

ITER CCU/L 컨버터의 4 상한 운전을 위한 제어의 구현

박현철, 김창우, 이창희, 박형진, 조성만, 오종석*, 서재학*, 최정완*
 (주)다원시스, 국가핵융합연구소*

Implementation of Control for Four quadrant Operation of ITER CCU/L Converter

Hyeon-Cheol Park, Chang-Woo Kim, Chang-hee Lee, Hyung-Jin Park, Seong-Man Jo, Jong-Seok Oh*, Jae-Hak Suh*, Jungwan Choi*
 Dawonsys Co., Ltd., Korea, National Fusion Research Institute (NFRI), Korea*

ABSTRACT

이 논문에서는 ITER 초전도 코일 전원 장치 중 진공 용기 내에 형성된 자장의 오차를 보정해주는 CCU/L 컨버터의 4 상한 운전을 위한 제어 알고리즘을 설명하고, 제어 알고리즘을 실제 컨버터에 적용하여 구현하였다.

ITER CCU/L 컨버터는 4 상한 제어를 통해 영 전류 불연속 구간 없이 Correction Coil에 전압(± 85 V), 전류(± 10 kA)를 공급해야 하고, 이를 위해선 4 상한 운전을 위한 제어가 매우 중요하다.

4 상한 운전은 다섯 가지 모드에서 동작된다. 본 논문에서, 각 모드에 대해 설명하고, 컨버터가 각 모드에서 정상적으로 제어되는지 시뮬레이션 및 실제 시험을 통해 검증하였다.

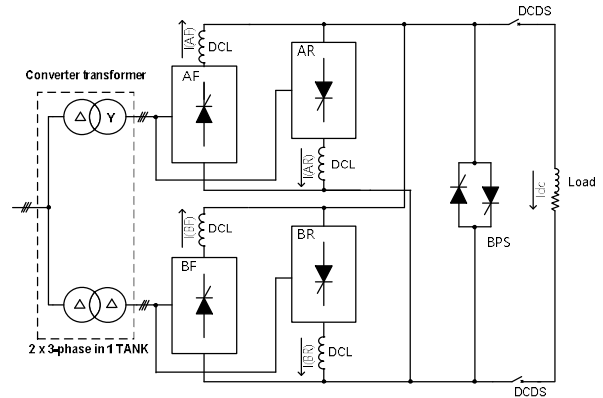


그림 1 CCU/L 컨버터 구성도

1. 서론

국제 핵융합 실험로(ITER)는 자기장 밀폐형 토카막 장치로 플라즈마 전류, 온도 및 형상을 안정적으로 제어하여 핵융합실험을 수행하기 위한 장치이다. 토카막 장치에서 발생된 고온의 플라즈마를 제어하기 위해서는 강력한 자장을 형성해주는 다양한 대용량 전원장치가 사용된다^[1].

그 중에서 진공용기 내 형성된 자장의 오차를 보정해 주는 CCU/L 컨버터는 부하 전류의 급격한 정역 운전을 수행할 수 있어야 하고, 이를 위해선 안정적인 4 상한 운전 제어가 필요하다.^{[2]-[5]}

본 논문에서는 앞서 개발된 4 상한 제어 알고리즘을^[6] 실제 CCU/L 컨버터에 적용하여 구현하였다.

2. CCU/L 컨버터 구성 및 제어 알고리즘 검증

2.1 CCU/L 컨버터 구성 및 운전 원리

CCU/L 컨버터는 그림 1 과 같이 12 펄스 Thyristor back-to-back 브리지 구조로 이루어져 있고, 고조파의 영향을 저감하기 위해 Δ - Δ , Δ -Y 결선의 변압기(Converter transformer)를 사용한다. 각 사이리스터에 연결된 직류 리액터(DCL)는 순환전류 모드에서 안정적인 정역 전환 운전을 수행할 수 있게 한다. 부하전류(I_{dc})는 각 컨버터 출력전류인 $I(AF)$ 및 $I(AR)$, $I(BF)$, $I(BR)$ 의 합과 같다.

CCU/L 컨버터는 부하 전류의 크기에 따라서 그림 2 와 같이 12 펄스 모드(모드 1, 5) 및 6 펄스 모드(모드 2, 4), 순환전류 모드(모드 3)로 구분된다.

12 펄스 모드에서는 순방향 컨버터(AF, BF)가 12 펄스로 양의 전류를 부하에 공급하고, 역방향 컨버터(AR, BR)가 음의 전류를 부하에 공급하는 운전을 한다. 이 때, 병렬 연결된 두 컨버터의 전류밸런스를 조절하는 차전류 제어와 부하전류가 정격 전류에 도달하였을 때 전류를 제한하는 전류 리미트 제어가 동작한다. 6 펄스 모드에서는 순방향 컨버터(AF)가 6 펄스로 양의 전류를 부하에 공급하며, 역방향 컨버터(BR)가 음의 전류를 부하에 공급하는 운전을 한다. 순환전류 모드는 순방향 컨버터(AF)와 역방향 컨버터(BR)를 사용하여 순환전류 모드를 수행하며 영 전류 불연속 구간 없이 부하전류의 안정적인 정역 전환 운전을 수행한다.

