

Thyristor의 반파전압에 의한 특성분석에 관한 연구

박호철, 원학재, 한승문
한전기공(주)

A Study on Analysis of Thyristors by the Half-sine wave Voltage

H.C. Park, H.J. Won, S.M. Han
Korea Plant Service & Engineering Co. Ltd

Abstract - The thyristor among the power semi-conductor elements, which has large current capacity and high voltage, is used widely nowadays. When the thyristor was being used to the long time, this element may be able to arise the system trip caused by changing the characteristic and dropping the performance.

Therefore, it would be necessary to analyze the characteristic of element to maintain the stable operation of the system. In order to analyze this characteristic, it would be need to test forward direction, reverse direction and leakage current by supplying the half-sine wave voltage. Among these testing, transient current condition is generated from the testing of leakage current. This transient current may be the main factor of the error in the precise measurement of leakage current.

Therefore, this paper analyzes the relationship between supply voltage and transient current in measuring leakage current of the SCR, and then suggests the condition and cause of transient current as appearing the leakage current in the testing the leakage current.

1. 서 론

발전소의 AVR을 비롯한 전력변환설비에 사용되는 Thyristor나 Power diode와 같은 전력용 반도체 소자는 전류 용량이 크고 내전압이 높은 것이 많이 사용되고 있다. 이들 소자는 흔히 반영구적이라고 생각되지만 하지만 장시간 사용하면 소자의 특성이 변하거나 경년열화되어 성능이 현저히 저하하거나 소손등의 고장이 발생되는 현실이다. 특히 운전중 소자의 소손은 발전설비의 출력감발 또는 발전정지 등을 일으키는 요인이기도 한다.

그러므로 설비의 안정적인 운전을 위하여 소자의 특성 및 성능분석하는 것이 보통이다. 소자의 특성분석은 순방향, 역방향에 대한 누설전류 및 게이트 전류시험 등을 통해 특성변화를 시험하고 있다. 이들 시험에서 누설전류시험은 소자의 열화특성을 분석하는 데 중요한 요소중에 하나이다.

본 논문에서는 전력용 반도체 소자중에서 SCR의 정방향 및 역방향 누설전류를 측정할 때 시험전압과 이에 대한 누설전류의 관계를 분석하고 누설전류에 나타나는 과도전류현상과 이 과도현상의 발생요인 및 실제 누설전류 측정시 고려해야 할 사항을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 반도체의 P-N 접합 및 SCR 구조

P형 반도체는 다수 캐리어인 Hole과 소수 캐리어인 전자가 있고 N형 반도체는 다수 캐리어인 전자와 소수 캐리어인 Hole이 있다. 이 두 반도체의 접합에서는 캐리어의 확산이 발생한다. 이때 Hole은 P측에서 N측으로 확산되고 전자는 N측에서 P측으로 확산되어 공간전하와 전계 ϵ 가 형성되기 때문에 일정상태에서 균형을 유지한다. N측에서 P으로 확산되는 전자는 N형 반도체 내에 Donor 이온(+)으로 남기게 되고 N측으로 확산하는 Hole은 P형 반도체내에 Acceptor 이온(-)을 남기게 되므로 접합의 N측 근처에 (+)공간전하와 P측 근처에 (-)공간전하가 형성된다. 전계는 (+)전하에서 (-)전하방향으로 놓이게 되고 캐리어 확산전류 방향과 반대가 된다. 이 때 접합부위 주위에 전계 ϵ 는 그림 1에서와 같이 열평형상태의 공핍층인 W지역이 발생하며 W지역에서 전위차 V_0 가 존재한다.

