Regular paper http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2015.10.8.921

멀티 콘센트용 변류기 및 과전류 검출 회로 설계

김용재* · 김민석** · 박규상*** · 김재홍****

Design of a Current Transducer and Over-Current Fault Detection Circuit for Power Strip Applications

Yong-Jae Kim* · Min-Seok Kim** · Gyu-Sang Park*** · Jae-Hong Kim****

요 약

멀티 콘센트의 과전류로 인한 과열을 방지하기 위한 보호방식으로는 주로 금속바이메탈 방식, 스위칭회로 방식, 마이크로컨트롤러(MCU)를 이용한 과전류 정밀제어 방식 등이 사용되어 오고 있다. 하지만 이러한 방식들은 보호회로가 과전류가 흐르는 전선에 병렬접속 함으로써 2차 화재의 위험이 있을 수 있으며 입력전압의 비선형 왜곡에 취약한 단점을 가지고 있다. 또한 기존의 방식들은 제품의 단가가 비교적 크게 올라가므로 충분한 시장성을 확보하기가 쉽지 않다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 과전류가 흐르는 전선에 비접촉식 관통형 변류기를 설계하고 변류기의 2차 유도전류를 이용하여 과전류를 감지하여 사용자가 과전류 상황을 인지할 수 있도록 LED 및 부저 회로를 통하여 시각 및 청각적 신호를 전달하는 기능을 구현한다. 실험 결과들로부터 제안된 회로는 매우 경제적이고 간단하면서도 안정적으로 동작함을 확인 할 수 있다.

ABSTRACT

For the over-heat protection purpose in power strip devices, over-current detection/protection circuits, such as bimetal, switching circuit, and microprocessor-based relay circuit, have been widely setup in high-end products. Most of these circuits are connected to the power line in parallel and, thus, they are sensitive to the line voltage and current distortion. Moreover, these protection circuits are often costly and, therefore, it is hard to meet the commercial requirements. A low-cost over-current detection circuit with the contactless current transducer is designed and tested in this paper. The detection circuit is galvanically isolated from the power line and, thus, less sensitive to the line voltage distortion. The experimental results show that the proposed circuit accurately operates despite of its simple structure and low-cost electronic parts.

키워드

Over-Current Fault Detection Circuit, Secondary Induced Current, Analog Comparator, Current Transducer
과전류 검출 회로, 2차 유도 전류, 아날로그 비교기, 변류기

Ⅰ. 서 론

최근 콘센트 사용자들은 높은 소비전력이 요구되는 제품들을 콘센트에 문어발식으로 플러그를 꽂아 사용하며, 이러한 방식은 높은 전기 화재 위험에 노출되어 있다[1-2]. 이에 국내·외에서는 일반적으로 콘센트에 과전류로 인한 과열을 방지하기 위해 금속 바이메탈 방식과 CPU를 이용한 스위칭 회로(SPMS) 및 MCU

* 조선대학교 전기공학과학과 (kimyj21@chosun.ac.kr), ** 조선대학교 전기공학과(therqwer@naver.com)
*** 조선대학교 전기공학과 (qrt90@naver.com), **** 교신저자 : 조선대학교 전기공학과(jaehong@chosun.ac.kr)
접수일자 : 2015. 06. 26 심사(수정)일자 : 2015. 08. 13 게재확정일자 : 2015. 08. 23

를 이용한 과전류 정밀제어 방식을 사용하고 있다.

하지만 이러한 방식은 과전류가 흐르는 전선에 직접 병렬접속 되므로 2차 전기 화재 및 제품 손상을 야기하고 입력전압의 비선형 왜곡에 취약한 문제점을 가진다. 또한 회로 구성이 복잡하여 제품의 단가가 상승하므로 제품 상용화가 어려운 실정이다.

