

On-Line 및 Off-Line 상태에 따른 누설 전류 진단 분석

한경철, 이경섭, 최용성^a

동신대학교 전기공학과

Analysis of Leakage Current Diagnosis According to Online and Offline Conditions

Kyung-Chul Han, Gyeong-Seop Lee, and Yong-Sung Choi^a

Department of Electrical Engineering, DongShin University, Naju 58245, Korea

(Received January 9, 2018; Revised February 20, 2018; Accepted February 21, 2018)

Abstract: When the clamp meter approaches the electric path where current is flowing, leakage current can be measured at a distance from the electric current because the induced current increases as the magnitude of the current increases and approaches nearer to the electric path. Therefore, measurements were carried out from a distance to avoid this effect. In addition, the measured values differ depending on the location of the power line that penetrates the ZCT of the clamp meter, thus measurements were performed at a location where this effect was minimized. The fraction of compliant branch circuits, whose leakage current was lower than 1.00 mA, was found to be 69.0% out of the total of 439 branch circuits, while the percentage of compliant branch circuits having an insulation resistance higher than 0.20 MΩ was found to be 93.2%. The reason why the percentage of compliant branch circuits with low leakage current was low might be due to the inclusion of capacitive leakage current in the total measured leakage current.

Keywords: Clamp meter, Leakage current, ZCT, Insulation resistance

1. 서론

전기에너지는 산업과 문명의 원동력인 동시에 일상 생활에 편리하게 사용할 수 있으나, 부주의 사용 또는 사고 시 인명피해 및 큰 재산 피해를 발생시킬 수 있다. 누설 전류는 전기감전의 위험을 초래하고 전기화재나 각종 재해의 원인이 된다. 통상 500 mA 이상의 누설 전류가 흐르면 점화원으로 작용할 수 있어 전기화재의 위험성이 있다 [1-3].

누설 전류계는 통전 상태에서 측정하므로 상시 누전 상태를 감시할 수 있는 장점이 있지만, 저항성과 용량성의 합성 누설 전류를 검출하므로 고조파 발생, 불평

형 부하, 대지정전용량 등이 증가하면 유효한 누설 전류의 측정이 곤란하다. 따라서 저압설비에서 절연열화를 판단하기 위해 용량성 누설 전류를 배제하고 저항성 누설 전류만을 검출할 수 있는 측정방법의 적용이 필요하다. 절연 저항계는 유효한 누설 전류를 측정할 수 있지만 정전 상태에서 절연 저항을 측정하므로 정전이 어려운 사무자동화 기기, 정보통신 기기 등 순간정전도 허용하지 않는 중요설비는 측정하기 매우 어렵다. 또한, 부하기기에 전자접촉기(magnetic contactor, MC)나 relay가 내장되어 있거나, 단상부하에서 접지선 연결 시 부하설비의 절연열화를 측정할 수 없는 문제점이 있다 [2,4-6].

따라서 본 논문에서는 전기재해를 일으킬 수 있는 요소를 미리 제거하고 보다 효율적이고 신뢰성 있는 누설 전류 검출방법을 찾고자 전로로부터 이격거리 및 전원선 위치에 따른 누설 전류를 측정하였으며 누설 전류와 절연 저항의 분포를 측정 및 분석하였다.

a. Corresponding author; yschoi67@dsu.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 실험 기자재

2.1.1 누설 전류계

누설 전류계는 sanwa사의 DCL460F 누설 전류계를 사용하였으며 그 규격은 표 1과 같다.

Table 1. Standard and error range of clamp meter.

DCL460F	Measuring range	Error range	Minimum scale
AC	60/600 mA	$\pm(1.2\%+5)$	0.01 mA
AC	60/400 A	$\pm(1.2\%+5)$	0.01 A
DC	600 V	$\pm(.2\%+5)$	0.1 V
DC	600 V	$\pm(1.0\%+2)$	0.1 V
Resistance	999.9 Ω	$\pm(1.0\%+8)$	0.1 Ω

2.1.2 절연 저항계

절연 저항계는 sanwa사의 MG1000, 측정전압 500 V를 사용하였으며 그 규격은 표 2와 같다.

Table 2. Standard and error range of insulation meter.

