
화재방지제어 시스템 IC

김병철*

A System IC for Controlling the Fire Prevention

Byungcheul Kim*

이 논문은 2008년도 진주산업대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음

요 약

본 연구에서는 정보가전기기에서 과부하를 방지하고 이상신호를 검출하며 화재방지를 제어할 수 있는 원 칩(one chip) 시스템 IC를 개발하였다. 이를 위하여 화재에 직접적으로 영향을 미치는 아크(arc) 검출회로와 감전을 방지하기 위한 누전검출회로를 설계하였다. 시뮬레이션과 표준트랜지스터를 이용한 bread boarding 평가에 의해 블록 별로 설계된 회로를 검증하였다. 평가결과로부터 34 V 2 Metal 1.5 μm 바이폴라 트랜지스터 공정을 이용하여 시스템 IC를 제작하였다. 제작된 시스템 IC와 IC 응용회로를 PCB보드에 실장하여 화재방지 시스템보드의 전기적 성능을 평가하였으며, 아크와 GF(ground fault) 신호에 잘 동작함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this study, we have developed one chip system IC for preventing the overload, detecting an abnormal conditions, and controlling the fire prevention in the intelligent home appliances. For the purpose, a circuit detectable an electric leak for preventing an electric shock, and a circuit detectable arc that has effect directly on the fire are designed. The circuits designed on every block are verified by comparing simulation with bread-boarding using a standard transistors. The system IC is fabricated by using 34 V 2 metal 1.5 μm bipolar transistor process from evaluation results. The electrical performances of IC application circuits and the system IC equipped on PCB board are evaluated. It is confirmed that the system IC is well operated for arc and ground fault(GF) signal.

키워드

System IC, Arc Fault Circuit Interrupter(AFCI), Ground Fault(GF), Fire Prevention, Overload

I. 서 론

전기화재의 약 90% 정도가 전기 아크(arc)로 발생되고 있으며, 현재 미국과 캐나다 등에서는 안전을 위한 AFCI(arc fault circuit interrupter)설치에 대한 법제화가 확대되고 있어 주거시설과 항공기뿐만 아니라 선박용, 자동차용, 산업용, 군용 등에도 적용되도록 전기 화재 예방을 위한 정부 차원에서의 적극적인 활동이 이루어지고 있다. 미국에서는 1996년부터 검토하여 2004년부터 AFCI의 설치를 정식으로 발효하였으며 전 세계적으로 AFCI에 대한 관심도와 시장영역이 급격히 확대되고 있다. 현재 사용되고 있는 누전 또는 감전 차단기는 기계식 또는 각각의 개별소자로 구성되어 있으며, 외부에 별도로 부착하여 사용되고 있다[1-9]. 따라서 본 연구에서는 과부하를 방지하고 이상신호를 검출하며 화재방지를 제어할 수 있는 원 칩(one chip) 시스템 IC를 개발하고자 한다.

II. 화재방지제어 시스템

그림 1에 화재방지 제어시스템의 개념도를 나타내었다.

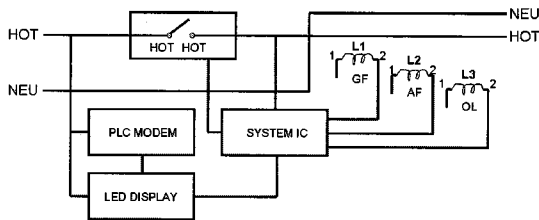


그림 1. 화재방지 제어 시스템의 개념도

Fig. 1 The block diagram of a system for controlling the fire prevention

HOT과 NEU를 통하여 입력 Line에 전압이 인가되고, 내부 전원공급용으로 시스템 IC에서 정전압을 만든다. 내부 정전압에 의해 시스템 IC의 내부 각 블록 회로들이 동작되고, 출력 쪽 HOT과 NEU에 연결되어 있는 전원기기의 동작 상태는 L1, L2, L3의 전류센서를 이용하여 검출된다. L1은 GF(ground fault)신호, L2는 아크신호, L3는 과부하신호를 검출한다. 가전기기의 동작 상태에서

전원코드의 불량이나 노후화로 인하여 미약한 spark가 발생되면 L2에서 이 신호를 검출하여 반도체 내부 블록에 설계된 신호 처리부를 거쳐 아크신호임을 확인하고, 입력 HOT과 출력 HOUT를 끊어 가정기기의 전원을 차단하기 때문에 화재발생 가능성이 방지된다. 마찬가지로 전원장치가 노출된 가전기기, 콘센트, 욕실 등 감전되기 쉬운 환경에서 취급부주의로 인체의 한 부분으로 전류가 흐르기 시작하면, 인체에 쇼크를 주는 범위를 넘어서는 순간 L1에서 미약한 전류를 검출하여 입력 HOUT과 출력 HOUT 사이를 차단하여 인체에 영향을 미치는 위험요소를 제거할 수 있다. 마지막으로 출력 HOUT에 연결된 가전기기들의 사용전류가 규정 값 이상이 되면 코드에서 열 또는 가전기기의 동작에 무리를 일으켜 화재위험이 발생되므로 최대 정격 전류 이상의 전류가 HOUT에서 흐를 경우 전압공급을 중단하여 위험요소를 제거시킬 수 있다. 이러한 위험요소 또는 화재발생 가능성으로 HOUT 전압이 차단되었을 경우 사용자가 어떤 원인으로 전원이 차단되었는지 알 수 없기 때문에 계속해서 위험한 환경 속에서 사용하는 경우가 많아 부작용이 많았지만, 현재의 시스템은 아크, GF, 과부하의 세 가지 요소로 나누어 차단되고, 또한 LED를 이용하여 사용자에게 알려줄 수 있으며, PLC 모델을 통하여 이러한 상태정보를 입력받을 수 있기 때문에 쉽게 위험요소를 제거할 수 있는 장점을 가지고 있다.

