

SFC 시스템의 점호회로 분석

류호선, 신만수, 김찬기, 이주현, 임익현
전력연구원

Firing Circuit analysis of Static Frequency Converter

Ho-Seon Ryu, Mahn-Su Shin, Chan-Ki Kim, Joo-Hyun Lee, Ick-Hun Lim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - An analysis of thyristor firing and protection circuit applied to SFC(static Frequency Converter) is presented. This consists of firing circuit when thyristor is connected in series, one of overvoltage protection and monitor databack circuit of thyristor states etc. Also, each characteristic of foreign products was studied in this paper.

1. 서 론

최근 고낙차·대형양수발전소의 시동장치는 포니모터 시동방식에 비하여 발전기 축이 짧아 진동대책이 용이하고 주동기기에 직결이 아닌 절환방식으로 연결되어 운전시 경제적인 싸이리스터 시동방식이 적용되고 있다.

무주양수 발전소(300MW × 2)도 그 한례로 두개의 발전전동기가 1개의 동기컨버터(또는 부하 전환형 인버터 : LCI 라고도 함)에 연결되어 있다. 동기컨버터는 각상당 12개의 싸이리스터로 직렬연결 되어 총 144개의 싸이리스터로 구성되어 있다.

즉, 각 상당 12개의 싸이리스터가 직렬로 연결되어 18kV의 전압에 견디도록 설계되어 있다. 싸이리스터 직렬 연결시 가장 중요한 사항은 개개의 소자에 대하여 순역 쌍방향의 전압을 균등히 배분하는 일로, 설계시 전압 분배를 위한 싸이리스터 개수, 점호회로등이 중요한 부분이 된다. 따라서 본 논문은 현재 국내에 설치되어 운전중에 있는 무주양수 동기컨버터(Alstom사), 일본 동기컨버터, 제주해남 HVDC 등의 자료를 참조하여 대용량 고압시스템의 싸이리스터 직렬연결시 문제점에 대한 해결 방법을 분석하여 기술한 내용이다.

2. 본 론

2.1 SFC 시스템의 구성 및 싸이리스터 배치

SFC 시스템은 다음과 같이 주요 7가지로 구성되어 있다.

- 1) 단락전류를 감소시키기 위한 전류제한 리액터
- 2) SFC를 외부 전원공급원과 발전기로부터 보호하기 위한 차단회로
- 3) 발전기를 외부와 절연하기 위하여 사용하는 변압기
- 4) 싸이리스터 브리지
- 5) 계통사고로 인해 발생하는 과전압으로부터 SFC를 보호하기 위하여 설치되어 있는 Surge arrester
- 6) DC 리플 전류를 축소 및 고장전류 제한 리액터
- 7) SFC 주제어기 및 보조기기

여기서, 싸이리스터 브리지가 그림과 같이 12개가 직렬로 연결되어 있을 때의 고려사항은 다음과 같다.

- 1) 전압균등분배
- 2) 과전압에 대한 보호
- 3) 싸이리스터 상태감시
- 4) 싸이리스터 점호신호 결정

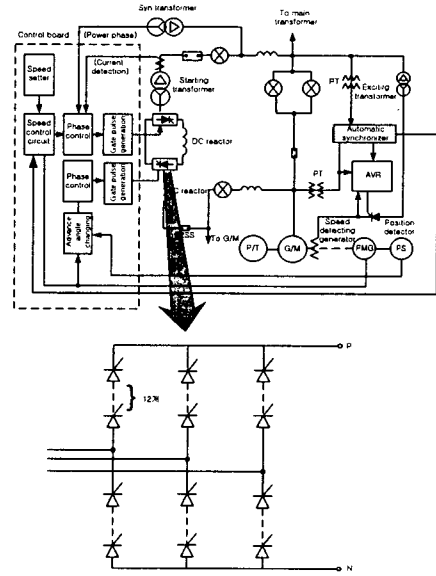


그림 1. SFC 시스템 및 싸이리스터 스택

2.2 직렬연결에 필요한 싸이리스터 수 결정

일반적으로 직렬연결시 싸이리스터 수는 최대 역전압의 2배이상 견디도록 한다. 즉,

$$\frac{n \times V_{RRM}}{\sqrt{2} \times E} \times K \approx 2$$

n : Number of thyristors

E : working Voltage

V_{RRM} : Max Repetitive Peak Reverse Voltage

K : Unbalanced Voltage Sharing Factor

2.3 제작사별 싸이리스터 점호장치분석

2.3.1 일본 제품

1) 과전압보호회로

싸이리스터의 과전압을 검출하는데 BOD를 사용하여 자기점호 펄스를 발생시켜 제어점호신호와 관계없이 자동점호가 이루어져 싸이리스터의 과전압을 보호하게 한다.