MG1000	Measuring range	Error range	Minimum scale
Insulation resistance	4~4,000 M Ω	$\pm(3\%+4)$	0.001 M Ω
Voltage	250~1,000 V		
AC/DC	600 V (AC/DC)	$\pm(3\%+2)$	1 V
Resistance	4,000 Ω	$\pm(3\%+3)$	1 Ω
Resistance	40 Ω	$\pm(3\%+10)$	0.01 Ω

2.2 실험 방법

2.2.1 누설 전류계

2.2.1.1 누설 전류 측정

누설 전류계를 이용한 누설 전류 측정방법은 단상 2선

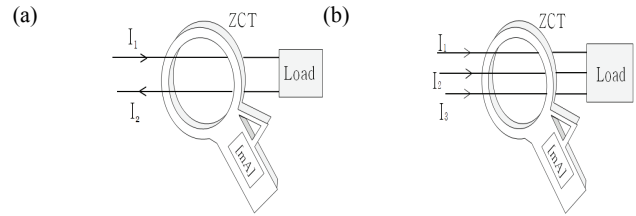


Fig. 1. Measurement of leakage current using clamp meter. (a) Single-phase two-wire and (b) three-phase three-wire.

식에서는 전원선 2가닥을 ZCT에 통과시켜 그림 1(a)와 같이 측정하였고 3상 3선식에서는 전원선 3선을 ZCT에 통과시켜 그림 1(b)와 같이 측정하였으며 3상 4선식에서는 전원선 3가닥과 중성선 1가닥을 ZCT에 관통하여 측정하였다.

2.2.1.2 전자유도에 의한 누설 전류계 영향

누설 전류계가 전로에 접근 시 전류크기 및 접근 거리에 따라 전자유도 장애를 받았으며, 그림 2는 전로에 흐르는 전류의 크기에 따라 유도전류가 발생하는 정도를 나타냈다. 따라서 오차를 최소한으로 줄이기 위해 측정전로 주위에 다른 전로의 전자유도 장애를 받지 않도록 그림 2의 최대거리 이상으로 이격하여 측정하였다.

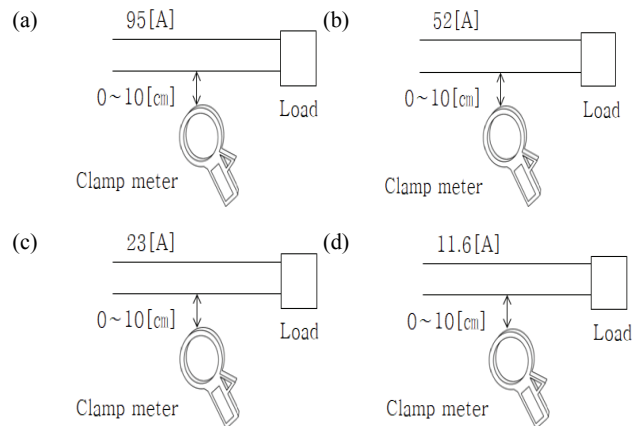


Fig. 2. Inductive disturbance of clamp meter. (a) 95 A circuit, (b) 52 A circuit, (c) 23 A circuit, and (d) 11.6 A circuit.

2.2.1.3 전원선 위치에 따른 누설 전류

누설 전류계의 ZCT를 통과하는 전원선의 측정 위치에 따라 누설 전류의 영향을 조사하기 위하여 전원선

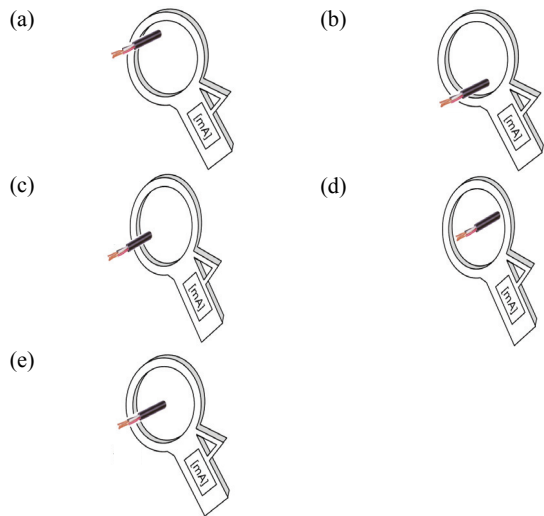


Fig. 3. Error according to place of power line. (a) Upper, (b) down, (c) left, (d) right, and (e) center.