III. 시스템 IC 설계

그림 1의 화재방지 제어 시스템을 구성하고 있는 핵심부품인 시스템 IC는 화재에 직접적으로 영향을 미치는 아크 검출회로와 감전을 방지하기 위한 누전검출회로가 포함되어 있으며, 블록별로 설계하였다.

1. AFCI 신호 검출 회로

아크전류는 정현파로 나타나지 않고 위상이 변화되는 지점에서 왜곡되어 나타나므로 전류센서를 이용하여 신호변화를 검출한 다음 고주파 아크신호를 선택적으로 분리하여 다른 가전기기 노이즈와 구분하기 위하여 연속적으로 나타나는 고주파 성분만을 가지고 최종 신호를 만들게 된다. 전류센서를 통하여 검출된 아크신호는 성분이 고주파이기 때문에 신호처리가 까다롭다.

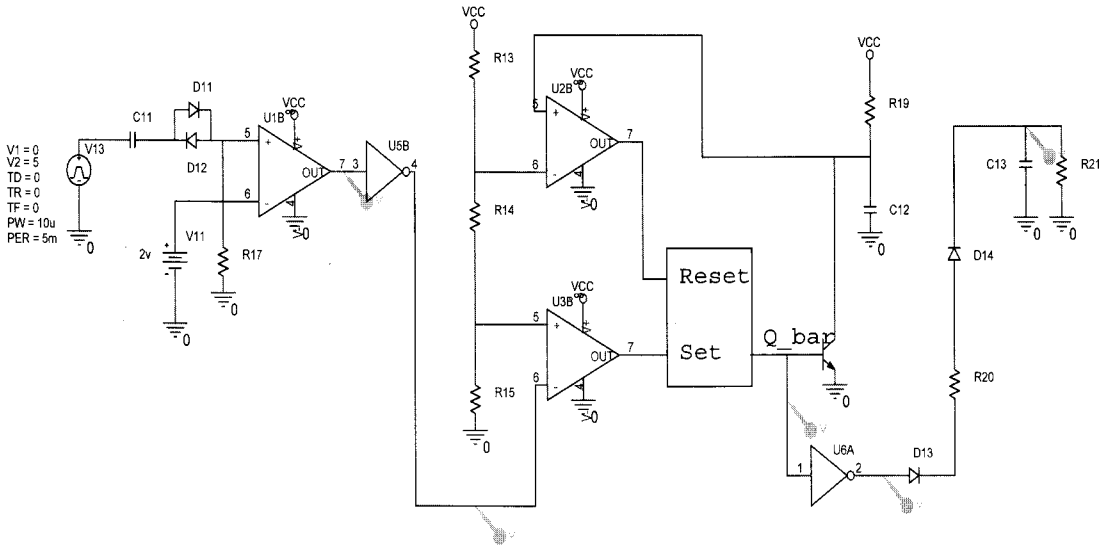


그림 2. 아크신호 검출을 위한 파형정형회로
Fig. 2 The waveform standard circuit for detecting an arc signal

따라서 그림 2와 같은 파형정형회로가 필요하다.

아크신호는 단발성으로 나타나는 것이 아니고, 연속적으로 나타나기 때문에 노이즈를 제거한 순수한 신호라고 하더라도 연속적으로 같은 신호를 받아들여 출력의 SCR이나 LED를 구동하게 된다. 따라서 연속적인 신호를 판단할 수 있는 회로가 필요하다.

아크신호 검출을 위한 파형정형회로에서는 그림 3과 같이 고주파 입력신호가 센서출력으로 발생되고, 필터 회로 및 신호정형회로를 거쳐 일정한 펄스폭을 가지는 신호가 생성된다. 이렇게 생성된 신호는 뒷단에 연결되어 있는 충·방전회로로 연결되며, 연속된 아크신호가 입력되어야만 출력 SCR이 구동된다.

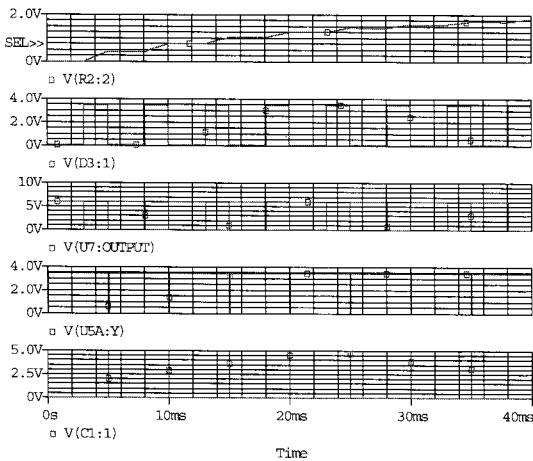


그림 3. 파형정형회로의 신호
Fig. 3 An signal of the waveform standard circuit

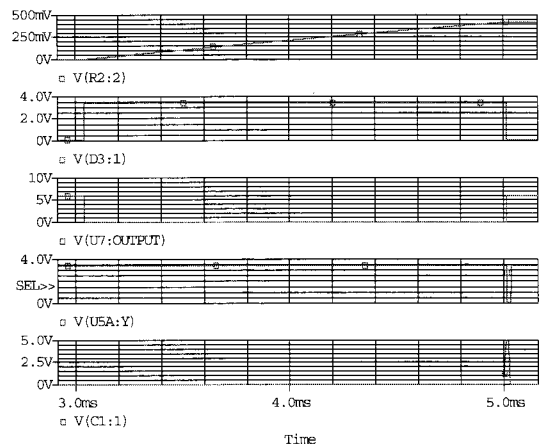


그림 4. 파형정형회로의 확대신호
Fig. 4 Enlarged signal of the waveform standard circuit

그림 4는 앞서 설명한 아크신호 형성과정을 확대한 것으로 최종 펄스폭 동안 충전이 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.