따라서 본 논문에서는 과전류가 흐르는 전선에 병렬접속 않고 비접촉식 관통형 변류기의 동작에 의해 발생하는 2차 유도전류를 이용하고자 한다. 또한 스위칭 회로 및 MCU의 복잡한 기능 및 구조를 단순화하여 제작비용 및 제작시간을 절감하고 사용자가 과전류 상황을 인지할 수 있도록 과전류 검출 회로를 구현하였다.

II. 이론

2.1 과전류 검출회로의 구동 알고리즘

비접촉식 관통형 변류기의 2차 유도전류를 이용한 과전류 검출 회로의 구성을 그림 1에 나타내었다. 먼저 1차 인입전선에서 과전류가 발생할 시 비접촉식 관통형 변류기는 변류비 만큼 2차 코일에 유도전류를 발생시킨다. 이러한 2차 유도 전류는 교류이므로 전파정류 및 평활 과정을 통해 아날로그 비교기를 동작시키고 입력신호의 대소 관계 비교를 통해 LED 및 부저를 동작시킨다.

2.2 주요 사용 부품

2.2.1 비접촉식 관통형 변류기

비접촉식 관통형 변류기는 식 (1)과 같이 폐곡선에 대한 자계 세기의 선적분이 폐곡선을 주변으로 하는 곡면을 통과해서 흐르는 전류와 같다는 암페어의 주회 적분 법칙 원리를 기본으로 한다. 여기에서 H는 자계의 세기[AT/m], dl은 폐곡선의 원 둘레를 나타낸다. 이러한 비접촉식 관통형 변류기의 구조는 그림 2와 같으며 1차 측에 N1[T]이 감기고 2차 측에 N2[T]이 감긴 환상구조로 2차 측 전류는 식 (2)와 같고 1차 측 전류에 의해 발생되는 교류자속은 전류 변화율에 비례하여 코일에 전압을 유기하므로 유기된 전압 e는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 M은 코일의 상호 인덕턴스를 나타내고 di/dt는 전류의 변화율을 나타낸다. 이러한 비접촉식 관통형 변류기의 철심 단면적이 작을 경우 변류기 1차 측의 대전류로 인한 철심의 자속포화현상이 발생하여 2차 측 전류가 변류비 만큼 유도되지 않아 정밀도가 감소한다[3]. 따라서 2차 측 전류의 정밀도를 유지할 수 있도록 관통형 변류기의 단면적을 고려하여 설계해야 한다[4-5].

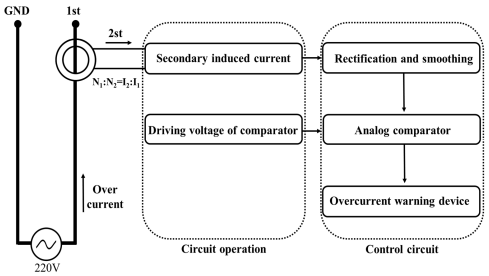


그림 1. 과전류 검출 회로의 구성도
Fig. 1 Schematic diagram of over-current fault detection circuit

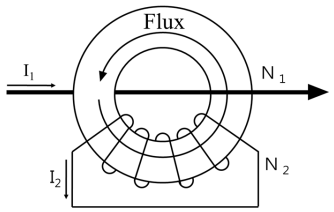


그림 2. 관통형 변류기의 구조
Fig. 2 Structure of current transducer

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = I[A] \tag{1}$$

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1[A] \tag{2}$$

$$e = M\frac{di}{dt}[V] \tag{3}$$

2.2.2 아날로그 비교기

아날로그 비교기는 두 개의 입력신호를 비교한 후 정단자의 입력이 부단자의 입력보다 높으면 V_{cc}가 출력되고, 낮으면 0[V]가 출력된다[6]. 본 설계에서는 LM393을 사용하였으며 DC 바이어스 전압 V_{cc}는

5[V]로 설정하였고, 그림 3과 같은 Open collector 특성을 감안하여 풀업저항을 사용하였다.

