

Thyristor 성능 진단기술에 관한 연구

원학재, 한정훈, 천영식, 박호철
한전기공(주)

A Study on Diagnostic Technics for Thyristor

Hak-Jai Won, Jung-Hoon Han, Yung-Sik Chun, Ho-Cheul Park
Korea Plant Service & Engineering Co. Ltd.

Abstract - In general, the expected life of power semiconductor elements is known for semi-permanent, but actual characteristics are changed according to the such environment conditions obviously because of using time or operating condition.

Specially, in case of using at the power plant it is very important to sustain reliability for power semiconductor which it affect to stop operating condition as deterioration or break. Therefore, we need to apply maintenance technics to get the reliability which is a prediction method of life cycle.

This paper shows the result of the analyzed data for element characteristic and effects used practically, and we had developed the effective equipment which for diagnostic the semiconductor performance.

비의 기능측면에서 각 소자의 성능은 높은 신뢰성이 요구되고 있다.

2.1 Thyristor의 일반적 특성

전력용 반도체중 대용량으로 가장 많이 사용되는 것은 SCR로서 SCR은 PNPN 구조로 3개의 접합을 갖는 4층 반도체 소자이다. 이는 3개의 단자 즉 애노우드(Anode), 캐소드(Cathode), 그리고 게이트(Gate)를 갖는다. 이때 캐소우드 전압이 애노우드 전압에 대해서 +일 때 매우 작은 누설전류만이 캐소우드에서 애노우드로 흐르며 SCR은 역방향 저지상태(Reverse Blocking State) 또는 역방향 오프상태이다. 또한 애노우드 전압이 캐소우드에 대해서 +일 때 역시 매우 작은 누설전류만이 애노우드에서 캐소우드로 흐르며 SCR은 순방향 저지상태(Forward Blocking State) 또는 순방향 오프상태이다. 이때 게이트를 통해 전류가 유입되면 전류를 흘릴 수 있는 상태 즉 순방향 도통상태(On state)로 된다. 일단 한번 도통이 되면 GATE의 영향을 받지 않고 전류의 크기는 외부회로에만 의존하게 되며 ON 상태에서 OFF 상태로의 전환도 외부회로에 의해서 변화된다. 또한 SCR은 도통전류가 유지전류(Holding Current)이하로 작아져야 OFF 되는 특성을 가진다.

1. 서 론

전력용 반도체소자는 발전소에서도 자동전압조정기(AVR), 무정전전원장치(UPS), 축전지충전장치, 해수 전해설비등의 전력전자 설비에 적용되고 있으며 그 중 SCR, Power Diode등은 핵심부품으로서 높은 신뢰성이 요구되는 점에서 가장 강조되고 있다. 일반적으로 전력용 반도체 소자는 수명이 반영구적이라고 알려져 있으나 현장에서 실제 운전되는 소자의 특성을 정밀점검해 보면 사용시간이 경과되면서 운전조건이나 주위환경에 따라 특성이 현저히 변하는 것을 알 수 있으며 통상 현저히 성능이 저하된 경우에 교체한다.

소자의 열화는 소자내의 취약부위에 전기적 물리적 스트레스가 집중되어 취약부위가 확산됨으로써 발생된다. 취약부위는 제조공정에서의 결함이나 가공상의 불량으로 인해 존재하게 되는데 아주 양호한 제품의 경우에도 소자 접합면의 불균질성으로 인하여 소자내에 미세 취약부위가 반드시 존재하게 된다.

본 논문에서는 전력용 반도체 소자의 경년 변화에 따른 특성변화를 정밀하게 진단하여 설비의 신뢰성을 확보하고자 전력용 반도체 소자의 성능진단을 효과적으로 수행할 수 있는 전용장비를 개발하고 이를 활용한 소자특성 분석 결과 및 활용 효과에 대해 고찰한다.

2. 본 론

전력용 반도체(Thyristor)는 일반적으로 p형 반도체와 n형 반도체가 다층구조로 접합된 구조로 내전압이 크고 대용량의 스위칭이 가능하여 전력 변환 설비에 적용되고 있다. 발전기용 전력변환설비로는 발전기 자동전압조정기, 무정전 전원장치, 해수전해설비, 하역설비 등에 주로 비교적 용량이 큰 SCR(Silicon Controlled Rectifier)과 Power Diode를 적용하고 있으며 이들 설

