

여자시스템 정류기용 싸이리스터 및 다이오드 열화 특성에 관한 연구

김봉석, 임익현, 신만수, 류호선, 이주현
전력연구원

The Study on Characteristic of Thyristor and Diode for Excitation System

Bong-Suck Kim, Ik-Hun Lim, Man-Su Shin, Ho-Seon Ryu, Joo-Hyun Lee
KEPRI

Abstract - 본 논문에서는 전력용 반도체 소자인 싸이리스터 및 다이오드의 열화에 관하여 조사하였다. 발전소의 동기발전기 여자시스템 정류기의 싸이리스터 및 다이오드가 오랜 기간 사용됨으로써 반도체 소자의 열화가 진행이 되며 전기적 특성이 변하여 발전소 운전이 크게 영향을 줄 수가 있다. 한국중부발전(주) 보령화력 발전소의 요청에 따라 전력연구원은 계획 예방 정비 공사 기간 중에 동기발전기 여자시스템 정류기에 사용되는 싸이리스터 및 다이오드 누설전류를 측정하여 전력소자의 건전성을 평가하였다.

1. 서 론

발전소에서 사용되는 자동전압조정기는 발전설비에 있어서 중요한 역할을 담당하며 주기적인 진단 및 유지보수를 통하여 설비의 안정적 운영을 필수적이라고 하였다. 자동전압조정기 여자시스템 정류기에 사용이 되는 반도체 소자는 사용기간이 늘어남에 따라 다중 스트레스(기계적, 열적, 전기적, 환경적)로 인하여 점차 열화 되어 간다. 따라서 발전 설비에 사용이 되는 반도체 소자인 싸이리스터 및 다이오드의 열화는 피할 수 없으며 최악의 경우에는 절연파괴가 되어 발전소 정지에 따른 정전이 발생할 수 있으며 그에 따른 산업 현장에 미치는 경제적인 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 한국중부발전(주) 보령화력 발전소의 요청에 따라 전력연구원은 계획 예방 정비 공사 기간 중에 동기발전기 여자시스템에 사용되는 싸이리스터 및 다이오드 누설전류를 측정하여 전력소자의 건전성을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 싸이리스터 동작 특성

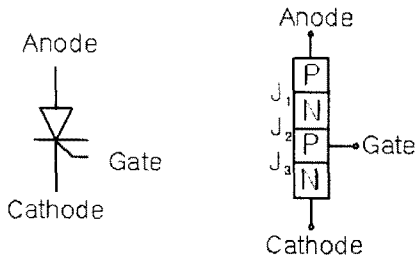


그림 1. 싸이리스터 기호 및 구조

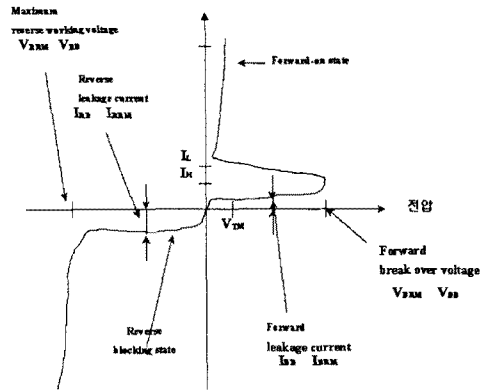


그림 2. 싸이리스터 V-I 특성곡선

그림 1에서와 같이 싸이리스터는 PNPN 구조의 4층 반도체 소자로 3개의 PN 접합으로 되어 있다. 그림 2는 싸이리스터의 v-i 특성을 나타내며 사용된 용어의 정의는 다음과 같다.

