

Design of Characteristics Test Equipment for a Large Capacity Thyristor

徐吉洙[†] · 金亨宇^{*} · 金起鉉^{*} · 金南均^{**} · 金垠東^{**}
 (Kil-Soo Seo · Hyoung-Woo Kim · Ki-Hyun Kim · Nam-Kun Kim · Eun-Dong Kim)

Abstract - Recently, application area of the thyristor is extends to power conversion systems, such as HVDC, BTB, SVC and FACTs. Therefore, reliability diagnostic technique on thyristor is needed to obtain stability and maintenance of power conversion systems. To measure the characteristics of the thyristor, test equipments which based on IEC 747-6 and KS C 7023 standard are needed. In this paper, we presents the design and manufacture of the test equipments for 6.5kV/4.2kA thyristor which used in thyristor valve of HVDC conversion systems by using test standard. Voltage, current, dv/dt and turn-off time test equipments were designed and manufactured. Each systems were made separately, but unity operation can possible.

Key Words : Thyristor, HVDC, FACTs, Test Equipment, Power Conversion System, Reliability, Power System

1. 서 론

대용량 전력반도체 소자인 사이리스터는 1995년에 해남-제주간 HVDC 변환소에 채용되어 현재 11년째 운전중에 있고, 육지계통과 제주계통간 외란에 대한 전압 및 유효전력 진동 발생을 억제하기 위한 강진변전소의 80MVA UPFC에도 사이리스터의 일종인 GTO(Gate Turn-off Thyristor)를 밸브의 스위칭 소자로서 이용하고 있다. 또한 BTB 및 SVC등에 채용되고 있으며, 향후 FACTs, 남북 및 동북아 전력계통연계 등 전력변환용으로 사용될 부품으로서 사용범위가 날로 증가하고 있으며, 최근에는 IGBT등의 채용도 검토되고 있는 추세이다.[1-4]

해남-제주간 HVDC변환설비 및 강진변전소의 80MVA UPFC시스템의 안정적 운용과 유지보수 기술 확립 및 고장 대책을 세우기 위해서는 전력소자의 수명 또는 신뢰성 진단 기술 개발이 필요하며, 장기적으로는 전력계통용 전력변환설비의 신뢰성을 진단하는 프로그램이 개발되어야 한다.[5-13]

대용량 전력반도체 소자의 신뢰성을 진단하려면 기본적으로 가속열화장치와 소자의 열화에 따른 열화인자의 특성변화를 관찰할 수 있는 “전력반도체 특성평가 장비”가 필요하다. 전력반도체 특성평가에는 제품의 개요, 절대 최대정격, 전기적 특성 3개 항목에 대한 개별 규격을 정의하고 있으며, KS C 5207에서 규정하고 있는 전기적 특성은 KS C 7023 “역저지 3단자 사이리스터 시험방법”, 환경시험은 KS C 6046 “개별 반도체 소자의 환경시험 방법 및 내구성 시험방법”을 따르도록 하고 있다.[14,15]

전기적 특성의 측정은 KS C와 IEC규격에 구체적으로 명기되어 있다. 이들 규격에서는 측정해야 할 모든 항목에 대

한 시험회로를 각각 예시하여 가이드라인을 정해 놓았다. 그런데 시험 항목별로 시험회로를 갖추고자 하면 그 수가 많아 번거로울 뿐 아니라 비용 측면에서 중복 투자되게 된다. 시험설비를 최적화하면 여러 시험항목을 하나의 설비로 시험 가능할 수 있기 때문에 공통점이 있는 시험항목을 군(群)으로 나누는 것이 필요하다.

시험항목 군은 크게 전압, 전류, 전압/전류 상승률, turn-on, turn-off 시험군의 4가지로 나눌 수 있다. 전압 시험군 회로는 사이리스터의 최대 정격 전압을 인가할 수 있는 고전압 전원을, 전류 시험군 회로는 최대 정격 전류를 통전할 수 있는 전류원을, 전압/전류 상승률 시험군 회로는 과도 전압과 전류를 발생하는 전원 장치를, turn-on/off 시험군 회로는 별도의 전압원과 전류원이 동시에 필요하며 이 두 전원을 일정한 시점에서 시험용 사이리스터에 인가할 수 있도록 타이밍 회로를 구성해야 한다. 이상을 종합하면 표 1과 같다.