그림 5는 아크신호를 검출하는 회로에 의한 출력신호를 측정된 결과이며, 충전과 방전을 반복적으로 하면서 아크신호를 카운트하는 것을 알 수 있다.

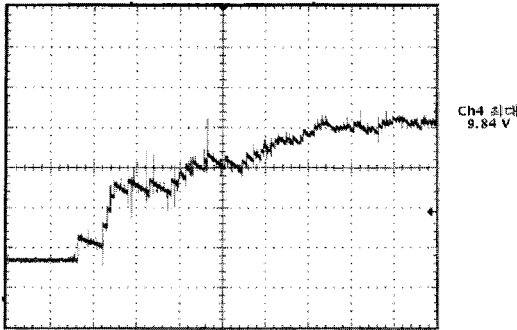


그림 5. 아크신호 검출회로에 의한 출력신호
Fig. 5 An output signal by the circuit for detecting arc signal

2. 전원 on/off noise에 대한 보호회로

본 시스템의 특징 중 하나는 SCR을 사용하는데 있다. 즉 전원을 차단하고 그 원인을 3가지로 구분하여 사용자에게 LED 및 PLC 모뎀을 통하여 알려줄 수 있다. 그러나 이러한 SCR은 사용상의 문제점을 안고 있다. 한번 트리거 되면 역방향이나 전원이 제거되지 않으면 계속 동작한다는 데 있다. 즉 차단기 스위치를 on/off 함에 따라 노이즈가 발생되거나 전원의 비정상적인 범위(정상전압보다 더 낮은 전압)에서 오동작에 의한 출력전압에 의해 쉽게 동작 해버리는 단점을 안고 있다. 이런 경우 차단기를 on시킬 때 바로 차단되어 버리거나, LED에 잘못된 값을 출력하는 경우가 발생된다. 따라서 이러한 요소를 제거해야만 안정적인 동작을 기대할 수 있다.

그림 6은 전원 on/off noise에 대한 보호회로를 나타낸 것으로 전원 감지부와 동작부로 구성되어 있다. 동작원리는 비교기 입력인 Q7, Q8의 두 입력을 서로 반대방향의 두개 다이오드를 접속하고 한쪽에는 전원을, 다른 한쪽에는 콘덴서를 접속하여, 전원을 on시킬 경우 비교기의 한쪽 입력에는 콘덴서에 의한 입력 지연을 시켜주면서 전위가 R7, D3, C1로 형성되고, 따라서 Q7의 베이스

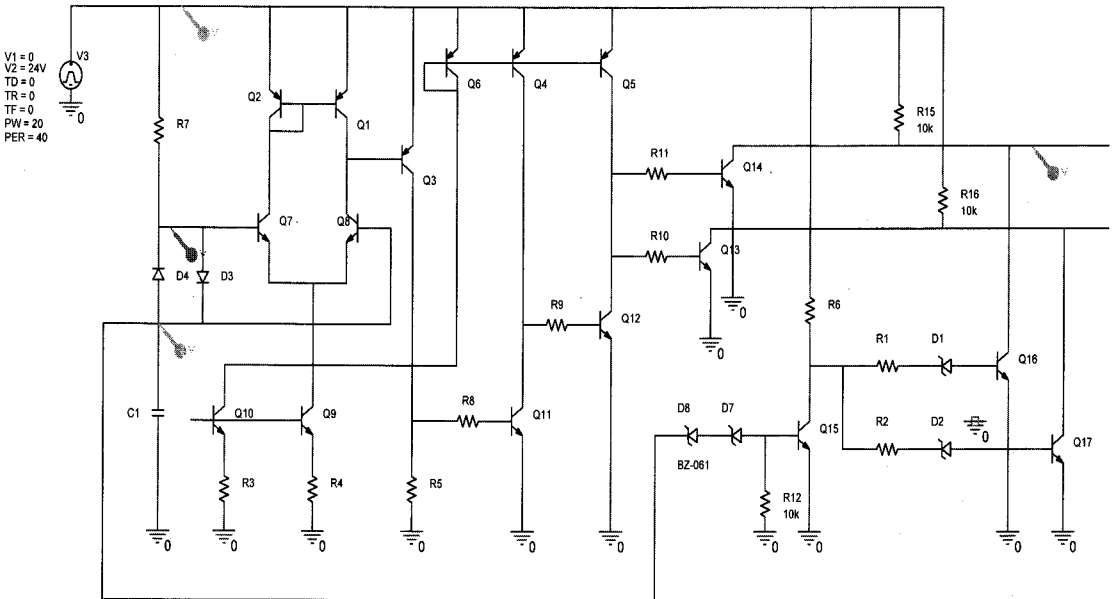


그림 6. 전원 on/off noise에 대한 보호회로
Fig. 6 The circuit for protecting on/off noise of the power source

