

서지전류에 의한 누전차단기의 의도하지 않은 트립에 대한 신뢰성

(Reliability on the Unintended Trips of Residual Current Operated Circuit Breakers due to Surge Currents)

이복희* · 김상현 · 김유하

(Bok-Hee Lee · Sang-Hyun Kim · Yoo-Ha Kim)

Abstract

As the huge economical loss and function paralysis of information technology-based systems can be caused by the misoperation of residual current devices(RCDs) due to surge voltages and currents, RCDs shall not operate by surge currents. In this paper, in order to evaluate the reliability of residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses(RCBOs) stressed by surges, the unintended trip characteristics of RCBOs under surge currents were experimentally investigated using the combination wave generator. Seven different types of single-phase RCBOs being present on the domestic market were investigated according to KS C IEC 61009-1 standard. As a result, all kinds of specimens were satisfied the requirements for 0.5 [μ s]/100[kHz] ring wave impulse currents. Most of specimens stressed by the 8/20[μ s] impulse current tripped at least one or more, and some of them were broken down during consecutive tests. It was found that only one type of specimens meets the L-N mode immunity to the combination wave of 1.2/50[μ s] impulse voltage and 8/20[μ s] impulse current.

Key Words : Residual Current Device, Leakage Current, 1.2/50[μ s] Impulse Voltage, 8/20[μ s] Impulse Current, Unintended Trip

1. 서 론

뇌서지 및 개폐서지, 정전기방전 등에 의한 서지는 전자부품을 손상시킬 수 있을 정도의 많은 에너지를 발생하는데 반해, 반도체의 집적도가 높아지면서 소자

의 에너지 수용 능력이 낮아져 서지에 대한 내성이 현저히 저하되었다. 따라서 반도체 소자를 내장한 장비는 과도전압에 매우 취약해 수십 [μ s]의 짧은 과전압 유입 시에도 전자소자가 파괴되거나 수명 단축, 오동작, 기능 저하 등을 초래한다. 따라서 뇌서지의 발생빈도가 높은 장소에서는 전원회로에 서지방호장치(surge protective device : SPD)의 적용을 권장하고 있다. SPD는 누전차단기(residual current device : RCD)와 함께 사용할 수 있으며, 또한 서지에 대한 누

* 주저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학부 교수
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2012년 4월 3일
1차심사 : 2012년 4월 7일
심사완료 : 2012년 4월 30일

서지전류에 의한 누전차단기의 의도하지 않은 트립에 대한 신뢰성

전차단기 기능의 보호를 위해 누전차단기 내부회로에 SPD소자를 내장하기도 한다. 이때 누전차단기와 SPD는 기능적으로 독립되어야 한다. 즉 서지가 침입하였을 때 SPD만이 동작해야 하고 누전차단기의 기능에 영향을 미쳐서는 안 된다. 그러나 SPD의 동작에 의해 누전차단기가 오동작하거나 고장을 일으킬 경우 불필요한 전원차단이 발생할 수 있으며, 본연의 역할인 감전보호의 기능을 상실하게 되어 신뢰성의 저하와 함께 막대한 경제적 손실을 초래할 수도 있다[1~3]. 또한 누전차단기는 서지에 대하여는 의도하지 않은 트립에 대한 내성이 요구된다[4~6].

본 논문에서는 RCBO의 서지전압과 서지전류에 의한 의도하지 않은 트립 동작에 대한 신뢰성을 검토하기 위한 목적으로 KS C IEC 61009-1(2009)에 따른 임펄스전류에 의한 누전차단기의 의도하지 않은 트립 특성을 실험적으로 분석하였다. 시료는 정격차단전류 2.5[kA], 동작시간은 0.03[초] 이내의 차단성능을 갖는 30[A]용 인체감전보호용 RCBO를 대상으로 하였다. 국내 7개 제조사별로 2011년 이후에 생산된 동종 3개씩의 시료에 대하여 평가하고, 그 결과를 비교·분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 조합파 임펄스발생장치