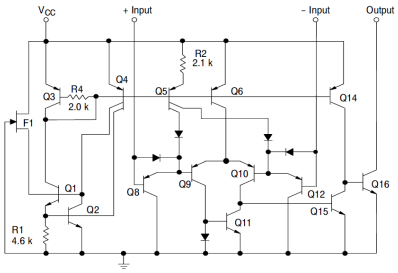


그림 3. LM393 회로도
Fig. 3 Circuit diagram of LM393

III. 과전류 검출 회로의 구성 및 실험

3.1 과전류 검출 회로도

그림 4는 비접촉식 관통형 변류기의 2차 유도전류를 이용한 과전류 검출 회로도이다. 주요 구성은 Section 1-비접촉식 관통형 변류기, Section 2-전파정류 및 평활회로, Section 3-아날로그 비교기의 동작회로, Section 4-LED 및 부저로 구성된다.

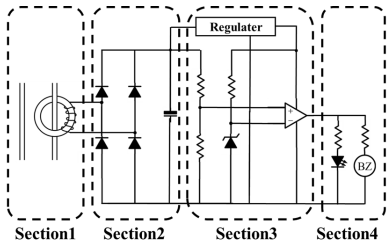


그림 4. 과전류 검출 회로도
Fig. 4 Over-current fault detection circuit

실험은 교류인 비접촉식 관통형 변류기 대신 DC Power supply를 이용하여 병렬로 연결된 LED와 부저의 저항 조절에 따른 부하전류 선정, 아날로그 비교기의 구동 및 전압비교 실험, 전원단 회로 구성을 통해 최종회로가 요구하는 전압 및 전류를 산출하여 비접촉식 관통형 변류기를 제작할 수 있도록 실험을 진행하였다.

3.2 LED 및 부저의 부하전류 선정

병렬로 연결된 LED와 부저의 부하전류 산출을 위해 LED와 부저에 직렬로 연결된 저항 값을 선정하고 전원은 아날로그 비교기의 DC 바이어스 전압인 5[V]로 하였다. 먼저 LED와 직렬 연결된 저항은 식 (4)를 이용하여 선정하였고 여기에서, v_o는 LED 공급전압, v_l은 LED의 소모전압, i_l은 LED의 허용전류, r_l은 저항을 나타낸다. 또한 표 1과 같이 저항을 50[Ω]-150[Ω]까지 조절하여 적당한 전류가 흐르면서 신호음이 50[dB] 이상이 되도록 저항 값을 선정해 주었다. 이때 LED 및 부저를 동작하기 위해 필요한 부하전류는 공급전압이 5[V]일 때 18.8[mA]임을 확인하였다.

$$(v_o - v_l) = (i_l \times r_l) \tag{4}$$

표 1. 저항에 따른 부하전류
Table 1. Load current according resistance

Resistance	DC Power supply[V]				
	1[V]	2[V]	3[V]	4[V]	5[V]
50[Ω]	1.0 [mA]	5.8 [mA]	12.8 [mA]	19.2 [mA]	25.7 [mA]
100[Ω]	0.6 [mA]	4.5 [mA]	10.0 [mA]	16.6 [mA]	22.3 [mA]
150[Ω]	0.5 [mA]	3.7 [mA]	8.8 [mA]	13.8 [mA]	18.8 [mA]

3.3 LM393의 구동 및 전압 비교동작 실험

LM393은 Open collector 구조이므로 내부저항을 고려하여 그림 5의 풀업저항을 선정하였고, LED 및 부저를 동작하기 위해 필요한 LM393의 출력 전류가 부족하여 스위칭 소자인 NPN 트랜지스터를 사용하였다. 또한 표 2와 같이 아날로그 비교기의 입력신호가 0.01[V]의 미세한 전압의 차이에서도 정확하게 동작함을 확인하였다.

