

온도측정에 의한 SPD용 배리스터의 성능평가에 관한 연구(I)

논 문
58P-4-22

A Study on Performance Evaluation of SPD Varistor by Temperature Measurement(I)

여 인 식* · 고 영 민† · 이 기 식**
(In-Sik Yeo · Young-Min Ko · Ki-Sik Lee)

Abstract - In this paper, how the temperature of a varistor changes when 10/350 μ s surge currents and/or DC leakage currents are applied on it, respectively, are investigated. The temperature change in varistor is related with injection energy and leakage current, which is the integration of power in time. By the surge current test, we found that the temperature jump is proportional to the level of surge current with slant 52.535 and has no relation with the ambient temperature. And by the DC leakage current test, the difference in temperatures between varistor and ambient is proportional to the magnitude of leakage current. The slope of measured line(the temperature difference vs. the leakage current) shows alteration around 100 μ A. The varistors can not be used more than 100 μ A region any more. From the above experimental results, we can conclude that data of the surge current test and also those of DC leakage current test can predict the performance of varistors of which the surge protective devices are made.

Key Words : SPD, Varistor, Temperature, Surge-Current, DC-Leakage-Current

1. 서 론

최근 지구 온난화에 의해 우리나라도 아열대 기후로 변화하면서 강우량이 증가하고 있으며, 그로 인해 낙뢰의 발생빈도도 증가하고 있다. 10/350 μ s 서지전류는 인입설비에 직접적으로 뇌격될 때의 파형이고 8/20 μ s 서지전류는 인입설비 근처에 뇌격되어 간접적으로 발생된 유도파형으로 10/350 μ s의 파형은 8/20 μ s의 파형에 비해 매우 큰 에너지를 갖는다.

기존의 배리스터의 연구는 8/20 μ s 파형을 기준으로 8/20 μ s 임펄스전류를 인가하여 크기와 인가횟수간의 관계에 따른 배리스터의 수명^[1]과 누설전류 및 소손 등을 살펴본 연구가 진행되었으나 10/350 μ s 파형에 대해서는 연구가 부족하였다.

본 논문에서는 서지전류측정 및 누설전류측정을 위해 34S621k 배리스터의 표면 온도의 변화를 연구하였다. 서지전류인가실험의 경우 10/350 μ s 파형을 배리스터에 인가하여 서지전류의 크기에 따른 순간온도상승을 관찰하여 서지전류의 크기와 배리스터의 성능관계를 알아보았다. 직류누설전류인가실험의 경우에는 직류전압을 배리스터에 인가하여 일정 누설전류가 발생하게 하였고, 주변온도와 배리스터의 온도 변화를 관찰하여 배리스터의 성능평가 방법을 고찰하여 보았다.

위의 두 실험을 통해 배리스터의 온도변화로서 배리스터

에 유입된 서지전류와 직류누설전류의 크기를 알 수 있고, 따라서 배리스터의 수명과 성능을 평가할 수 있음을 알았다.

2. 서지전류

서지(Surge)란 전기전자 회로계통에 있어 순간적으로 발생하는 과전압 또는 과전류를 말하며 크게 개폐서지와 뇌서지로 구분된다. 개폐서지는 스위칭의 온/오프에 의하여 발생되는데 스위칭을 하는 대부분의 장비에는 개폐서지에 대해서 자체적으로 보호를 해 주고 있다. 뇌서지는 낙뢰에 의해 발생된 서지를 말하며 직격뢰, 간접뢰, 유도뢰로 나누어진다. 직격뢰는 어떤 물체와 뇌운 사이에 직접 뇌방전이 발생하였을 때의 낙뢰를 말하며 아주 큰 에너지를 가지며, 화재 및 폭발 등의 피해를 주며 사람이나 가축이 피해를 입히기도 한다. 간접뢰는 송전선로와 통신선로에 뇌격하여 선로를 통하여 물체에 전도되는 뇌를 말하며 유도뢰는 낙뢰지점에 근접한 대지를 통하여 유입되는 서지를 말한다.