누전차단기가 설치된 전원회로에는 유도서지가 발생할 수 있으며, 1.2/50[μ s] 임펄스전압과 8/20[μ s] 임펄스전류가 침입하므로 조합파 임펄스발생장치를 이용하여 누전차단기의 서지전압 및 전류에 의한 의도하지 않은 트립 특성을 분석하였다. 본 연구에 적용한 조합파 임펄스발생장치의 사진을 그림 1에 나타내었다. 조합형 임펄스발생장치로 단락상태에서 5[kA], 8/20[μ s] 임펄스전류, 그리고 개방상태에서 10[kV], 1.2/50[μ s] 임펄스전압을 발생시킬 수 있다. 또한 0.5[μ s]/100[kHz] 감쇠진동성 임펄스전류를 발생시킬 수 있으며, 6[kV]의 충전전압으로 200[A]의 감쇠진동성 임펄스전류를 공급할 수 있다.

누전차단기의 임펄스전류에 의한 의도하지 않은 트

립 특성을 평가하기 위해 KS C IEC 61009-1에 규정되어 있는 방법에 따라 그림 2와 같은 실험회로를 구성하였다[5]. 60[Hz], 220[V]의 전원이 누전차단기에 부과된 상태에서 전원부로 서지전류가 침입하는 것을 방지하기 위해 필터를 접속하였다.



그림 1. 조합파 임펄스발생장치의 사진
Fig. 1. Photo. of the combination wave generator

2.2 임펄스전류에 의한 의도하지 않은 트립 특성

0.5[μ s]/100[kHz] 감쇠진동성 임펄스에 대한 시험으로 RCBO의 한 극에 200[A] 서지전류를 10[회] 인가한다. 서지전류는 정극성, 부극성 각 2회씩 인가하며, 동일한 극성의 서지전류를 인가하는 시간간격은 약 30[초]이고, 다른 극성의 서지전류를 인가하는 시간간격은 약 1[분]이었다. 또한 3[kA]까지의 서지전류에서 누전차단기의 의도하지 않은 트립에 대한 내성의 검증시험(8/20[μ s] 서지전류시험)도 위와 동일한 절차에 따라 수행하였다.

인가전류는 감도 0.1[A/V]이고 주파수대역이 15[MHz]인 전류프로브로 검출하고, 누전차단기 2차 측 전압은 주파수대역 100[MHz]인 고압용 차동프로브로 측정하였다. 검출된 전압과 전류 신호는 주파수대역 400[MHz]인 오실로스코프로 관측하였다. 시료

는 정격감도전류 30[mA], 정격차단전류 2.5[kA], 동작 시간은 0.03[초] 이내인 성능을 갖는 30[A] 고감도형 인체감전보호용 누전차단기 7종을 선택하였다.

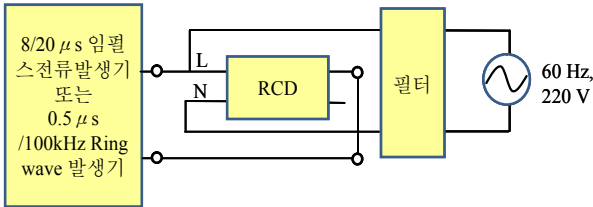


그림 2. 임펄스전류에 의한 누전차단기의 의도하지 않은 트립을 검증하는 시험회로

Fig. 2. Test circuit for verifying the unintended trip of RCBOs against impulse currents

2.3 1.2/50[μs] 임펄스전압에 대한 내성 특성

60[Hz], 220[V]의 전원 전압에 중첩되어 입사하는 차동모드(L-N모드) 6[kV], 1.2/50[μs] 임펄스전압에 대한 누전차단기의 내성을 평가하기 위한 실험을 그림 3의 회로를 적용하여 수행하였다.