표 1. 사이리스터 시험군[14,15]
 Table 1. Thyristor testing group[14,15]

시험군	시험 항목	시험 방법
전압 시험	절대 최대 정격	피크 반복 off 전압 Peak non-repetitive reverse voltage 시험 회로
	전기적 특성	피크 반복 역전압
		피크 비반복 역전압
전류 시험	절대 최대 정격	평균 on 전류 KS C 7023 6.1 패로 on 전압 시험 회로
	전기적 특성	on 전압
		유지 전류
전압, 전류 상승률	절대 최대 정격	꺼지 on 전류 IEC 747-6 3.5 Critical rate of rise of on state current 시험 회로
	전기적 특성	임계 on 전류 상승률
		임계 off 전압 상승률
turn-on, turn-off	전기적 특성	turn-on 시간 KS C 7023 6.8 turn-off 시간 시험 회로
		자연 시간
		상승 시간
	turn-off 시간	

본 논문에서는 대용량 사이리스터 신뢰성 진단기술 확보의 일환으로서 대용량 전력반도체의 특성을 평가할 수 있는 특성 시험평가 시험 장비의 설계 및 제작에 대한 것이다. 특성 시험평가 장비는 전압, 전류, 전압/전류 상승률 및 turn-on/off 시간 시험장치와 원격으로 제어할 수 있도록 하는 주 제어반으로 구성된다. 시료로는 현재 해남-제주간

† 교신저자, 正 會 員 : 전기연구원 선임연구원
 E-mail : ksseo@keri.re.kr

* 正 會 員 : 전기연구원 연구원

** 正 會 員 : 전기연구원 책임연구원

接受日字 : 2005年 10月 14日

最終完了 : 2005年 11月 15日

HVDC 전력변환소에서 사용하는 용량급 사이리스터를 평가할 수 있도록 선정하였으며, 사이리스터는 ABB사의 5STP 42U6500[16]를 선택하였다. 차단전압 $V_{DSM}=6.5kV$, On-state 전류 $I_{TAVM}=4.2kA$ 이며 구조는 실리콘 웨이퍼가 극과 분리된 alloy free구조로 되어 있기 때문에 데이터 시트에서 제시하는 mounting force인가를 위한 지그(jig)가 필요하다.

2. 사이리스터 특성 시험장비의 설계

사이리스터 특성 평가 시험 관련 규격은 세계적으로는 국제전기 공업 규격인 IEC에서 포괄적으로 규정하고 있으며, 국내의 KS규격은 한국 공업 표준 규격으로 사이리스터 중·대전류 사이리스터의 시험 규정은 KS C 5207 “신뢰성 보증 역저지 3단자 사이리스터(중·대전류)”에서 정하고 있다. IEC규격에서는 IEC60747 part6에서 사이리스터 특성 시험 평가 방법이 기술되어 있다.[14,15]

본 시험 장비는 국내 KS C 5207 규격을 기준으로 하였으며 IEC60747-6의 내용을 참고로 하여 전압, 전류, 전압/전류 상승률 및 turn-on/off 시간 시험장치와 원격으로 제어할 수 있도록 하는 주 제어반을 포함하여 5그룹으로 구성되나, 실제 블록은 사이리스터 시험장치 제어반, 전압 시험장치, 유지전류 시험장치, 임계 off 전압상승률 시험장치, 임계 on 전류상승률 시험장치, 임계 off 시간 시험장치 및 전류시험의 시험장치그룹과 여기에 전원공급을 위한 슬라이더스 #1, #2로 구성된다.[10]

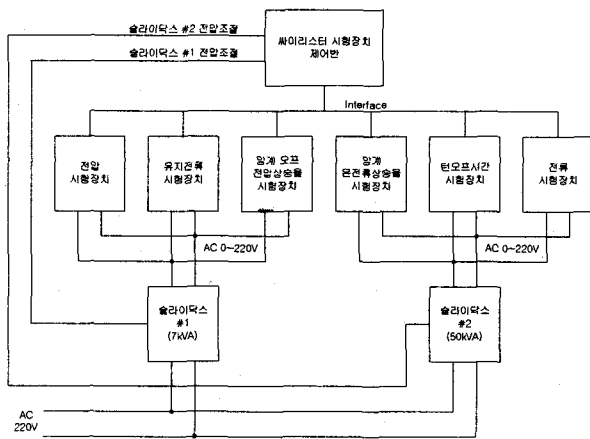


그림 1. 대용량 사이리스터 특성평가 장비의 구성도
Fig 1. Block diagram for test equipment of thyristor with large capacity

