

# 부스트 PFC 컨버터를 위한 자기 구동 무접점 릴레이

김건우<sup>1</sup>, 김문영<sup>1</sup>, 서강문<sup>1</sup>, 강정일<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>삼성전자 VD 사업부, <sup>2</sup>삼성전자 DA 사업부

## Self-driven solid state relay for boost PFC converter

Keon-Woo Kim<sup>1</sup>, Moon-Young Kim<sup>1</sup>, Kang-Moon Seo<sup>1</sup>, Jeong-il Kang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Samsung Electronics Visual Display Business, <sup>2</sup>Samsung Electronics Digital Appliance Business

### ABSTRACT

본 논문에서는 추가 전원 회로 없이 자기 구동이 가능한 무접점 릴레이를 제안한다. 제안하는 회로는 PFC 인덕터에 다중 권선을 적용하고 2차측을 voltage doubler 정류기로 구성하며 해당 정류기의 출력을 무접점 릴레이의 구동 전압으로 사용하는 형태를 가진다. 기존 릴레이 회로 대비 온오프 동작시 소음이 사라지는 전자식 릴레이의 형태이며 이를 구동하기 위한 부가적인 전원 회로나 시퀀스 회로가 필요하지 않기 때문에 회로가 간단하고 가격적으로 이점이 있다.

### 1. 서론

IEC61000-3-2와 같은 안전기준에서 요구하는 역률(PF)과 고조파 조건(THD)을 만족하기 위해서 PFC(Power Factor Corrector)가 필요하다<sup>[1]</sup>. 다양한 컨버터들 중 부스트 컨버터는 연속적인 입력전류와 간단한 구조와 같은 장점들로 인해 PFC단에 널리 사용되고 있다. 하지만 부스트 PFC는 초기 기동시 출력 커패시터를 충전하기 위해 큰 돌입 전류가 발생하는 문제가 있다. 일반적으로는 이를 막기 위해서 NTC(Negative Temperature Coefficient) 저항과 릴레이가 병렬로 연결된 구조를 AC 입력단에 추가하여 돌입 전류를 제한한다<sup>[2]</sup>. 해당 구조는 간단하게 구현 가능하고 가격적으로 이점이 있지만 기계적 스위치이기 때문에 전원장치 온/오프시 릴레이에서 소음이 발생하고 릴레이 구동을 위한 별도의 전원단이 필요하다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 FET를 사용하여 릴레이를 대체하는 solid state relay(SSR)을 적용하는 경우가 있지만 SSR을 제어하기 위해 디지털 컨트롤러를 필요로 하고 구동하기 위해 절연형 게이트 드라이버를 필요로 한다는 한계점이 있다.

본 논문에서는 앞선 문제점을 해결하기 위해 소음이 발생하지 않는 MOSFET 기반의 스위치로 릴레이를 대체하는 SSR을 적용하고 이를 제어하기 위한 별도의 제어기 회로와 구동하기 위한 전원단이 필요 없는 자기 구동이 가능한 SSR을 제안한다. 제안하는 SSR 구조는 기존의 relay와 동일하게 돌입 전류를 막아주며 간단한 회로 구성으로 유니버설 입력에 대해 모두 정상 구동할 수 있다는 장점을 가진다.

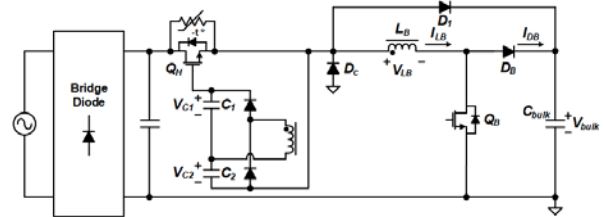


그림1 제안하는 자기 구동 무접점 릴레이 회로

### 2. 제안하는 SSR 구동회로

제안하는 자기 구동 무접점 릴레이 회로는 기존 부스트 PFC 컨버터 인덕터(L<sub>B</sub>)에 추가 권선을 감고 이를 바탕으로 voltage doubler 정류기를 형성하며 voltage doubler 출력을 SSR의 구동 gate로 사용한다. 또한 SSR(Q<sub>H</sub>)의 전압 스트레스를 입력 전압으로 고정하기 위한 클램핑 다이오드(D<sub>C</sub>)가 추가된다. 이로 인해 회로가 2스위치 buck-boost와 유사하게 형성되므로 SSR과 클램핑 다이오드의 전압 스트레스는 입력 전압으로 고정된다. NTC 저항은 SSR과 병렬로 연결되며 돌입 전류 다이오드(D<sub>1</sub>)은 SSR 소스와 PFC 출력 커패시터(C<sub>bulk</sub>) 사이에 배치한다.