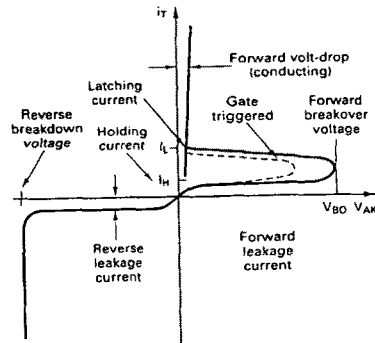


그림 1 SCR의 전압-전류 특성곡선

그림 1은 전형적인 SCR의 특성을 그래프로 나타낸 것이다. 그림 1에서와 같이 순방향 저지상태나 역방향 저지상태는 일정크기의 전압범위 내에서 유지되며 정격이상의 전압이 순방향 또는 역방향으로 가해지는 경우 어발런치 증배(Avalanche Multiplication)효과에 의해 전류가 급격히 증가하게 된다.

2.2 SCR의 신뢰성과 고장률

신뢰성은 규정된 기간 주어진 조건에서 기능을 수행할 수 있는 확률로 정의할 수 있다. 그러므로 신뢰성은 경년 변화의 척도이다. 신뢰성을 나타내는 척도로 일반적

인 단위는 MTBF(Mean Time Between Failure)이다. 시스템에서 신뢰성은 구성하고 있는 모든 신뢰성이 종합된 것이지만 특정소자나 회로의 고장이 시스템 전체의 기능에 미치는 영향정도에 따라 신뢰성을 가중시키거나 또는 가해지는 스트레스의 레벨에 의해 보정을 필요로 하는 등 매우 복잡하지만 단순하게 보면 고장율은 MTBF의 역수로 볼 수 있다. 반도체와 같은 개개의 구성 부분품에서는 시스템과 동일한 신뢰성의 척도를 정하는 것은 적당치 않다고 보기 때문에 통제적인 방법을 사용하여 몇 개 소자의 샘플로 관측된 성능을 무한개의 유사소자의 확률적 성능과 연관시킨다. 1962년 Mil-HDBK-217은 정격전력으로 동작되는 반도체 다이오드 소자의 고장율을 1000HR 당 0.1%로 추정하였다²⁾. 여기에서 SCR은 반도체 다이오드에 포함되어 있다²⁾. SCR이 트랜지스터보다 오히려 다이오드의 카테고리에 포함되는 이유로는

- SCR은 보통 표면간에 의한 성능변화가 트랜지스터보다 일어나기 어려운 구조로 되어 있다.
- SCR은 선형이라기보다는 쌍안정형의 소자이며 그 때문에 파라미터의 성능열화에 허용 여유도가 보다 크다는 점을 들 수 있다.

Mil-HDBK-217은 고장의 정의에 사용되는 최종점의 한도는 개방, 단락 및 단시간내의 초기특성으로부터의 급격한 변화라고 정의하고 있다. Mil-S-19 500/108에 의해 규정된 최종점한도는 순 및 역저지 전류의 초기 허용한계의 2배를 넘는 증가 및 게이트 트리거전류의 초기허용치의 110%를 넘는 증가로 되어 있다.

2.3 SCR의 결함

SCR의 결함은 일반적으로 구조적 결함, 케이스 결함, 내부의 불순물, 재료의 전기적 결함, 금속확산, 방사선 민감성 등에 기인한다. 구조적 결함은 일반적으로 약한 부품, 제조상의 무리 또는 불충분한 기계적 설계도의 결과라고 판단된다. 기계적인 결함과 관련되는 고장의 모드는 과대한 ON 전압강하, 적절한 트리거에도 불구하고 생기는 턴 온 실패, 애노우드-캐소우드 단자간의 단선 등이다.

케이스결함은 허어메틱 시일(Hermetic Seal)의 결함으로서 주위의 불순물이 반도체 본체속으로 들어가게 되면 산소나 습기와 같은 외기는 실리콘 메탈에 반응하여 표면특성의 영구변화를 일으키게 된다. 표면전도율의 변화는 순 및 역저지 전류특성이 서서히 증가하는 것에 의해 판단할 수 있다. 즉 SCR은 전류동작형 소자이므로 저지전류가 어떤 한계지점을 넘어서 열화 하면 정격전압을 저지하는 능력이 상실된다. 여기서 열화의 진행속도는 누설전류의 크기나 가해지는 스트레스의 레벨 특히 온도스트레스에 의해 크게 좌우된다.

내부 불순물의 경우는 시일된 케이스 속에 이온화 물질 원을 포함하고 있고 그 양이 많은 경우에는 케이스 결함에서 생기는 것과 유사한 고장이 일어나지만 전기적인 변화의 크기가 제한되는 점이 다르다.