2) 반송신호에 의한 상태감시

싸이리스터의 점호펄스에서부터 직접광신호를 발생시켜 저압측의 고장 감시 장치로 반송한다. 반송된 신호는 정규점호펄스와 자기점호펄스 2종류가 된다. 이것을 고장 감시 장치의 판별에 의하여 펄스를 아래의 표에 표시된 4가지 상태로 분류하여 감시가 가능하다. 고장발생시에 고장개소의 특정부가 해석이 가능하여 신속한 대응이 가능하다.

표 1. 반송신호의 종류와 펄스의 상태

반송신호	자기점호펄스		
	有	無	無
정규점호펄스	有	自己点弧	正常
	無	点弧系故障	素子故障

3) 역전압 기간중 펄스발생제어

역전압 기간중 싸이리스터에 점호펄스가 가해지면 싸이리스터 누설전류가 급속히 증가하고 직렬소자간의 전압분배가 불균등해진다. 따라서 본래 점호·보호장치에는 싸이리스터의 인가전압을 감시하여 역전압 기간중에는 펄스를 발생시키는 기능을 대기 상태로 하고, 전압불평평형을 해소하게 한다.

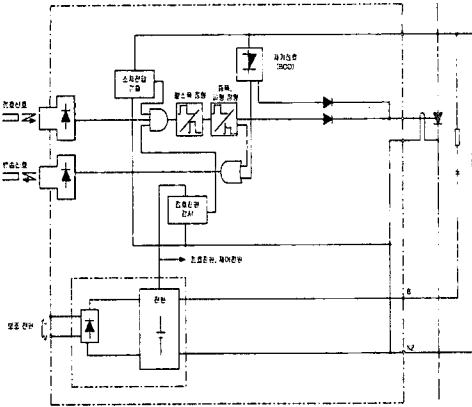


그림 2. 점호·보호장치의 기능블럭도

2.3.2 프랑스 제품(AIstom)

1) 점호신호

Optical Fiber에서 Firing 신호 On을 받으면 Fire latch가 셋되어 점호되는 회로.

2) Forward Recovery Protection (tq Timer:RC시정수)

도통 후 Blocking 능력 회복시간(tq)이 요구되는데 tq는 접합부의 온도(Tj)에 따라 증가, tq Timer(RC 시정수)에 의해 Fire latch를 리셋함으로써 확보한다.

3) 과전압보호회로

싸이리스터의 과전압을 검출하는데 BOD를 사용하여 자기점호 펄스를 발생시켜 제어점호신호와 관계없이 자동점호가 이루어져 싸이리스터의 과전압을 보호하게 한다.

4) Databack 전송정보 (한번에 여러 펄스까지 부호화 전송: 점호회로 전원 Monitor 및 과전압 검출시에만 전송

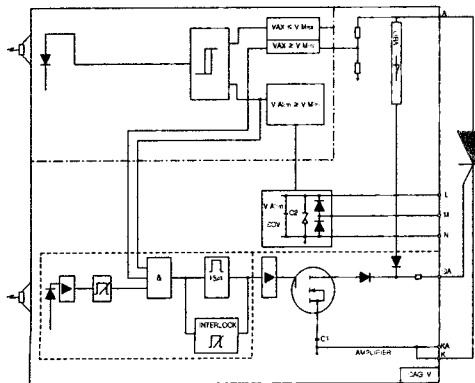


그림 3. Alatom사의 점호회로 블럭도

2.3.3 HVDC 점호회로(AIstom)

1) 주요기능 설명

(1) Valve Firing

Start code를 받으면 Fire latch가 셋되고, Va가 +60V이면 도통시간과 tq Timer에 의하여 결정되는 회복시간 후 리셋.