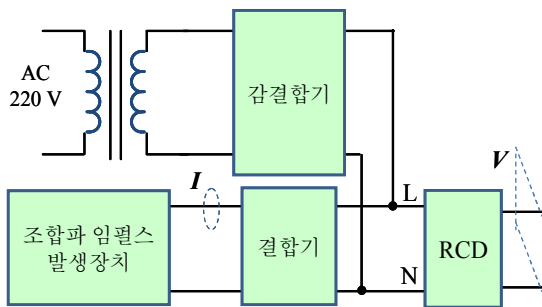


그림 3. 1.2/50[μs] 임펄스전압에 대한 누전차단기의 L-N모드 내성을 평가하기 위한 시험회로

Fig. 3. Experimental circuit for evaluating the L-N mode immunity of RCBOs against the 1.2/50[μs] impulse voltages

누전차단기 2차 측 단자전압은 고전압 차동프로브로 측정하였으며, 누전차단기에 내장된 MOV의 동작으로 흐르는 임펄스전류는 주파수대역 15[MHz]의 전류프로브로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 0.5[μs]/100[kHz] 감쇠진동성 임펄스 전류에 의한 의도하지 않은 트립 특성

누전차단기의 0.5[μs]/100[kHz] 감쇠진동성 임펄스 전압에 대한 내성시험은 선로의 정전용량에 의해 흐르는 충전전류에 의한 RCBO의 의도하지 않는 트립 동작에 대한 내성을 검증하는 것으로 시험 중에 RCBO가 트립되지 않아야 한다. KS C IEC 61009-1표준에 따르면 다음의 요구사항을 만족하도록 시험조건을 조정해야 한다.

- 전류의 과고값 : 200[A]+10[%]
 - 규약과두시간 : 0.5[μs]±30[%]
 - 후속 진동파형의 주기 : 10[μs]±20[%]
 - 연속되는 각각의 과고값 : 선행 과고값의 약 60[%]
- 서지전압에 의해 흐르는 서지전류에 대한 누전차단기의 의도하지 않는 트립의 분석을 위한 본 실험에 적용한 0.5[μs]/100[kHz] 감쇠진동성 임펄스전류 파형의 전형적인 예를 그림 4에 나타내었다.

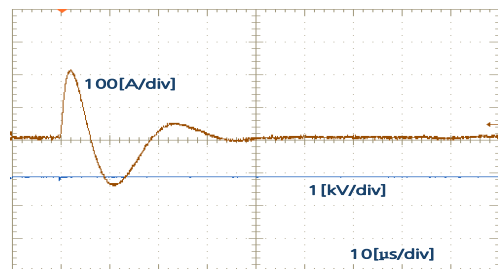


그림 4. 본 연구에 사용한 0.5[μs]/100[kHz] 감쇠진동성 임펄스전류의 파형의 예

Fig. 4. Typical waveforms of 0.5[μs]/100[kHz] ring wave impulse currents used in this work

0.5[μs]/100[kHz], 200[A]의 감쇠진동성 임펄스전류에 대한 RCBOs의 의도하지 않는 트립에 대한 실험 결과는 표 1과 같다. 본 시험에서 평가의 대상으로 적용한 모든 시료는 0.5[μs]/100[kHz], 200[A]의 감쇠진동성 임펄스전류에 의하여 의도하지 않는 트립을 일으키거나 소손되지 않았으며, KS C IEC 61009-1표준의 요건을 충족하는 것으로 나타났다.

서지전류에 의한 누전차단기의 의도하지 않은 트립에 대한 신뢰성

표 1. 0.5[μ s]/100(kHz) 감쇠진동성 임펄스전류에 대한 결과

Table 1. Results against the 0.5[μ s]/100(kHz) ring wave impulse currents

순번		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	신뢰도
		(정)	(정)	(부)	(부)	(정)	(정)	(부)	(부)	(정)	(정)	(%)
시료 1	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
시료 2	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
시료 3	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
시료 4	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
시료 5	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
시료 6	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
시료 7	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100

Key : P : Pass, F : Fail, B : Breakdown, (정) : 정극성, (부) : 부극성

3.2 8/20[μ s] 임펄스전류에 의한 의도하지 않은 트립 특성

속류가 흐르지 않는 섬락의 경우 누전차단기의 의도하지 않은 트립 동작에 대한 내성의 검증을 위하여 8/20[μ s] 임펄스전류에 대한 시험을 하며, 시험조건은 다음의 요구사항을 만족하도록 조정되어야 한다[5].

