

신뢰도 향상을 위해 SCR을 응용한 서지 보호회로 개발

(The Development of Surge Protection Circuit Applying SCR for Improving Reliability)

남궁업* · 추광욱

(Up Namkoong · Kwang-Uk Chu)

Abstract

A surge protection device of the metal oxide varistor(MOV) has been commonly used for preventing electrical damage in many electronic equipments. The MOV has a property that leakage current is increased and might be permanently damaged when it is exposed continuously to the electrical stresses such as lightning surges. In this paper, we propose a novel surge protection circuit adopting a silicon controlled rectifier(SCR) in the traditional protection circuits using the MOV device simultaneously. When lightning surges are injected to the proposed circuit, the MOV lets the surge pulses bypassing through the ground at first up to the level that SCR begins to operate. Above the threshold level of turning on the SCR, the SCR operates bypasses large surge currents to the ground. Proposed circuit was verified with a leakage current experiment and PSpice circuit simulations under the repeated surge injection environment.

Key Words : Lightning Surge, Metal-oxide Varistor, Silicon Control Rectifier, Surge Protective Device

1. 서 론

최근 반도체 제조 공정 기술의 비약적 발전을 통해 많은 전자기기들이 고집적화·소형화 추세가 두드러지고 있다. 그러나 이들 기기의 정격을 초과하는 뇌서지가 순간적으로 유입되면 전자기기의 오동작 내지 손상으로 인한 경제적 손실이 발생하게 된다. 현재 전자기기에 대한 뇌서지 보호부품으로는 바리스터(Varistor), 가스방전관(Gas Discharge Tube), TVS

(Transient Voltage Suppression) 다이오드(Diode) 등이 있으며, 입력 전류에 대해 비선형적 동작을 하는 특성을 가진다. 이 중에서 가장 일반적으로 사용되는 서지 보호방식은 바리스터의 한 종류인 MOV(Metal Oxide Varistor)를 사용하는 것이다. MOV는 반응 속도가 수 ns로 빠르면서 고전력 서지를 효과적으로 차단하는 장점을 가지고 있다. 그러나 MOV는 전기적 스트레스의 누적으로 인해 점차 열화되어 누설전류가 증가하게 된다. 이것이 지속되면 MOV가 정상적으로 동작하지 못하여 보호하고자 하는 전자기기에 영향을 미치거나 화재를 유발시킬 위험성이 있다[1-2].

그래서 일반적으로 MOV는 일정 온도 이상이 되면 개방(Open)되는 퓨즈(Fuse)나 단로기(Disconnecter)

* 주저자 : 한국전자통신연구원 부설연구소 연구원

Tel : 042-870-2365, Fax : 042-870-2222

E-mail : nkup2010@ensec.re.kr

접수일자 : 2012년 6월 12일

1차심사 : 2012년 6월 14일

심사완료 : 2012년 6월 26일

와 함께 사용된다. 또한 MOV는 Return Voltage, Polarization/Depolarization Current, Voltage Decay의 값을 측정하여 MOV의 상태를 진단하고 파괴되기 전에 교체할 수 있도록 하는 것이 일반적이다[3]. 그러나 상기 방법은 근본적으로 서지 보호기의 수명을 연장시켜 신뢰도가 개선될 수 있는 방법이 아니다. 단지 성능 저하된 MOV를 교체하여 화재나 전자기기의 손상으로부터 보호할 수 있는 방법이다.

SCR은 싸이리스터(Thyristor)의 한 종류로 게이트(Gate) 전류 제어를 통해 동작되는 대전류 스위칭(Switching) 소자이다. 그러나 SCR은 Turn on되기 위해서는 수 us의 지연시간이 필요하며 이로 인해 초기 뇌서지로부터 기기를 보호할 수 없어 단독 사용에 문제가 있다.