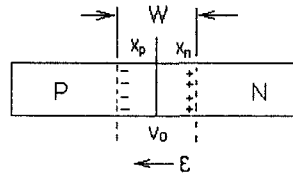


그림 1 열평형상태의 P-N 접합

이것은 외부에서 전압이 인가되지 않는 상태이므로 역방향전압을 걸었을 때, 즉 N영역에 비하여 P영역에 더 낮은 전압을 가해주면 에너지 장벽의 높이가 열평형 상태에서 보다 더 높아지게 되고 이 장벽에 갇혀 전류가 흐를 수 없다. 그러나 공간전하층 내부에서 전자는 N영역으로 끌려가기 때문에 누설전류가 흐르게 된다. 또한 다이오드에 역방향의 바이어스가 걸리면 공핍층이 더욱 넓어지게 된다. 외부에서 인가되는 전압의 변화 ΔV 에 따라 공간 전하층의 폭이 변하는 것은 그 속에 심어진 전하량이 ΔQ 만큼 변한다는 것을 의미하고 따라서 이 PN접합이 캐패시터 역할을 하게 된다. 이와 같이 접합부위에서의 공간전하층과 결부된 접합정전용량 (depletion electrostatic capacitance)의 값은 단위 면적당의 캐패시턴스 값을 나타낸다.

$$C_j = \left| \frac{\Delta Q_d}{\Delta V_R} \right|$$

Q_d 는 그림1에서 x_p 와 x_n 의 단위면적당 전하량이고 V_R 는 PN접합의 역방향 전압이다. 여기서 ΔQ_d 는 인가된 전압에 따라 변화하는 성분만을 의미한다.

PN접합을 넘어 온 소수캐리어 농도는 인가전압의 합

수로서 크게 변하며 캐리어는 +q 또는 -q의 전하를 띠고 있으므로 인가전압의 변화에 따라 과잉 캐리어에 의한 전하량이 변하는 캐패시턴스가 있다.

$$C_{diff} = \left| \frac{\Delta Q}{\Delta V} \right|$$

이 값은 접합정전용량이 캐리어 제공후 남아있는 이동할 수 없는 이온(Immoble ion)에 의한 캐패시턴스와 달리 캐리어가 확산되어 상대편으로 넘어가서 생긴 정전용량(확산정전용량(Diffusion electrostatic capacitance))이다. 또 공핍층 구간에서도 콘덕턴스(Conductance)가 존재하므로 소신호 교류저항이 있어서 PN접합부는 그림 2와 같이 모델화 할 수 있다.

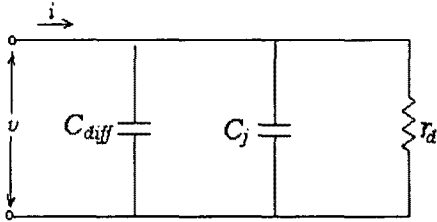


그림 2 PN접합의 소신호 모델

SCR은 PNPN의 4층 구조를 가지고 있는 PN접합구조이다. P형 영역의 바깥쪽에 양극(Anode) 단자 A와 N형 영역의 바깥쪽에 음극(Cathode) 단자 K를 가지는 구조로서 기본구조와 일반적인 회로 기호는 그림 3과 같다.

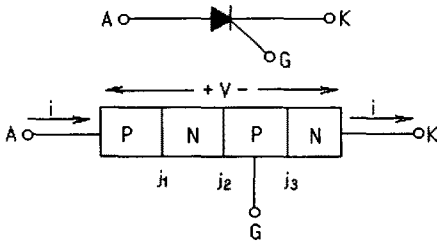


그림 3 SCR의 기본구조 및 일반회로 기호

양극에 가까운 접합을 j_1 , 가운데 접합을 j_2 그리고 음극에 가까운 접합을 j_3 라 하면 양극을 음극에 대하여 양으로 바이어스할 때 이 소자가 순바이어스 되는데 이때 접합 j_1 , j_3 는 순방향이 되고 j_2 는 역방향이 되어 j_2 의 공간전하층에 의해 접합부위에서 접합정전용량을 나타내게 되며, 역바이어스를 인가할 때 SCR의 접합 j_1 , j_3 는 역방향이 되고 j_2 는 순방향이 되며 j_1 , j_3 의 공간전하층에 의해 접합부위에서 정전용량과 저항을 나타내게 된다.

2.2 SCR의 시험장치 구성

SCR의 접합부분의 온도상승을 최소화 하고 인가시험 전압에 대한 과도특성을 확인하기 위해 60[Hz]의 정현 반파전압을 시험전압으로 하였으며 특성시험을 위한 시험장치의 구성은 그림 4와 같다.

