

# 4Q Local Controller for the ITER CS, VS1, CC AC/DC Converter

서재학, 오종석, 김봉철, 최정완, 신현국, 유민호\*, 박형진\*, 조성만\*, 김창우\*, 이운성\*  
 국가핵융합연구소, 다윈시스

## 4Q Local Controller for the ITER CS, VS1, CC AC/DC Converter

J.H. Suh, M.H. Yoo\*, J.S. Oh, B.C Kim, J.W. Choi, H.K Shin, H.J. Park\*, S.M. Jo\*. C.W. Kim\*, Y.S, Lee\*  
 National Fusion Research Institute, Dawonsys\*

### ABSTRACT

4Quadrant 동작하는 ITER CS, VS1, CC AC/DC Converter Local Controller는 전압제어 모드로 동작하며 초전도 코일에 제어된 전류를 충전, 유지, 방전하며 제어기 내외부 조건에 의한 보호 동작이 요구된다. 코일 전류가 제로 영역에 있을 때 플라즈마 붕괴로 인한 코일 전류 blocking을 방지하기 위한 순환전류 모드가 요구되며 코일 전류에 따른 컨버터 브릿지의 동작모드가 결정된다. 본 논문은 RTDS를 이용하여 제어기의 성능을 검증한 내용을 논의하고자 한다.

### 1. ITER 4Q AC/DC Converter 구조

그림 1은 ITER 4Q AC/DC 컨버터 구조 (CS, VS1, CC)를 나타낸다. 초전도 코일에 양방향으로 전류를 충전, 유지, 방전하기 위하여 30도 위상차이를 갖는 2대의 3상 변압기는 Forward/ Reverse 6pulse SCR Bridge에 접속되고 부하전류에 따라 6pulse, 12pulse 동작을 한다. CS 컨버터의 정격은 ±1050V, ±45000A이고 VS1은 ±1050V, ±22500A이다. CS 컨버터는 5종류가 있으며 1직렬, 2직렬, 4직렬 구조가 있고 VS1 컨버터는 2직렬, 6직렬 구조가 있다.

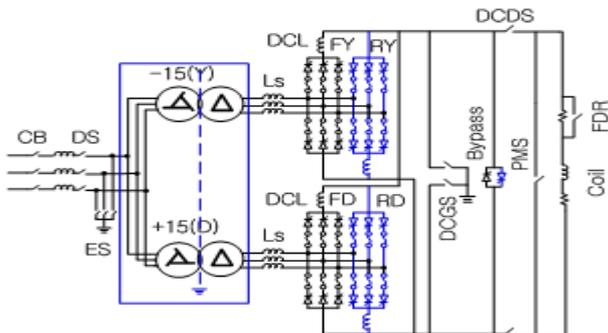


그림 1 ITER 4Q AC/DC 컨버터 구조 (CS, VS1, CC)  
 Fig. 1 Configuration of ITER 4Q AC/DC converter(CS, VS1, CC)

VS1 컨버터의 출력 전압 응답도는 +1050V에서 -1050V로 출력 전압이 20ms 시간내에 변화가 요구된다. VS1 컨버터는 단일 4Q 컨버터내의 2대의 변압기는 동위상이고 2직렬 모드가 되면 12pulse 구조가 된다.

그림 1의 ITER 4Q AC/DC 컨버터 구조 (CS, VS1, CC)에서 이들 4조의 6pulse Bridge는 그림2에서 정의된 부하 전류에

따른 동작 모드에 따라 on/off 하면서 4상한 동작을 하게 된다. 그림 2는 4Q AC/DC 컨버터 동작 모드 (CS, VS1, CC)를 나타낸 것으로 각 Bridge 전류 값이 낮은 상태에서 토카막 플라즈마 전류 붕괴로부터 컨버터 전류 blocking을 방지하기 위하여 Bridge 전류는 일정 값 이상이 항상 유지가 되도록 순환전류 제어 한다. 부하전류는 제로 영역에서 정역 동작을 할 때 끊어짐이 없이 부드럽게 천이 되도록 각 브리지의 동작모드는 순환전류, 6pulse, 12pulse 모드 제어 한다.