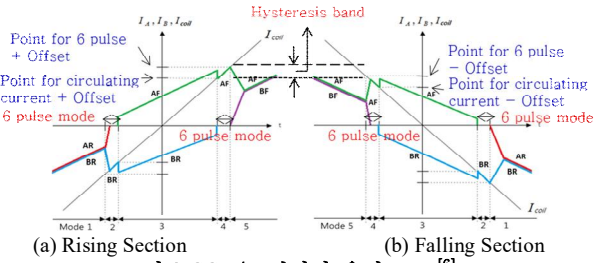


그림 2 CCU/L 컨버터 운전 모드^[6]

2.2.4 상한 운전제어 알고리즘 검증

4 상한 운전 제어성능은 실제 시험 전 그림 1 과 같이 시뮬레이션 회로를 구성하여 성능 검증을 하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1 과 같이 실제 CCU/L 컨버터 파라미터를 적용하였다.

표 1 CCU/L 컨버터 파라미터

Component	Parameters	Sym.	Unit	Value
Converter transformer	Secondary voltage	V_2	V	86 ¹⁾
	Short circuit impedance	pz	%	5.02
	Capacity	S	kVA	700
	Frequency	F	Hz	60
Converter	Rated output voltage	Vdc	V	± 85
	Rated output current	Idc	kA	± 10
DC reactor	Inductance	DCL	μ H	80
Reactor load	Inductance	Load	μ H	800

¹⁾변압기 2차 측 출력 전압: 정격 전압(96 V)에 -10%를 적용.

그림 3 은 4 상한 운전 모드의 시뮬레이션 검증 파형이다. 부하 전류 크기에 따라 각 운전 모드가 정상 동작하며 순환 전류 구간 내에서 부하 전류가 영 전류 구간 없이 정역 전환이 되는 것을 확인하였다.

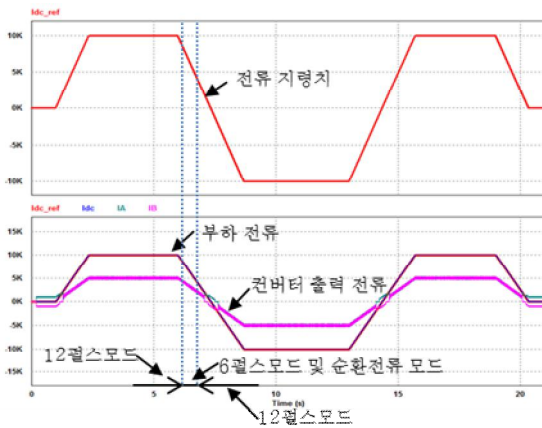


그림 3 4 상한 운전 모드 시뮬레이션 검증

시뮬레이션 후 그림 4 와 같은 실제 CCU/L 컨버터에 4 상한 운전 제어 알고리즘을 적용하여 검증하였다. 컨버터 파라미터는 시뮬레이션에서 적용한 파라미터(표 1 참조)와 동일하다.



그림 4 CCU/L 컨버터 실제 모델

그림 5 은 시뮬레이션 결과(그림 3 참조)와 동일하게 전류

지령치를 양의 정격 전류(+10 kA)에서 음의 정격 전류(-10 kA)까지 변경하였을 때 4 상한 운전 제어를 보여준다. 본 시험을 통해 12 펄스모드에서 병렬 연결된 두 컨버터의 전류밸런스를 조절하는 차전류 제어와 부하전류가 정격 전류에 도달하였을 때 전류를 제한하는 전류 리미트 제어가 정상적으로 수행됨을 확인하였다. 또한 순환전류 구간에서 영 전류 불연속 구간 없이 정역 전환이 되는 것을 검증하였다.

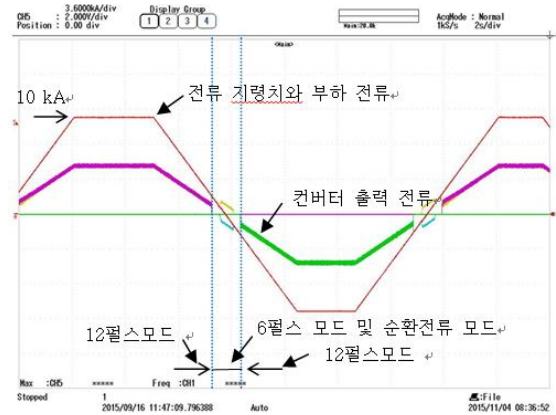


그림 5 4 상한 운전 모드 검증 파형

3. 결론

설계된 ITER 컨버터의 4 상한 운전 및 순환전류 제어 알고리즘을 실제 CCU/L 컨버터에 적용하여, 각 운전 모드 별 제어가 안정적으로 수행됨을 검증하였다.

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

참고 문헌

- [1] 최정완, "ITER 초전도자석 전원계통", 전력전자학회지, 제17권 제4호, pp.33-38, 2012.08.
- [2] E. Gaio et al., "The control system of the ITER vertical stabilization converter," Fusion Engineering and Design, 66-68 (2003) 719- 725.
- [3] G.B. Chung, J.K. Ji, & H.S. Mok, "Output Control of ITER Vertical Stabilization Converter with Circulating Current Technique", Trans. KIPE, Vol. 14, No.5, pp. 379-386, October 2009
- [4] K. Shimada, et al., "A Design Study of Stable Coil Current Control Method for Back-to-Back Thyristor Converter in JT-60SA", Journal of Plasma and Fusion Res. SERIES, Vol. 9, pp.163-168, January 2010
- [5] J.H. Suh, et al. "Korea R&D on the converter for ITER AC/DC Converter", Fusion Engineering(SOFE), 2011 IEEE/NPSS 24th Symposium on, pp.1-5, 2011.
- [6] C. Lee, H. Liu, K. Hwang, S. Lee, H. Park, C. Kim, J. S. Oh, J. H. Suh, J. Choi, "A novel control for four-quadrant operation of ITER VS converter", ICEM, pp.1657-1661, Oct. 2013.