을 누설 전류계의 ZCT 상하좌우 및 중앙에 위치시켜 누설 전류를 측정하였으며 그림 3과 같다.

2.2.2 절연 저항계

2.2.2.1 절연 저항 측정

절연 저항계를 이용하여 절연 저항을 측정할 때에는 전원 전압을 차단한 상태(정전)에서 절연 저항계 검정색 리드선은 대지(접지단자)에 접속하고 빨간색 리드선은 피시험기 전원선에 접속하여 DC 500 V를 인가하여 대지로 흐르는 누설 전류를 측정한다. 이때, 인가전압을 대지로 흐르는 전류로 나누어서 저항 값을 산출하고 MΩ 단위로 환산하여 나타내고 전기설비기술기준에 의한 허용 기준 값은 표 3과 같이 나타낸다.

DC 500 V용 절연 저항계는 감전의 위험이 비교적 높아 측정 시 보호 장구를 착용하고 측정하였으며 국내저압계통의 공칭전압은 단상 220 V이므로 사용하는 전기기계기구의 전원선 양단에 DC 500 V를 인가하면 부하설비의 내부절연 및 반도체소자 등이 파괴될 수 있으므로 부하설비의 전원선 양단에 DC 500 V가 직접 인가되지 않도록 하였고 그림 4(a)와 같다.

DC 250 V용 절연 저항계는 피측정 부하설비의 전원 전압인 AC 220 V의 최댓값보다 시험전압이 낮아 피측정 부하설비의 절연손상 우려가 없으므로 피측정 설비의 전원선 양단에 시험전압 DC 250 V를 인가하여 절연 저항을 측정할 수 있으며 그림 4(b)와 같다.

Table 3. Insulation resistance of low voltage wire.

Voltage used for converter	R
When the ground voltage (The grounded converter is the voltage between the wire and earth, and the non-contact converter is the voltage between the wires. The same.) is less than 150 V or less.	0.1 MΩ
When the ground voltage is more than 150 V but less than 300 V	0.2 MΩ
The operating voltage is more than 300 V and less than 400 V	0.3 MΩ
More than 400 V	0.4 MΩ

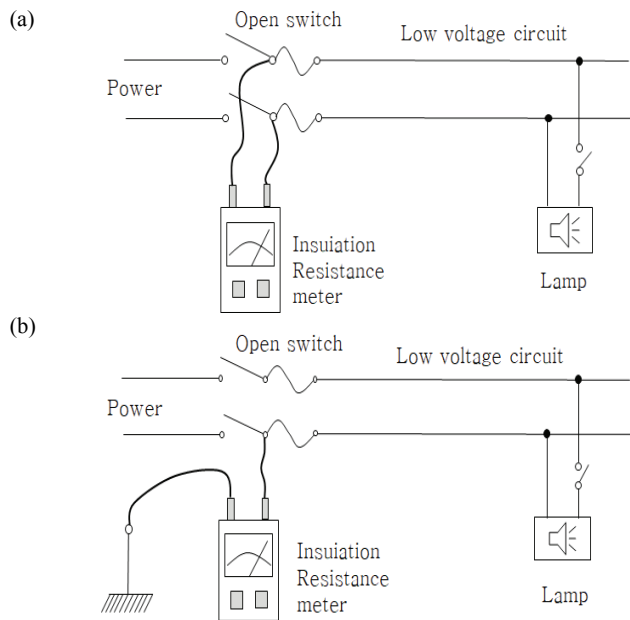


Fig. 4. Measurement of insulation resistance of low voltage wire. (a) Mutually-wire and (b) between wire and ground.

2.2.2.2 절연 저항의 신뢰성

저압전로에서 절연 저항 측정 시 피측정 부하설비의 내부회로에 전자접촉기 또는 Relay를 사용하는 경우 전원을 차단하면 전자접촉기나 Relay의 접점이 개방되므로 개방회로의 2차 측 부하설비의 절연 저항 측정은 할 수 없으며 그림 5(a)와 같다.