(2) Forward Recovery Protection (tq Timer)

도통 후 Blocking 능력 회복시간(tq)이 요구되는데 tq는 접합부의 온도(Tj)에 따라 증가, tq Timer에 의해 Fire latch를 리셋함으로써 확보

(3) Forward Recovery Protection (dv/dt Firing)

싸이리스터가 손상없이 Blocking 하도록 운전상태에 따라 dv/dt를 제한하며, dv/dt Threshold는 Tj(tq)에 의존함

(4) Forward Overvoltage Protection(+, -)

+ : BOD 기능으로 순방향과 전압이 걸리면 BOD 자체에서 밸브 턴 온, BOD Fired 신호 TGU에 전송 그리고 Tj에 따라서 Va 전압을 제한
- : 역방향과전압(-4.8KV)이 걸리면 Fire latch 셋함 (Blocking 능력회복시간 확보)

(5) Damping Resistor Protection

갑자기 싸이리스터에 역전압이 걸려서 Damping resistor 용량 초과시
(-) 방향으로 스윙시 : MOV동작
(+) 방향으로 스윙시 : 피크 전압이 6.7KV 초과시 싸이리스터 점호

(6) MOV 기능

Damping Resistor에서 소비 가능한 용량(약 수백 watts)초과시 피크 전압 Clamping시킴

(7) Tj Value 보정

VBE로부터 광파이버를 통하여 Tj 정보를 받아 tq 및 dv/dt Threshold 값 조정

※ Tj 측정/계산 : Tj Calculator/Cooling water inlet temp & Deduced valve current)

(8) Databack 전송 정보 : 한번에 4개 펄스까지 부호화 전송

- 1st: thyristor healthy, 2nd: thyristor conducting,
- 3rd: BOD fired, 4th: Supply charged/depleted

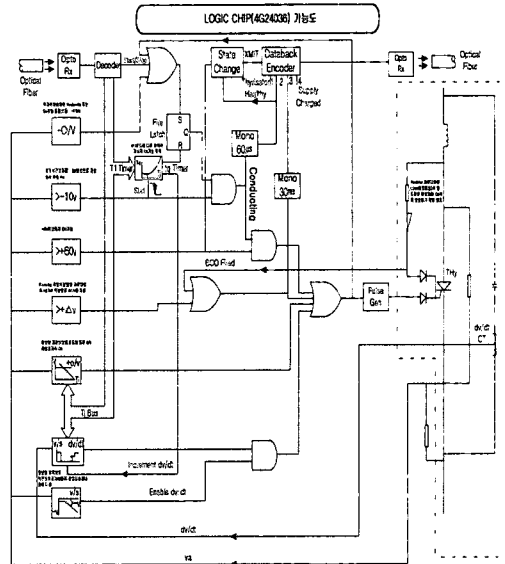


그림 4. HVDC 점호·보호장치의 기능블럭도

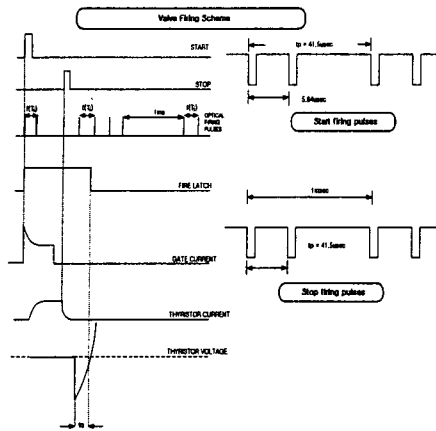


그림 5. HVDC 점호 펄스

2) 싸이리스터 Turn on 시간을 접합부의 온도에 따라 달리 (Latch 회로를 사용)하는 이유

단일 방향성 싸이리스터에 애노드 전류가 멈춤 후 즉시 순전압을 가하면 싸이리스터는 다시 도통상태로 되돌아간다. 애노드 전류가 멈추고 나서 순전압이 다시 가해질 수 있게 되기까지는 일정한 휴지기간, 또는 정지기간이 필요하다.

필요로 하는 정지기간을 측정하려면 싸이리스터에 그림과 같은 파형의 전류, 전압을 가한다. 그후 t_5 과 t_6 사이의 기간을 싸이리스터 재인가 순전압에 전다는 한도까지 감소시키면 정지기간이 얻어진다.

이 정지기간은 일정하지 않으며, 여러 가지 파라미터의 함수가 된다.

즉 $t_5 - t_6$ 사이의 최소시간은 다음과 같은 경우에는 증대한다.

