스위칭 소자 고장으로 인한 과전압 인가를 방지하는 보호 회로

조제형, 이태호, 강정일
삼성전자

Protection circuit preventing overvoltage application under switching device failure

Je-Hyung Cho, TaeHo Lee, Jeong-il Kang
Samsung Electronics

ABSTRACT

다양한 전원 환경에서 부하를 사용하기 위하여 스위칭 소자(TRIAC, Solid State Relay 등의 반도체 스위치 또는 릴레이 등)를 사용하여 부하에 인가되는 전압을 조절하는 회로가 널리 사용되고 있다. 이와 같은 회로 구성에서 스위칭 소자의 고장이 발생할 경우 부하의 과열, 과속 등으로 인한 안전 상의 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 소자의 단락 고장 또는 구동하는 회로의 고장을 인지하여 스위칭 소자에 인가하는 전원의 공급을 차단하여, 스위칭 소자의 연속 도통으로 인한 과열 및 과속을 방지하는 회로 구성을 제안한다. 응용의 예시로, TRIAC을 on/off 또는 위상 제어 하여 발열량을 조절하는 히터 구동 회로에서, TRIAC의 고장 발생 시 과열 방지를 위한 회로 구성을 설명한다.

1. 서 론

가전 및 산업용 분야에는 히터, 모터와 같이, 교류 입력 전원을 사용하여 구동하는 부하가 다양하게 사용되고 있다. 이와 같은 부하는 높은 입력 전압이 인가될 경우, 발열량이 증가하거나 속도가 빨라지는 특징이 있기 때문에, 해당 부하를 다양한 전원에서 사용해야 하는 경우, TRIAC과 같은 반도체 스위치, 또는 릴레이와 같은 기계적 스위치를 사용하여 on/off 제어를 수행하거나, 반도체 스위치의 경우, 위상 제어 등을 사용하여 일정하게 부하를 구동할 수 있다. 이 같은 시스템에서는 낮은 입력 전압(예, 110V)에서 스위치 소자를 연속적으로 구동하고, 높은 입력 전압(예, 220V)가 인가될 때는 스위치의 동작 시간을 조절하여 출력을 조절하게 된다. 산업계에서 사용되고 있는 예시로는, 히터와 같은 저항 부하 전력 조절, LED 밝기 조절[1], Fan 속도 조절[2], 모터 회전 속도 조절 등이 있다.

스위치의 동작 시간을 조절하여 출력을 조절하는 시스템에서 소자의 고장 및 주변 회로의 고장으로 높은 입력 전원 조건에서 스위칭 소자가 연속으로 도통하게 되는 경우, 히터의 과열 및 모터의 과속 등으로 인하여 부하 자체의 파손에 국한되지 않고, 제품 소손 및 주위에 피해를 줄 수 있는 위험성이 있다. 이를 방지하기 위하여 온도 센서 등을 설치하여 위험성을 줄이고자 하나, 과열이 발생하여 부하 및 제품에 일부 피해가 발생한 후에 대처하게 되는 경우가 있다는 문제점이 잔존한다. 예를 들어 히터와 같은 저항 부하의 경우, 2배의 전압이 인가되면, 발열량은 4배로 급증하므로 온도 센서를 통하여 온도 상승을 인지하기 전에 히터 및 인접 영역에 변형을 일으킬 수 있다. 따라서 구동하는 회로에서 고장 위험을 인지하고, 이에 대응할 수 있는 수단이 필요하다.

본 논문에서는 AC 부하를 사용하는 시스템에서, 소자 고장 발생으로 인하여 높은 전력이 부하에 인가되어 발생하는 문제점을 예방하기 위한 기술에 대해서 제안한다. 구체적으로는 높은 입력 전압 조건에서 스위칭 소자가 연속 도통하는 경우 보호하는 회로 구성을 제안한다.

2. 과전압 인가 방지 회로의 제안 구성

2.1 히터 출력 조절 장치

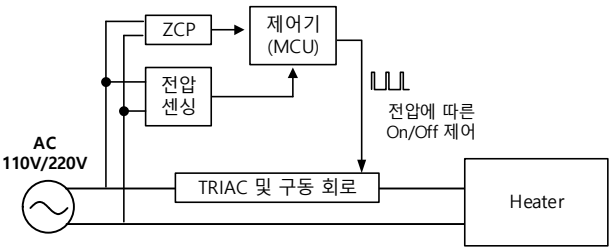

그림 1 TRIAC을 사용한 히터 출력 조절 장치

그림 1은 TRIAC을 사용한 히터 출력 조절 장치이다. 시스템은 히터와 히터에 인가되는 전원의 크기를 조절하는 TRIAC 및 구동 회로, 입력 전압 센싱 회로, 전원 위상/영 전압 지점(Zero Crossing Point, ZCP)를 인지하기 위한 ZCP회로, 전원 전압의 크기를 인지하여 TRIAC에 스위칭을 조절하는 제어를 수행하는 마이크로 컨트롤러(MCU)로 구성된다.