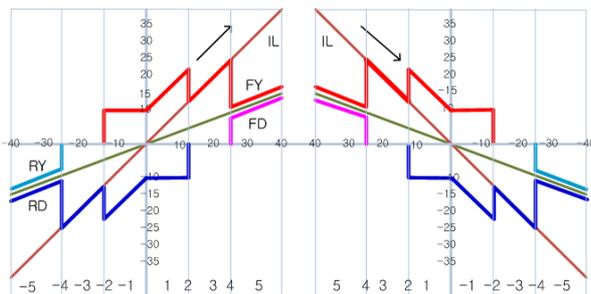


그림 2 4Q AC/DC 컨버터 동작 모드 (CS, VS1, CC)  
 Fig.2 Operation mode of ITER 4Q AC/DC converter(CS, VS1, CC)

그림3은 ITER 4Q AC/DC converter(CS, VS1, CC) Local Controller를 나타낸다. Full embedded로 개발된 Sequential,Alpha, ADC제어기의 Main Processor는 Xilinx ZYNQ7045를 사용한다. .

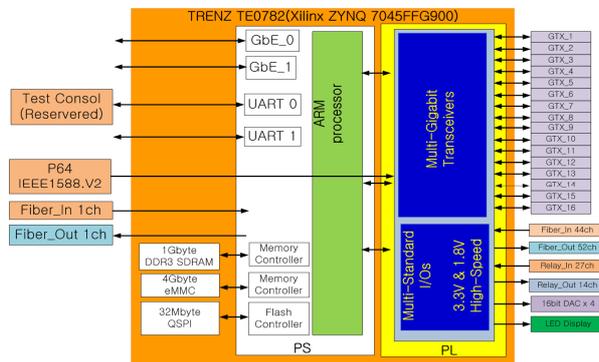


그림 3 ITER AC/DC 컨버터 Local Controller(CS, VS1, CC)  
 Fig.3 Local Controller of ITER AC/DC converter(CS, VS1, CC)

## 2. CS 4Q AC/DC Converter 실험결과

### 2.1 CS AC/DC Converter 4Q operation

그림 4는 CS AC/DC 컨버터 4상한 동작을 검증하기 위하여 RTDS에서 동작한 파형으로 그림2에서 정의한 profile 형태로 동작함을 알 수 있다. 이 때 컨버터는 출력 전압 전압 명령을 ( $\pm 1050V$ ) 추종 제어한 것으로 하단 파형은 컨버터 출력 전압을 나타내고 상단에는 4개의 Bridge 전류와 부하전류를 나타낸다. 전원 장치의 초기 동작 모드에서 FY Bridge가 동작하고 전압 명령이 들어오는 시점에서 FY, RD 브릿지가 순환전류 동작하고 이어서 6pulse, 12pulse mode로 부하전류에 따라 mode가 결정되어 전압명령을 추종하다가 운전 종료 명령을 받으면 초진도 코일 전류를 감소시킨 파형이다.

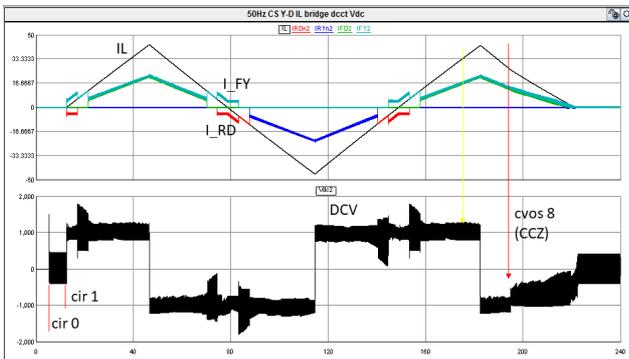


그림 4 CS AC/DC 컨버터 4상한 RTDS 동작 파형  
Fig. 4 RTDS Waveform of CS AC/DC Converter 4Q operation

### 2.2 CS AC/DC Converter Voltage reponse

그림 5는 CS AC/DC 컨버터 전압 응답도 RTDS 동작 파형을 나타낸 것으로 부하전류가  $+45kA$  도달한 지점에서(보라색) 전압 명령이  $+1050V$ 에서  $-1050V$ 로 step 변경된 경우(하늘색) 실제 출력 전압은 20ms 시간에서  $+1050V$ 에서  $-1050V$ 로(녹색) 출력한 것을 나타낸다. 이 파형은 그림 2의 4Q AC/DC 컨버터가 +5 모드에서 동작 하고 있다.

