

Thyristor 소자의 열화에 따른 특성저하 분석기법에 관한 연구

김형우, 서길수, 김기현, 이양재*, 최낙권*, 김은동
한국전기연구원, *진주산업대학교, *경남대학교

Study on the analyzing method for examine the thyristor characteristic degradation due to the aging

Hyoung-Woo Kim, Kil-Soo Seo, Ki-Hyun Kim, Yang-Jae Lee*, Nak-Kwon Choi* and Eun-Dong Kim
Korea Electrotechnology Research Institute, *Jinju National University, *Kyoung Nam University

Abstract : Reliability of the thyristor has a major effects on the high power systems such as HVDC, SVC and FACTS, etc. Therefore, analyzing method for thyristor aging is important to improve the stability of thyristor and high power systems. In this paper, we explain the analyzing method for examine the thyristor aging effect. And also, the thyristor aging experiments were performed to investigate the characteristic degradation due to the aging.

Key Words : Thyristor, Aging, Characteristics degradation, Analyzing method

1. 서 론

Thyristor와 같은 소자들은 수명의 저하가 예측될만한 온도 범위보다는 낮은 온도 조건에서 사용되고 있기 때문에 쉽게 열화가 일어나지는 않는 것으로 알려져 왔다[1]. Thyristor 밸브내에 장착되어진 소자들에서 일어나는 고장들도 돌발고장인 것으로 인식되었으며, 설계시에 어느 정도의 여유를 가지고 설계를 하기 때문에 밸브내의 어느 한 소자에서 고장이 일어나도 전체 소자나 시스템에는 영향이 미치지 않는 것으로 인식되고 있다. 그러나, 실제로는 시스템내에서 소자의 고장이 발생할 경우 다른 소자들에 걸리는 부하량에 변동이 발생하게 되고 이로 인해 전체 소자들의 특성이 저하되는 결과를 가져오게 된다[2]. 따라서 시스템의 안정성 및 안정적인 운용을 위해서는 시스템을 구성하고 있는 밸브내의 thyristor 소자의 열화 특성을 분석이 필요하며, 장기적으로는 thyristor 소자의 수명을 진단하고, 예측할 수 있는 기법이 필요하다.

일본의 경우 이미 2003년에 전기협동연구 “전력계통용 power electronics 설비의 현황과 설계, 보수 기준”보고서[3]를 통해 thyristor 소자의 가속열화 시험 결과를 보고하고 있으며, thyristor의 safety factor test 결과[4] 또한 발표되었으나, 아직까지 국내에서는 이에 관한 연구가 제대로 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 thyristor 소자의 장기적인 열화에 따른 특성저하 분석기법에 관해 기술하고, 장시간의 가속열화 시험을 통해 열화가 소자의 항복전압 및 누설전류와 같은 전기적인 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보았다.

2. 열화특성 분석기법 및 실험

Thyristor 소자의 열화를 진단하기 위한 기법에는 누설전류 측정을 이용하는 방법과 noise 측정을 이용하는 방법 및 소자의 전기적 특성 측정을 통한 방법이 있다.

이러한 진단 방법들 중에서 본 논문에서는 소자의 전기적 특성 측정을 통한 방법을 사용하였다. 소자의 전기적 특성 측정을 통한 열화진단은 소자에 전압, 전류 및 온도와 같은 stress를 장시간 인가하여 가속열화를 시킴으로써 열화가 항복전압이나 누설전류와 같은 특성에 어떤 영향을 주는지를 분석하는 방법이다.

가속열화에는 그림 1과 같은 장치를 구성하여 실험을 수행하였으며, 전압 및 온도를 stress 인자로 사용하였다.

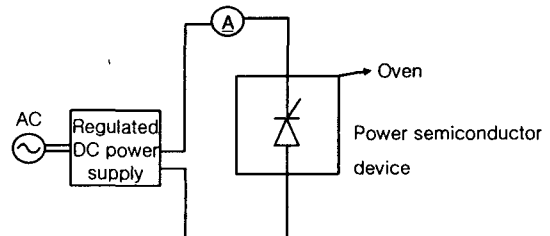


그림 1. 가속열화 실험 장치 회로 구성도

가속열화 실험에 사용한 소자는 1600V급의 상용 PCT(P-hase Control Thyristor)를 사용하였으며, 7~10일간을 주기로 하여 항복전압 및 누설전류를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

실험에 사용된 thyristor의 개수는 총 42개로 표 1에 실험에 사용된 thyristor의 가속열화 실험 수행전의 역방향 항복전압 및 누설전류의 초기 특성을 나타내었다.

표 1. 실험에 사용된 소자들의 초기특성

누설전류(mA, rms)	역방향 항복전압(V, rms)
0.14	2,200

열화가 빠르게 진행되도록 하기 위해 전압 및 온도

stress를 동시에 인가하면서 실험을 수행하였으며, 전압 및 온도는 각각 1,000V 및 100°C로 고정하여 인가하였다.

실험에 사용된 전압 및 온도 stress에 따른 가속율은 다음의 식을 사용하여 얻었으며, 이 식을 바탕으로 하여 66.8의 종합 가속율을 얻을 수 있었다.