센싱된 입력 전압을 기반으로 전원 입력에 대하여 TRIAC의 도통 시간을 조절하여 히터의 출력을 일정하게 유지한다. 낮은 전압(110V)의 입력이 인가되는 경우, TRIAC을 연속적으로 도통(On)시키며, 높은 전압(220V)이 인가되는 경우, TRIAC을 4주기에 1번 도통하는 방식으로 출력 전력을 일정하게 유지한다. 이는 원하는 출력 전력과 입력 전압 조건에 따라서 달라질 수 있다. TRIAC의 On/Off 역시 수행하는 수 주기에 1번 구동하는 방식, 위상을 조정하는 방식 등 다양하게 선정이 가능한다.

본 논문에서는 위 회로를 구성하는 각 소자의 고장이 발생하는 경우, 높은 전력이 인가되는 것을 방지하기 위한 보호 회로 구성을 제안한다. 좀 더 구체적으로는, 회로를 구성하는 주요 소자 중 1가지(single fault)에 고장이 발생하더라도, 고장을 인지하여 히터에 인가되는 전원을 차단 또는 히터가

과열되지 않도록 시스템을 설계한다.

2.2 보호 회로 구성

보호 기능을 추가한 회로 구성은 그림 2와 같고, 각 부분의 동작은 다음과 같다.

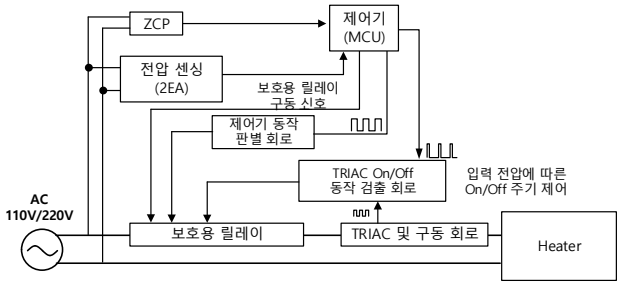

그림 2 과전압 인가 방지를 위한 보호 회로 구성

1) 보호용 릴레이

고장이 인지되면 릴레이를 차단하여 히터로 인가되는 전원을 차단하기 위한 구성이다. TRIAC 및 입력 전원과 직렬로 연결되어 있고, TRIAC의 on/off 동작을 감지하는 회로 및 제어기의 동작을 판별하는 회로를 통하여 구동된다. 릴레이의 구동 및 차단 조건은 다음과 같다.

표 1 입력 전압에 따른 보호용 릴레이 회로 동작

	TRIAC 상태	릴레이 동작
높은 입력 전압 (220V)	연속 도통(고장)	Off(차단)
	On/Off 제어(정상)	On
낮은 입력 전압 (110V)	연속 도통(정상)	On
	On/Off 제어(고장)	On

2) 입력 전원 추가 센싱 회로

입력 전압 회로가 고장이 발생한 경우에도 과열을 방지하기 위하여 전압 센싱 수단을 1가지 추가한다. 입력 전원을 인지하는 회로를 추가하는 방식도 있고, 다른 정보를 사용하여 입력 전원 정보를 인지하는 방식도 있다. 예를 들어, 입력 전압을 정류하여 사용하는 경우, 입력 전원을 인지하는 방식을 DC link와 입력 전원 감지 회로 2가지로 할 수 있다.

두 정보에서 얻은 입력 전압이 모두 낮은 입력 전압으로 일치하는 경우에만 TRIAC을 연속 도통한다. 일치하지 않는 경우에는 TRIAC을 on/off 구동하여 히터가 과열되는 현상을 방지한다.

3) 스위칭 소자의 On/Off를 감지하는 회로

TRIAC의 On/Off 동작을 감지하는 회로가 구성된다. 높은 입력 전압이 인가되는 경우에 스위칭 소자가 연속 도통하는 경우에 릴레이를 차단하기 위한 구성이다.

구성 방안은 다양하게 가능하지만, 본 논문에서는 아래와 같은 구성을 사용하였다.

① TRIAC의 양단 전압을 센싱하는 회로
② 센싱 전압을 비교기에 인가하여 소자의 on/off 시 toggle 신호가 발생하게 하는 회로
③ Toggle 신호가 발생하는 경우 릴레이를 켜도록 신호를 출력하고, high 또는 low 신호가 유지되는 경우 릴레이를 차단하는 신호를 출력하는 회로

높은 입력 전압이 인가되는 경우, 스위칭 소자는 on/off 동작을 해야 하는데, 이때 TRIAC이 연속 도통하는 경우, 이를 인지하고 릴레이를 차단하게 된다.