전압이 Q8의 베이스전압보다 높아진다. 반대로 전원을 off 시킬 경우 전위가 C1, D3, R7로 형성되어, Q7의 베이스전압이 Q8의 베이스전압보다 강제로 낮아질 수 있도록 설계 되었다. 이러한 원리에 의해 전원전압의 on/off를 감지할 수 있다. Q7과 Q8의 베이스전압 차이에 의해 Q3이 스위치로서 동작되고, Q11, Q12는 출력 버퍼(buffer) 및 전류 증폭기로서 동작하게 된다. 이러한 Q12의 동작에 따라 Q13과 Q14는 각 반도체 회로내의 오동작을 일으킬 가능성이 있는 블록의 입력부나 오동작 가능성이 있는 각종 콘텐츠의 충전전압을 방전시키는 역할을 하게 된다. D7, D8, Q15로 구성된 부분은 입력전압을 모니터링 하여 R7과 C1에 의해 지연된 전원 전압이 $2 \times V_x + V_{be}$ 전압 이상이 되었을 경우 동작을 시작하여 각 블록이 정상 동작 될 수 있도록 하고 있다. 제너다이오드 D1과 D2는 노이즈성분을 배제하기 위해 동작 입력전압을 높이는 역할을 한다. 동작순서는 차단기의 스위치가 on되어 전원전압이 인가되면 Q7의 베이스전압이 Q8의 베이스전압보다 높기 때문에 Q3이 off 되고, 그로 인해 Q11, Q13, 그리고 Q14가 off 되어 출력에 영향을 미치지 않는다. 그러나 Q15의 베이스 전압이 C1의 충전전압에 의해 동작되기 때문에 off상태에 있어 출력을 비동작 상태로 만들고, 목적으로 하는 지연시간을(각 블록이 정상화되기까지의 시간) 만족하게 되면 비로소 동작하게 되어 초기 차단기 스위치를 on시킬 경우 오동작이 방지된다. 차단기 스위치가 off될 경우 전원전압이 차단되고, 이때 각 블록별 입력단에 연결되어 있는 콘덴서 성분이 잔류하게 되면 순간적으로 노이즈가 발생되므로, 입력단을 전원전압이 off되는 순간 바로 비동작 상태로 만들어야 한다. 전원전압의 off상태는 앞에서 설명한 바와 같이 R7, R8, D3, D4, C1로 구성된 회로에서 판단 가능하고, Q7의 베이스전압이 Q8의 베이스전압보다 낮은 상태를 순간적으로 만들기 때문에 Q3가 순간적으로 on 상태가 되고, Q11, Q13, 그리고 Q14가 차례로 on되어 각 블록의 입력단이 단락된다. 이때 Q15는 D7, D8, D4, R7을 통하여 쉽게 off상태로 가게 되어 순간적으로 각 블록의 입력단을 비동작 상태로 만든다.

그림 7과 그림 8은 전원 on/off noise에 대한 보호회로를 시뮬레이션 한 결과이다. 차단기 스위치가 on 되어 전원전압이 인가되면(그림 7 (a)), 트랜지스터 Q7과 Q8의 베이스전압에는 콘덴서 C1에 의한 충전곡선이 만들어 지고, Q7의 베이스전압이(그림 8 (a): ◇) Q8의

베이스전압(그림 8 (a): □) 보다 높게 형성되고 지연시간 4.3초 이후 출력이 정상화 되는 것을(그림 7 (c)) 알 수 있다.

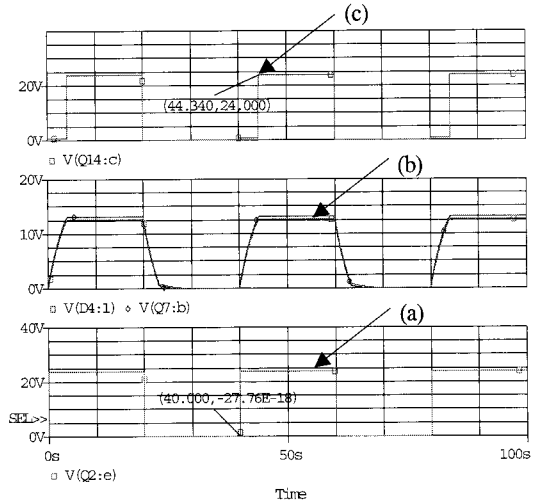


그림 7. 전원 on/off noise에 대한 보호회로 파형
Fig. 7 A waveform of the circuit for protecting on/off noise of the power source

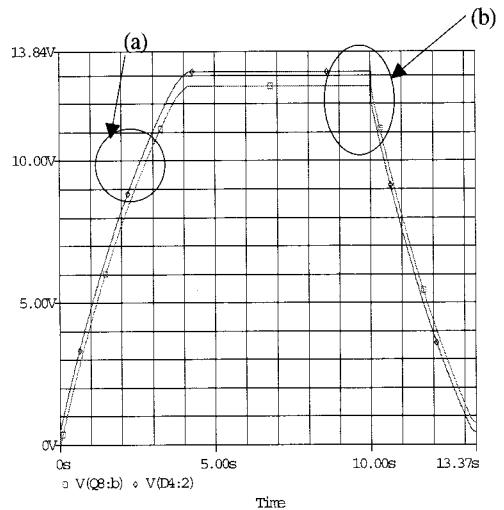


그림 8. 전원 on/off noise에 대한 보호회로 동작원리
Fig. 8 The operating principle of the circuit for protecting on/off noise of the power source

이때의 지연시간은 저항 R7과 C1로 결정되므로 시스템의 환경에 따라 변경가능하다. 차단기 스위치가 off되

는 순간 전원전압이 off되고 이때 순간적으로 Q7의 베이스전압이 Q8의 베이스전압보다 낮게 형성된다.(그림 8 (b)) 따라서 출력트랜지스터 Q13, Q14에 의해 출력은 바로 low상태로 바뀔 수 있게 된다.