서지전류는 대표적으로 크게 두 가지의 기준파형으로 나눌 수 있으며 하나는 8/20 μ s 파형이고 나머지 하나는 10/350 μ s이다. 식(1)은 배리스터에 인가되는 에너지를 나타낸 식이고 표1은 이들 두 가지 파형에 따른 에너지양을 나타낸 것이다.

$$W = \int_0^{\infty} v(t)i(t) dt \quad (1)$$

표1에서 보듯이 10/350 μ s 파형의 에너지가 8/20 μ s 파형의 에너지보다 매우 크고 2kA이하에서는 약 37배 이상으로 크다. 그러므로 10/350 μ s가 8/20 μ s보다 뇌격시 구조물에 더욱

* 준 회원 : 단국대학교 전자전기공학과 석사과정

† 준 회원 : 단국대학교 전자전기공학과 박사과정

E-mail: kymkhhb@naver.com

** 시니어회원 : 단국대학교 전자전기공학부 교수 · 공학

접수일자 : 2009년 11월 6일

최종완료 : 2009년 11월 10일

치명적으로 동작하며 10/350 μ s에 대한 보호 대책이 마련되면 8/20 μ s에 대한 보호도 만족할 수 있다고 볼 수 있다. 이러한 이유로 최근 들어 8/20 μ s 서지전류 파형에 대한 에너지양을 기준으로 한 실험에서 10/350 μ s 서지전류 파형에 대한 에너지 양에 대한 실험으로 관심이 옮겨가고 있는 추세이다.

표 1 파형에 따른 배리스터의 에너지

Table 1 Varistor energy of waveforms

파형 \ 전류	0.5kA	1.0kA	1.5kA	2.0kA
① 8/20 μ s	9.53 J	21.45 J	34.95 J	50.52 J
② 10/350 μ s	454.15 J	893.93 J	1362.90 J	1882.00 J
비율=②/①	47.63	41.66	38.99	37.25

3. 배리스터

ZnO 배리스터는 1970년대에 새로이 실용화되기 시작했으며 일반 접합형태 반도체와 달리 제조기술이 그다지 어렵지 않고 제조원가가 제너다이오드의 10 ~ 20% 정도로 저렴하며 기계적 구조가 견고하여 양산체제가 가능하다. 전기적 특성은 서지에 대한 내구력과 응답속도 및 제한전압 특성면에서 볼 때 매우 우수하다고 판명되었다.^[2] 그림1은 배리스터의 전압-전류 특성 곡선의 개형이다.

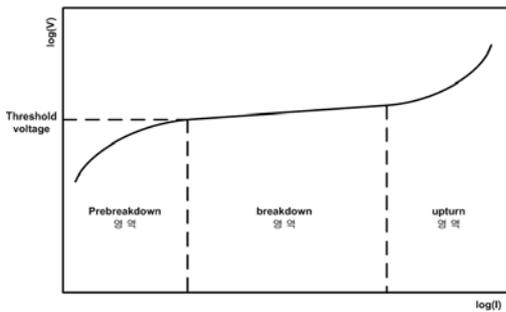


그림 1 배리스터의 전압-전류 특성 곡선
Fig. 1 V-I characteristic curve of varistor

그림1에서 prebreak down 영역은 초기의 선형저항 특성을 나타내는 영역으로서 이 영역에서의 전압-전류 특성은 역방향으로 바이어스 된 Schottky 전위장벽(Reverse Biased Schottky barrier)을 넘어가는 열적으로 여기된 전자의 흐름에 의해 지배되어지며, break down 영역은 높은 비선형저항성을 갖는 영역으로서 이 영역에서의 전압-전류 특성은 역방향으로 바이어스 된 Schottky 전위장벽을 tunneling 현상에 의하여 지나가는 전자의 흐름에 의해 지배되어지며, up turn 영역은 고전압-대전류에서 다시 선형저항 특성을 갖는다.^[3]

4. 전원의 설계

본 논문에서의 실험은 두 가지의 시스템으로 구성된다. 그림 2는 서지전류인가실험의 전체적인 시스템 구성도이다.