4) MCU 고장을 판별 회로

TRIAC 제어를 위한 MCU가 고장인 경우를 인지하기 위하여, MCU의 GPIO를 할당하여 toggle 신호를 생성한다. 해당 신호를 3)항목의 ③번 구성과 같이 high 또는 low 신호가 유지되면 MCU 고장으로 인지하여 릴레이를 차단하고, toggle 신호가 발생하면 릴레이를 동작시키는 회로를 구성한다. MCU에 latch-up이 발생하는 경우, 릴레이가 차단되므로 과열을 방지할 수 있다.

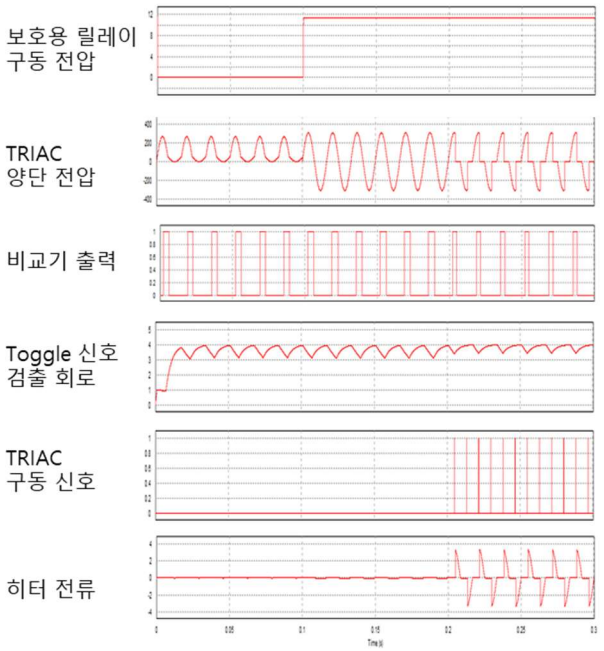

그림 3 보호 회로 동작 시뮬레이션

2.3 고장 원인에 따른 보호 회로 동작

과열이 발생하는 경우는 1) 높은 입력 전압 조건에서 2) TRIAC이 연속 도통 하는 경우이다. TRIAC의 연속 도통을 발생시키는 상황은 다음과 같다. 또한, 해당 상황에서 제안한 보호 회로 구성을 적용하는 경우, 위험성을 감소시킬 수 있음을 확인한다.

1) 전원 판별 회로의 고장

전압 센싱 회로의 고장으로 전압을 낮은 입력 전압으로 판별하여 TRIAC을 100%로 구동 시키는 경우, 과열로 인한 위험성이 발생하게 된다.

보호 회로 구성을 적용하는 경우, 2가지 전압 센싱 회로의 결과가 같지 않으면 TRIAC을 On/Off로 구동을 한다. 이와 같이 구동하면, 낮은 입력 전압 환경에서는 히터 출력이 낮아지는 문제가 있지만, 높은 입력 전압의 경우에도 정상적인 발열이 가능하여 파손을 막을 수 있다.