부하설비의 전원선으로 중성선 대신 접지선을 사용하면 접지저항이 양호한 상태에서는 부하설비를 정상적으로 사용할 수 있다. 이때 전원 측에 설치한 과전

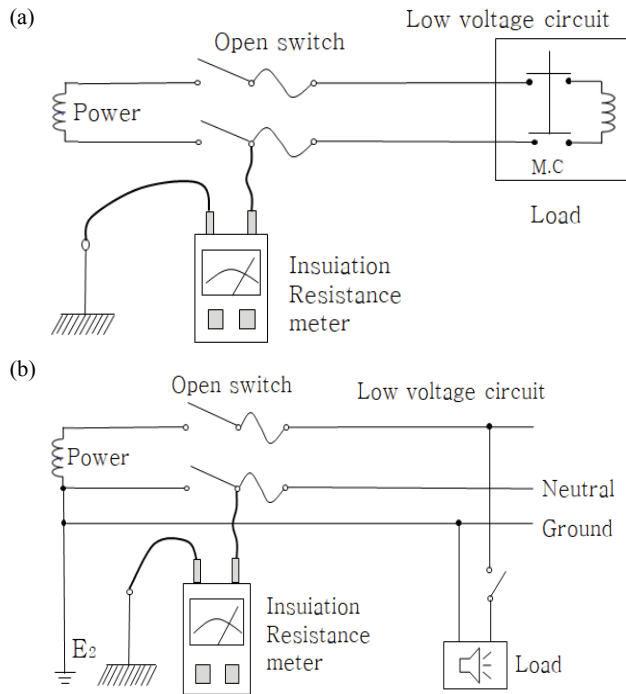


Fig. 5. Measurement error of insulation resistance of low voltage wire. (a) Load device with magnetic contactor and (b) grounding wire wrong wiring Load device.

류 보호 장치에 누설 전류 검출기능이 없으면 과전류 보호 장치는 차단되지 않는다. 전원선으로 중성선 대신 접지선을 사용하는 부하설비의 절연 저항을 측정하면 부하설비의 절연열화 정도에 영향 없이 절연 저항은 무한대(∞) 또는 영(0)이 측정되므로 측정값의 신뢰성이 저하될 수 있으며 그림 5(b)와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이격거리 및 전원선 위치에 따른 누설 전류 영향

3.1.1 누설 전류계의 유도 장애

그림 2와 같이 전류가 흐르고 있는 전로에 누설 전류계를 접근하면 전로에 흐르는 전류의 영향으로 그 전로에 가깝게 근접할수록 유도전류가 증가하여 유도 전류계에 유도전류가 발생하였고 그 크기는 표 4와 같았다. 따라서 본 논문에서는 표 4와 같이 누설 전류의 허용 값인 1 mA의 20% 이내가 되도록 인근 선로로부터 5 cm 이상 이격하여 누설 전류를 측정하였다 [6].

Table 4. Inductive disturbance of clamp meter.

Load [A]	Contact	5 cm	10 cm	20 cm
165	7.32 mA	2.57 mA	1.63 mA	0.9 mA
126	3.65 mA	1.6 mA	1.02 mA	0.45 mA
95	1.44 mA	0.1 mA	0.05 mA	-
52	1.72 mA	0.41 mA	0.17 mA	-
30.6	1.12 mA	0.26 mA	0.15 mA	-
23	0.29 mA	0.18 mA	0.07 mA	-
19.7	1.45 mA	0.05 mA	-	-
6.14	0.45 mA	0.09 mA	-	-
4.85	0.24 mA	0.04 mA	-	-
3	0.23 mA	0.05 mA	-	-
1.75	0.08 mA	-	-	-
0.6	0.04 mA	-	-	-

3.1.2 전원선의 위치에 따른 누설 전류 측정

그림 3과 같이 누설 전류계의 ZCT를 관통하는 전원선의 위치에 따라 측정값에 차이가 났으며, 전원선을 중앙에 위치하도록 하여 측정한 값과 상하좌우에서 측정한 평균값과의 차이는 최대 0.24 mA로 누설 전류 허용값인 1 mA의 24%이었으며, 그 결과를 표 5로 나타냈다. 따라서 본 논문에서는 전원선을 ZCT 중앙에 위치하도록 배치하여 누설 전류를 측정하였다.

Table 5. Measurement of leakage current according to power line place.

