에서 시험이 실시되어 고장을 방지하기 위한 모든 데이터 수집이 가능하였다. <그림 9>는 발전기 초기 여자확립 과정으로 여자시스템 제어기의 소프트 전압확립 프로그램에 따라서 자동기동 되어 13.59kV까지 상승함을 알 수 있다. 계통병입을 하기 위해서는 자동계통병입 장치가

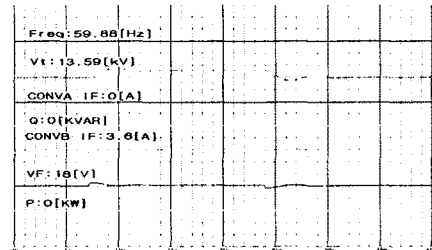
자동동작 하는데 계통전압을 발전기 전압과 동일하게 유지한 후에 병입된다. <그림 10>은 여자시스템 소신호 시험항목 중 가장 중요한 스텝 시험과형이다. 여자시스템 제어기 게인 값은 ($K_p : 1.0, K_i : 0.5$)로 조정된 후 시험을 실시하였고, 발전기 전압의 5% 스텝시험이다. <그림 11>은 계통병입시의 파형을 나타내고 있다. 계통병입시 유효/무효전력이 계통과 연계되어 상승됨을 알 수 있다.

<표 1> 제주화력 발전기 사양

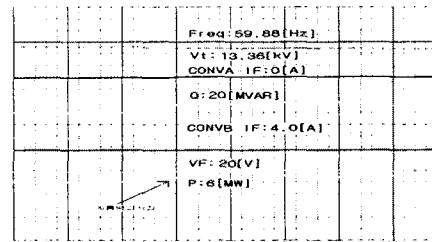
정격용량	100MVA
정격전압 및 주파수	13.8kV, 60Hz
정격계자전압 및 전류	136V, 846A,
역률	0.85



<그림 9> 발전기 전압 초기기동시의 발전기 전압, 계자전압/전류, 주파수 파형



<그림 10> 무부하 스텝 시험시 발전기 전압, 계자전압/전류, 주파수 파형



<그림 11> 계통병입시 발전기 전압, 무효/유효전력, 계자전압/전류, 주파수 파형

3. 결 론

제주화력에 적용된 PWM 인버터형 디지털 여자시스템은 선진 외국 제작사 기술에 전적으로 의존하고 있는 것을 순수 국내 기술로 개발하였다는데 의미가 있다. 시스템의 구성을 삼중화 제어기와 이중화된 인버터 시스템으로 구성하여 설비의 신뢰도를 높였으며, 운전의 편의성과 기능개선으로 현장 직원들로부터 많은 관심과 좋은 반응을 받았다. 적용된 발전기 제어시스템의 현장적용을 통하여 확보한 기술은 외국 기술의 의존도가 높은 여타 제어시스템의 국산화 및 제작 기술향상과 향후 전력수용의 증가에 따른 국내 발전소 증설과 장기 사용 발전소의 교체시에 외산대비 투자비 절감에 기여할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] General Electric, EX-2000 Digital Exciter User Manual, 1997
- [2] KDR2000 Digital Excitation System Manual, 전력연구원, 2000
- [3] 임익현, 이주현 류호선 외 "발전기용 다중화 정지형 디지털 여자시스템 개발" 최종보고서, 전력연구원
- [4] 임익현, "동기발전기 디지털 여자시스템 개발에 관한 연구", 전력연구원, 2001