2.1 주 제어반

대용량 사이리스터 특성 평가 장비는 전체 시험 장비의 동작 순서 제어와 동작 상태 입·출력 모니터링 등을 수행하는 주 제어반을 중심으로 시험 장비별로 각각 다른 운전반과 슬라이더스로 구성된다. 주 제어반과 각 시험 장비는 RS-232C통신으로 연결되며, 주 제어반이 모든 시험을 관장하게 되어 있으며, 항상 1가지 시험만 가능하도록 제작하였다. 그림 1은 대용량 사이리스터 특성평가 장비의 구성도이다.

2.2 전압시험군

전압시험군에 속해 있는 시험 항목들은 공시 사이리스터

가 turn-off되어 있는 상태에서 반복 또는 비반복 역전압을 인가하거나 순방향 전압을 인가하여 이에 대한 내전압 특성을 보거나, 이때 흐르는 역전류나 off 전류를 측정하는 것으로 사이리스터의 피크 비반복 전압 이상을 출력할 수 있는 전원 전압원이 사용된다. 오실로스코프로 시험 전압을 측정하고자 할 때는 고전압을 측정할 수 있는 전압 분압기나 PT(Potential Transformer) 등과 같은 장비를 필요로 한다. 그림 2는 실제 제작된 전압시험회로도이다.

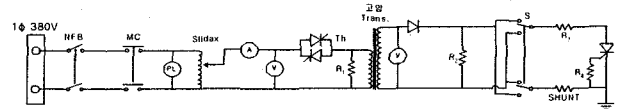
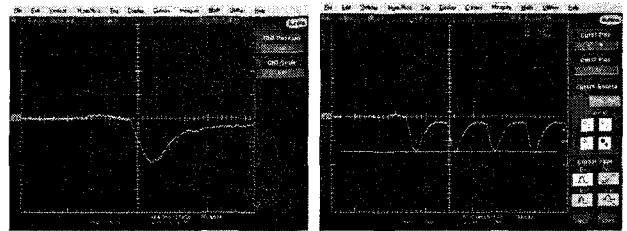


그림 2. 제작한 전압시험회로
Fig 2. Voltage testing circuit

제작된 전압시험군의 시험을 위해 사용된 사이리스터는 ABB사의 5STP 42U6500[16]로서 $V_{DSM}=6,500V$, $I_{TAVM}=4,200A$, $I_{TRMS}=6,594A$, $I_{TSM}=67,500A$, $V_{TO}=1.13V$, $r_T=0.185m\Omega$ 이다. 그림 3은 공시 사이리스터를 이용해 전압 시험장치의 비반복시험과 반복시험에서 전압 7.3kV까지 시험장치가 잘 동작함을 확인할 수 있다.



(a) 비반복시험 (a) non-repetitive test
(b) 반복시험 (b) repetitive test

그림 3. 전압시험 파형

Fig 3. Test waveform on voltage test equipment group

2.3 전류시험군

전류 시험군에 속해 있는 시험항목들은 공시 사이리스터가 turn-on 되어 있는 상태에서 순방향 전류를 흘리고, on 전압, on 전류, 시험 전류 크기를 가감하면서 유지 전류를 측정한다. 본 시험군에는 사이리스터의 평균 on 전류 이상을 출력할 수 있는 전류원이 필요하다.

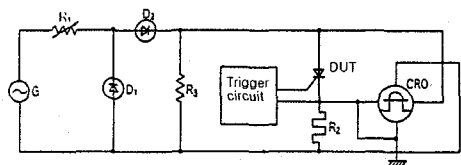


그림 4. 전류 시험군 시험회로
Fig 4. Circuit of current test group

사이리스터에 흐르는 전류를 측정하기 위해서는 대전류 측정용 R_2 (Shunt 저항)나 CT등과 같은 전류 센서와 오실로스코프가 필요하다. 전류원 G에는 대전류용 저압 변

압기, R_1 은 대전력 저저항을 사용하였다. 그림 5는 전류 시험군의 시험회로를 보여준다. 전류 시험을 할 때, 공시 사이리스터가 대전력용으로 시험 전류가 매우 큰 값이기 때문에 실제 전류시험 회로를 구현하기 위해 공시 사이리스터를 단락하여 전력 용량을 작게 하였다. 전류 시험을 위해 제작한 시험 장치로서 공시 사이리스터를 단락시험 하기 위해 저전압 대전류 변압기를 사용하였다.