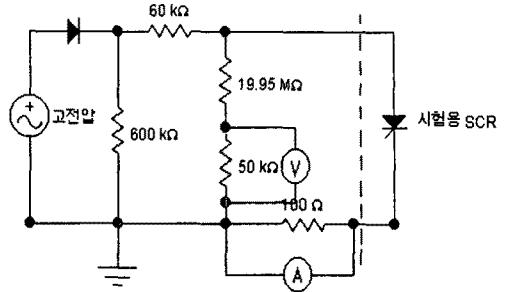


그림 4 SCR 시험회로 구성도

시험용 SCR에 인가되는 시험전원은 정현반파의 전원을 사용하였는데, 정현 반파전압은 SCR의 접합부분의 가열을 최소화 하기 위하여 사용하였으며 SCR의 전류를 제한하기 위하여 제한전류를 다이오드의 부하측에 설치하였다. 실험에서 사용한 전원장치는 교류입력전원이 0 ~ 3000V까지 가압할 수 있는 전원장치를 사용하였고 특히 입력전압이 고전압일 때를 측정하기 위하여 전압측정에는 분압회로와 분류회로로 전압 및 전류를 낮추어 오실로스코프로 파형을 측정하였다. 본 샘플측정용으로 실험에 사용될 SCR은 무정전전원장치(UPS)에 사용한 고전압 대전류의 PRX C430PB(내전압:1200V, 정격전류:550A)을 사용하였다.

2.2.1 SCR 과도전류현상

그림 4처럼 구성된 회로에서 SCR의 누설전류를 측정하기 위하여 전원전압을 서서히 증가시키면 SCR의 정현반파전압이 공급될 때 출력전류는 그림 5와 같이 정현반파전압에 대한 교류의 과도전류파형이 발생되었다.

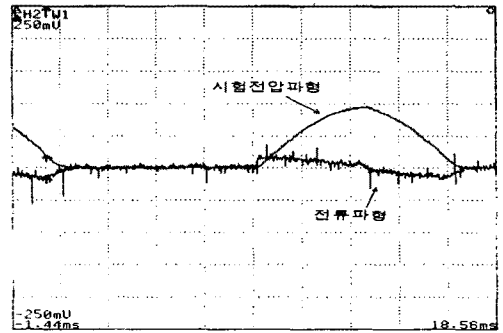


그림 5 정현반파 입력전압과 출력전류파형 (시험전압이 낮은 경우)

그림 6은 누설전류에서 발생하는 파형이 교류성분의 과도전류에서 발생하는 파형보다 크게 나타나는 것을 오실로스코프를 이용하여 측정된 파형을 보여주고 있다.

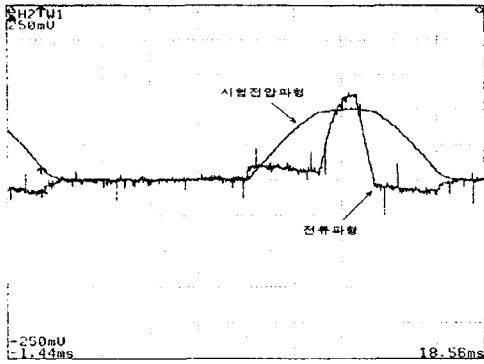


그림 6 SCR에 시험전압을 증가시켰을 때 누설전류의 파형

이 과도전류파형은 인가전압의 상승에 따라 초기에는 반파전압의 상승시 전류가 '+' 방향으로 급격히 증가하다가 서서히 감소하여 '-' 방향으로 거의 대칭적으로 흐르고 이 파형의 끝부분에서는 지수함수적으로 감소되는 현상이다. 이 현상은 SCR의 PN접합의 접합용량에 의해 발생하는 것으로 이것을 접합용량에 대한 캐패시턴스로 보고 시뮬레이션한 결과 그림 7과 같이 캐패시터(Capacitor)와 병렬저항을 연결한 등가회로를 구성한 모델로 해석하여 유사한 전류파형을 얻을 수 있었는데 그 결과는 그림 8과 같다.