그림2에서 상용전원 교류 220V를 직류로 정류하여 승압시키는 승압부와 실제 10/350 μ s 서지전류를 발생시키는 서지발생기 및 시료를 장착하여 파형을 측정하는 측정부로 나눌

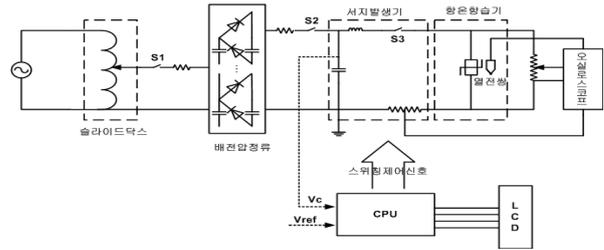


그림 2 서지전류인가실험의 시스템 구성도
Fig. 2 System diagram of surge current application experiment

수 있다. 측정부는 Lecroy사의 WaveRunner 104MXi 1GHz 오실로스코프를 사용하였고 항온항습기는 석산엔지니어링사의 KQ-CT-01을 사용하였다. 승압부는 1kW 슬라이드타크와 배전압 정류회로를 통하여 우리가 원하는 전압으로 승압시킨다. 서지발생기는 Simplorer를 통하여 R, L 및 C값을 설계하였다. 이 중 제작하기에 가장 까다로운 C값을 먼저 선정하고 나머지 R과 L의 값을 조절을 통하여 선정하였다. 선정된 L 값에 대한 제작은 전자장해석나라를 이용하고 식 (2)의 에너지 식을 이용하여 코일의 굵기와 권선수를 계산하였다.

$$L = \frac{2W_m}{I^2} \tag{2}$$

여기서 W_m 는 도체전류에 의한 전체 자기에너지이고 I 는 도선에 흐르는 전류이다.

그림3은 직류누설전류인가실험의 시스템 구성도이다.

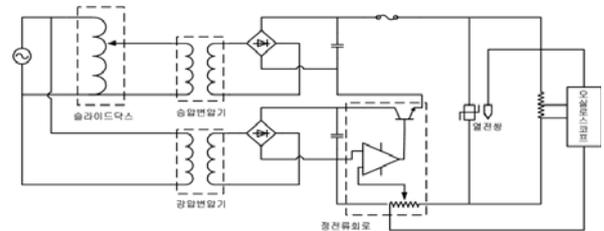


그림 3 직류누설전류인가 실험의 시스템 구성도
Fig. 3 System diagram of DC leakage current application experiment

그림3은 크게 3부분으로 나눌 수 있는데 배리스터의 온도와 누설전류를 측정하는 측정부와 누설전류를 일정하게 제어해주는 정전류부 및 전압을 승압하여 정류시키는 고압평활부로 나눌 수 있다. 측정부는 서지전류인가실험과 동일하고 정전류부는 전원전압을 받아 전압을 강압시키는 강압변압기와 전류의 값을 측정하여 트랜지스터를 제어하는 정전류회로로 구성되며 전압을 0 ~ 40V까지 가변시켜 원하는 전류값을 얻는다. 고압평활부는 전압전원을 슬라이드타크와 승압변압기 통하여 원하는 교류전압으로 변화시키고 정류기를 통하여 직류전압으로 변환시키고 평활커패시터를 사용하여 직류전압을 인가하며 그 때의 전압은 고압평활부와 정전류부의 합인 0 ~ 850V, 전류는 0 ~ 1000 μ A까지를 사용하며 고압평활부 리플은 전류가 적으므로 정전류회로 0 ~ 40V의 제어로 안정화된다.

5. 실험 및 검토

실험에서 사용한 시료는 SUCCESS ELECTRONICS사의 40kA의 용량을 가진 34S621k를 사용하였으며 그 특성은 표 2와 같다.

표 2 34S621K 특성

Table 2 Characteristics of 34S621k

최대 허용 전압	AC. rms[V]	385
	DC[V]	505
배리스터 전압	min.[VDC]	558
	max.[VDC]	682
최대 클램핑 전압/실험 전류[VDC/A]		1025/300
최대직류누설전류[μA]		200
커패시턴스@1kHz[pF]		2200

그림4는 상온에서 10/350μs 0.5kA를 인가하였을 때의 온도변화도이다. 종축은 200mV/div.이고 횡축은 100s/div.이다. 여기서 1°C는 10mV이다.

