

EPLD를 이용한 무전극 형광램프용 전자식 안정기의 보호회로 설계

김훈^{*}, 마선초^{*}, 김희준^{*}^{*}한양대학교 전자전기제어계측공학과

Design of an Electronic Ballast Protection Circuit for Electrodeless Fluorescent Lamps using EPLD

Hoon Kim^{*}, Xian-Chao Ma^{*}, Hee-Jun Kim^{*}^{*}Dept. of Electronic, Electrical, Control, and Instrumentation Engineering, Hanyang University

Abstract - 본 연구는 무전극 형광램프의 램프 이상 유무를 검출하여 램프에 이상이 발생한 경우 이를 검출하여 전자식 안정기 회로를 보호하는 방법을 제안하고 실험을 통해 검증한다. 제안된 보호회로는 램프 양단에 걸리는 전압을 검출하여 디지털 회로에서 이용할 수 있는 신호로 변환해주는 아날로그 회로부와 이 신호를 이용해 안정기 회로의 인버터 부에 공급되는 PWM 신호를 제거해 주는 디지털 회로부로 구성된다. 제안된 알고리즘은 개발 비교기 IC 소자와 EPLD를 이용해 간단한 회로로 제작되었으며, 차후 집적화에도 유리할 것으로 판단된다.

1. 서 론

기존의 램프는 아크방전을 이용하는 방전램프로, 이들의 방전을 위해서는 전극이 필요하고 이 전극에 의해 수명이 결정되는 제약이 있었다. 형광램프의 경우 백열램프에 비해 광 효율 및 연색성 등, 여러 가지 광학적 특성이 우수하고 수명이 길며, 전력소비가 적어 경제적으로 유리하며, 방전을 일으키기 위해 램프 양단에 필라멘트라고 불리는 전극을 장착하고 이를 전극에서 전자방출이 원활하게 이루어질 수 있도록 전자방출 물질들이 도포되어 있다. 일반적인 형광램프는 전자방출이 원활해지기 전까지 전극 예열이 필요하고 전극에 도포된 전자방출물질이 점등 직후 또는 점등 중 증발해 전자 방출이 일어나지 않으면 램프는 수명 말기에 도달한다. 점멸동작이 빈번히 일어나거나, 전압 및 전류가 부족하거나 과전압 및 과전류가 인가되면 이러한 현상이 가속되어 램프의 수명이 급격하게 단축된다.

이러한 단점을 극복하기 위해 고주파 무전극 방전을 이용한 무전극 램프를 조명용 광원으로 이용하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어져 왔다. 무전극 램프는 약 60,000 시간 이상의 매우 긴 수명과 80 이상의 연색지수, 잊은 점멸동작의 영향을 받지 않는 점과 일반 형광램프에 비해 폐기물 배출이 크게 감소한다는 점 등의 여러 가지 장점을 갖는다.

허나 무전극 형광램프는 점등 시에 일반 형광램프에 보다 더 높은 전압을 필요로 한다. 전극이 있는 일반 형광램프나 무전극 형광램프나 모두 비 점등 시와 점등 후의 램프 자체의 임피던스 변화를 이용하여 점등 전에 공진회로에 의해 램프 양단에 램프를 점등 가능하게 하는 전압까지 생성시키고, 램프가 점등된 후에는 램프의 임피던스 변화로 별다른 회로변화 없이 램프 양단에 걸리는 전압이 램프의 점등을 유지하는데 필요한 전압으로 변화된다. 램프의 점등 전 램프의 임피던스는 무한대로 램프가 없는 상황과 같으며, 램프의 수명이 다하거나 전자식 안정기에 램프를 연결하지 않으면 전자식 안정기 내부의 공진회로부에 매우 높은 전압이 지속되어 안정기 회로 자체를 파손하게 된다. 따라서 무전극 형광램프용 전자식 안정기를 개발할 때는 이러한 상황을 검출하여 안정기 회로를 보호할 수 있는 기술이 필요하게 된다.

본 연구에서는 이러한 상황을 검출하여 간단한 디지털 회로를 이용해 처리할 수 있는 방법을 제안한다. 또한 제안된 방식은 EPLD 소자와 개발 IC 소자를 이용하여 무전극 형광램프 전자식 안정기 운용 시에 발생할 수 있는 경우를 시뮬레이션하여 실험하고, 제안된 방식으로 제작된 회로가 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

2. 회로동작 설명

그림 1은 제안하는 무전극 형광램프용 전자식 안정기의 보호회로를 볼록도이다. 이 보호회로는 무전극 형광램프의 전압을 검출한 후, 램프의 정상상태와 이상상태에 따른 전압의 차이에 적절한 임계전압 V_{TH} 와 이 전압을 비교해 램프 이상 시에 펄스를 생성해내는 아날로그 부분과, 이상이 발생했을 때 약 1초 후에 인버터에 가해지는 PWM 신호를 제거해 주는 디지털 부분으로 구성된다.