본 논문에서는 MOV와 SCR(Silicon Controlled Rectifier)이 상호 보완적으로 동작을 하는 새로운 서지 보호회로를 고안하여, 뇌서지 보호회로의 동작 신뢰도를 개선할 수 있도록 제안하였다. 일반적으로 뇌서지 보호회로의 신뢰도 개선은 수명이 연장되어 파괴되는 비율이 적어지는 것을 의미한다. 제안한 회로에서 MOV는 SCR이 Turn on되기 전 지연시간 동안만 동작하게 된다. 그래서 SCR은 연속적인 뇌서지 조건에서 반영구적으로 사용가능하고, MOV에는 적은 뇌서지 전류가 입력되어 수명이 증가되므로 기존의 서지 보호기에 비해 제안한 서지 보호회로의 신뢰도는 개선된다.

제안한 서지 보호회로를 PSpice 시뮬레이션과 뇌서지 전류 입력 시험을 통해 동작 특성을 검증하였다. 그리고 기존의 서지 보호기와 제안한 서지 보호회로에 연속적으로 뇌서지 전류를 입력하고, 입력횟수에 따른 MOV의 누설전류를 측정하여 신뢰도를 비교하였다.

2. 기존의 서지 보호기 신뢰도 측정

2.1 시험 구성 및 측정 방법

그림 1은 기존의 서지 보호기로 사용되는 MOV에 뇌서지 전류를 입력하고 통과 전류 펄스를 확인하기

위한 시험 구성도이다.

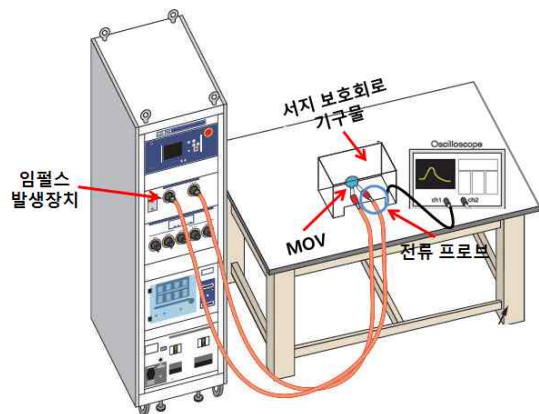


그림 1. MOV 부품의 뇌서지 입력 시험 구성
Fig. 1. The test setup of the lightning surge injection to MOVs

본 실험은 실내에서 그리고 온도는 18[°C]에서 진행하였다. 사용한 임펄스 발생장치는 Noiseken社의 LSS-15AX이고 1.2/50[us], 15[kV]의 임펄스 전압으로 8/20[us], 7.5[kA]의 임펄스 전류를 발생시킬 수 있다. 그리고 시험 시료로 선정된 MOV는 Epcos社의 S20K250로서, 전기적 특성은 표 1과 같다.

표 1. S20K250의 전기적 특성
Table 1. Electrical Characteristic of S20K250

파라미터	설 명	값
V_s	AC 정격 전압	250[V]
i_{max}	최대서지전류(8/20[us])	8,000[A]
P_{max}	최대에너지(2[ms])	140[J]
V_V	바리스터전압(1[mA])	390[V]

MOV의 누설 전류를 측정한 논문[4-5] 따라 그림 2와 같이 회로를 구성하였다. 전원선에 사용되는 MOV는 정상상태일 때 누설전류의 크기가 매우 적지만 성능저하나 열화된 MOV에서는 누설전류가 증가하게 되어 더 이상 사용할 수 없게 된다.

MOV의 등가회로는 일반적으로 커패시터와 비선형 저항이 병렬로 연결된 형태이므로 MOV의 누설전류

신뢰도 향상을 위해 SCR을 응용한 서지 보호회로 개발

는 용량성 누설전류와 저항성 누설전류 모두 존재하게 된다[4].

