

토카막용 초전도 코일 보호장치-Quench System

유효열, 심은용, 이승윤, 장영훈
(주)다원시스

Tokamak Super Conductor Coil Quench Protection System

H.Y.Yoo, E.Y.Sim, S.Y.Lee, Y.H.Jang
Dawonsys Co, LTD.

ABSTRACT

본 논문의 Quench System은 KSTAR의 토카막의 초전도 코일인 폴로이달 코일과 토로이달 코일의 보호장치로서 코일에서 Arc 발생 시 코일과 전원을 차단, 분리하고 코일전류를 Dump 저항으로 급속하게 방전시켜, 코일을 보호하는 System 이다.

1. 서론

KSTAR의 주장은 플라즈마 대향장치, 진공용기, 토로이달 코일, 저온용기, 진공용기 내 제어코일, 열차폐체, 폴로이달 코일로 크게 이루어진다. 토로이달 코일은 토카막 장치에서 초고온의 핵융합 플라즈마를 밀폐시키기 위해 필요한 강력한 토로이달 방향으로의 자기장을 발생시키는 코일이다. 폴로이달 코일은 토카막 장치에서 초고온의 핵융합 플라즈마를 안정되게 밀폐시키기 위해서 토로이달 코일과 함께 폴로이달 방향으로의 자기장을 발생시키며, 다양한 형태의 플라즈마 모양을 생성시키는 역할을 한다. 본문은 이처럼 중요한 코일의 보호를 위하여 설계된 PF QP System에 대하여 알아보하고자 한다.

2. Quench Protection System

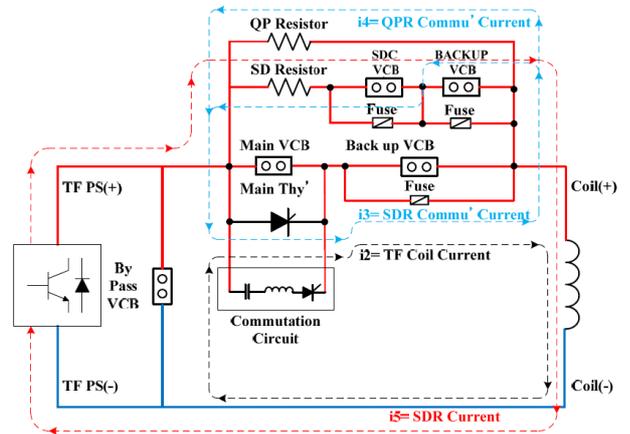
2.1 사양

QP System의 기본 설계 사양은 다음의 표와 같다.

구분	내용
차단 정격 전류	25kA _{dc}
Max. Dump 전압	6000V 이내
절연 정격 전압	10kV _{dc}
차단 방식	Commutation 회로에 의한 강제차단
감쇄시정수	2초
Coil Reactance	162.7 mH
Dump 저항값	$\tau = \frac{L}{R} = 2$ 에서, $R = 81.35 [mH]$

2.2 구성

QP System은 아래의 회로와 같이 Dump Resistor, Main VCB, Backup VCB, Backup Fuse, Main Stack, Commutation Stack, VCB1 등으로 구성된다.



[그림 1] QP System Main Circuit

2.3 동작원리

초전도 코일의 구조는 구리로 된 상전도체 내부에 초전도체가 삽입되어 있다. 초전도체는 헬륨으로 냉각된 극저온의 상태에서는 초전도 특성을 유지하여 코일의 전류는 초전도체로 흐른다. 초전도 코일에서 국부적인 가열등의 원인으로 인하여 초전도 특성을 잃어버리게 되면 코일의 전류는 상전도체인 구리로 흐른다. 코일의 전류가 상전도체인 구리로 흐르게 되면, 코일은 국부적인 가열로 인하여 손상될 수 있다. 즉, 코일에 국부적인 가열로 인한 초전도 특성을 잃어버리는 것을 퀘칭(Quench)라고 한다. 퀘칭상태에서 코일을 보호하는 것이 퀘칭 보호회로이며, 동작원리는 다음과 같다.

AC/DC Converter를 통하여 Coil에 전원공급을 한다. 이 때, Coil에서 Coil의 이상상태가 발견되면 QP System에 Quench 신호를 전달한다. Quench 신호를 수신하면 다음과 같은 순서에 의하여 동작한다.