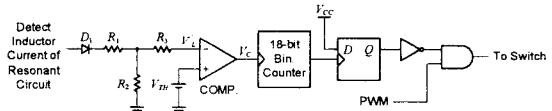


그림 1. 보호회로의 볼록도

인버터 회로의 인덕터의 보조권선 출력전압은 무전극 형광램프의 전압에 비례하기 때문에 실제 회로구성 시에는 이것을 이용해, 권선 비 조절을 통해 신호처리하기 용이한 전압으로 낮추고, 램프에 걸리는 사인파 전압의 음의 부분은 필요 없기 때문에 정류 회로를 거쳐 제거된다. 이 신호가 임계전압 V_{TH} 보다 작은 경우에는 비교기의 출력 전압 V_C 는 'High' 상태를 유지하고 있다가, V_{TH} 보다 커질 경우에 'Low' 상태가 된다. 따라서 램프가 없는 상태 또는 램프에 이상이 발생한 경우에는 비교기 출력에 펄스파가 발생하게 된다. 이 펄스의 주파수는 인버터 회로의 PWM 주파수와 동일하게 된다.

디지털 회로 부분의 18 비트 이진 계수기는 인버터에 공급되는 PWM의 주파수가 250 kHz인 경우, 비교기의 펄스가 지속적으로 발생한다고 가정하면 약 1.048 초 후에 D 플립플롭에 클록 펄스를 인가해 D 플립플롭의 출력이 'High'가 되도록 한다. 이 신호가 발생하면 인버터에 공급되는 PWM 신호를 차단함으로써 전자식 안정기의 인버터 회로부분이 동작하지 않도록 함으로써, 무전극 램프가 없는 경우나 램프에 이상이 발생한 경우에 공진회로에 발생하는 매우 높은 전압으로부터 회로를 보호할 수 있다.

그림 2는 그림 1에 보인 보호회로의 점등기간, 정상상태, 이상상태, 그리고 회로보호 상태에 따른 보호회로 각부의 동작파형이다. 만일 안정기에 연결된 램프가 정상

적인 경우라면, 약 0.07 초 후에 램프가 점등되어 램프에 걸리는 전압이 낮아지고 비교기의 출력 V_C 에 펄스가 발생하지 않으므로 D 플립플롭의 출력 Q 는 계속해서 'Low' 상태를 유지한다. 이러한 상태에서, 램프의 수명이 다하는 등의 램프 문제가 발생하면 램프 양단의 전압이 다시 상승하여 비교기의 출력에 다시 펄스가 나타나게 되고, 점등기간에 계수한 펄스 수 만큼을 제외하고 18 비트 2진 카운터가 250 kHz 펄스를 계수하는 시간인 약 0.96 초 후에 D 플립플롭의 출력 Q 가 'High' 상태가 되고, 인버터 회로부에 공급되는 PWM 신호와 인버터를 거친 D 플립플롭의 출력이 AND 게이트를 거치기 때문에 인버터 회로부에 공급되는 PWM 신호가 끊어지게 되어, 램프의 이상 시 램프의 양단 임피던스가 고 임피던스 상태가 되어 램프 양단의 전압이 크게 상승하는 상황에 따른 문제로부터 회로를 보호하게 된다. 만일 처음부터 안정기에 램프를 점속하지 않고 램프를 점등하는 경우라면 안정기 전원을 켜 후, 약 1.048 초 후에 보호회로가 바로 동작하여 회로를 보호한다.

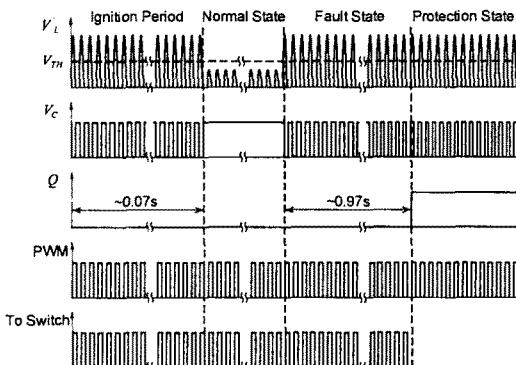


그림 2. 보호회로의 동작 과정

본 제안하는 회로는 비교기와 몇 개의 플립플롭 및 게이트 회로로 구현되기 때문에, 회로가 간단하며, 본 알고리즘을 구현하기 위해 비교기는 개별 IC 소자를 이용하고, 디지털 부는 EPLD를 이용하였으나, 회로가 복합하지 않아 Standard Cell과 Full Custom 공정을 조합하여 쉽게 접적화 할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 실험 결과