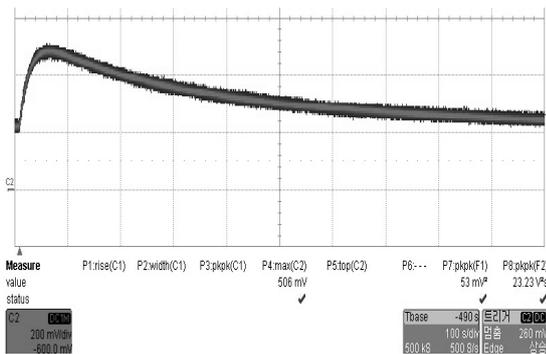


그림 4 10/350μs 0.5kA인가시의 온도변화(상온)
Fig. 4 Temperature change at 10/350μs 0.5kA (normal temperature)

그림4에서 최댓값이 506mV인 것을 알 수 있다. 그림 5, 6 및 7은 그림 4와 같이 측정된 데이터에서 30개의 점을 추출하여 하나의 그래프로 표현한 것으로 10/350μs 서지전류를 주위의 온도가 상온(22°C), 50°C 및 90°C의 세 가지의 경우에서 각각 0.5kA, 0.75kA 및 1kA를 인가하였을 때의 온도변화표로서 종축은 실험에서 측정된 전압을 온도로 변화해서 표현하였고 횡축은 시간이다.

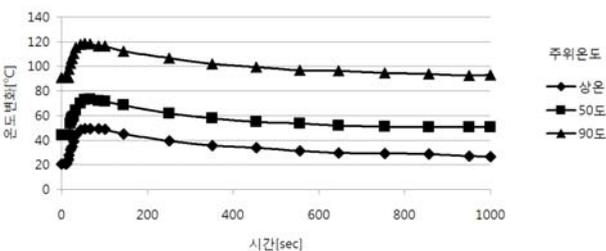


그림 5 10/350μs 0.5kA 인가시의 온도변화
Fig. 5 Temperature changes at 10/350μs 0.5kA

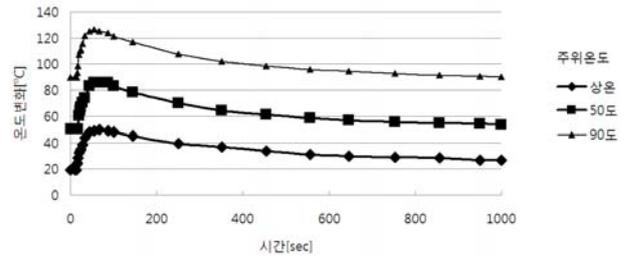


그림 6 10/350μs 0.75kA 인가시의 온도변화
Fig. 6 Temperature changes at 10/350μs 0.75kA

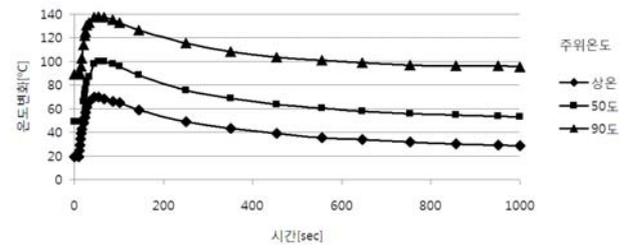


그림 7 10/350μs 1kA 인가시의 온도변화
Fig. 7 Temperature changes at 10/350μs 1kA

그림에서 보듯이 최대온도상승은 주변온도와 무관하며 0.5kA 인가 시에는 약 28.6°C, 0.75kA 인가 시에는 약 36°C이었으며 1kA 인가 시에는 약 49.1°C임을 알 수 있다. 그림8은 서지전류에 따른 최대온도상승에 관한 실험치와 이들을 선형화한 추세선이다.

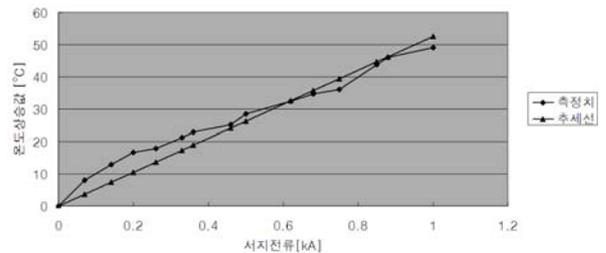


그림 8 서지전류와 온도상승과의 관계
Fig. 8 Surge current vs. temperature

배리스터가 동작하는 break down 영역에서는 전류의 변화에 따른 클램핑전압의 변화가 상대적으로 매우 작아 배리스터에 걸리는 전압이 일정하다고 볼 수 있으며, 따라서 서지전류의 크기가 에너지에 직접적으로 영향을 미친다. 그러므로 온도변화δT와 서지전류의 첨두치I_p사이에는 일정한 비례관계식이 성립된다. 최소자승법을 이용하여 기울기를 구하면 식(3)과 같고 그림8처럼 나타낼 수 있다.

$$\delta T = 52.535 \cdot I_p \quad (3)$$

그림9는 90°C에서 30초 간격으로 0.5kA를 연속적으로 인가시의 온도상승 곡선이다. 여기서 종축은 200mV/div.이고 횡축은 100s/div.이다.