- 전류의 파고값 : 3000[A]+10[%]
 - 규약파두시간 : 8[μ s] \pm 20[%]
 - 규약파미시간 : 20[μ s] \pm 20[%]
 - 역방향 전류의 파고값 : 파고값의 30[%] 이하
- 본 실험에 적용한 3 [kA], 8/20[μ s] 임펄스전류 파형의 전형적인 예를 그림 5에 나타내었다.

KS C IEC 61009-1표준에 규정되어 있는 방법과 절차에 따라 수행한 실험결과의 예시를 표 2에 나타내었

다. 이 실험은 8/20[μ s] 임펄스전류가 누전차단기에 공통모드로 인가되는 경우 의도하지 않은 트립에 대한 내성을 평가하는 것으로 볼 수 있다. KS C IEC 61009-1에 따르면 S형 RCBO는 시험 중에 트립되지 않아야 하며, 일반형 RCBO는 트립될 수도 있으나 트립 후 재폐로되어야 할 요건을 충족해야 한다.

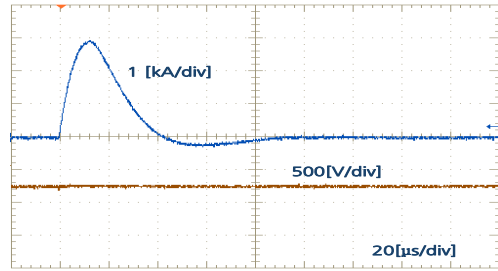


그림 5. 8/20[μ s] 임펄스전류 파형의 예
Fig. 5. Typical waveforms of 8/20[μ s] impulse currents

표 2. 8/20[μ s] 임펄스전류에 대한 실험결과
Table 2. Experimental results against 8/20[μ s] impulse currents

순번		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	신뢰도
		(정)	(정)	(부)	(부)	(정)	(정)	(부)	(부)	(정)	(정)	(%)
시료 1	a	F	P	P	P	F	F	P	P	P	P	70
	b	F	F	P	P	F	F	P	P	P	B	0
	c	F	F	P	P	P	P	P	P	P	P	80
시료 2	a	F	F	P	P	F	F	P	P	P	B	0
	b	P	F	P	P	F	P	B				0
	c	P	P	P	P	B						0
시료 3	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	F	P	90
시료 4	a	P	P	P	B							0
	b	P	P	P	P	F	F	P	P	F	B	0
	c	F	F	P	P	F	F	B				0
시료 5	a	P	P	F	F	B						0
	b	P	F	B								0
	c	P	P	P	B							0
시료 6	a	P	P	P	P	P	P	F	F	P	P	80
	b	P	P	F	P	P	P	P	P	P	P	90
	c	P	P	P	F	P	P	P	F	P	P	80
시료 7	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	F	P	F	P	P	P	P	P	80
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	F	P	90

Key : P : Pass, F : Fail, B : Breakdown, (정) : 정극성, (부) : 부극성

시료 2, 시료 4, 시료 5의 3종 9개의 시료는 실험 중에 소손되거나 영구고장을 일으켰다. 서지전류는 정극성, 부극성 각 2회씩 반복하여 30[초] 간격으로 10[회] 인가하도록 규정되어 있으므로 10[회] 이내에 파손되는 경우는 신뢰도 0으로 처리하였다. S형 RCBO는 10[회] 인가 동안에 1번도 트립되면 안 되지만 일반형과 동일하게 임펄스전류를 10[회] 인가하여 트립되는 회수에 따라 신뢰도를 평가하였다.