제안된 무전극 형광램프용 전자식 안정기 보호회로의 구현은 Osram 사의 Endura 150W 금 무전극 형광램프를 구동할 수 있는 광전형 하프-브릿지 인버터를 이용하였으며, PWM 신호 제어회로와 보호회로는 Lattice 사의 EPLD LC4256V를 이용해 구현되었다. 비교기 IC는 LM319를 사용하였다. 실제 회로구현 시에는 아날로그 부분과 디지털 부분을 분리해 아날로그 부분에서 발생할 수 있는 저지로부터 디지털 회로 부를 보호할 필요가 있기 때문에 그림 3과 같이 비교기의 출력에 포토커플러를 사용했다.

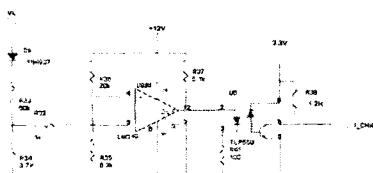


그림 3. 실제 보호회로의 아날로그 신호처리 부 회로도

그림 4는 정상적인 상태에서의 보호회로 부 동작파형을 나타낸다. 그림에서 위에서부터 차례대로 각각의 파형은 램프 전압, 비교기 출력 V_C , D 플립플롭 출력, 그리고 PWM 신호이다. 그림으로부터, 안정기 회로에 전원을 공급하면 램프 양단 전압이 점등 퍼크전압인 1200 V 정도까지 상승했다가, 약 0.063 초 후에 램프가 점등해 램프에 걸리는 전압이 정상적인 퍼크 전압인 280 V 정도로 하강하는 것을 볼 수 있다.

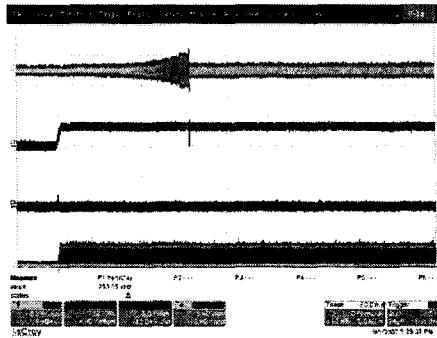


그림 4. 정상적인 보호회로 동작파형

인버터에 가해지는 PWM 신호의 주파수는 250 kHz로 램프의 점등시간에 비해 매우 짧은 시간이기 때문에, 그림 4의 측정된 보호회로의 동작파형에서 램프에 걸리는 사인파나, PWM 구형파 신호를 관찰할 수 없고 전체적인 파형의 진폭만을 관찰할 수 있었다. 점등시간 이후에 회로가 정상적으로 동작하고 있는 것을 보여주기 위해서 그림 5에 점등시간 이후의 동작파형을 나타내었다. 그림 5에서 램프에 걸리는 사인파 전압과 PWM 신호를 관찰할 수 있다.

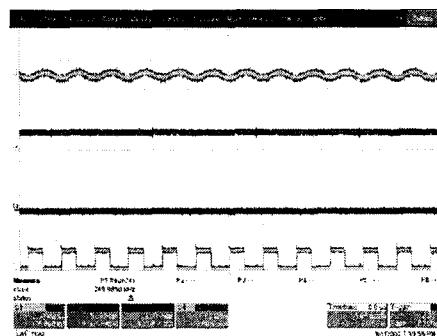


그림 5. 그림 4에서 정상적으로 동작하는 부분을 확대한 파형

그림 6은 무전극 램프를 안정기에 연결하기 않고 안정기에 전원을 인가했을 때의 보호회로 동작파형을 나타낸다. 램프 없이 안정기에 전원을 인가하면 그림 6의 두 번째 파형인 비교기의 출력 펄스를 18 비트 2진 계수기가 전부 계수되면, 보호회로가 동작해 그림 6의 맨 밑 파형처럼 인버터에 PWM 신호를 주지 않아 결국 램프 양단에 걸리던 매우 높은 전압이 없어져 회로가 파손되는 것을 막아준다. 이론적인 보호회로 동작시간은 약 1.048 초이나, 비교기 출력 펄스가 간헐적으로 발생하기 때문에 보호회로가 실제 동작되는 시간은 약 2 초가 소요되었다. 실제 회로구현 시에 EPLD를 사용했기 때문에 실제 제품으로 개발할 시에는 2진 계수기의 비트 수를 조절하여 보호회로 동작시간을 프로그램을 통해 단축할 수 있는 장점이 있다.