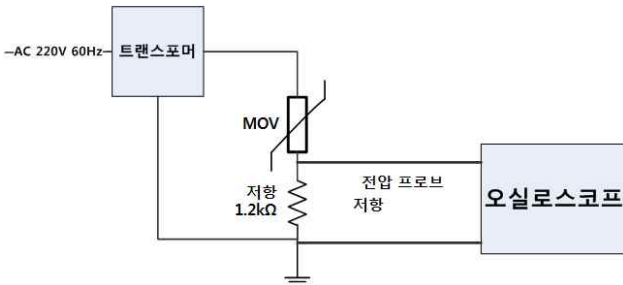


그림 2. AC 입력 상태에서의 MOV 누설전류 측정 구성도
Fig. 2. The measurement setup of the leakage current of the MOV under ac voltage

2.2 시험 결과

그림 3은 그림 1의 시험 구성에서 MOV에 임펄스 발생장치의 최대값인 8/20[us], 7.5[kAp]의 뇌서지 전류를 입력할 때 측정된 통과 전류 펄스를 나타낸다. 첨두 전류(peak current) 크기는 6.9[kAp]이다.

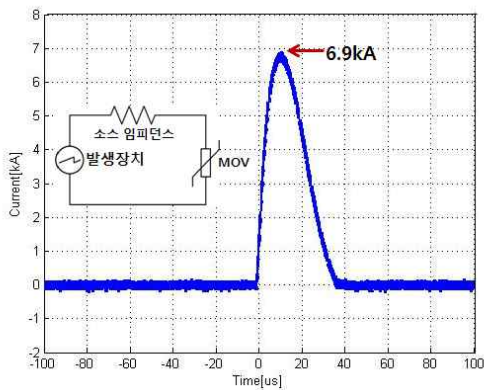


그림 3. 시료 MOV의 전류 파형
Fig. 3. The current waveform of current through the sample MOV

그림 4는 1분 30초 간격으로 연속적인 뇌서지 입력 조건에서 MOV의 저항성 누설전류 파형을 나타낸다. 뇌서지를 입력한 후에 MOV의 누설전류 파형은 뇌서지 입력횟수 14회까지는 정현파 형태를 유지한다. 그러나 15회 이후의 누설전류 파형은 MOV가 열화되어

용량성 누설전류는 정상상태에 비해 거의 변동이 없지만 저항성 누설전류는 급격히 증가하여 그림 4와 같이 MOV가 파괴되기 전까지 비정현파 형태를 가진다.

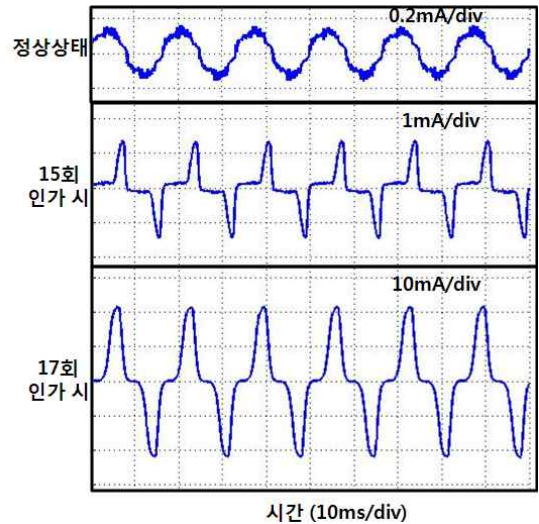


그림 4. 뇌서지 입력횟수에 따른 누설전류 파형
Fig. 4. The change of the leakage current waveform according to the number of lightning surge injection

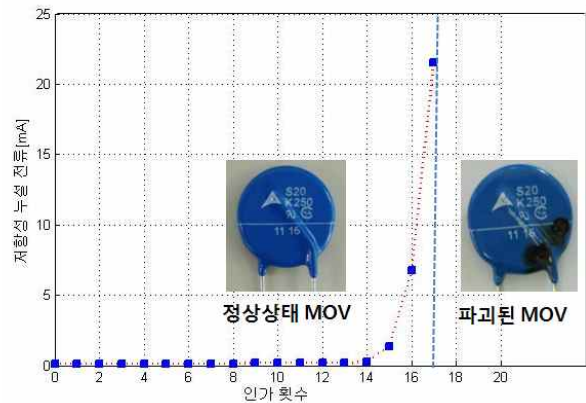


그림 5. 뇌서지 입력횟수에 따른 저항성 누설전류
Fig. 5. The resistive leakage current according to the number of lightning surge injection