시료 1(b 시료 파괴)의 신뢰도는 비교적 낮으며, 시료 3, 6, 7의 신뢰도는 80[%] 이상이였다. 시료 3, 6, 7은 임펄스전류에 의해 소손되거나 영구 고장은 발생하지 않았으나 트립 후 수동 재투입은 가능하였으나 자동 재폐로 기능은 없었다. 일반형 기준으로 시료 3, 7은 90[%] 이상의 서지전류에 의한 의도하지 않는 트립에 대한 내성의 신뢰도를 갖은 것으로 볼 수 있다.

3.3 1.2/50[μs] 임펄스전압에 대한 누전차단기의 L-N모드 내성

본 연구에서는 누전차단기의 전원 측에 SPD를 설치하는 경우(CT2 유형의 접속) L-N 사이에 SPD를 접속해야 하므로 누전차단기 근처에 SPD를 설치할 때 상호간의 보호협조 및 임펄스전압에 대한 절연내력의 검토를 위해서 실험하였다. KS C IEC 60364-5-53 : 2005에는 SPD를 누전차단기의 부하 측에 설치하는 경우 시간간지연 여부에 상관없이 최소 3[kA], 8/20[μs]의 서지전류에 대한 내성을 가지는 누전차단기를 사용하도록 규정되어 있다[7]. KS C IEC 61009-1에 규정된 3[kA], 8/20[μs]의 임펄스전류에 의한 누전차단기의 의도하지 않은 트립 동작에 대한 내성은 공통모드(L-G 모드)에 대한 요건으로 볼 수 있으며, 이 시험으로 성능을 검증한다. 시료로 선정된 RCBO 모두는 L-N모드에 MOV가 내장되어 있는 것으로 확인되었다. 따라서 시료 RCBO는 L-N모드 SPD의 역할도 하는 것으로 볼 수 있으며, 60[Hz], 220 [V]의 전원전압에 중첩시켜 1.2/50[μs] 임펄스전압을 인가한 때 MOV에 흐르는 임펄스전류와 제한전압 파형의 대표적인 예를 그림 6에 나타내었으며, SPD에 1.2/50[μs] 임펄스전압을 인가한 때의 특성과 유사하게 나타났다.

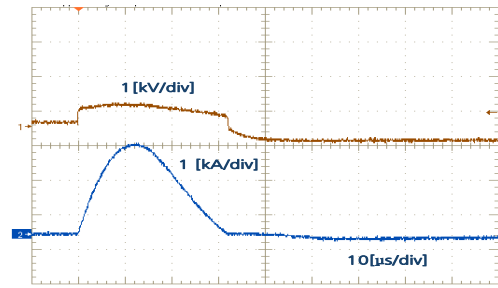


그림 6. 1/2/50[μs] 임펄스전압에 대한 누전차단기의 L-N모드 제한전압과 전류파형의 예
Fig. 6. Typical waveforms of L-N mode limiting voltage and impulse current of RCBOs against 1.2/50[μs] impulse voltage

표 3. 1.2/50[μs] 임펄스전압에 대한 RCBOs의 L-N모드내성의 결과
Table 3. Results of L-N mode immunity of RCBOs against 1.2/50[μs] impulse voltages

순번		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	신뢰도
		(정)	(정)	(부)	(부)	(정)	(정)	(부)	(부)	(정)	(정)	(%)
시료 1	a	P	F	B								0
	b	P	P	F	B							0
	c	P	P	B								0
시료 2	a	B										0
	b	F	F	F	F	F	F	F	F	B		0
	c	P	P	P	B							0
시료 3	a	P	B									0
	b	B										0
	c	P	B									0
시료 4	a	B										0
	b	B										0
	c	B										0
시료 5	a	B										0
	b	B										0
	c	B										0
시료 6	a	P	F	B								0
	b	B										0
	c	B										0
시료 7	a	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	b	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100
	c	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	100

Key : P : Pass, F : Fail, B : Breakdown, (정) : 정극성, (부) : 부극성

그림 3에 나타난 바와 같이 60[Hz], 220[V] 전원회로에 설치된 누전차단기의 L-N 단자 사이에 6[kV], 1.2/50[μs] 임펄스전압을 중첩시켜 인가한 경우 MOV에는 약 3[kA]의 임펄스전류가 흘렀으며, 이에 대한

실험결과와 예시를 표 3에 나타내었다. 시료 1~6까지의 18개의 RCBO는 1[회] 또는 10[회] 이내에 파손되었다. 이는 누전차단기에 내장된 MOV소자의 서지전류의 통전능력이 부족한 것으로 판단된다.