- V_{DRM} : 소자가 전지는 역방향 반복 peak 전압
- V_{RD} : 소자가 항복하지 않는 역방향 DC 전압
- V_{DD} : 소자가 on되지 않는 정방향 off 상태 DC 전압
- I_{RD} : 역방향으로 V_{RD} 를 가했을 때 흐르는 전류
- I_{DD} : 정방향으로 V_{DD} 를 가했을 때 흐르는 전류

싸이리스터가 도통되면, 도통된 다이오드와 같이 동작되고 소자를 제어할 수 없게 된다. 즉 소자는 캐리어의 자유이동으로 인하여 접합 J_2 에 공핍층이 없어지기 때문에 도통을 계속하게 된다. 그러나 순방향 애노드 전류가 I_H (Holding Current : 유지전류) 미만으로 감소된다면, 캐리어의 감소로 인하여 공핍층이 접합 J_2 둘레에 생기게 되어 싸이리스터는 차단상태로 된다. I_H 는 mA 단위로 I_L (Latching Current : 래칭 전류) 보다 작다. 캐소드 전압이 애노드에 대하여 전위가 높을 때, 접합 J_2 는 순방향 바이어스 되고, 접합 J_1 과 J_3 는 역방향 바이어스 된다. 이것은 두개의 직렬연결 다이오드를 그 양단에 역 전압을 인가한 것과 같다. 따라서, 싸이리스터는 역저지 상태에 있게 되고, I_R (Reverse Current : 역전류)가 소자를 통하여 흐르게 된다. V_{DD} (Forward Break Over Voltage, 또는 V_{DRM}) 이상의 순방향 전압으로 싸이리

스터가 도통하면 싸이리스터는 파괴된다. 따라서 순방향 전압은 V_{DD} 또는 V_{DRM} 이하를 유지하여야 하고, 싸이리스터는 게이트와 캐소드 사이에 정의 전압을 인가하여 도통시켜야 한다. 싸이리스터가 게이트 신호에 의하여 한번 도통하면, 그 애노드전류는 I_H 이상을 유지하며, 비록 게이트 신호를 제거하더라도 정의 제한으로 인하여 도통을 계속하게 된다.

2.2 반도체 소자의 열화과정

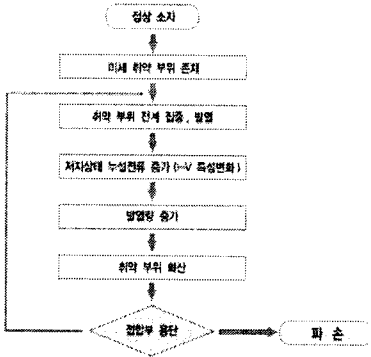


그림 3. 반도체 소자 열화과정

그림 3은 반도체 소자의 열화과정을 보여준다. 반도체 소자인 싸이리스터(Thyristor 또는 SCR : Silicon Controlled Rectifier)는 일종의 전자 스위치로서 대규모 산업현장의 위상제어정류기(직류 전동기 속도제어, HVDC : 직류송전 등)에 사용되는 전력 변환 장치의 핵심부품으로 장착되어 있는데 사용이 지속됨에 따라 전기적, 물리적 충격으로 소자의 열화를 가져와 결국 파손되게 된다.

2.3 동기발전기 여자시스템 정류기

동기발전기 여자시스템의 싸이리스터 정류기는 주로 3상 전과 위상제어정류기를 사용한다. 보령화력의 경우 싸이리스터가 다 병렬(9병렬)로 연결된 균을 형성하여 전체 제어 정류기를 구성하고 있다. 이들 싸이리스터 스택은 각각의 다 병렬 회로에 대하여 각각의 Snubber 회로를 포함하고 있다. 따라서 전체의 싸이리스터와 Snubber는 27개로 구성되어 있다. 그림 4는 한 Tray의 싸이리스터와 Snubber 회로를 보여주고 있다.

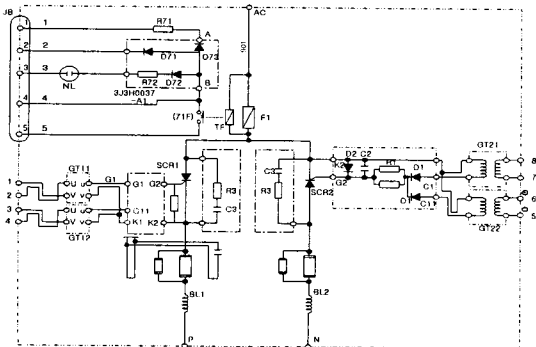


그림 4. 한 조의 싸이리스터와 주변 회로
싸이리스터 정류기의 사양 결정은 다음의 수식을 이용

하여 결정한다.