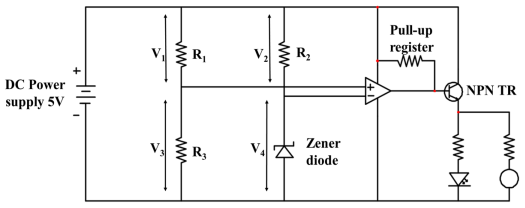


그림 5. LM393의 동작 회로
Fig. 5 Operation circuit of LM393

표 2. LM393의 전압비교 실험
Table 2. Experiment of LM393 voltage comparing

Experiment 1	R_1	R_2	R_3	Zener diode
	750[Ω]	1000[Ω]	1218[Ω]	
	1.884[V]	1.832[V]	3.134[V]	3.18[V]
	Operation of buzzer [X]			
Experiment 2	R_1	R_2	R_3	Zener diode
	727[Ω]	1000[Ω]	1273[Ω]	
	1.822[V]	1.829[V]	3.19[V]	3.18[V]
	Operation of buzzer [O]			

3.4 전원단 회로 구성

그림 6은 교류전류가 흐를 시 아날로그 비교기에 직류 전원을 공급할 수 있도록 브릿지 다이오드와 커패시터를 이용하여 회로를 구성하였고 전원단의 회로 보호를 위해 제너다이오드를 설치하였다. 또한 아날로그 비교기 동작에 필요한 구동전압 5[V]를 일정하게고정하기 위해 정전압 레귤레이터를 사용하였다. 이 때 회로 동작 시 요구되는 전압 및 전류를 DC Power supply로 측정하여 표 3에 나타내었다. 그 결과, 회로 동작 시 필요한 전압 및 전류는 정전압 레귤레이터 및 전파 정류회로의 전압강하를 고려한 10.6[V], 26.9[mA] 임을 확인하였다.

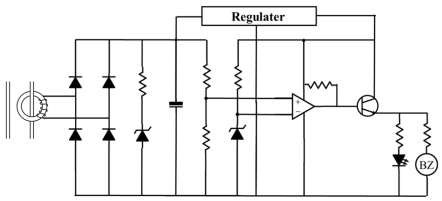


그림 6. 전원단 회로
Fig. 6 Circuit of power unit

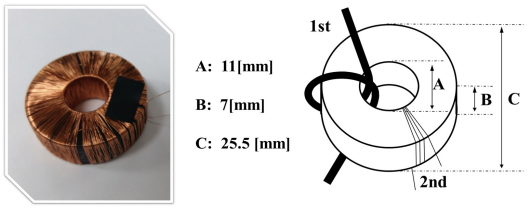
표 3. 회로가 요구하는 전압 및 전류
Table 3. Voltage and current to circuit require

Voltage and current for circuit require		Input-output voltage of the regulator		
Voltage [V]	Current [mA]	Input [V]	Output [V]	Voltage drop[V]
10.2	26.7	8.78	5.08	3.7
10.4	26.8	8.96		3.88
10.6	26.9	9.16		4.08
10.8	27	9.36		4.28
11	27.1	9.57		4.49

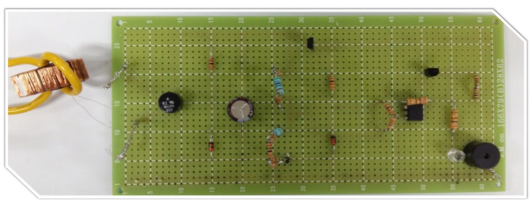
Ⅳ. 과전류 검출 회로의 노이즈

4.1 관통형 변류기를 설치한 과전류 검출회로

그림 7 (a)와 같이 회로의 요구되는 전압 및 전류인 10.6[V], 26.9[mA]에 만족하는 비접촉식 관통형 변류기를 설계하였다. 이 때 비접촉식 관통형 변류기의 사양은 외경 25.5[mm], 내경 11[mm], 적층길이 7[mm]로 변류기 2차 측에 코일선경이 0.1[mm]인 코일을 500[T] 감아 제작하였다. 이에 그림 7 (b)와 같이 설계한 관통형 변류기를 회로에 결합하고 유도전압조정기를 사용하여 15[A]의 과전류가 발생할 경우 과전류 검출 회로가 올바르게 동작하는지 확인하였다. 하지만 1차 측 전류가 14.28[A]-14.9[A] 사이에서 잡음이 발생하거나 부저의 동작이 지연되었다. 이러한 문제는 아날로그 비교기인 LM393의 입력 전원, 입력 신호, 출력단에서 노이즈가 발생하였음을 알 수 있으며 이에 따른 개선이 필요하다.