- (1) 접합부 온도가 상승하는 경우
- (2) 순방향 전류치($t_1 - t_2$ 간의)가 증가하는 경우
- (3) 순방향 전류의 감소율($t_2 - t_3$ 간의)이 증가하는 경우
- (4) 역전류의 피크(t_4)가 감소하는 경우,
- (5) 역전압 ($t_5 - t_6$ 간의)이 감소하는 경우
- (6) 재기 순방향 전압의 상승률($t_6 - t_7$ 간의)이 증가하는 경우
- (7) 순방향 저지전압($t_8 - t_9$ 간의)이 증가하는 경우
- (8) 게이트의 외부 임피던스가 증가하는 경우
- (9) (+)의 게이트 바이어스 전압이 증가하는 경우

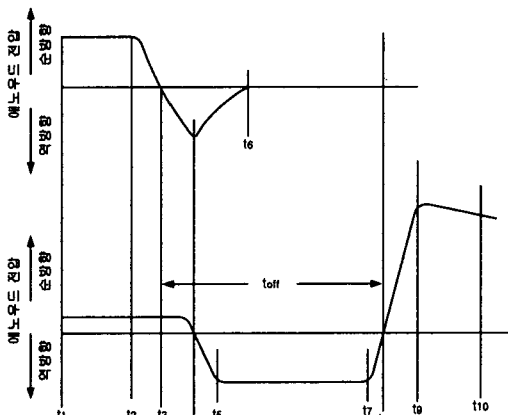


그림 6. Turn off 시간측정시 싸이리스터 파형

3) 싸이리스터의 턴 오프 시간(t_{off})

싸이리스터의 턴 오프 시간은 순방향 전류가 0으로 되는 시간(t_5)과 싸이리스터가 턴 온됨이 없이 재기 순방향 전압을 저지할 수 있는 시간(t_6)사이의 최소 정지시간이라고 정의할 수 있다. 따라서 이것은 전류, 전압 및 온도가 지정된 조건하에서 측정 된다.

지정조건의 변화에 의해 싸이리스터의 턴 오프 시간은 변화한다. 예를 들면 그림 7은 싸이리스터 턴 오프시간이 접합부 온도에 의해 어떻게 변화하는가를 나타내는 전형적인 곡선이고 그림 8은 전류에 대한 변화를 나타낸 것이다.

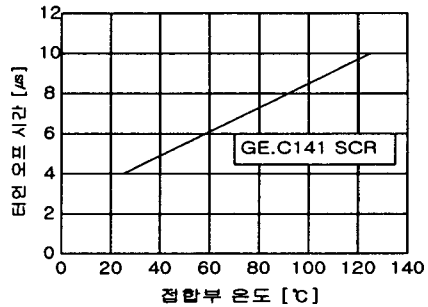


그림 7. 접합부 온도에 따른 Turn off 시간변화(예:GE 소자)

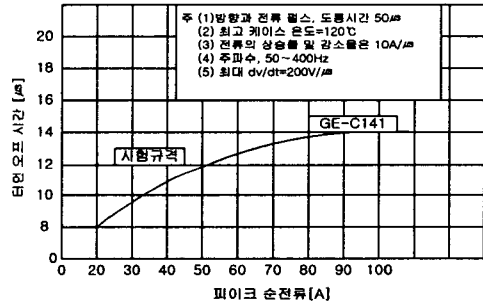


그림 8. 고속의 싸이리스터의 Peak 순전류에 의한 Turn off 시간변화(예:GE소자)

3. 결 론

SFC 시스템이 국내에 본격적으로 도입 된 후에도 이상발생시 대처능력이 아직 초보적인 단계에 있다. 본 논문에서는 SFC 시스템을 연구하던 중에 일반적인 싸이리스터 점호장치와 다르게 설계되어 있는 점호부분(전력반도체 소자 직렬연결시 점호회로)이 있어 외산제품을 Reverse Engineering 하던 중에 파악이 가능하였고, 그 상세부분을 기술하였다. 향후 전력연구원에서는 SFC 시스템의 프로토타입 형태의 제품이 설계되어 시험할 계획이며 이때 점호장치의 상세내용이 검증될 것이다. 또한 다른 black box 형태의 모듈도 국내 기술자립을 위하여 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 揚水發電電動機用始動裝置 富士時報 Vol.74 No.5 2001
- [2] 제주해남 HVDC 사용자 매뉴얼
- [3] SCR Manual - General Electric Company
- [4] 무주양수 SFC 사용자 매뉴얼