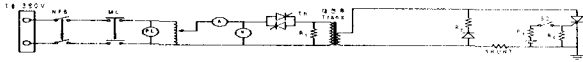


그림 5. 제작한 전류시험 회로
Fig 5. Current testing circuit

그림 6은 전류시험장치에 500A/50mV 출력비를 갖는 전류 shunt로 측정된 사이리스터 전압파형으로서 전류로 환산하면 각각 $I_{Tpeak}=8,800A$, $I_{Tpeak}=11,600A$ 이다. CH1은 애노드-캐소드간 전압, CH2는 전류이고 CH3는 게이트 전압이다.

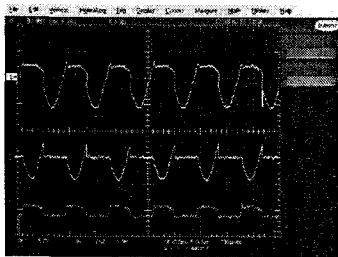


그림 6. 전류시험군의 파형
Fig 6. Test waveform on current test equipment group

사이리스터는 자기소호가 불가능한 소자로 순방향 바이어스상태에서 한번 점호가 되면 on 상태를 유지하는 특성을 가지고 있다. 따라서 사이리스터를 소호하기 위해서는 역방향 바이어스를 인가하거나 애노드전류를 끊어 주어야 한다. 이때 게이트 전류가 인가되지 않는 상태에서 사이리스터가 on 상태를 유지하기 위해 필요한 전류를 유지전류 (Holding current)라 하고 유지전류 시험은 이 유지전류의 크기를 측정하는 것이다.

그림 7는 IEC60747-6[14]규격에서 제시한 회로로서 직류 전원과 전류계, 저항, 게이트 구동회로로 구성되어 있다. 가변저항 R_1 을 최소로 하고 스위치 S를 on 하여 공시 사이리스터를 점호한 후 사이리스터가 완전히 점호가 되면 스위치 S를 off하여 latching current 이상으로 전류가 흐르도록 한다. 이 상태에서 가변저항 R_1 을 점점 증가시키면 전류가 줄어들게 된다. 전류가 유지전류 이하로 내려가게 되면 공시 사이리스터가 off되게 되는데 이때 공시 사이리스터가 on 상태를 유지할 때의 마지막 전류 값을 측정하면 유지전류가 된다.

그림 7의 회로는 가변저항을 조절해주는 데 따라 값이 조금씩 바뀔 수가 있으므로 수동으로 매우 천천히 조절해야 되는 불편함이 있다. 따라서 제작된 유지전류 시험회로는 그림 8과 같이 구성하였으며, 커패시터의 방전을 이용하여 측정시 전류를 관찰, 측정만 하면 되도록 구성하였다. 제작한 유지전류 시험 회로는 먼저 커패시터에 전하를 충분히 충전시키고 공시 사이리스터를 Latching current 이상

으로 전류가 흐르도록 점호한 후 게이트를 차단하면 커패시터의 충전 전하가 천천히 방전하며 공시 사이리스터의 전류가 서서히 줄어들도록 되어 있다. 이렇게 방전에 의해 전류가 감소하다가 전류가 흐르지 않게 되는 지점이 있는데 이때의 전류를 측정하면 유지전류가 된다. 유지전류 시험 변수는 다음과 같다. $I_H=30\sim 200mA$, $\tau= C_1R_2 \approx 10sec$, $R_2=100\Omega/100W$, $C_1=100mF$, $R_3=10k\Omega/1W$ 이다.