열화되어 성능 저하된 MOV의 저항성 누설전류는 1[mA] 이상으로 정상상태에 비해 크게 증가할 것이다. 그래서 그림 5와 같이 MOV의 성능 저하를 판단하기 위해 뇌서지 전류 입력횟수에 따른 저항성 누설전

류의 침투 크기 결과를 표시하였다. 그러나 용량성 누설전류는 정상상태와 열화된 상태의 차이가 미미하므로 MOV의 성능저하를 판단하는데 적절하지 않다[4].

입력회수 14회까지는 MOV가 정상 동작 상태로 저항성 누설전류는 0.1[mA]로 적게 흐르다가 열화되어 15회 입력 이후부터 급격히 증가하여 1[mA] 이상이 되었다. 17회 입력 시 저항성 누설전류는 23[mA]까지 증가하였고 결국 18회 입력 시 파괴되었다.

3. 새로운 서지 보호회로 제안

3.1 설 계

새로운 서지 보호회로는 MOV에 입력되는 뇌서지 전류의 크기가 증가할수록 수명이 단축되는 것을 보완하기 위해 고안되었다[4-5].

그림 6은 제안한 서지 보호회로로서 MOV, SCR 그리고 SCR 트리거(Trigger) 회로로 구성된다. 제안한 회로의 동작은 다음과 같다. 일단 뇌서지 전류가 발생하면 초기에는 MOV를 통과하여 트랜스포머(Transformer)의 1차 코일(Coil)을 거쳐 뇌서지 전류를 접지로 바이패스 시킨다. 트랜스포머 1차측으로부터 2차측 코일에 전압이 유도되면 SCR의 게이트에 전류가 흐르게 되면 SCR이 Turn on 된다. SCR이 동작되면 임피던스가 mΩ이 되기 때문에 뇌서지 전류는 MOV를 통과하지 않고 모두 SCR을 통과하여 접지로 흘러나간다. 또한 SCR 트리거 회로에서 트랜스포머를 제외한 저항, 커패시터, 제너 다이오드는 일정 전압 이상이 게이트에 입력되지 않도록 하기 위한 보호 회로로 동작한다. 사용한 트랜스포머는 Iron core를 사용하여 3:50의 권선비로 제작하였다. 또한 제너 다이오드(Zener Diode)를 사용하여 SCR의 게이트에 -5[V]에서 20[V]이내의 전압이 인가되도록 하였다. 그리고 R(Resistor)과 C(Capacitor)는 저역통과 필터(Filter)로 동작하여 고주파 성분을 제거한다.

제안한 서지 보호회로의 동작 특성을 확인하기 위해 회로 시뮬레이션 툴인 PSpice를 사용하였다. 시뮬레이션에 사용한 MOV, SCR, 트랜스포머의 코어, 제너 다이오드 등은 제조사에서 제공되는 Library와

Datasheet를 이용하여 회로를 구성하였고 저항과 커패시터는 일반적으로 사용되는 모델을 적용하였다. 그리고 8/20[us], 7.5[kAp]의 뇌서지 전류는 Exponential 전류 소스를 사용하여 설계되었다. 사용한 SCR은 Vishay社의 ST230C16C0를 사용하였고 전기적 특성은 표 2와 같다.