누전차단기의 L-N단자 사이에 접속한 MOV소자는 L-G모드의 8/20[μ s] 임펄스전류에 의한 의도하지 않은 트립 동작과는 관련이 없는 것으로 사료되며, KS C IEC 60364-5-53에 규정된 3[kA], 8/20[μ s]의 서지전류에 대한 내성의 신뢰성은 비교적 낮은 것으로 판단된다. 누전차단기의 L-N단자 사이에 접속하는 MOV의 기능과 성능을 명확하게 해야 하며, 누전차단기의 부하 측에 SPD를 설치하는 경우 누전차단기에 내장된 MOV와 SPD 사이의 보호협조를 고려해야 한다. 누전차단기에 내장된 MOV와 SPD 사이의 보호협조가 적절하지 않은 경우 SPD의 설치효과를 기대할 수 없게 된다.

4. 결 론

KS C IEC 61009-1표준에 따른 서지전류로 인한 누전차단기의 의도하지 않은 트립에 대한 내성의 신뢰성 분석을 위한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 선로의 정전용량으로 누전차단기의 의도하지 않은 트립 동작을 검증하는 0.5[μ s]/100[kHz] 감쇠 진동성 임펄스전류에 시험의 요구사항은 모두 충족하였다.
- (2) 속류가 흐르지 않는 3[kA], 8/20[μ s] 임펄스전류에 의한 시료 RCBO의 의도하지 않은 트립 동작에 대한 내성의 신뢰성은 비교적 낮은 것으로 나타났다.
- (3) 누전차단기에 내장되어 있는 L-N모드 MOV소자의 8/20[μ s], 3[kA] 임펄스전류에 대한 내성은 비교적 낮았으며, SPD를 설치할 때 특별한 고려가 필요함이 밝혀졌다.

References

[1] S.C. Lee, S.H. Chang, B.H. Lee, "Dead operation character

-istics of earth leakage circuit breaker for 50 [A] against surge voltages", J. KIIEE, Vol.11, No.5, pp. 44~52, 1997.

[2] B. H. Lee, S. C. Lee, C. H. Kim, "Analysis of malfunction characteristics of high sensitivity type earth leakage circuit breaker for 30 [A] due to lightning impulse voltages", J. KIIEE, Vol.11, No.6, pp.96~103, 1997.

[3] J.G. Yoo., S.I. Lee, J.C. Jeon, "Survey on the malfunction of MCCB and ELB in private electrical facilities", J. KIIEE, Vol.19, No.2, pp.87~93, 2005.

[4] KS C IEC 61008-1: Residual current operated circuit breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses(RCCBs) - Part 1 : General rules, pp.63~64, 2009.

[5] KS C IEC 61009-1: Residual current operated circuit breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses(RCBOs) - Part 1 : General rules,, pp.73~74, 2009.

[6] KS C 4613: Circuit breaker incorporating residual current protection for industrial uses(CBR), pp.5~6, 2011.

[7] KS C IEC 60364-5-53: Electrical installations of buildings - Part5-53: Selection and election of electrical equipment - Isolation, switching and control, pp.4~10, 2005.

◇ 저자소개 ◇



이복희 (李福熙)

1954년 6월 23일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 IT공대 전기공학과 교수. 본 학회 명예회장.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr



김상현 (金相賢)

1980년 9월 6일생. 2008년 2월 인천대 공대 컴퓨터공학과 졸업. 현재 인하 공학대학원 정보전기공학과 석사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : seedthe@paran.com



김유하 (金庾河)

1980년 4월 27일생. 2007년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 인하대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : baal80@daum.net