$$n_p \geq \frac{I_{EV} \times K_{HU}}{i_{fs}} + K_{HM}$$

여기에서 n_p : 병렬 소자수(또는 회로수)

I_{EV} : 정격 계자 전류 × 여유율

K_{HU} : 병렬 소자의 전류 불평형 허용차

i_{fs} : 한 소자당의 전류 허용치

K_{HM} : 병렬 여유 회로수

Model Name	Toshiba SF1500GX21
Type	PGF-T9F
Rated Frequency	60Hz
Rated Direct Voltage	450V
Rated Output Control Factor	55%
Rating Class	A
Connection	3ph. Bridge
Rated Output	2025KW
Rated Direct Current	4500A
Cooling Air	180m ³ /min
Weight	7500kg

표 1. 보령화력 여자시스템 정격 및 규격

표 1은 보령화력 여자시스템의 정격 및 규격이다. 보령화력 여자시스템에 사용된 싸이리스터의 전류 허용치 (i_{fs})는 1500[A] 이고 정격계자 전류는 4500A이다. 여유율 1.1, K_{HU} (병렬 소자의 전류 불평형 허용차) 1.2, K_{HM} (병렬 여유 회로수) 1.0을 적용하여 계산하면 다음과 같이 n_p (병렬 소자수(또는 회로수))는 5회로가 필요하다.

$$n_p \geq \frac{4500 \times 1.1 \times 1.2}{1500} + 1 = 4.95$$

보령화력 2호기 자동전압조정기에 대한 병렬 회로수 설계 계산식은 병렬 회로간 불평형율과 여유율을 고려하였을 때 설계치는 5개회로 나타났다. 그러나 실제 AVR의 병렬회로 수는 9회로로써 아주 충분하게 설계가 되어 있다. 설계시에 고려하는 전력계통 과도 상태를 고려하는 1.5~1.6배의 여유율을 적용하여도 충분한 여유율을 가지고 있다. 그러므로 만약 한개의 싸이리스터가 고장이 날 경우라도 정류기는 동작을 할 수 있다.

2.4 반도체 소자 진단기준

싸이리스터에서의 누설전류는 Anode와 Cathode 사이에 순방향 전압이나 역방향으로 전압이 인가되면 누설전류는 그림 2에서와 같이 전류정도의 크기에 따라서 존재하게 되지만 그 크기는 싸이리스터 제작회사마다 다르다. 역방향으로 전압을 인가하여 영 전류에서부터 점차적으로 전압을 증가시켜 가면 전압이 어느 정도가 되면 전류가 급격히 증가하여 흐를 수 있다. 이 점을 Reverse

Breakdown Voltage라 하며 사이리스터에는 큰 손상을 입는다. 순방향으로 전압을 인가할 경우에도 Gate와 Cathode에 전류를 인가하지 않아도 누설 전류가 흐르며 이것은 역시 인가전압의 크기에 따라 다르며 이 역시 사이리스터 제작사 마다 그 크기가 다르다. 이 역시 순방향으로 전압을 인가하면 어느 정도 이상에서 순방향 저항이 적어짐과 동시에 전류가 급격히 흐르게 된다. 이때의 전압을 Forward Breakover Voltage라 한다. 이 전압은 Gate와 Cathode 사이에 인가되는 전류의 크기에 반비례하여 Forward Breakover Voltage는 적어진다. 따라서 그림 2는 사이리스터의 일반적인 전압과 전류특성을 나타낸 것이다. 동기발전기 여자시스템 정류기에 사용되는 사이리스터 및 다이오드 소자의 누설 전류를 측정하여 건정성을 평가하기 위한 기준으로 다음과 같은 미국 국방성 표준 규격(MIL-PRF-19500/108G)를 참고하였다.

$\Delta I_{RRM} = 100$ percent of initial value or $+0.4mA(pk)$, whichever is greater.

(ΔI_{RRM} 이 초기허용치의 2배 또는 $0.4mA$ 를 초과하는 경우 고장으로 판단.)