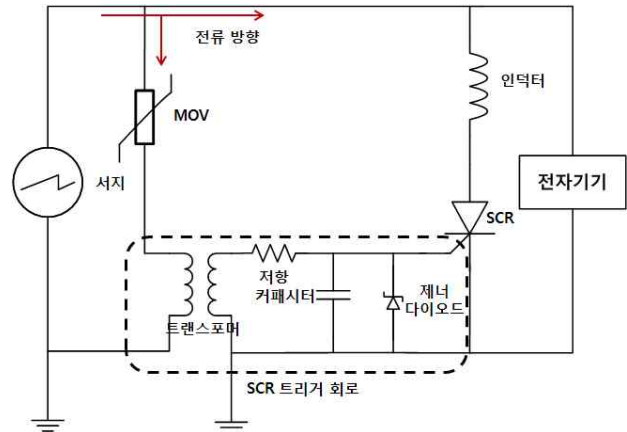


그림 6. 제안한 서지 보호회로
Fig. 6. The proposed surge protection circuit

표 2. ST230C0의 전기적 특성
Table 2. Electrical Characteristic of ST230C0

파라미터	설명	값
I_{TM}	최대 AC 동작 전류	410[A]
I_{TSM}	1 사이클 서지 침투 전류(주기=10[ms])	5,700[A]
I_{gt}	트리거에 필요한 DC 게이트 전류	150[mA]
t_{on}	지연 시간	1[us]

먼저 MOV만을 사용한 서지 보호기를 이용하여, 동작 특성을 확인하였다. 그림 7은 침투 전류 크기와 파형으로 그림 3의 시험 결과와 유사하다.

그림 8은 제안한 서지 보호회로의 PSpice 시뮬레이션 결과이다. 초기의 1[us] 동안에는 MOV에서 뇌서지 전류를 방어하고 SCR이 Turn on되면 나머지 뇌서지 전류는 SCR을 통해 접지로 흐르는 것을 시뮬레이션 결과에서도 확인할 수 있다. MOV가 초기에만 동

신뢰도 향상을 위해 SCR을 응용한 서지 보호회로 개발

작하므로 침투 전류 크기가 약 2[kAp]로 기존의 서지 보호기와 비교하여 크게 줄어든 것을 확인할 수 있다. MOV에 입력되는 뇌서지의 전류가 증가할수록 MOV는 열화가 쉽게 발생하므로 수명이 짧아지게 되어 신뢰도는 저하된다. 제안한 서지 보호회로의 시뮬레이션 결과로 보아 MOV에 입력되는 뇌서지 전류의 크기가 크게 작아지므로 신뢰도 개선을 기대할 수 있을 것이다.

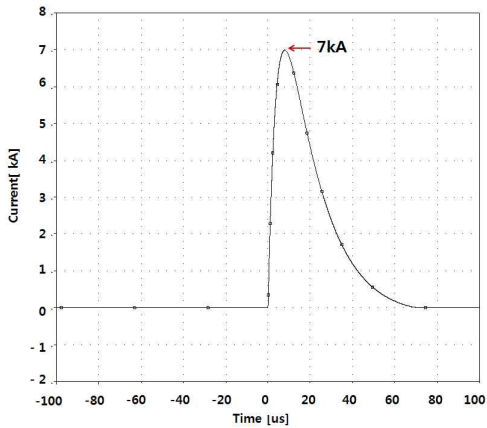


그림 7. 뇌서지 주입 시 MOV 통과 전류에 대한 PSpice 시뮬레이션 결과
Fig. 7. The PSpice simulation results of the MOV current at the lightning surge injection

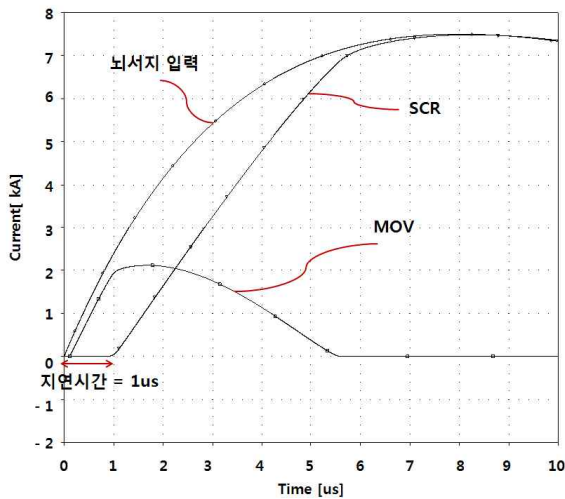


그림 8. 제안한 회로에 대한 PSpice 시뮬레이션 결과
Fig. 8. The PSpice simulation results of the proposed surge protection Circuit

