

2Q Local Controller for the ITER TF AC/DC Converter

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

2Q Local Controller for the ITER TF 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

ITER TF AC/DC Converter는 2Quadrant 동작하며 컨버터 변압기의 무부하 Tap chage position에 따라 출력 전압은 $\pm 160V/68000A$, $\pm 650V/68000A$ 2가지 출력 사양으로 동작한다. TF Local Controller는 2상한 동작과 변압기 Tap change 제어에서 높은 신뢰도를 요구 한다. 본 논문은 RTDS를 이용하여 TF 컨버터 제어기의 성능을 검증한 내용을 논의하고자 한다.

1. ITER TF AC/DC Converter 구조

그림 1은 ITER TF AC/DC 컨버터 구조를 나타낸다. 초전도 코일에 단방향으로 전류를 충전, 유지, 방전하기 위하여 30도 위상 차이를 갖는 2대의 3상 변압기는 6pulse SCR Bridge에 접속되고 항상 12pulse 모드로 동작을 한다. TF 컨버터는 Normal 운전시에는 333Volt Tap으로 동작 하며 초전도 계통의 비정상적인 상태에 따라 30분 이내에 전류를 회생 방전이 필요할 경우 Bridge전류를 Bypass에 전이시킨 다음 변압기 1차측 차단기를 내리고 변압기 Tap을 666으로 전환한 다음 차단기를 투입한 후 전류를 Bridge로 다시 흐르게 한 후 방전하는(고속방전) 동작이 요구된다.

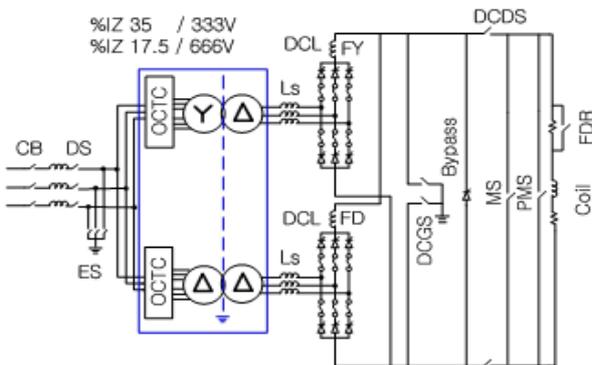


그림 1 ITER TF AC/DC 컨버터 구조
Fig. 1 Configuration of ITER TF AC/DC converter

TF 변압기 Tap Change Position 위치에 따라 2차측 출력 전압 차이가 2배가 되므로 변압기의 1차 권선을 2조로 한 후 333V tap에서는 2조 권선이 직렬로 접속하고 666V Tap에서는 2조 권선을 병렬 결선한다. 이러한 설계는 변압기 퍼센트 임피던스가 17.5%, 35%가 된다.

변압기 퍼센트 임피던스가 35%/333V, 17.5%/666V Tap에서 68kA 코일 전류가 흐를 때 컨버터의 인버터 모드 운전은 Commutation fail이 발생하지 않도록 제어 Alpha의 Limit가 요구되며 또한 6pulse Bridge의 병렬 동작에서 전류 균형제어유지 check 및 protection이 요구 된다.

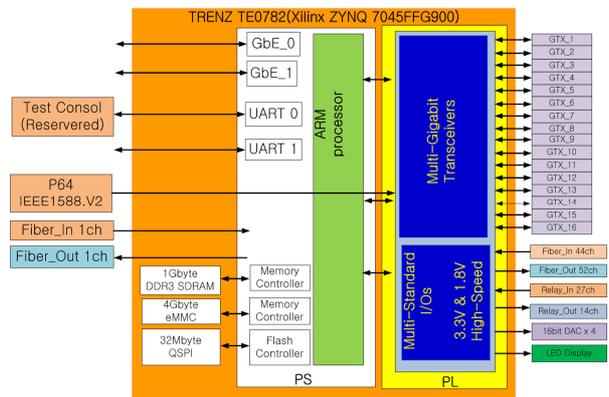


그림 2 TF AC/DC 컨버터 Alpha Controller
Fig.2 TF ITER AC/DC converter Controller

그림2는 ITER TF AC/DC converter Local Controller를 나타낸다. Full embedded로 개발된 제어기의 Main Processor는 Xilinx ZYNQ7045를 사용한다.

2. TF AC/DC Converter 실험결과

2.1 TF AC/DC Converter 333V Tap 2Q operation

그림 3은 ITER TF AC/DC 컨버터 333V Tap operation 과형으로 제어기는 전류 제어 모드로 동작하고 있으며 전류 명령에 따라 전류 상승, 유지, 하강 동작을 하고 있다, TF 초전도 코일 인덕턴스는 17.7H가 되므로 상승, 하강 동작에 필요한 명령어는 제어기의 인터럽트당 전류 증감 계수 ΔV 값과 전류 목표치 전류값 2가지 변수로 제어가 된다.