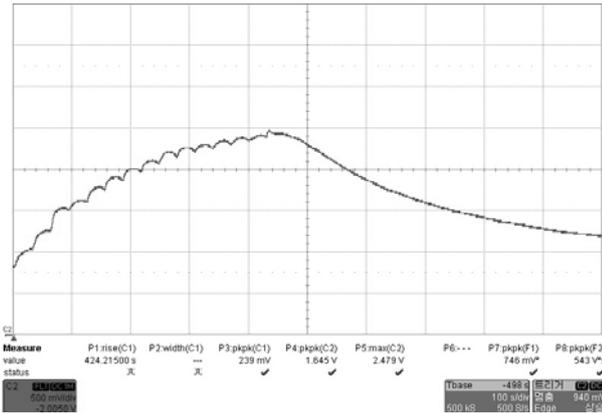


그림 9 30초 간격으로 0.5kA 인가시 온도변화(90 °C)
 Fig. 9 Temperature change at 0.5kA injection every 30sec.(90 °C)

그림9에서 배리스터의 표면온도는 247.9 °C에서 더 이상 상승하지 못하고 소손되며 출발점을 상온 및 50 °C에서 실험한 결과에서도 최대 240 °C 와 244.9 °C에서 더 이상 상승하지 못하고 소손되었으며 이로 인해 배리스터 표면온도의 온도상승에 한계가 있음을 알 수 있었다.

그림10은 10/350µs의 0.5kA인 경우와 동일한 에너지를 배리스터에 공급하는 20/170µs 0.94kA서지를 상온, 50 °C 및 90 °C에서 인가하여 변화하는 온도과형들을 하나의 그래프로 표현한 것이다.

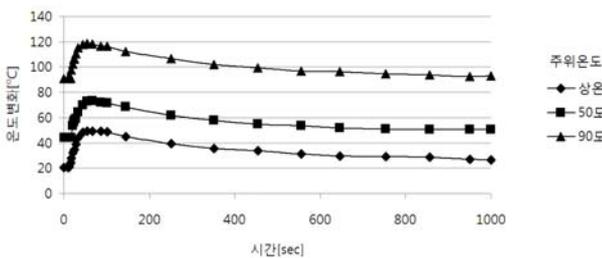


그림 10 20/170µs 0.94kA 인가시 온도변화
 Fig. 10 Temperature change at 20/170µs 0.94kA

그림10에서 배리스터의 최대온도상승은 약 28.5 °C이며 이는 10/350µs 0.5kA 때의 28.6 °C와 거의 동일한 것을 알 수 있다. 이를 통해 배리스터에 인가되는 에너지가 같다면 배리스터에서 발생하는 온도가 같음을 알 수 있고, 어떠한 서지 과형이라도 과형의 에너지를 알 수 있다면 기준 과형으로 등가화하는 것이 가능함을 알 수 있다. 또한 서지의 과형과 무관하게 배리스터에 공급되는 전력에 비례하는 순간온도 상승이 일어나므로 역으로 순간온도 상승의 크기와 핫수^[4]를 판독함으로써 배리스터의 수명을 예측할 수 있다.

표3은 직류누설전류인가시의 누설전류에 따라 주위온도에 비해 상승되는 온도상승값 및 저항값이며 그림11은 표3을 나타낸 것이다.

그림11에서 보듯이 100µA 이상에서는 배리스터가 클램프 모드에서 동작하는 것이므로 양단간의 전압은 V_{clamp} 로서 일정하다. 따라서 온도상승값 ΔT 는 누설전류 I_{leak} 에 비례하게 된다.