- (1) Main Stack의 Thyristor를 Turn On 한다.
- (2) Main VCB를 Off 한다
- (3) Commutation Stack의 Thyristor를 Turn On 한다.

- 상세 동작 원리는 다음과 같다.

AC/DC Converter 의 전원을 차단하고 초전도 코일에 충전된 에너지가 VCB1을 통하여 흐를 때, Main Stack 의 Thyristor를 Turn On 하고, Main VCB를 Off 하게 되면 Main VCB 에 흐르던 전류는 서서히 Main Stack을 통하여 흐르게 된다. Main VCB가 완벽하게 Off 가 된 상태에서 Commutation Thyristor를 Turn On 한다. 이 때 Commutation Circuit 은 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 의 주기를 가지고 공진을 한다.

Thyristor 의 특성중 한번 Turn On 된 Thyristor 는 전류원이 제거되거나, 전류원보다 큰 역전류를 걸어주어야 Turn Off 되는 특성을 가지고 있으며, Commutation 회로는 Main Stack 의 흐르는 전류보다 큰 역전류를 흘려 Main Stack 의 Thyristor를 강제로 Turn Off 한다. 상대적으로 Dump Resistor 보다 작은 Main VCB 및 Main Stack을 통해서 흐르던 전류는 Main VCB 와 Main Stack 이 Off 됨에 따라 Dump Resistor를 통하여 흐르게 되면서 열로써 초전도 코일의 에너지를 방전하게 된다. 만약 Commutation 이 실패하게 되면, Backup VCB를 Off 시켜 일정시간동안 Backup Fuse를 통하여 전류가 흐르다가 Fuse 가 소손되면서 Dump Resistor를 통하여 초전도 코일의 에너지를 방전하게 된다.



[그림 2-3] QP System 배치 및 설치

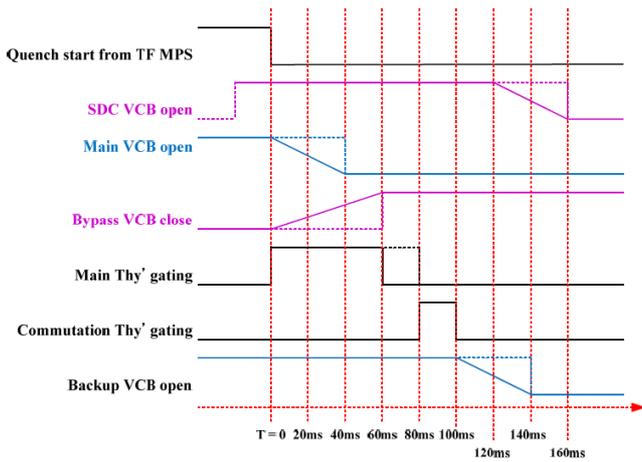
3. 결론

QP System 은 현재 KSTAR PF 와 TF 초전도 코일에 적용되어 초전도 코일의 Quench 발생시 초전도 코일의 소손을 미연에 방지하기 위하여 작동하고 있다.

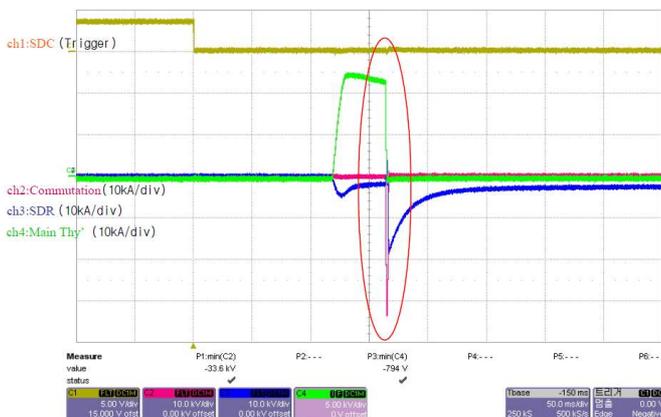
현재의 QP System 은 기계적 Switch 의 크기와 가격 및 반복성에서 월등히 뛰어난 점을 보이며, 신뢰성 또한 높게 운전되고 있다.

참고 문헌

- [1] 송인호, 신현석, 최창호 “ KSTAR 토카막용 초전도 코일 렌치 보호시스템 개발” 전력전자학회논문집 2000.7, pp 753



[그림 2-1] QP System 의 Timing Diagram



[그림 2-2] QP 동작 시 파형