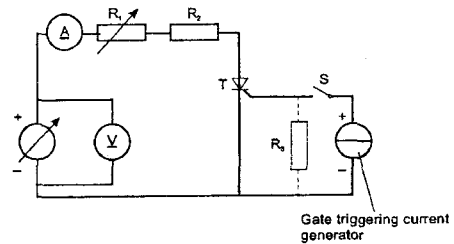


그림 7. 유지전류 시험회로
Fig 7. Holding current testing circuit

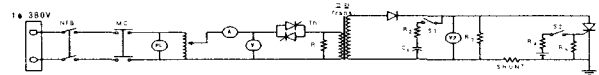


그림 8. 제작한 유지전류 시험회로
Fig 8. Holding current test circuit

시험 전류 파형은 2A/4V 출력을 가지는 전류 Hall CT의 전압을 측정하였다. 그림 9은 유지전류시험 측정 파형을 나타낸 것으로 측정된 $I_H=60mA$ 로서 왼쪽 파형은 유지전류 시험 전체파형이고 오른쪽 사진은 I_H 값을 정확히 읽기 위해 확대한 사진이다. 또한 I_H 값은 ABB사의 데이터시트[16]의 값과 잘 일치한다.

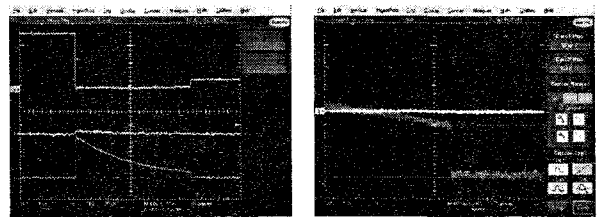


그림 9. 유지전류시험 측정파형, $I_H=60mA$
(CH2:전압, CH1:게이트전압, CH3:전류)
Fig 9. Holding current waveform $I_H=60mA$
(CH2:Voltage, CH1:gate voltage, CH3:current)

2.4 Turn-off시간 시험장치

사이리스터는 자기소호 기능이 없으므로 강제로 소호를 하기 위해서는 역바이어스 전류를 인가하는 강제소호회로가 필요하다. Turn-off 시험은 사이리스터를 강제 소호할 경우의 turn-off 시간을 측정하는 시험이며, 그림 10에 turn-off 시간을 측정할 때의 파형을 나타낸다. 그림 10은 사이리스터의 turn-off 특성 파형으로 사이리스터에 흐르는 전류와 양단 전압을 나타내고 있다. Turn-off 시간이라고 하면 강제소호회로에 의해 사이리스터가 off되기 시작하여 0이 되는 순간부터 인가전압으로 사이리스터 양단 전압이 상승하기 시작하는 순간까지를 말한다.

Turn-off 시간 시험 회로는 그림 11과 같고, 동작원리는 아래와 같다.

① S₂, S₄를 동시에 ON하고 사이리스터를 ON하여 규정 전류 I_T를 흘린다. S₄를 OFF하여 트리거회로 분리한다.

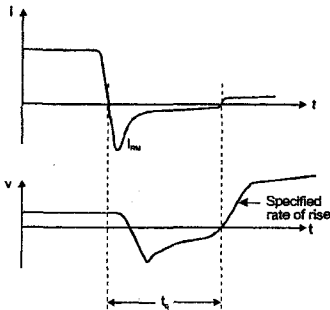


그림 10. 사이리스터 turn-off 파형
Fig 10. Turn-off waveform of Thyristor

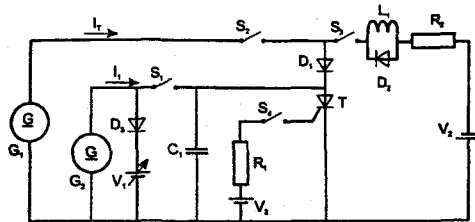


그림 11. 사이리스터 turn-off 시험 회로
Fig 11. Turn-off test circuit of Thyristor

② 규정도통시간 후에 S₃을 ON, 규정 역 전압을 사이리스터에 인가하면 규정변화율로 사이리스터에 전류가 감소한다.

③ S₁을 ON하여 규정크기와 규정변화율로 차단전압을 사이리스터에 인가, S₃과 S₁을 짧은 시간동안 연속적으로 반복해서 ON한다. - 사이리스터가 breakover되지 않고 off 상태로 있는지를 알 수 있도록 충분한 시간 동안 반복.