3. 출력 신호유지를 위한 반도체 SCR 회로

차단기의 스위치 off에 의해 전원전압이 끊어진 상태에서 LED를 유지시키거나 상태정보를 전달하기 위해서는 SCR회로가 필요하다. 스위치를 off하기 위한 SCR은 전원이 공급되지 않기 때문에 외부에 개별소자를 사용하지만, LED를 구동하기 위한 소자로서는 반도체 내부에서 구동시키는 것이 원가 면에서 유리하기 때문에 내장하기 위해 반도체 회로화가 필요하다. 일반적인 SCR 구조를 반도체 IC 공정에서 구현하기 힘들기 때문에 SCR 등가회로를 이용하여 구현 하도록 한다.

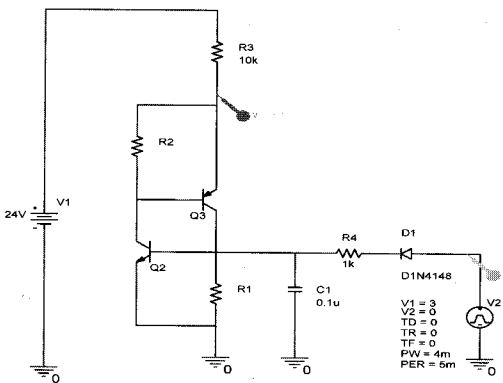


그림 9. 반도체 SCR 회로
Fig. 9 The semiconductor SCR circuit

그림 9는 반도체 SCR회로를 구현한 회로로서 입력 트리거 신호는 Q2의 베이스를 통하여 전압이 인가되면서 트리거 되며, Q3의 에미터가 애노드(A)로 동작하게 된다. 동작은 Q2의 베이스에 V_{be} 구동전압이상이 인가 되면(trigger) Q2가 동작 상태에 있게 되고, Q2의 컬렉터는 R2를 구동하여 Q3가 동작 상태에 들어갈 수 있도록 충분한 전류를 드라이브해야 한다. Q3가 동작 상태에 들어가면 Q3의 컬렉터 전류가 Q2의 베이스와 R1에 인가되어 Q2의 베이스전압에 트리거 신호가 들어오지 않더라도 Q2의 동작 상태를 유지하도록 하고 다시 Q3의 동작 상태를 유지하게 된다. 따라서 Q2의 베이스에 전압이

인가되면, Q2와 Q3가 서로 상호작용하게 되어 SCR의 역할을 하게 된다. 물론 Q3의 베이스전압을 low로 떨어뜨려도 동일한 트리거 역할을 하게 된다. 이러한 SCR 상태를 유지하기 위해서는 Q2와 Q3의 베이스전위를 유지시킬 전류 이상을 지속적으로 흘려주어야 한다. 그림에서 C1은 Q2의 베이스에 들어가는 노이즈 성분을 제거하기 위해 사용되었다.

그림 10은 반도체 SCR 회로의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 (a)는 Q2의 베이스에 트리거 되는 입력전압을 나타내고 있으며, (b)는 초기 SCR의 비동작 상태를 나타내고 있고, (c)는 Q2의 베이스에 트리거 되어 SCR이 동작 상태에 들어간 것을 알 수 있다. 그림 10에서 반도체 SCR이 off 상태에서 on 상태로 떨어지는데 180 μ s의 지연이 발생되고 있다. 이것은 콘덴서 C1에 의한 Q2의 베이스 전압 상승에 지연이 생기기 때문이다.

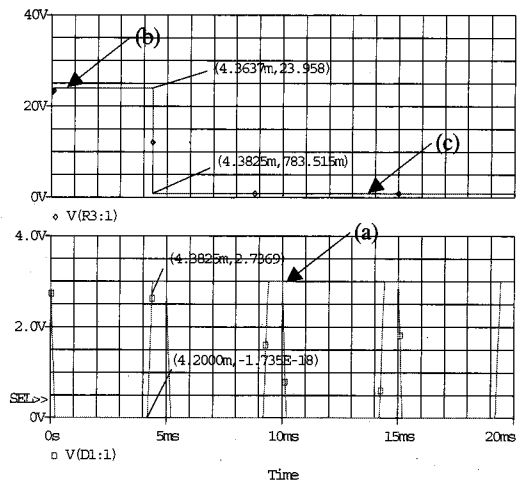


그림 10. 반도체 SCR 회로의 신호파형
Fig. 10 A signal waveform of the semiconductor SCR circuit

4. 정전압회로

그림 11은 정전압 회로로서, 저항 R6와 제너다이오드 D18, D19를 이용하여 일차로 일정한 전압을 형성시키고, 이러한 제너 정전압은 트랜지스터 Q3, Q4를 달링턴 구조로 형성시켜 전류를 증폭시켜 일정한 전압에서 전류부하에 따라 일정한 전압이 형성되도록 설계되었다.