재료의 전기적 결함으로는 접합부 형성의 불완전성이 기본적으로 포함되나 일반적으로 SCR에서는 경험되지 않는 결함이다. 금속확산 또한 반도체의 고장중 가장 그 중요도가 낮다.

2.4 SCR의 시험

전력회로에 사용되는 SCR의 열화에 따른 전기적 특성 변화는 여러 종류가 있는데 가장 일반적으로 사용되는 점검방법은 저지상태에서의 피크 전압 및 전류를 측정하여 소자의 절연상태를 점검하는 것이다. 따라서 순방향 및 역방향 에서의 전압에 따른 소자의 누설전류를 연속적으로 측정하여 I-V 특성곡선을 구하면 이를 통해 전기적 특성을 파악할 수 있으므로 전압 및 전류특성을

시험하고 측정할 수 있는 적절한 시험장치를 필요로 한다. 또한 소자시험시 접합의 가열을 최소로 하기 위해 시험 전압원으로는 정현 반파전압을 시험소자에 인가하고 전류를 제한할 수 있도록 전류 제한저항을 둔다. 순방향에서의 시험은 브레이크 오우버 되기까지 전압을 증가시키고 소자에 인가되는 전압 및 전류의 피크값을 연속적으로 측정한다. 역저지 전압 및 전류 또한 시험전압의 극성을 바꾸어 동일한 방법으로 측정한다³⁾.

2.5 시험장비 개발

SCR의 I-V 특성곡선을 얻으려면 항복전압 이상의 가변 전압원과 인가전압에 따른 전류를 연속적으로 측정하고 그 결과를 그래프로 표시할 수 있는 장치가 필요하다. 이를 위해서 그림 2 와 같이 장치를 구성했으며 대부분의 전력용 SCR 소자를 시험할 수 있도록 3000V 까지 전압출력을 가변할 수 있도록 하였다. 또한 소자의 보호 및 장치의 보호를 위해 전류를 적당한 크기로 제한하도록 하였다. 측정값의 표시는 디지털 매터에서 피크값으로 표시하도록 구성하였으며 시험되는 파형 및 결과를 저장하고 그래프로 표시 또는 출력하여 I-V특성의 변화추이를 분석할 수 있도록 하였다.

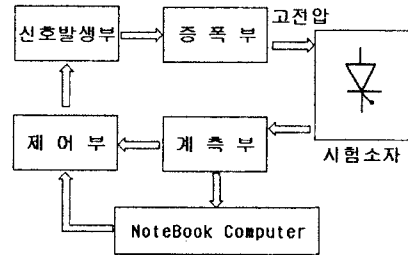


그림 2 시험장비 구성 개요

사진 1은 Thyristor를 시험하기 위해 개발한 장비의 외형을 나타낸 것이다. 본 시험장비의 기능은 시험전압 등 모든 기능을 수동으로 조작이 가능하고 측정할 수 있으며 또한 컴퓨터와 연결하여 완전자동으로 측정할 수 있으며 측정된 결과를 그래프로 작성하고 또한 출력할 수 있다.

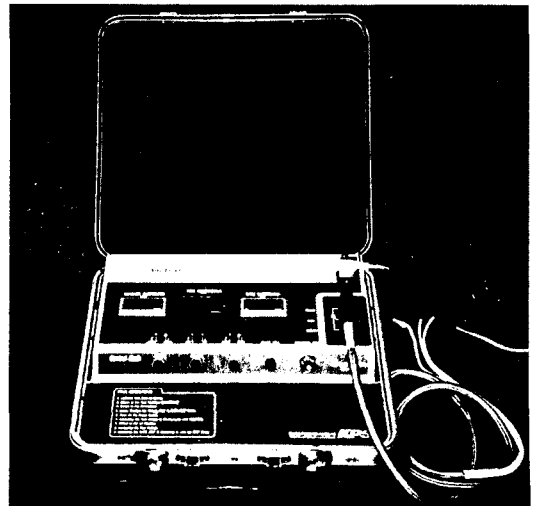


사진 1 Thyristor 특성 시험용 개발장비 외형

그림 3은 Thyristor 시험장치를 제어하는 Software 중 시험전압 파형을 가로축에 전류 파형을 세로축으로 하여 측정하여 리서쥬로 나타난 화면이다.