부스트 PFC 컨버터의 스위치(Q<sub>B</sub>)가 스위칭을 시작하게 되면 스위치의 온/오프 동작에 따라 L<sub>B</sub>에 전압이 걸리게 된다. Q<sub>B</sub>가 턴온 되었을 때는 L<sub>B</sub>에 V<sub>in</sub>이 걸리면서 커패시터 C<sub>1</sub> 양단의 전압(V<sub>C1</sub>)을 충전한다. L<sub>B</sub>의 턴비를 n<sub>B</sub>라고 했을 때 V<sub>C1</sub>=V<sub>in</sub>/n<sub>B</sub>만큼의 전압이 충전된다. Q<sub>B</sub>가 턴오프 되었을 때는 L<sub>B</sub>에 (V<sub>bulk</sub>-V<sub>in</sub>)이 걸리면서 커패시터 C<sub>2</sub> 양단의 전압(V<sub>C2</sub>)을 충전하며 (V<sub>bulk</sub>-V<sub>in</sub>)/n<sub>B</sub>만큼의 전압이 충전된다. 최종적으로 V<sub>C1</sub>+V<sub>C2</sub>의 전압이 Q<sub>H</sub>의 게이트로 인가되면서 SSR을 턴온 시키게 되며 V<sub>C1</sub>+V<sub>C2</sub>=V<sub>bulk</sub>/n<sub>B</sub>이므로 입력 전압의 크기와 무관하게 출력 전압에 비례한 일정한 전압이 인가되는 것을 알 수 있다. 초기 기동시 동작 순서를 보면 AC 입력이 들어왔을 때 SSR이 턴오프 상태이므로 NTC를 통해 C<sub>bulk</sub>를 충전하고, 이후 PFC가 구동하기 시작했을 때 Q<sub>B</sub>의 스위칭 시작 시점에 맞춰 SSR이 턴온되므로 기존 릴레이 기반의 시스템과 동일한 시퀀스로 초기 기동한다.

### 3. 실험 결과

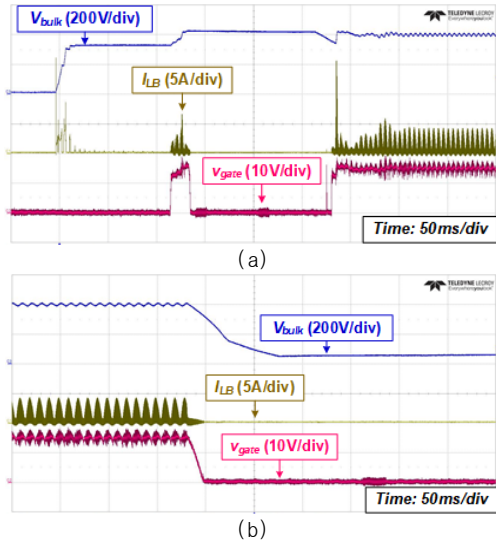


그림2 제안하는 자기 구동 무접점 릴레이 회로의 동작. (a) 초기 기동시. (b) AC off시.

그림 2는 제안하는 회로의 동작 검증 결과를 나타낸다. 그림 2(a)에서 AC 인가시 NTC 저항을 통해  $V_{bulk}$ 를 충전하는 동작이 이루어진다. 그 이후에 PFC FET가 스위칭하며 인덕터에 전류가 흐르면 해당 동작에 맞추어 SSR gate 신호도 high가 되어 정상적으로 SSR을 켜주는 것을 확인할 수 있다. 또한 AC off시에는 PFC FET의 스위칭이 멈추며 이에 따라 SSR의 gate도 꺼지는 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 정상상태에서의 동작 파형을 나타낸다. 입력 전압이 바뀌더라도 일정한 전압을 유지하는 것을 알 수 있다. 입력 전압에 따라 SSR gate의 최대 전압이 조금 차이나는 이유는 PFC 인덕터 다중권선의 누설 인덕턴스에 의한 영향이지만 무시할만큼 작은 차이만 발생한다. AC 입력 zero cross 구간에서 SSR gate 전압이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 해당 구간에서 PFC 출력 diode ( $D_B$ )가 일시적으로 도통하지 않아서  $V_{C1}$ 의 전압만 SSR gate 전압으로 인가되면서 SSR gate 전압이 일시적으로  $V_{in}/n_B$ 로 떨어지기 때문에 나타나는 현상이다. 해당 구간 동안 FET의  $V_{th}$ 보다 전압이 높게 유지된다면 FET가 꺼지지 않으므로  $L_B$ 의 턴비를 설계할 때 이를 고려해야 한다.