④ D₁의 역 회복 시간은 사이리스터의 역 회복 시간보다 길어야 된다. →전류회로에 의한 off 동작에 사이리스터에 의해서만 나타날 수 있도록. D₂는 사이리스터가 역 차단 성능을 회복하기 시작할 때 나타나는 전류와 전압의 과도현상을 방지→사이리스터 off시 L₁에 과도전압이 발생하므로 free-wheeling시킨다.

표 2. Turn-off 시간 시험의 설정 변수
Table 2. Setting parameters for Turn-off time test

① 규정전류	I_{TRM}	3,000A
② 규정역전압	V_R	>200V
③ 규정변화율, 전류변화율	di_T/dt	-1A/μs
④ 규정크기	$V_D \leq 0.67 V_{DRM}$	3,752V
⑤ 규정변화율	V_D/dt	20V/μs

⑤ L₁과 R₂는 사이리스터 ON 상태에서 스위칭되는 ③ 전류변화율을 결정한다. L₁은 D₁의 역 회복을 완료하고 C₁에 L₁/C₁의 시간동안 선형으로 충전된다. 이 스위칭 주기는 사이리스터의 ⑤차단전압 상승률을 제공한다. Turn-off 시간 시험 회로의 변수를 정리하면 표 2로 나타낼 수 있

다.

그림 12은 제작한 turn-off 시간 시험 회로를 보여준다.

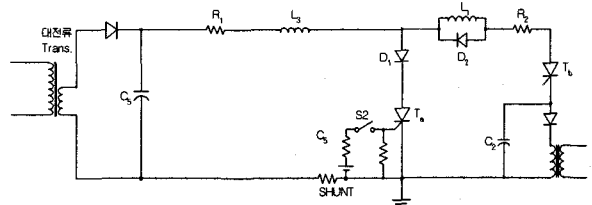


그림 12. 제작한 turn-off 시간 시험 회로
Fig 12. Test circuit for turn-off time

이 회로는 IEC60747-6 규격[14]에서 제시한 회로로서, 이 시험은 ON 일 때에는 대용량의 전류공급원, off된 후에는 고전압원, 강제소회회로, 각 사이리스터의 게이트 구동회로 등이 필요하므로 반도체 특성 시험 중 가장 복잡한 형태가 되는데 동작원리는 다음과 같다.

① ON전류는 반파 정류하여 C₅에 충전하여 공급, 시정수 C₅R₁은 규정 ON 전류를 규정 도통주기 이상동안 일정하게 흘릴 수 있도록 충분히 커야 된다.

② L₃은 ON 전류 상승률을 제한한다.

③ T₃를 ON하면 L₂에 의해 C₁에 일정한 비율로 충전된다.

④ C₁의 전압이 V₃과 V₄의 합으로 될 때까지 일정한 전류로 충전될 수 있도록 L₂는 충분히 커야 된다.

⑤ C₁의 전압이 V₃과 V₄의 합으로 되면 D₃는 도통하고 사이리스터에는 off 전압이 공급된다. →V₃+V₄=사이리스터 off 전압.

⑥ R₄는 다음 스위칭 주기전 도통구간 동안 C₁을 방전하는데 사용된다.

⑦ T_b는 C₂와 C₅의 충전량이 같아질 때까지 off 되지 않음, → R₁, R₂에 상당한 전력이 소비→ 이 손실은 T_b를 off하거나 펄스 반복률을 낮춤으로서 줄일 수 있다.

⑧ R₄는 C₁의 방전 경로를 제공→R₄에 흐르는 전류는 T_c 충전전류보다 작아야 된다. T_c는 C₁이 충전된 후에 off 된다.

⑨ L₂의 분포용량, D₁과 D₃의 역회복, 도선의 인덕턴스는 전압 파형에 원하지 않는 전압 진동을 일으킬 수 있다. → damping 저항을 추가하는 방법 등을 이용하여 회로설계를 통해 효과를 최소화하였음.

⑩ Gate trigger회로는 전원 주파수에 동기되어야 하며, C₅와 C₂에 충전이 이루어지는 반주기 동안 트리거 펄스를 제공해야 한다.

그림 13은 공시 사이리스터의 turn off 시간시험을 실시한 측정파형으로서 110A일 때를 나타낸 것이다.