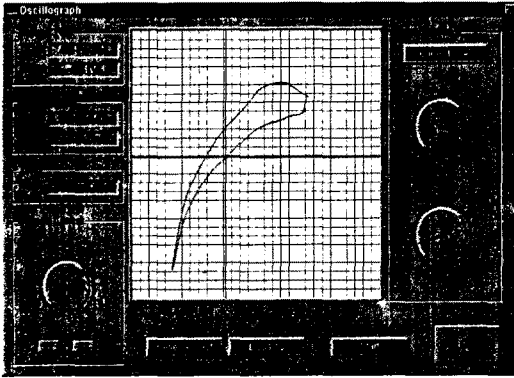


그림 3 Thyristor 의 리서쥬 그래프
(정현반파 시험 전압에서)

2.6 소자특성 측정 결과 판정

시험장비를 사용하여 사용시간이 다른 두 개의 SCR 에 대해 각각의 I-V 특성곡선을 측정한 결과 그림4 와 같은 결과를 얻을 수 있었다.(시험대상모델 : PRX 143 328 008 9040PY/PRX C385N 9325)

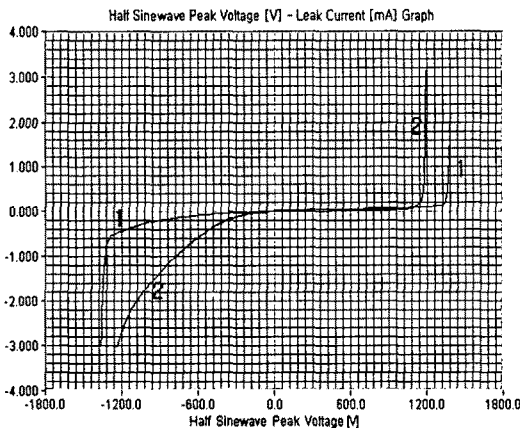


그림4 특성비교 그래프

그래프에서 가로축은 전압을 세로축은 전류를 나타내며 각각 DIV 당 300V 및 0.7mA를 나타낸다. 항복전압 까지의 전류는 소자마다 차이는 있지만 대체로 수 mA 이내이고 항복전압영역에서 급격히 증가하였다.

그림 4 에서 그래프2 는 열화과정을 거친 소자의 I-V 특성을 나타낸 것으로 정상적인(그래프1) 경우 전압이 상승하여도 일정한 전압까지 누설전류가 매우 적게 유지 되는 것에 비해, 노후된 경우(그래프2)는 가해지는 전압이 높아질수록 곡선형태로 나타나고 있고, 그 경사도는 노후정도와 관련됨을 쉽게 파악할 수 있다.

그림에서 보듯이 특성곡선을 비교하면 정상 및 열화진행상태의 추이를 비교 분석할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 SCR의 I-V 특성을 측정하는 시험장비를 개발하고 이를 활용하여 특성곡선을 그래프화 하여 특성변화를 비교하고 또한 변화추이를 한눈에 관측하여

소자의 정상여부 및 열화정도를 비교할 수 있는 결과를 제시하였다. 즉 각기 다른 시간에 측정된 결과를 하나의 그래프에 각각 표시하여 사용시간 증가에 따른 특성의 변화를 상호 비교 분석함으로써 열화의 진행과정의 분석도 가능함을 확인하였다. 향후 본시험장비를 활용하여 사용시간대별 데이터를 취득하여 분석하면 소자의 특성 변화 형태를 정량화 하여 사용환경조건에 따르는 SCR의 잔존수명의 예측이 가능하리라 기대한다.

(참고문헌)

- [1] 대한전기학회 하계학술대회 논문집, "대용량 전동기 구동용 Thyristor 소자의 열화 측정 및 평가(오동환 외)", F권, pp. 1957-1960, 1997
- [2] General Electric Company, "SCR Manual 4th edition", pp. 371-388, 1975
- [3] David Finney, "The Power Thyristor and its Applications", pp. 332-342, 1982
- [4] 한전기공(주) 원자력 훈련원, "전력전자 기초", pp. 107-109, 2000
- [5] C.R.Paul/ S.A.Nasar/ L.E.Unnewehr, "Introduction to Electrical Engineering", pp. 286-289, 1986
- [6] MUHAMMAD H. RASHID, "POWER ELECTRONICS Circuits, Devices, and Applications", pp. 107-141, 1993
- [7] IEEE C62.35-1987, IEEE Standard Test Specifications for Avalanche Junction Semiconductor Surge-Protective Devices
- [8] 한전기공(주) 기술개발원, "전력소자 진단용 장비 및 소프트웨어 개발 최종보고서", 2000