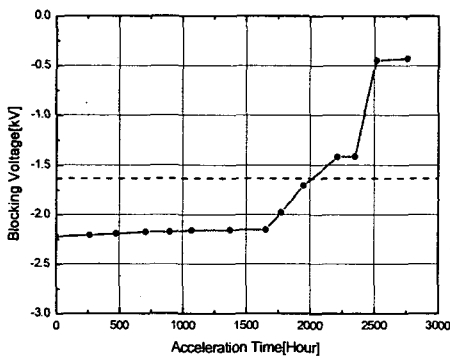
$$K_1 = \left(\frac{V}{V_0} \right)^n, \quad V: \text{실험전압}, V_0: \text{실사용전압}$$

$$n = 1.7 \text{ at } 60\text{Hz}$$

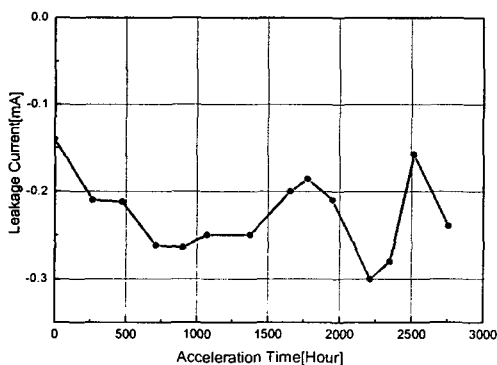
$$K_2 = \exp \left[\left(\frac{E_a}{k} \right) \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right], \quad E_a: \text{energy gap}$$

$$T: \text{시험온도}, T_0: \text{사용온도}$$

그림 2에 가속열화 실험을 수행한 이후 thyristor 소자의 역방향 항복전압 및 누설전류를 측정된 결과를 나타내었다. 가속열화 실험을 수행한 시간은 총 2,765시간이며, 7~10일을 주기로 역방향 항복전압 및 누설전류의 변화 정도를 측정하였다.



(a) 역방향 항복전압 특성 변화



(b) 누설전류 특성 변화

그림 2. 가속열화에 따른 thyristor의 역방향 항복전압 및 누설전류 변화 특성

그림에서 볼 수 있듯이 역방향 항복전압은 대략 1600시간까지는 일정하게 유지가 되었으나 1600시간 이상 가속 열화를 할 경우 급격히 감소하여 2500시간을 넘어서면

500V 이하까지 감소한다. 누설전류의 경우도 변동폭이 비교적 심하긴 하나 초기의 0.1mA에서 0.1mA이상 증가하였음을 알 수 있다.

역방향 항복전압이 감소한 원인은 대부분의 thyristor 소자에서 사용하는 junction termination 기법인 beveling시에 발생한 결함과 보호막 사이의 가속열화에 따른 전하축적으로 인해 항복전압이 줄어든 것으로 보여진다[5]. 누설전류 또한 beveling된 면과 보호막에서의 전하 축적에 의해 생성된 전류 전도 영역에 의해 증가한 것으로 보여진다.

Thyristor는 npn, pnp 트랜지스터의 결합으로 이루어진 소자로 볼 수 있는데 전류 전도 영역이 형성된 n-base 영역을 pnp 트랜지스터의 베이스 영역이라고 가정하면 pnp 트랜지스터의 베이스 영역이 얇아진 것과 같은 현상이 생기게 되므로 이로 인해 pnp 트랜지스터의 전류 증폭률이 증가하게 되며, 따라서 thyristor 소자 전체의 누설 전류량도 증가하게 된다고 할 수 있다.

4. 결론

Thyristor 소자의 열화 정도를 진단하기 위한 기법으로 가속열화에 의한 전기적 특성 변화를 측정하는 방법에 대해 기술하고 실제 실험을 통해 소자의 역방향 항복전압 및 누설전류의 변화량을 측정하여 열화가 소자의 전기적 특성에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 실험결과 역방향 항복전압의 경우 대략 1600시간 이상 가속열화를 할 경우 초기의 2200V에서 500 이하로 급격하게 감소하였으며, 누설전류도 0.1mA이상 증가하였다. 따라서 장시간 사용으로 인한 열화가 소자의 전기적 특성 저하를 일으킬 수 있으며, 이러한 실험을 통해 소자의 수명예측을 통한 신뢰성 분석이 가능할 것으로 보여진다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 전력기반조성사업 "전력계통용 전력반도체 신뢰성 평가 및 수명예측 기술개발" 과제에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Milan Cepek and Chandra P. Krishnayya, "Thyristor Aging", Power System Technology, pp. 18-21, Aug, 1998.
- [2] E. A. Herr, A. Poe and A. Fox, "Reliability Evaluation and Prediction for Discrete Semiconductors", IEEE Trans. Reliability, Vol. R-29, No. 3, Aug, 1980.
- [3] 사단법인 전기협동연구회, "전력계통용 power electronics 설비의 현황과 설계 및 보수기준", 제 57 권, 제 2호, 평성 13년 10월
- [4] M. Sampei, T. Yamada, S. Tanabe and H. Takeda, "Secular Change in characteristics of Thyristors Used in HVDC Valve", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 12, No. 3, July, 1997.