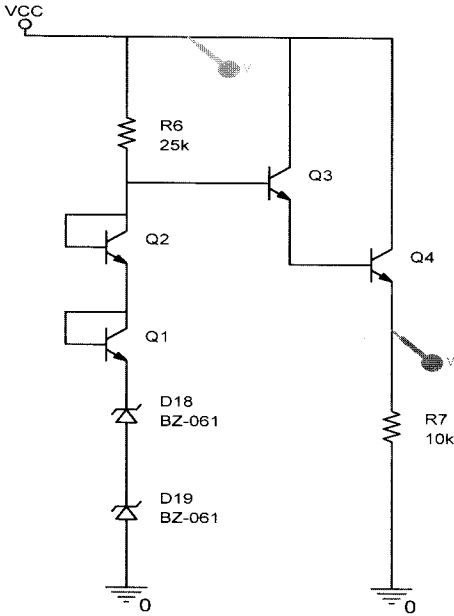


그림 11. 정전압 회로
Fig. 11 The constant voltage circuit

그림 12에 정전압 회로의 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

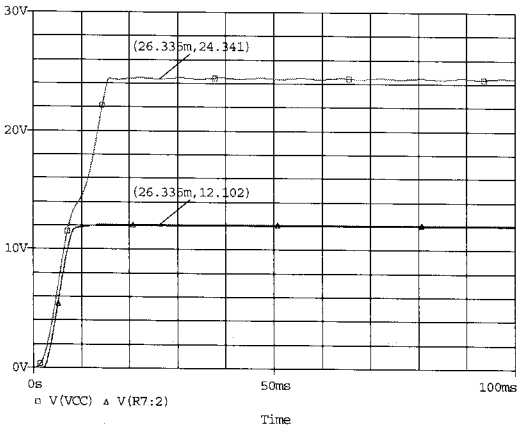


그림 12. 정전압회로의 시뮬레이션 결과
Fig. 12 The simulation result of the constant voltage circuit

그림 13은 출력부하의 증가에 따른 출력전압의 변화를 시뮬레이션 한 결과이다.

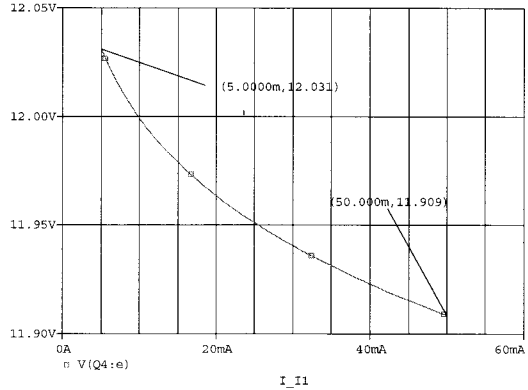


그림 13. 출력 부하에 따른 출력전압의 변화
Fig. 13 Variation of output voltage with output load

5 mA~50 mA까지 변화 되었을 경우 출력전압의 변동률은 식 (1)과 같다.

$$\Delta V_0 (\%) = \frac{\Delta V_0}{V_0} \times 100 = \frac{0.122}{12.031} \times 100 = 1.01 \quad (1)$$

전압변동률은 1.01 % 정도로 내부블록회로에서 충분히 사용 가능한 것으로 나타났다.

5. GF신호 검출회로

누전차단의 목적은 감전 및 전기 화재사고예방에 있으므로, 인체 감전 보호용(30 mA, 0.2초 이내)을 분기 회로에 시설하게 된다. GF신호는 ac전원이 인체를 접촉하면서 접지 쪽으로 전류가 흘러가는 것을 말하며, 누전에 의한 가선의 전류차를 검출하여 회로를 차단하게 된다.

그림 14는 영상변류기를 통하여 검출된 신호를 증폭하는 역할을 하게 된다. Q79와 Q80은 pnp 트랜지스터를 이용하여 두 입력단자로 사용되며, 두 입력단자의 전압차를 전류차로 변환하고, 전류증폭기인 Q82, Q85를 지나서 Q89와 Q86의 출력을 구동하게 된다. Q88은 출력트랜지스터인 Q87에서 과전류가 흐르는 것을 방지하기 위한 것으로 R61에 흐르는 전류를 검출하여 0.6 V 이상이면 Q88이 동작하여 Q87의 출력전류를 제한시키게 된다. 이때의 제한전류는 $I_{limit} = V_{bcQ88} / R61$ 로 결정된다. 상용 ac 전원은 영전위대비 +전위와 -전위로 움직이므로 두 신호 모두에서 누전신호를 감지할 수 있어야 한다. 따라서

마이너스 신호도 증폭을 해야 하므로 단일전원에서는 중점전압이 필요하게 된다.