$\Delta I_{DRM} = 100$ percent of initial value or $+0.4mA(pk)$, whichever is greater.

(ΔI_{DRM} 이 초기허용치의 2배 또는 $0.4mA$ 를 초과하는 경우 고장으로 판단.)

여기서 ΔI_{RRM} 는 I_{RD} 의 변화 전류량, ΔI_{DRM} 는 I_{DD} 의 변화 전류량

참고문헌 : 미국 국방성 표준 규격 (MIL-PRF-19500/108G)

2.5 시험 절차 및 결과

동기발전기 여자시스템 정류기에 사용되는 사이리스터 및 다이오드 소자의 누설전류를 측정하기 위하여 테크로벨리(주) SCR Magic Tester - r를 사용하였다. 그림 5는 사이리스터 및 다이오드 누설 전류 진단장비이다. 그림 6은 정상 사이리스터의 누설전류 측정치이고 0에 가깝다. 그림 7은 누설전류가 검출된 측정치이다.

- 1) 측정하고자 하는 소자(사이리스터, 다이오드 등)와 연결된 모든 병렬회로를 분리시킨다.
- 2) 진단장치의 출력단의 +극과 -극을 stack의 anode와 cathode에 연결한다.
- 3) 인가전압을 소자 정격전압의 80% 또는 운용 전압 최대치의 120%로 정한다.
(인가 전압 : 사이리스터 1000V, 다이오드 1000V 인가)
- 4) 예상 누설 전류의 2배 정도로 전류 제한치 (I Set)를 적당히 조절한다. (I Set : 5mA)
- 5) 인가전압 상승 시간(T Set : 2초)을 적당히 조절한다.
- 6) 파형 측정 아이콘을 누른다.
- 7) 전압이 인가되고 측정 데이터와 그래프가 운용프로그램 상에 나타난다.

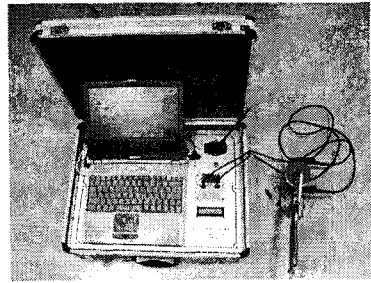


그림 5. 반도체 소자 진단 장비

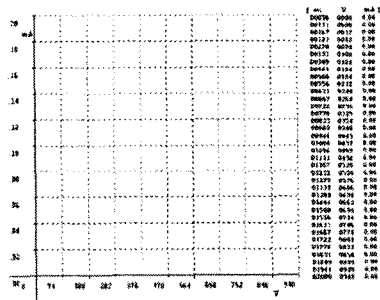


그림 6. 정상 사이리스터

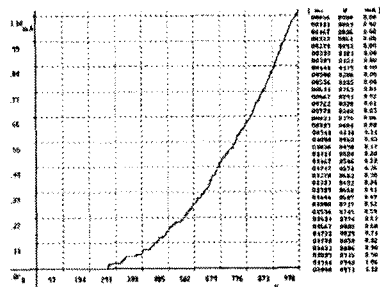


그림 7. 사이리스터 역방향 누설 전류

3. 결 론

전력연구원은 한국중부발전(주) 보령화력 발전소 제 2호기 계획 예방 정비 공사 기간 중에 사이리스터 진단장비를 이용하여 사이리스터 및 다이오드의 누설전류를 측정하였다. 실험결과 미국 국방성 표준 규격은 만족을 하였으나 신품 사이리스터와 다이오드 누설전류의 10배 이상 흐른 사이리스터 및 다이오드의 경우는 추후 경향을 파악할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전력연구원, "자동전압조정시스템"
- [2] 미국국방성 표준규격, "MIL-PRF-19500/108G"
- [3] E.W. Kimbark, "Power System Stability", John Wiley & Sons, 1996.
- [4] T.L. Dillman, J.W. Skooglund, "A High Initial Response Brushless Excitation", IEEE Trans., Vol. PAS_90, pp. 2089-2094, Sep/Oct 1991.