3.4 시험 결과

그림 1에 제시된 시험 구성에서 제안한 서지 보호회로를 추가하여 뇌서지 전류 입력 시 동작 특성을 확인하였다. MOV와 SCR에 통과하는 전류 파형에 대해 동일한 전류 프로브와 오실로스코프를 사용하여 측정을 진행하였다. 그리고 1분 30초 간격으로 뇌서지를 입력하고 그림 2의 방법을 이용하여 제안한 서지 보호회로의 누설전류를 측정하였다.

그림 9는 임펄스 발생장치의 최대값인 8/20[us], 7.5[kAp]의 뇌서지 전류를 입력하였을 때의 MOV와 SCR에서의 전류 펄스를 측정하는 것으로, PSpice 시뮬레이션과 유사한 파형을 얻었다. MOV는 SCR의 지연 시간 1[us] 동안 뇌서지 전류를 담당하게 되고 그 이후로는 SCR을 통해 전부 접지로 흐르는 것을 확인할 수 있다. 그러나 MOV에서의 통과전류는 1.2[kAp]로, PSpice 시뮬레이션 결과인 2[kAp]와 차이가 있다. PSpice 시뮬레이션의 경우 회로 상의 기생 인덕턴스와 커패시턴스를 고려하지 않아 차이가 발생하였다. 제안한 서지 보호회로에서 MOV를 통과하는 뇌서지 전류가 1.2[kAp]로 기존의 서지 보호기와 비교할 때 크게 감소하였으므로 신뢰도가 개선된 것이다.

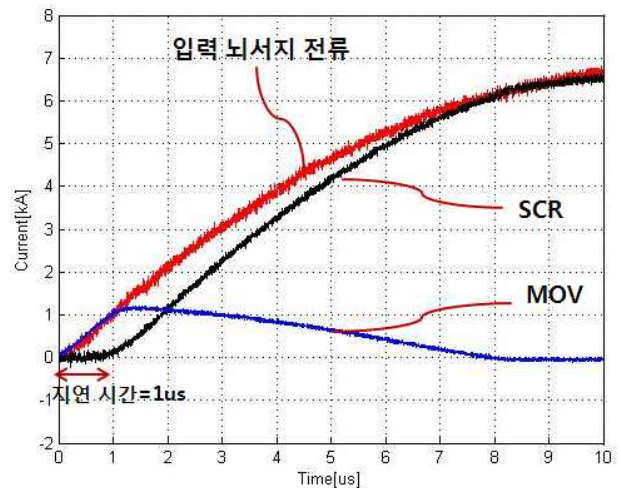


그림 9. 뇌서지 입력 시험 결과
Fig. 9. The test results of the lightning surge injection

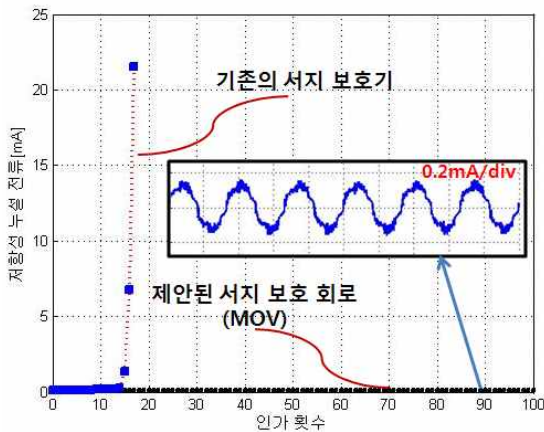


그림 10. 저항성 누설 전류 측정 결과
Fig. 10. Measured results of the resistive leakage current