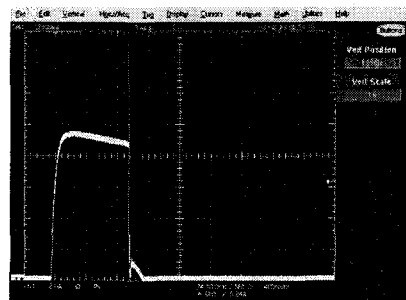


그림 13. Turn-off시간 시험 측정파형(110A, off)
Fig 13. Current waveform when turn-off time test(110A, off)

그림 14는 실제 제작된 대용량 사이리스터의 특성평가 시험장치의 모습이다. 각 절에서 전술한 전압, 전류, 전압/전류 상승률 및 turn-on/off 시간 시험장치와 원격으로 제어할 수 있도록 주 제어반으로 구성된 것을 볼 수 있으며 동작시의 전압, 전류파형을 측정하기 위한 DPO(Digital Phosphor Oscilloscope)를 이용하였다. DPO는 사양은 5GHz sampling, Bandwidth 500MHz이고, 고전압을 측정하기 위해 사용된 고전압 프로브는 Tek6015A로서 측정전압 DC 20kV이고, 전류를 측정 모니터는 Pearson CT와 전류 shunt를 이용하였다.

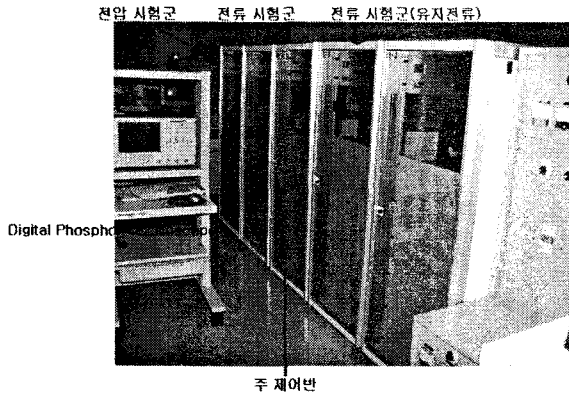


그림 14. 제작된 사이리스터 특성장치의 모습
 Fig 14. Thyristor characteristic test equipment

3. 결 론

대용량 사이리스터의 열화인자 측정용 특성 평가 시험장비를 성공적으로 개발하였다.

제작된 특성시험평가 장비는 전압, 전류, 전압/전류 상승률 및 turn-on/off 시간 시험장치와 원격으로 제어할 수 있도록 주 제어반으로 구성된다. 측정범위는 해남-제주간 HVDC 변환소에서 사용하는 차단전압 $V_{DSM}=6.5kV$, On-state 전류 $I_{TAVM}=4.2kA$ 인 사이리스터의 전압, 전류, 상승률 및 turn-on/off 특성을 측정할 수 있다.

주 제어반과 turn-off시험기에 DSP 보드를 사용하여 장치의 성능개선이나 제어방법의 변경에 따라 추가의 재료 비용 없이 프로그램 변경만으로 가능하도록 하였다. 시험기간에는 RS-232C로 통신으로 주 제어반에서 통합제어도 가능하도록 설계 제작하였다.