2) TRIAC 및 구동 소자의 고장

TRIAC이 단락(short) 모드로 고장이 발생하거나 구동 회로 고장으로 연속적으로 도통하는 상황이며, 이 경우 자체적인

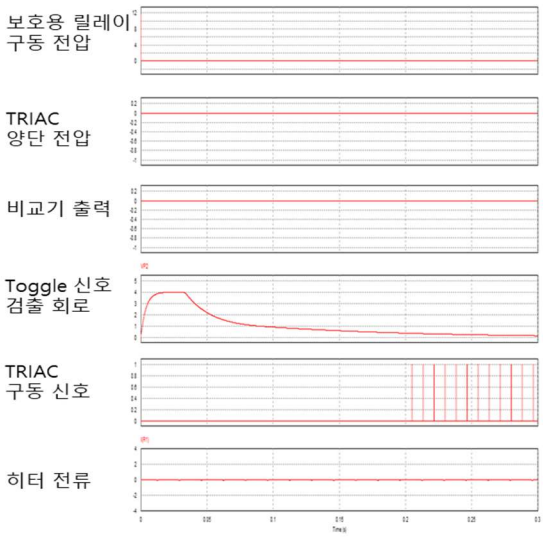

그림 6 보호 회로 동작 시뮬레이션 - TRIAC 양단 단락 시

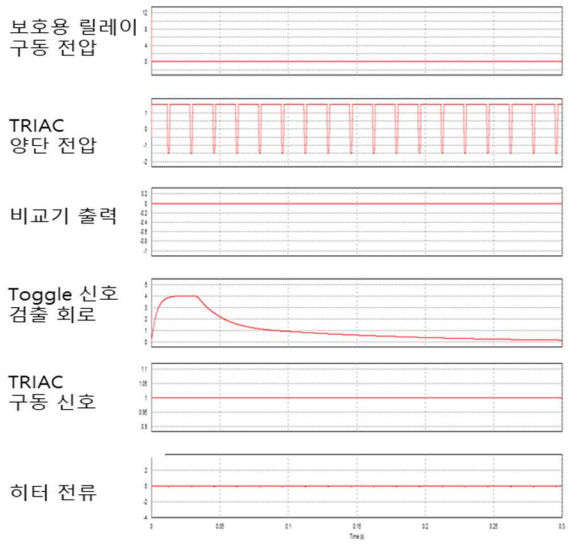

그림 5 보호 회로 동작 시뮬레이션 - MCU Latch-up 발생 시

on/off 제어가 불가능하고 과열로 인한 위험성에 노출된다.

이와 같은 고장이 발생한 경우 보호 회로는 그림 4와 같이 동작한다. TRIAC의 양단 전압이 toggle 신호가 발생하지 않으므로, 비교기는 DC 신호를 출력하게 되고, 이로 인하여 toggle 신호 검출 회로가 off되어 보호용 릴레이를 차단한다. 이와 같은 보호 동작으로 TRIAC의 구동 신호가 인가되어도 히터에는 전류가 흐르지 않음을 알 수 있다.

3) 제어기 고장

MCU에 latch-up 발생하거나 연산 오류 또는 신호를 출력하는 GPIO 등의 고장으로 TRIAC이 연속적으로 도통하는 경우, TRIAC 및 구동부에는 이상이 없으나 과열이 발생할 수 있다. MCU가 latch-up되어 GPIO가 high 또는 low 신호가 발생할 수 있다. Low 신호가 유지되는 경우에는 TRIAC 구동 신호가 발생하지 않으므로, 과열의 위험은 없지만, high로 유지되는 경우에는 TRIAC을 연속으로 도통시켜 과열 위험이 있다.

이와 같은 경우 보호 회로는 그림 5와 같이 동작한다. TRIAC 구동 신호는 high가 인가되지만, TRIAC 양단 스위칭이 발생하지 않기 때문에, 비교기 출력이 low로 발생하여 보호용 릴레이가 차단되어 히터 전류가 흐르지 않는다.

2.4 실험 결과

TRIAC에 단락이 발생하는 경우, 보호 회로 동작은 그림 6과 같다. 단락 발생 시, 양단 전압이 같아지므로, toggle 신호가 발생하지 않음을 확인할 수 있다. 그러므로 비교기 출력이 low로 내려가게 되고, DC 성분으로 인해서 toggle 신호 검출 회로가 릴레이를 차단하는 방향으로 동작하여 히터가 100ms 이내로 차단됨을 확인할 수 있다.

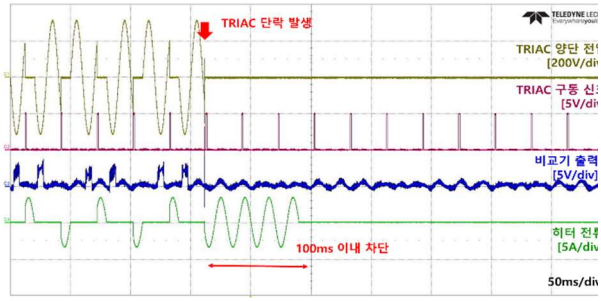

그림 4 보호 회로 동작 - TRIAC 양단 단락 시

3. 결 론

스위칭 소자를 사용하여 AC 부하를 조절하는 전력 조절 회로에서는 다양한 원인의 소자 고장이 발생할 수 있다. 이와 같은 고장 상황에서도 부하의 과열 또는 과속으로 인한 제품 및 환경에 피해를 방지하기 위하여 1개의 소자의 고장 상황(single-fault)에서도 피해를 방지할 수 있는 보호 회로 구성을 제안하였다. 각 고장 상황을 분석하고 이에 따른 보호 회로의 동작을 확인하였고, 실험을 통해 검증하였다.

해당 시스템을 적용하면, 높은 전압 인가 시에 스위칭 소자의 연속 도통이 발생하는 조건에서 보호용 릴레이의 전원을 차단하여 2차 피해를 예방할 수 있다. 해당 기술은 가전 및 산업용 분야와 같이 안전이 중요한 분야에 적용 가능하다.

참 고 문 헌

[1] S.C. Moon, G.-B. Koo, G.-W. Moon, "Dimming-Feedback Control Method for TRIAC Dimmable LED Drivers", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 62, No. 2, pp. 960-965, 2015, February.

[2] D.E. Cattermole, R.M. Davis, A.K. Wallace, "D.E. Cattermole; R.M. Davis; A.K. Wallace", IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. 94, No. 3, pp. 778-785, 1975, May.