(a) Design of through-type current transducer



(b) Coupling of current transducer with over-current fault detection circuit

그림 7. 유도전류를 이용한 과전류 검출회로
Fig. 7 Over-current fault detection circuit using induced current

4.2 LM393의 정궤환 노이즈 제거 회로

아날로그 비교기의 노이즈는 입력 전압, 입력 신호, 출력단에 의한 영향에서 발생한다. 이를 해결하기 위해 더 높은 전류를 사용하여 회로 자체를 강건하게 하거나 세라믹 콘덴서 또는 정궤환 회로를 구성하여 노이즈를 제거할 수 있다.

본 연구에서는 14.28[A]-14.9[A] 사이에서 발생하는 잡음을 제거하기 위해 히스테리시스 특성을 가진 정궤환법을 사용하였다[7-8]. 이에 그림 8과 같이 아날로그 비교기의 양의 입력과 출력에 정궤환 회로를 구성하였고 표 4와 같이 저항을 1000[Ω]-6000[Ω]까지 조절하였다.

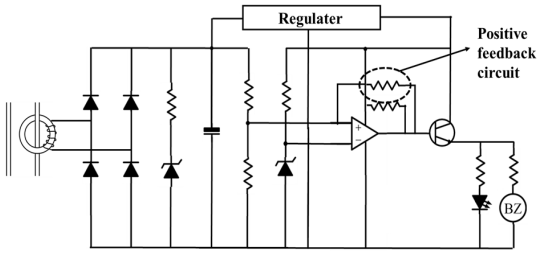


그림 8. 정궤환 회로
Fig. 8 Positive feedback circuit

표 4. 정궤환 회로의 저항 선정 실험
Table 4. Resistance selection experiments of positive feedback circuit

Resistance [Ω]	Over-current fault detection circuit[A]		Interval current [A]
	Operation	Non-operation	
1000	16.47	8.50	7.97
2000	15.70	11.90	3.80
3000	15.20	13.40	1.80
4000	15.10	13.90	1.20
5000	14.96	14.52	0.44
6000	Square-wave signal form 14.86[A]		

그 결과 5000[Ω]일 때 14.96[A]에서 LED와 부저가 동작하고 14.52[A]에서 동작하지 않음을 알 수 있었고, 히스테리시스 특성상 발생하는 동작점과 비동작점 차이가 0.44[A]로 가장 작음을 알 수 있었다. 그림 9와 같이 정궤환 회로를 구성하기 전과 후의 아날로그 비교기 양의 입력단 노이즈를 비교하면 69[%] 노이즈가 저감됨을 알 수 있었다. 또한 그림 10과 같이 14.6[A]에서 정궤환 회로의 구성 전과 후를 비교할 경우 잡음이 있는 구형파에서 직류 파형으로 변환되어 LED와 부저가 안정적으로 동작함을 확인하였다.

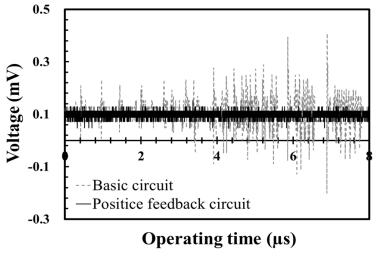


그림 9. LM393 양의 입력단 오실로스코프 파형
Fig. 9 Oscilloscope waveform of LM393 positive input