표 3 직류누설전류에 따른 온도상승값 및 저항값
 Table 3 Temperature rise and resistance by DC leakage current

누설전류 $I_{leak} [\mu A]$	온도상승 $\Delta T [^{\circ} C]$	저항 [MΩ]	양단전압 $V_{clamp} [V]$
25	0.4	19.4	486
50	0.8	9.8	490
75	1.4	6.5	491
100	1.9	4.9	493
200	2.4	2.5	500
400	3.55	1.25	505
600	4.58	0.85	509
800	5.53	0.64	512
1000	6.6	0.51	513

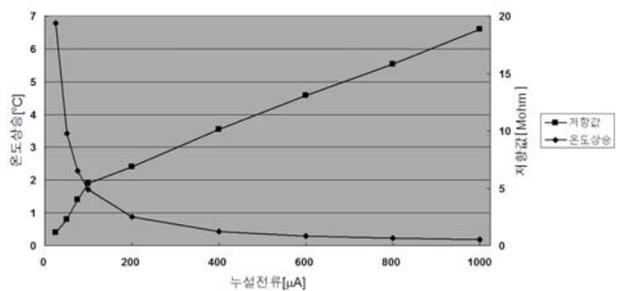


그림 11 직류누설전류에 따른 온도상승값 및 저항값
 Fig. 11 Temperature rise value and resistance by DC leakage current

I_{leak} 가 100µA미만인 경우를 보면 100µA이상일 때와는 다른 기울기를 갖는 $\Delta T - I_{leak}$ 관계를 가지며 식으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$\Delta T = k_{leak} \cdot I_{leak} \tag{4}$$

그러므로 사용하고자하는 배리스터의 k_{leak} 를 알면 SPD에서 동작하고 있는 배리스터의 ΔT 를 측정하여 I_{leak} 를 환산할 수 있다. 또한 100µA이상인 경우와 같이 배리스터의 온도까지 지속적으로 주위 온도보다 2 °C이상이 되면 배리스터의 특성이 열화된 상태에서 동작하고 있다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 서지전류와 직류누설전류를 배리스터에 인가하여 배리스터의 표면온도의 변화를 관측하고 그에 따른 배리스터의 성능을 살펴보았다.

서지전류의 경우는 서지의 과형과 무관하게 배리스터에 공급되는 전력에 비례하는 순간온도 상승이 일어나므로 역으로 순간온도 상승의 크기와 핫수를 판독함으로써 배리스터의 수명을 예측할 수 있게 된다.

직류누설전류의 경우는 누설전류가 증가할수록 배리스터의 온도는 지속적인 전력 공급에 의해 주변 온도보다 높이 상승하며, 이를 통해 간접적으로 현재의 배리스터의 절연저

향을 알 수 있다. 즉 현재의 열화정도를 알 수 있다.

이 두 실험을 통해 배리스터에 나타나는 온도의 순간상승과 주변온도와의 차이를 측정하면 서지전류와 직류누설전류의 정도를 간접적으로 추정하여 배리스터를 동작성능을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이복희, 이봉, “8/20 [μ s]임펄스전류의 인가횟수와 크기가 ZnO배리스터의 수명에 미치는 영향”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 21, No.1, pp. 118 ~ 124, January 2007.
- [2] 오명환, “산화아연 배리스터의 기술적 현황과 전망”, 전자공학잡지 제7권 4호, pp. 52 ~ 62, 1980. 12.
- [3] 오명환 외5명, “전력계통 ZnO 비직선 저항체의 전기적 특성 향상을 위한 연구”, 한국과학기술원, 1987.
- [4] 여인식, 고영민, 김동진, 김영선, 이기식, “10/350 μ s 서지전류의 크기와 인가횟수에 따른 배리스터의 제한 전압 특성 고찰”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2138 ~ 2139, 2009. 7.



고 영 민 (高 煥 珉)

1978년 8월 7일생. 2006년 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2009년~현재 동 대학원 박사과정
Tel : 010-6664-2363
E-mail : kymkhb@naver.com



이 기 식 (李 基 植)

1952년 3월 30일생. 1973년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1978년~현재 단국대학교 전자전기공학부 교수
Tel : 010-2248-1022
Fax : 031-8005-3606
E-mail : kisiklee@dankook.ac.kr

저 자 소 개



여 인 식 (呂 寅 植)

1973년 4월 5일생. 2007년 정수기능대 전기과 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전자전기공학과 석사과정
Tel : 019-226-5681
E-mail : yeois5681@daum.net