향후 PC와의 인터페이스 및 측정 프로그램을 개발하여 시험항목에 따라서 사용자의 프로그램에 의한 자동적으로 중, 대용량 사이리스터의 전압, 전류, 전압/전류 상승률 및 turn-on/off 시간특성을 측정할 수 있는 제어 및 측정자동화를 구축할 계획이다. 이러한 시험장비는 중, 대용량 전력반도체 개발업체 및 사용자에서 특성 평가 장비로의 활용이 가능하며 점차 빈도가 높아 질 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2004도 전력기반연구사업 지원본부의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] T. Hasogawa, K.Yamaji, "Development of a Thyristor Valve for Nest Generation 500kV HVDC Transmission Systems" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No 4, 1996. 10. pp 1783 - 1788
- [2] M. Sampei, T. Yamada, S.Tanabe, H.Takeda, "Secular Change in Characteristics of Thyristors Used in HVDC Valve" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 3, 1997. 7 pp 1159 - 1167
- [3] H.P.Lips, "Water Cooling of HVDC Thyristor valves", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 9, No. 4, 1994. 10, pp 1830 - 1837
- [4] Roberto Ruderval " High Voltage Direct Current Transmission Systems Technology Review Paper"
- [5] Milton Ohring " Reliability and Failure Electroni Material and Devices"
- [6] 社団法人 電氣協同研究會 "電力系統用 power electronics 設備の 現場と設計・保守基準" 電氣協同研究 第 57卷, 第 2號, 平成 13년 10월
- [7] 김상철, 서길수, 김은동 "HVDC용 사이리스터 소자의 전기적 특성 simulation 연구", 대한전기학회 하계학술대회 2003. 7, pp1559 -1561.
- [8] 서길수, 김상철, 김형우 외 "전력계통용 대용량 사이리스터의 가속열화 시험법", 대한전기학회 하계학술대회, 2003. 7, pp1785-1787.
- [9] 장창리, 김상철 외 "HVDC 송전을 위한 8.5kV급 광 구동 사이리스터 설계", 한국전기전자재료학회 하계학술대회, 2003. 7, pp 300-303.
- [10] 서길수, 김상철 김형우 외 "HVDC전력계통용 대용량 전력반도체 평가장비의 제작", 대한전기학회 부산, 경남, 울산 합동추계학술대회 논문집, 2003. 11. pp13-17
- [11] 김형우, 서길수 외 "대용량 사이리스터의 열화메카니즘", 대한전기학회 합동추계학술대회 논문집, 2003년 11월 p82-85
- [12] 서길수, 김형우 외 "SiC SBD의 역회복 특성 분석을 위한 Trr측정회로의 검토", 한국전기전자재료학회 하계학술대회, 2004. 7,
- [13] 서길수, 이양재, 김형우 외 "대용량 사이리스터의 전압/열에 의한 가속열화 시스템", 대한전기학회 2004년 하계학술대회, 2004. 7.,
- [14] IEC 60746-6 규격
- [15] KS C 5207, 6046, 7023규격
- [16] ABB datasheet 5STP 42U6500

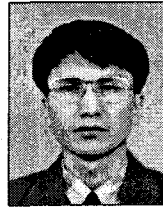
저 자 소 개



서길수 (徐吉洙)

1966년 8월 25일생. 1988년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1989년~1994년 동 대학원 전기공학과 석사, 2004년~현재 부산대학교 전자공학과 박사과정, 1995년~현재 한국전기연구원 선임연구원

Tel : 055-280-1532
Fax : 055-280-1590
E-mail : ksseo@keri.re.kr



김은동 (金垠東)

1958년 12월 1일생
1980년 부산대학교 재료공학과(공학사), 1982년 동 대학원 졸업(공학석사), 1985년 KAIST 재료공학과 졸업(공학박사), 1985-1986년 KAIST 연수연구원, 1989-1990년 프랑스 LGET CNRS 연수연구원, 1986년 한국전기연구원 입원, 현재 한국전기연구원 책임연구원, R&DB 정책실 실장, 에너지관리공단 대기전력 1와트 추진위원회 위원장

Tel : 055-280-1620
Fax : 055-280-1590
E-mail : edkim@keri.re.kr



김형우 (金亨宇)

1975년 1월 31일생
1998년 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사), 2000년 동 대학원 졸업(공학석사), 2002년 동 대학원 수료(공학박사수료), 2002년 한국전기연구원 입원. 한국전기연구원 전력반도체연구그룹 연구원

Tel : 055-280-1624
Fax : 055-280-1590
E-mail : hwkim@keri.re.kr



김기현 (金起鉉)

1975년 9월 14일생.
2002년 경상대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2004년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2004년~현재 한국전기연구원 연구원

Tel : 055-280-1622
Fax : 055-280-1590
E-mail : kihyun@keri.re.kr



김남균 (金南均)

1962년 1월 15일생
1984년 서울대학교 무기재료공학과(공학사), 1986년 동 대학원 졸업(공학석사), 1990년 동 대학원 졸업(공학박사), 1987~1988년 독일 Max-Planck연구소 교환연구원, 1995~1996년 일본 과학기술청 무기재료연구소 방문연구원, 1990년 한국전기연구원 입원, 현재 한국전기연구원 책임연구원 전력반도체연구그룹장

Tel : 055-280-1625
Fax : 055-280-1590
E-mail : nkkim@keri.re.kr