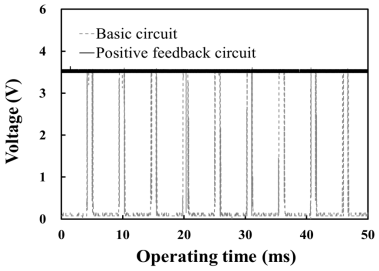


그림 10. LM393 출력단 오실로스코프 파형
Fig. 10 Oscilloscope waveform of LM393 output

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 비접촉식 관통형 변류기의 유도전류를 이용한 과전류 검출 회로를 구현하였다. 먼저 DC Power supply를 이용한 실험을 통해 과전류 검출회로에서 비접촉식 관통형 변류기의 요구 전압 및 전류가 최소 10.6[V], 26.9[mA]임을 확인하였다. 이에 외경 25.5[mm], 내경 11[mm], 적층길이 7[mm], 권선수 500[T]인 변류기를 제작하였고 과전류 검출회로에 결합하여 실험하였다. 그 결과, 14.28[A]-14.9[A] 사이에서 비교기 동작을 방해하는 노이즈가 발생하였다. 이러한 노이즈를 해결하기 위해 정궤환법을 사용하였고 5000[Ω]일 때 노이즈가 69[%] 저감되었으며 14.9[A]에서 LED와 부저가 동작하고 14.5[A]에서 동작하지 않음을 확인하였다. 실험결과들로부터 제안된 유도전류를 이용한 과전류 검출 회로는 안정적으로 동작하고 회로구조가 간단하므로 경제적이며 사용자가 과전류 상황을 쉽게 인지할 수 있어 제품 상용화에 유리할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2014년도 창업성장-기술개발사업(S2242629)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

[1] Y. Han, "Development of the Leakage Current Detection Module for a Concent," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 3, 2013, pp. 447-452.

[2] Y. Han, "The Development of Android Application for Intelligent Concent," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1515-1521.

[3] Y. Kang, "Hardware Implementation and Error Analysis of an Algorithm for Compensating the Secondary Current of Iron-cored Current Transformers," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 45, no. 4, 1996, pp. 490-500.

[4] Y. Kang, "An Algorithm for Detecting CT Saturation," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 50, no. 6, 2001, pp. 275-278.

[5] Y. Kang, "A Percentage Current Differential Relaying Algorithm for Bus Protection by a CT Saturation Detection Algorithm," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 52, no. 1, 2003, pp. 44-49.

[6] Y. Chai "Development of OPAMP in an A/D Convertor for Pressure Measurement," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 4, 2010, pp. 435-432.

[7] K. Lee, "Active Frequency Drift Positive Feedback Method for Anti-islanding using Digital Phase-Locked-Loop," *The Korean Solar Energy Society*, vol. 27, no. 2, 2007, pp. 37-44.

[8] C. Kim, "New Hysteresis Current Control for Induction Motor Drive with NPC Inverter," *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 13, no. 1, 1999, pp. 46-52.

저자 소개

김용재(Yong-Jae Kim)

1996년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2003년 일본 무사시공업대학 대학원 공학연구과 전기공학 졸업(공학석사)
2006년 일본대학교 무사시공업대학 대학원공학연구과 전기공학 졸업(공학박사)
2007년~현재 조선대학교 전기공학과 부교수
※ 관심분야 : 전기기기 설계 및 해석

김민석(Min-Seok Kim)

2014년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2014년~현재 조선대학교 대학원 전기공학과 석사과정
※ 관심분야 : 전기기기, 모터 설계 및 해석

박규상(Gyu-Sang Park)

2015년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2015년~현재 조선대학교 대학원 전기공학과 석사과정
※ 관심분야 : 모터 설계 및 해석

김재홍(Jae-Hong Kim)

2004년 동국대학교 전자전기공학부 졸업(공학사)
2006년 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 졸업(공학석사)
2010년 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 졸업(공학박사)
2009년 Research Fellow, Aalborg University, Denmark
2010년~2011년 두산인프라코어 선임연구원
2011년~현재 조선대학교 전기공학과 교수
※ 관심분야 : 전력변환, AC 드라이브, 마이크로 그리드