【참 고 문 헌】

- [1] C.S. Moo, C.R. Lee, and Y.C. Chuang, "A protection circuit for electronic ballasts with self-excited series-load resonant inverter", *Proceedings of the 1996 IEEE IECN 22nd International Conference on 5-10 Aug.*, vol. 2, pp. 1116-1121
- [2] J.M. Alonso, J. Cardesin, A.J. Calleja, M. Rico-Secades, and J. Garcia, "A fluorescent lamp electronic ballast for railway applications based on low cost microcontroller", *Industry Applications Conference on 12-16 Oct. 2003*, vol. 1, pp. 523 - 530
- [3] Xuefei Xie, Chao Yang, and Xiaoming Yuan, "A dimming and protection method for the self-oscillating half-bridge ballast circuit", *Power Electronics Specialists Conference on 20-25 June 2004*, vol. 3 pp. 2428-2433
- [4] S.Y. Tang, C.C. Lee, C.S. Moo, C.R. Lee, and M.C. Sung, "S-Protection circuit for electronic ballasts at fluorescent lamp life-end", *Industry Applications Conference on 2-6 Oct. 2005*, vol. 3, pp. 1938-1942
- [5] S.-T. Chen, L.-L. Lee, H.-J. Lee, and C.-R. Lee, "The Design of High Performance Protection Functions for Electronic Ballasts", *Applied Power Electronics Conference in Feb. 2007*, pp. 263-267

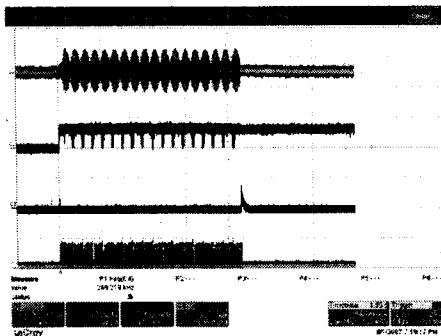


그림 6. 램프 없이 점등한 경우 보호회로 동작파형

무전극 램프용 전자식 안정기의 운용중에 램프의 수명이 다하는 등의 램프 이상으로 문제가 발생했을 경우를 모의실험하기 위해서 무전극 램프와 전자식 안정기 사이에 스위치를 달아 램프 점등 후에 이 스위치를 끄면으로써 램프 이상상태가 나타나도록 했다. 그림 7은 이러한 실험을 통해 얻은 측정된 보호회로의 동작파형이다. 이 그림으로부터 안정기 전원인가 후에 무전극 램프가 점등된 후 램프 양단의 전압이 정상적으로 감소하고, 램프와 안정기 사이에 연결한 스위치를 끈 후에 램프 양단의 전압이 점등 전압까지 상승되는 것을 볼 수 있다. 램프 없이 안정기를 동작시킬 때와 같이 약 2초 후에 보호회로가 동작하는 것을 관찰할 수 있다.

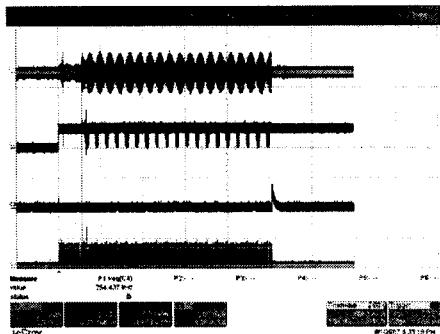


그림 7. 정상적 점등 후 램프를 제거한 경우 보호회로 동작파형

이상의 실험결과로 부터 제안된 무전극 형광램프용 전자식 안정기의 보호회로가 램프 없이 회로를 동작시키거나 회로 운용 중에 발생한 램프 이상에 따라 보호회로를 동작시켜 회로가 보호되는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

무전극 형광램프용 전자식 안정기의 보호회로가 제안되었다. 제안된 보호회로는 램프의 이상 유무에 따라 보호회로를 동작시켜 전자식 안정기 회로의 파손을 보호할 수 있었다. 제안된 보호회로는 EPLD를 이용해 PWM 발생 부분과 함께 디지털 부분이 구현되고 램프 양단의 전압을 처리하는 아날로그 부분은 개별 소자를 이용하여 구현되었다. 아날로그 신호처리 부분은 간단한 비교기로 구현될 수 있기 때문에 Standard Cell 공정과 Full Custom 공정을 조합하여 비교적 쉽게 단일 IC로 제작할 수 있을 것으로 기대된다. 제안된 회로 방식은 실험을 통해 검증되었으며 상용 무전극 형광램프용 전자식 안정기의 보호회로로 충분히 이용될 수 있을 것이다.