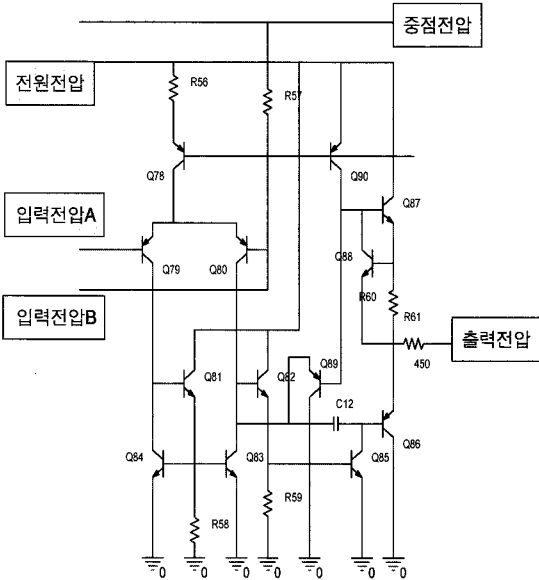


그림 14. 입력신호 증폭부
Fig. 14 The stage for amplifying an input signal

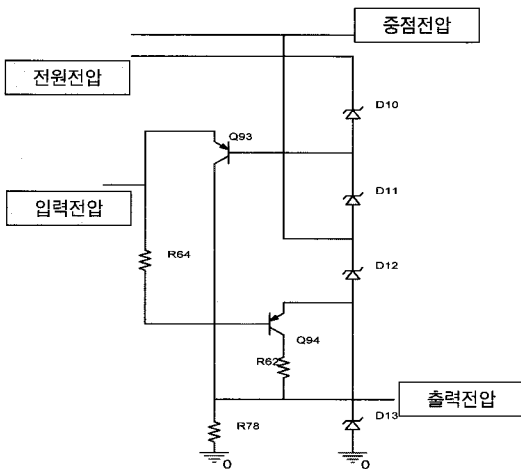


그림 15. 중점전압 형성 및 GF신호 검출기
Fig. 15 GF signal detector and formation of a middle point voltage

중점전압은 그림 15의 회로와 같이 반도체 회로에서 구현하기 쉽고, 변동성이 적은 6.1V~6.5V 제너다이오

드를 이용하여 형성하고 전원전압 26V에서 사용하기 위하여 4개를 직렬로 연결하고 그때 형성되는 일정한 제너 정전압을 취하게 된다. 물론 더 정밀한 회로가 많이 있으나 쉽게 형성하고 면적을 적게 차지한다는 장점이 있으므로, 본 연구에서는 제너다이오드를 이용하여 중점전압을 만든다. 이렇게 형성된 중점전압과 더불어 각 제너다이오드 4개를 사용한 것은 전원전압을 4등분할 수 있다는 장점이 있다. 즉 그림 14에서 증폭된 출력전압을 전원전압 4등분의 정전압과 비교하여 GF신호를 검출하게 된다. 즉 GF신호는 Q93과 Q94의 비교기에 의해 전원전압의 1/4 지점 이하에서, 또는 3/4 이상에서 R78로 전류가 흐르게 되므로, R78에 걸린 전압은 출력전압으로 나타나 뒷단의 SCR을 구동시키고 LED와 통신 포트의 신호를 구동시키게 된다.

GF 신호 검출 회로의 신호 파형을 그림 16에 나타내었다.

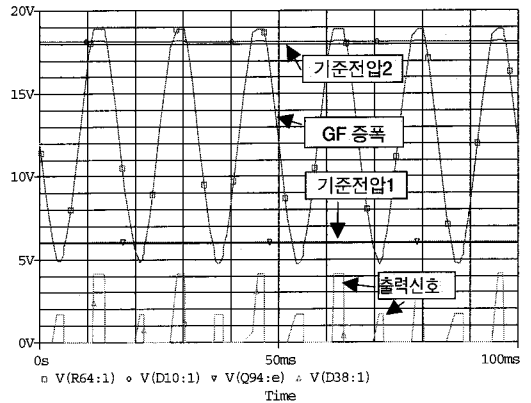


그림 16. GF 신호 검출 회로의 신호 파형
Fig. 16 Signal waveform of the GF signal detecting circuit

미약한 GF 입력신호를 증폭하고 입력신호의 크기에 따라 기준전압1과 기준전압2 사이에서 동작하지 않지만, 기준전압을 넘어서면 출력신호가 나타난다. 이때 출력신호는 식 (2)와 같다.