그림 10은 새로운 서지 보호회로에 뇌서지 전류를 약 100회 입력하고 MOV에서의 저항성 누설전류를 측정한 결과이다. 그림 10과 같이 기존의 서지 보호기는 15회 이후로 급격히 저항성 누설전류가 증가하지만 제안한 서지 보호회로에서의 MOV는 뇌서지 전류를 입력하기 전과 후가 동일한 저항성 누설전류가 측정되는 것을 볼 수 있다. 이것을 통해 제안한 서지 보호회로가 기존의 서지 보호기에 비해 수명이 연장 즉 신뢰도가 향상되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 MOV와 SCR을 사용하여 새로운 구조의 서지 보호회로를 제안하였고 PSpice 시뮬레이션과 실제 뇌서지 전류 입력시험을 통해 유효성을 확인하였다.

8/20[us], 7.5[kAp]의 뇌서지 전류가 입력되었을 때 기존의 서지 보호기와 새로운 서지 보호회로에서 MOV에 흐르는 침투 전류 크기는 각각 6.9[kAp]와 1.2[kAp]로 차이가 있다. 또한 1분 30초 간격으로 인위적으로 뇌서지 전류를 입력하고 입력횟수에 따른 저항성 누설전류를 측정하였다. 기존의 서지 보호기인 MOV는 15회에서 1[mA] 이상의 저항성 누설전류가 흐르고 18회 만에 파괴되었다. 그러나 MOV와

SCR을 사용하여 구성된 서지 보호회로는 100회 이상 입력하여도 저항성 누설전류가 0.1[mA]로 변화가 없었다. 이를 통해 제안한 서지 보호회로는 최소 5배 이상 수명이 연장되었다는 것을 확인하였다. 결과적으로 서지 보호기의 교체 주기를 연장시킬 수 있고 그만큼 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

References

- [1] Kenneth J. Brown, "Metal Oxide Varistor Degradation", IAEI News March. April 2004.
- [2] Han-Kyu Lee, Jae-Jung Kim, Seog-Weon Chang and Kae-Dal Kwack, "Accelerated Life Test for ZnO Varistor", The Korean Society of Mechanical Engineers 2006 Autumn Academic Conference.
- [3] Zulkurnain Bin Abdul Malek, "A New Technique for Metal Oxide Surge Arresters Failure Diagnostic Using Return Voltage Measurement", Thesis of Fakulti Kejuruteraan Elektrik University Teknologi Malaysia, 2009.
- [4] Bok-Hee Lee, Feng Li, "Effects of the Injected Number and Amplitude of 8/20[us] Impulse Current on the Life of ZnO Varistors", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.21, No1, pp. 118~124 January 2007.
- [5] Feng Li, "Effects of Lightning Surges on the Service Life of ZnO Varistor for Protection of Low-Voltage Power Lines", Thesis of Degree of Doctor, Inha University: Department of Electrical Engineering, 2006.

◆ 저자소개 ◆



남궁업 (南宮業)

1982년 1월 9일생. 2007년 8월 홍익대 공대 전자전기공학부 졸업. 2010년 8월 광주과학기술원 기전공학과 졸업(석사). 2010년 9월~현재 한국전자통신연구원 부설연구소 연구원.

Tel : (042)870-2365

Fax : (042)870-2222

E-mail : nkup2010@ensec.re.kr



추광욱 (秋光旭)

1968년 12월 16일생. 1991년 2월 포항공대 물리학부 졸업. 1993년 2월 포항공대 전자공학과 졸업(석사). 2001년 8월 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(박사). 2002년 12월~현재 한국전자통신연구원 부설연구소 책임연구원.

Tel : (042)870-2263

Fax : (042)870-2222

E-mail : kuchu@ensec.re.kr