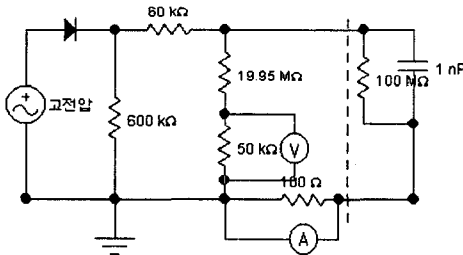


그림 7 시뮬레이션 등가회로

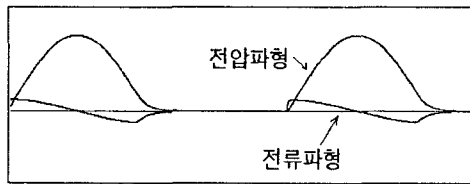


그림 8 시뮬레이션시 전압 및 전류파형 모델해석 결과

이 파형은 인가전압의 상승에 따라 증가하고 인가전압을 감소시에 전압에 따라 감소하였다

2.2.2 누설전류의 측정

그림 5와 그림 6에서 보는 바와 같이 시험전압을 증가시키면 어느 정도 크기에서 누설전류의 파형이 나타나게 된다. 이 파형은 정현반파전압의 가운데 부분에서 점점 커지는 데 그림 9와 같이 초기에는 과도전류의 파형보다 누설전류의 파형이 적게 나타난다.

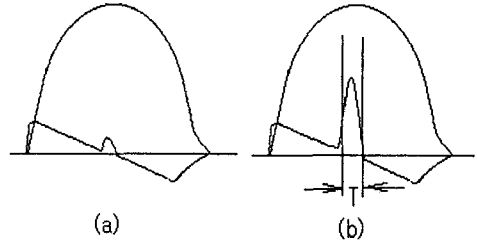


그림 9 누설전류의 파형과 신호취득 구간

그림 9(a)는 누설전류가 과도전류보다 작을 때이고 그림 9(b)는 누설전류가 과도전류보다 클 때이다.

따라서, 시험전압에 대한 누설전류측정은 접합부위 정전용량에 의한 과도전류분을 제거한 순수누설전류측정이 필요하다. 특히 저전압에서는 과도전류분이 순수누설전류의 Peak치보다 크기 때문에 단순히 SCR의 양단에 흐르는 전류에 대해 Peak치를 측정하는 것은 정상적인 누설전류 측정시험이라고 볼 수 없는 상태이다.

3. 결론

본 논문에서는 PN접합구조를 갖는 SCR에 대해 정현 반파 시험전압을 인가할 때 소자에 흐르는 전류의 형상에 대해 분석한 결과 PN접합정전용량 특성에 의한 과도전류와 인가전압에 의한 누설전류가 합성되어 있음을 확인할 수 있었다. 또, 캐패시터와 고저항을 병렬로 연결한 구조로 모델화하여 시뮬레이션 해석한 결과 과도전류파형을 근사적으로 확인할 수 있었다.

SCR에 인가되는 낮은 시험전압에 대해서는 접합정전용량에 의한 과도전류가 누설전류보다 크기 때문에 순수 누설전류를 측정하기 위해서는 SCR의 특성시험시 정전용량 특성에 의한 과도전류를 고려하여 인가전압 상승에 의한 순수누설전류만을 측정해야 오차없는 전압-전류 특성곡선을 얻을 수 있는 것으로 판단한다.

(참 고 문 헌)

- [1] DAVID K. FERRY, "Physical Electronics", ADDISON-WESLEY Publishing Company, pp. 159 - P200, 1971
- [2] JASPRIT SINGH, "Semiconductor Devices", McGRAW-HILL, pp. 15C - 248, 1994
- [3] DAVID FINNEY, "The Power Thyristor and Its Applications", McGRAW-HILL, pp. 3 - 17, 1980
- [4] BEN G. STREETMAN, "Solid State Electronic Devices", PRENTICE-HALL, pp. 126 - 203, 1980
- [5] General Electric, "SCR Manual", 가남사, pp. 395 - 410, 1988
- [6] 박병철, 이택중, 이근영, 정강민, "전자공학개론", 신성, pp. 26 - 54, 1987
- [7] 김원찬, "반도체 소자의 이해", 대영사, pp. 172 - 218, 1999
- [8] 한병성, 이현수, 박성진, "반도체 공학", 동일출판사, pp. 173 - 200, 1999