$$V_{out1} = V_{z1} - V_{ceQ94} \quad (2)$$

$$V_{out2} = (V_{z1} + V_{z2} + V_{z3}) - V_{ceQ93} = 3V_z - V_{ceQ93}$$

최소제너전압 이상의 출력전압이 나오기 때문에 충분

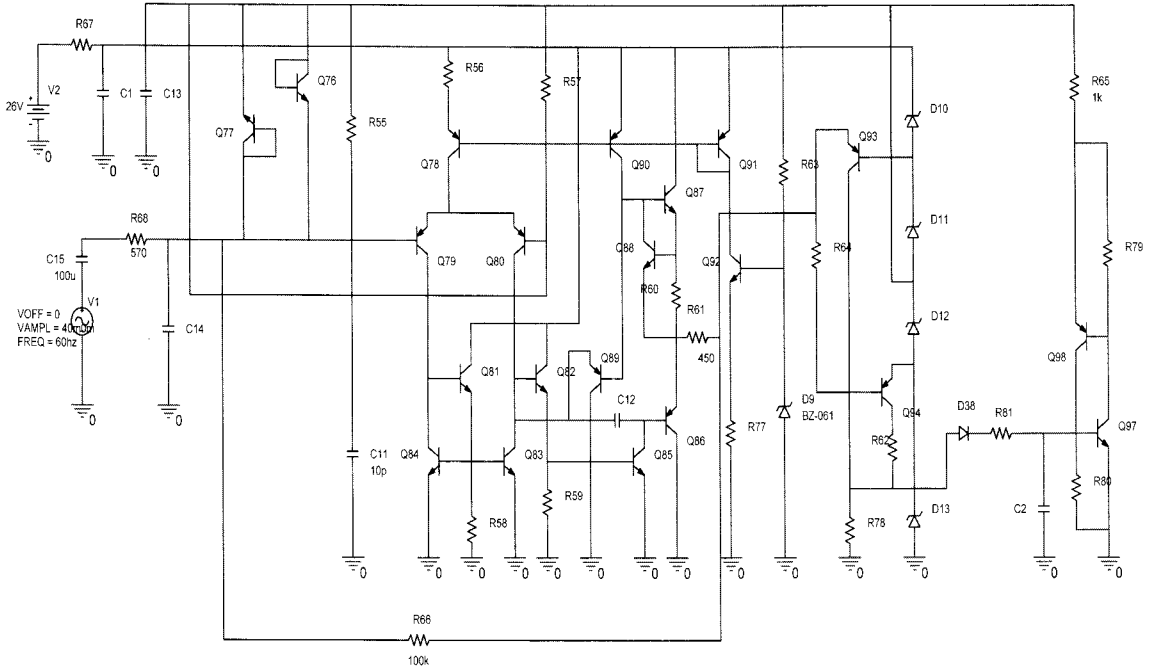


그림 17. GF 신호 검출 회로
Fig. 17 The GF signal detecting circuit

하게 출력을 구동할 수 있게 된다. 이러한 출력전압은 SCR 회로를 구성하고 있는 npn 트랜지스터의 베이스를 구동하게 되고, 각 회로의 입력 임피던스를 맞추기 위해 다이오드와 저항을 사용하게 된다.

그림 17은 GF 신호 검출 회로 전체를 나타낸 것으로 앞에서 나타낸 회로를 모두 연결시킨 것이다. 이때 GF 입력신호를 증폭하는 게인(gain)은 식 (3)과 같이 나타난다.

$$V_{GF_out} = \frac{-R66}{R68} V_{GF_input} \quad (3)$$

따라서 입력센서의 신호특성에 맞추어 시스템 IC 외부에 연결되는 저항비(R66/R68)를 변경함에 따라서 출력 전압의 크기를 조절할 수 있고, GF 검출 기준전압은 고정되어 있으므로 기준에 맞는 GF 신호를 선택적으로 출력할 수 있다는 장점이 있다.

IV. 결 과

위험부담을 줄이기 위하여 먼저 시뮬레이션과 표준 트랜지스터를 이용한 bread boarding(B/B) 평가에 의해 블록별로 설계된 회로를 검증하였다. B/B 평가 결과로부터 34 V 2 Metal 1.5 μm 바이폴라 트랜지스터 공정을 이용하여 시스템 IC를 제작하였다. 시뮬레이션, 표준트랜지스터를 이용한 B/B 평가, 그리고 제작된 시스템 IC의 측정결과를 표 1에 비교하여 나타내었다.

아크신호 검출과 GFI(ground fault interrupter) 신호 검출을 위한 IC 응용회로와 제작된 시스템 IC를 PCB보드에 실장하여 화재방지제어 시스템보드의 전기적 성능을 평가하였으며, 아크와 GF신호에 잘 동작함을 확인하였다.

표 1. 시뮬레이션과 측정결과의 비교
Table 1. Comparison between the simulation and measurement results

	Sim.	B/B	Mea.	단위
GF Reference	13	12.35	12.43	V
GF Resistor	10	9.98	9.87	kΩ
GF Detector on	15	25	10	mV
Arc, Load Detector on	650	850	510	mV
Supply Current	18	22	15.2	mA
아크신호 검출	8.5	9.84	9.7	V
아크 정전압	12.01	11.7	11.6	V

V. 결 론

본 연구에서는 가전기기에서 발생하는 과부하를 방지하고 이상신호를 검출하며 화재방지를 제어할 수 있는 원 칩(one chip) 시스템 IC를 설계하였다. 34 V 2 Metal 1.5 μm 바이폴라 트랜지스터 공정을 이용하여 시스템 IC를 제작하였다. IC 응용회로와 제작된 시스템 IC를 PCB 보드에 실장하여 화재방지 제어 시스템보드의 전기적 성능을 평가하였으며, 아크와 GF 신호에 잘 동작함을 확인하였다.

참고문헌

[1] M. Capelli-Schellpfeffer, M. Toner, "Advances in the Evaluation and Treatment of Electrical and Thermal Injury Emergencies," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 31, No. 5, pp. 1147~1152, 1995.
 [2] 이복희, 이승철, "서지전압에 대한 50 A용 누전 차단기의 부동작 특성," *조명·전기설비학회지*, Vol. 11, No. 5, pp. 44~52, 1997.
 [3] 이복희, 이승철, "뇌임펄스전압에 대한 30 A용 고감도형 누전 차단기의 오동작에 대한 특성," *조명·전기설비학회지*, Vol. 11, No. 6, pp. 96~103, 1997.
 [4] KS C 4613:누전차단기, 한국표준협회, pp. 5~22, 1994.

[5] JIS C 8371.
 [6] IEC 1008-1 : Residual current operated circuit -breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses(RCCBs), pp. 127~135, 1996.
 [7] ANSI/IEEE Std. C 62.41-1991, IEEE Guide for Surge Voltage in Low-Voltage AC Power Circuits, pp. 22~58, 1991.
 [8] Ronald B. Standler, "Protection of Electric Circuits from Overvoltages," John Wiley&Sons, pp. 146~155, 1989.
 [9] UL 484, ANSI/NFPA 70 (National Electrical Code) 2002 ed. article 440.65

저자소개

김 병 철 (Byungcheul Kim)

한국해양정보통신학회 논문지
제9권5호 참조