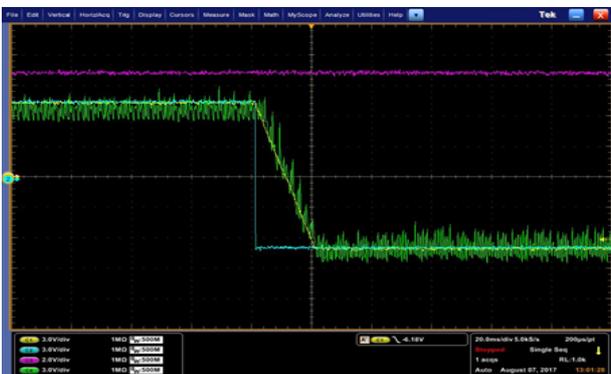


그림 5 CS AC/DC 컨버터전압 응답도 RTDS 동작 파형\_A  
Fig. 5 RTDS Waveform of CS AC/DC Converter Voltage response\_A

그림 6은 CS AC/DC 컨버터 전압 응답도 RTDS 동작 파형을 나타낸 것으로 부하전류가  $-45kA$  도달한 지점에서(보라색) 전압 명령이  $-1050V$ 에서  $+1050V$ 로 step

변경된 경우(하늘색) 실제 출력 전압은 20ms 시간에서  $-1050V$ 에서  $+1050V$ 로(녹색) 출력한 것을 나타낸다. 이 파형은 그림 2의 4Q AC/DC 컨버터는 -5 모드에서 동작 하고 있다.



그림 6 CS AC/DC 컨버터전압 응답도 RTDS 동작 파형\_B  
Fig. 6 RTDS Waveform of CS AC/DC Converter Voltage response\_B

## 3. 결론

본 논문은 개발된 ITER 4Q AC/DC Converter (CS, VS1, CC)제어기 Hardware, Software 검증을 위하여 RTDS를 이용하여 시험된 내용으로 토카막 운전에서 요구하는 전압제어 모드로 4Q 동작과 전압응답 특성이 요구사항에 부합함을 시험한 것으로 또한 제어기의 장시간 신뢰도 시험도 수행 되었으며, 직렬 컨버터 제어는 추 후 수행할 예정이다.

“이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국책연구사업(No. 2007-2006995)의 연구결과임”

## 참고 문헌

- [1] 서재학, “Status of Local Controller for the ITER AC/DC Converter”, 2017 추계전력전자학회.
- [2] 서재학, “ITER 전원장치 Local Controller Design Status Summary”, 2016 추계전력전자학회.
- [3] 서재학, “ITER AC/DC Converter Control 검증을 위한 Hardware-in-the-Loop Simulation(HILS) System 구축 및 실험”, 2015 추계전력전자학회, pp.221-222.
- [4] 조현식, “국제핵융합실험로용 VS(Vertical Stabilization) 컨버터의 운전모드 및 보호동작”, KIPE, Vol. 20, No. 2 April 2015.
- [5] 조종민, “FPGA를 이용한 DSC-PLL 설계 및 실험”, 2014 하계전력전자학회.
- [6] 오종석, “Final Design of the Korean Procurement Package of AC/DC”, 2SOFT 2014, 2014년 10월.
- [7] J.H.Suh, J.S.Oh, J.Choi, J.Goff, J.Tao, E.H.Song, P.Fu, G.S.Lee, K.S.Eom “KOREAN R&D ON THE CONVERTER CONTROLLER FOR ITER AC/DC CONVERTERS”, SOFE 2011