제어기의 인터럽트 주기는 2.5kHz 로 동작하고 있으므로 333Volt Tap에서 최대 전류 상승 하강 할 수 있는 ΔV 값은 0.0076의 값으로 60분에 0kA에서 68kA까지 전류 상승이 가능하고 다시 0kA까지 하강이 가능하다. 그림에서 하늘색은 333Volt 변압기 2차 전압, 노란색은 컨버터 출력 전압, 갈색은

코일전류, 보라색과 보라색에 겹쳐보이는 하늘색은 L_{FY}, L_{FD} Bridge DCCT 전류를 나타내며 두 Bridge 간 전류 균형제어가 잘 됨을 알 수 있다.



그림 3 ITER TF AC/DC 컨버터 333V Tap operation 파형
Fig.3 Waveform of TF AC/DC Converter 333V Tap operation

2.2 TF AC/DC Converter 666V Tap 2Q operation

그림 4는 ITER TF AC/DC 컨버터 333V Tap에서 전류 제어 변수 ΔV 값을 0.01, 전류 목표치 68kA를 setting하여 전류 상승 구간에서 제어를 포화시켜 최대 전압이 출력하게 하여 1시간에 상승한 다음 68kA 전류 유지제어 시킨 다음 Bypass, Tap change 한 후 고속방전 한 파형으로 68kA 전류는 26분에 0kA로 회생 방전한 것을 나타낸다. 그림에서 빨간색은 Bypass 전류를 나타낸다.



그림 4 ITER TF AC/DC 컨버터 666V Tap operation 파형
Fig.4 Waveform of TF AC/DC Converter 666V Tap operation

2.3 Detail View of Tap Change Process

그림 5는 ITER TF AC/DC 컨버터 666V Tap change Process 파형을 확대한 것으로 333V Tap 전류 유지 모드에서 Bypass하기 위하여 컨버터 출력 전압은 마이너스가 출력된 후(노란색) L_{FY}, L_{FD} Bridge 전류는(하늘색) Bypass로 천이 된 후 (빨간색) Tap change 되었고 플러스 전압을 출력하여 Bypass가 꺼지면서 Bridge로 다시 전류천이 시킨 파형이다. 녹색은 L_{FY} + L_{FD} 값이다.

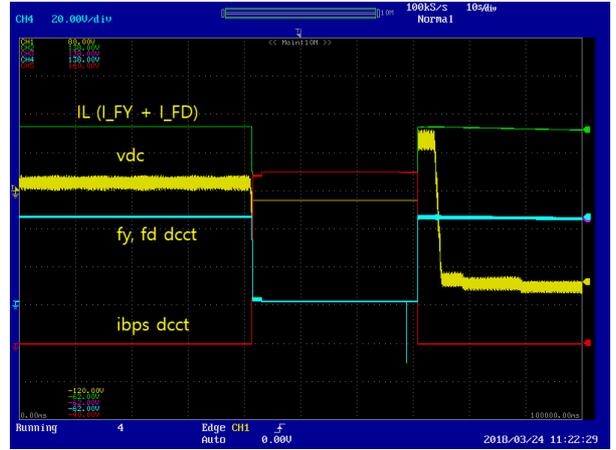


그림 5 ITER TF AC/DC 컨버터 666V Tap change Process 파형
Fig.5 Waveform of TF Converter 666V Tap change Process

그림 6은 666V Tap change 이 후 코일 전류가 Bypass에서 FY, FD Bridge로 천이되는 과정을 나타낸 것으로 두 Bridge간 균형제어가 유지되고 있음을 알 수 있다.

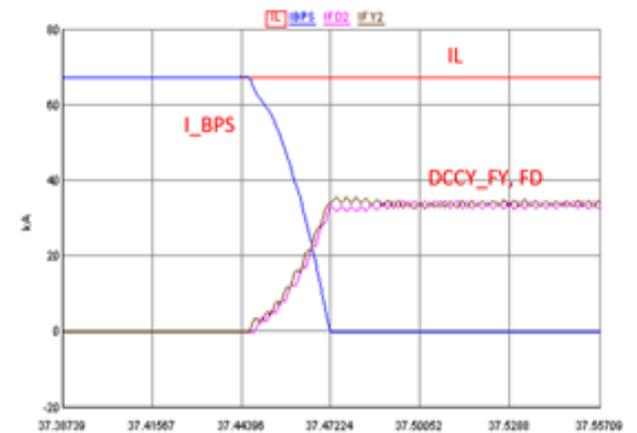


그림 6 12pulse 균형제어 666V Tap change Process 파형
Fig.6 Differential Current Control Tap change Process

3. 결론

본 논문은 개발된 ITER TF AC/DC Converter 제어기 Hardware, Software 검증을 위하여 RTDS를 이용하여 시험된 내용으로 토카막 운전에서 요구하는 전류 제어 모드에서 두 Bridge간 전류 균형제어를 유지 하면서 333V Tap에서 전류 제어, 666V Tap Change 및 고속 방전 제어가 됨을 확인 하였다.

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

참고 문헌

- [1] 서재학, “ITER 전원장치 Local Controller Design Status Summary”, 2016 추계전력전자학회.