Place Load [A]	Upper [mA]	Down [mA]	Left [mA]	Right [mA]	Average [mA]	Center [mA]	Ratio [mA]
15.63	0.89	0.34	0.7	0.55	0.62	0.54	0.08
13.7	4.64	4.16	4.14	4.61	4.39	4.15	0.24
10.5	0.4	0.17	0.36	0.06	0.25	0.25	0.0
9.65	1.23	1.11	1.32	1.26	1.23	1.2	0.03
4.85	0.6	0.77	0.73	0.71	0.72	0.72	0.0
4.23	0.7	0.66	0.68	0.66	0.68	0.68	0.0
2.89	0.13	0.14	0.06	0.04	0.09	0.1	0.01
1.03	0.08	0.1	0.13	0.07	0.1	0.1	0.0
0.6	0.17	0.14	0.12	0.15	0.6	0.11	0.04

3.2 누설 전류 및 절연 저항

부하설비 중 총 439개의 분기회로를 누설 전류계를 이용하여 누설 전류를 측정하였고, 절연 저항계를 이용하여 절연 저항을 측정하였다.

누설 전류는 1 mA 이하일 때 적합하고, 절연 저항은 0.2 MΩ 이상일 때 적합하므로 [6] 누설 전류 값은 적을수록 절연 저항 값은 클수록 양호하다. 즉, 누설 전류와 절연 저항은 허용범위 내에서 반비례 관계일 때 이상적인 설비가 된다.

439개의 분기회로의 누설 전류와 절연 저항을 측정한 결과 첫 번째 누설 전류와 절연 저항이 모두 부적합한 분기회로는 16개, 3.6%이었고, 두 번째 누설 전류와 절연 저항이 모두 적합한 분기회로는 297개, 67.6%이었으며, 세 번째 누설 전류는 적합하고 절연 저항은 부적합한 분기회로가 11개, 2.5%이었고, 네 번째 누설 전류는 부적합하고 절연 저항은 적합한 분기회로가 115개, 26.2%이었으며 그림 6과 같다.

439개의 분기회로 중에서 16개, 3.6% 분기회로는 부적합하였고 297개, 67.6% 분기회로는 적합하였으며, 126개, 28.7% 분기회로는 누설 전류와 절연 저항이 상이하게 측정되었다.

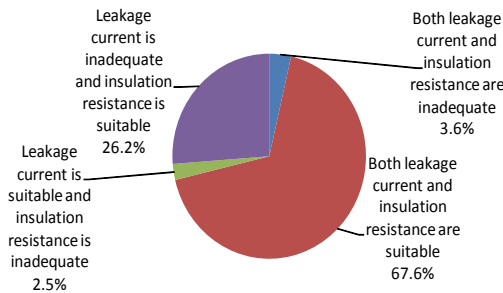


Fig. 6. Leakage current and insulation resistance fitting type.

3.3 누설 전류 및 절연 저항의 분포

3.3.1 누설 전류 분포

누설 전류계를 이용하여 439개 분기회로의 누설 전류 측정값을 분석하여 분포비율과 누적비율을 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 전기설비기술기준 및 판단기준에 의한 누설 전류 허용 값인 1 mA 이하인 분기

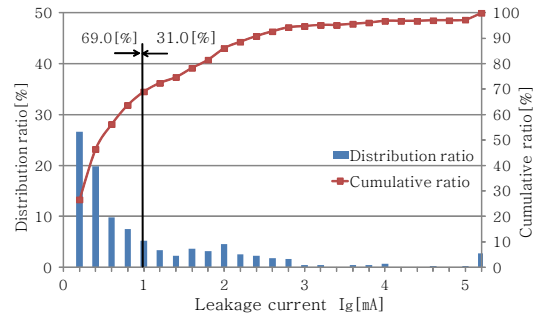


Fig. 7. Distribution of leakage current.

회로는 303개, 69.0%가 허용 값에 만족하였으며 136개 회로는 허용 값 1 mA를 초과하여 31.0%가 부적합 설비로 나타났다.

3.3.2 절연 저항 분포

절연 저항계를 이용하여 439개 분기회로의 절연 저항 측정 값을 분석하여 분포 비율과 누적 비율을 그림 8에 나타내었다. 전기설비기술기준 제52조에서 대지 전압이 150 V 초과 300 V 미만인 경우 절연 저항 값은 0.2 MΩ 이상 유지하도록 하는 규정에 의해 허용 값 이상인 0.2 MΩ 초과는 409개 회로로 93.2%가 허용 값에 만족하였으며, 0.2 MΩ 이하는 30개 회로 6.8%가 부적합 설비로 나타났다.