그림 4는 초기 기동시의 돌입 전류를 나타낸 파형이다. 입력 전압이 가장 낮고 입력 AC 파형의 peak 지점에서 컨버터가 구동시 가장 큰 돌입 전류가 발생하기에 해당 조건에서 테스트를 진행하였다. 기계식 릴레이를 적용한 기존 보드와 비교해보았을 때 돌입 전류가 크게 차이 나지 않으며 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 추가 전원 회로 없이 자기 구동이 가능한 무접점 릴레이를 제안한다. 제안하는 회로는 별도의 시퀀스 회로 없이 기존 기계식 릴레이 기반 시스템과 동일한 시퀀스로 초기 기동 동작을 할 수 있으며 SSR 제어를 위한 별도의 회로 및 구동을 위한 floating 전원 회로를 필요로 하지 않다는 장점을 가진다. 제안하는 회로는 유니버설 입력전압에 대해 모두 안정적으로 동작을 수행할 수 있으며 돌입 전류도 기존 릴레이 회로와 대비해 유사한 특성을

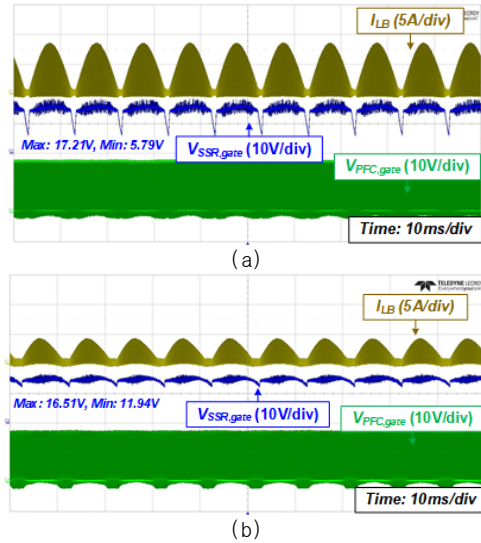


그림3. 정상상태 동작 파형 (a)  $V_{in}=100Vac$ , (b)  $V_{in}=230Vac$ .

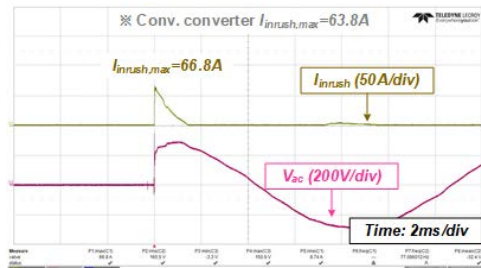


그림 4. 초기 기동시 돌입 전류

가진다. 또한 본 논문에서 회로에 대한 검증은 CrM PFC에 대해 진행했지만 인터리브드 CrM, CCM PFC, 인터리브드 CCM PFC 등 다양한 PFC 토폴로지에 대해서도 동일하게 적용 가능하다는 장점을 가진다. 결론적으로 제안하는 회로는 TV 파워, 서버 파워 등의 어플리케이션에서 기계식 릴레이를 대체하는 회로로써 유용하게 사용될 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] J. Y. Lee and H. J. Chae, "6.6-kW onboard charger design using DCM PFC converter with harmonic modulation technique and two-stage dc/dc converter," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 3, pp. 1243-1252, Mar. 2014
- [2] Y. Jeong, M. H. Park and G. W. Moon, "High-Efficiency Zero-Voltage-Switching Totem-Pole Bridgeless Rectifier With Integrated Inrush Current Limiter Circuit," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 67, no. 9, pp. 7421-7429, Sept. 2020