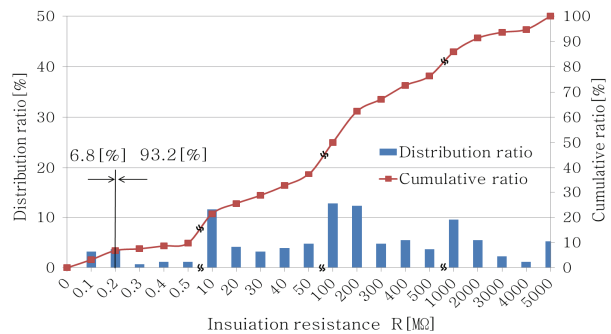


Fig. 8. Distribute of insulation resistance.

3.3.3 누설 전류와 절연 저항 측정값 비교

이상의 결과로부터 누설 전류 측정값에서 허용 값 1 mA 이하는 69.0%가 적합하게 나타났고 절연 저항 측정값에서 허용 값 0.2 MΩ 이상은 93.2%가 적합하게

나타났다. 즉, 누설 전류계와 절연 저항계를 이용한 측정값은 누설 전류가 24.2% 낮음을 알 수 있었다. 따라서 누설 전류계를 이용한 측정값이 낮은 적합 비율을 나타낸 이유로는 누설 전류에 용량성 누설 전류가 포함되어 있기 때문으로 생각된다 [5].

4. 결론

본 논문에서는 전기재해를 일으킬 수 있는 요소를 미리 제거하기 위해 보다 더 효과적이고 신뢰성이 있는 누설 전류 검출방법을 찾고자 누설 전류계와 절연 저항계를 이용하여 463개 분기회로의 누설 전류와 절연 저항을 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 누설 전류계가 인근 전로에 접근할 때 126 A 이상의 전로에서 20 cm, 23 A 이상의 전로에서 10 cm, 3 A 이상의 전로에서 5 cm, 5 A 이상의 전로에서 1 cm 이내로 접근하면 유도전류가 발생했으며 누설 전류의 영향을 받지 않도록 인근 전로로부터 충분히 이격하여 누설 전류를 측정하였다. 또한 전원선을 누설 전류계 ZCT의 상, 하, 좌, 우의 위치에 놓고 측정한 누설 전류의 평균값과 중앙에 놓고 측정한 누설 전류의 차이가 최소화되므로 전원선을 ZCT 중앙에 위치하도록 하여 누설 전류를 측정하였다.

- 2) 439개 분기회로의 누설 전류와 절연 저항을 측정하여 누설 전류와 절연 저항의 분포와 누적을 분석한 결과 누설 전류의 허용값 1 mA 이하를 만족하는 분기회로의 비율은 69.0%이었고 절연 저항의 허용값 0.2 M Ω 이상을 만족하는 분기회로의 비율은 93.2%이었다. 따라서 누설 전류와 절연 저항의 적합 비율의 차이는 누설 전류가 24.2% 낮음을 알 수 있었고 누설 전류의 적합 비율이 낮은 이유는 누설 전류에 용량성 누설 전류가 포함되어 있기 때문으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] B. I. Bae, Master, *Thesis*, p. 2-57, Hanyang University, Seoul (2005).
- [2] Y. B. Lim, J. W. Jung, J. S. Jung, and S. W. Cho, *2006 Spring Conference* (Korean Inst. Illuminating & Elect. Installation Eng., Korea, 2006) p. 260.
- [3] D. W. Kim, Y. B. Lim, S. I. Lee, J. H. Kim, and D. C. Kang, *J. Korean Inst. Illuminating & Elect. Installation Eng.*, **27**, 82 (2013). [DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2013.27.6.082>]
- [4] N. K. Joo, T. W. Kim, and Y. B. Lim, *2009 Spring Conference* (Korean Inst. Electr. Eng., Korea, 2009) p. 172.
- [5] C. S. Choi and S. Y. Hahn, *2008 Fall Conference* (Korean Inst. Electr. Eng., Korea, 2008) p. 301.
- [6] S. J. Ham, S. Y. Hahn, and C. S. Koh, *Trans. KIEE.*, **56**, 1397 (2007).