

# 전류 연속 모드로 구동이 가능한 Interleaved Totem-Pole 부스트 역률 보상 회로

이제현, 장바울, 강상우, 조보형  
 서울대학교 전기 정보 공학부

## A CCM Interleaved Totem-pole Boost Bridgeless Power Factor Correction Circuit

Je Hyun Yi, Paul Jang, Sang Woo Kang, Bo Hyung Cho  
 School of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

### ABSTRACT

Totem pole 역률 보상 회로는 스위치 body diode의 reverse recovery 문제로 인해 전류 불연속 모드 혹은 임계 도통 모드로 동작 시키는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 전류 연속 모드로 동작이 가능한 새로운 interleaved totem pole 역률 보상 회로를 제안한다. 제안하는 interleaved totem pole 역률 보상 회로는 각 스위치 leg 사이에 보조 인덕터를 연결함으로써 스위칭 시에 body diode에 흐르는 전류를 없애 전류 연속 모드로 동작이 가능하다. 또한 보조 인덕터로 인해 스위치의 영 전압 스위칭도 가능하게 된다. 제안하는 interleaved totem pole 역률 보상 회로는 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

### 1. 서론

부스트 역률 보상 회로는 각종 가전 제품 및 충전기에 많이 사용되고 있다. 이에 따라 부스트 역률 보상 회로의 효율이 중요한 관심사가 되고 있다. 효율 개선 방안 중 역률 보상 회로의 앞단에 존재하는 diode bridge를 제거하는 bridgeless 방식이 많이 연구되고 있다. Bridgeless 방식 중 totem pole 구조는 동작이 간단하면서 common mode(CM) noise가 작기 때문에 많은 관심을 받고 있다.<sup>[1][2]</sup> 그러나 totem pole 역률 보상 회로는 전류 연속 모드로 동작 시 MOSFET body diode의 reverse recovery 문제로 인해 회로의 효율과 신뢰성을 하락시킬 수 있기 때문에 전류 불연속 모드 혹은 임계 도통 모드로 구동하는 것이 일반적이다. 하지만 전류 불연속 모드 혹은 임계 도통 모드는 전류의 첨두치가 실효값의 두 배 이상이기 때문에 대용량 회로에 사용하기가 적합하지 않다.

한편 중, 대용량에서 효율 개선을 위해 많이 사용하고 있는 방식은 회로를 병렬로 구성하여 시비율의 위상을 360/모듈수 만큼 차이 나게 구동하는 interleaving 방식이다. 이 방식을 사용하면 도통 손실 뿐 아니라 전류의 리플도 감소할 수 있어 중, 대용량 컨버터의 효율 개선을 위해 많이 사용한다.

본 논문에서는 전류 연속 모드로 동작 시킬 수 있는 새로운 interleaved totem pole 역률 보상 회로를 제안한다. 새로운 역률 보상 회로는 두 개의 스위치 leg 사이에 인덕터를 연결하여 스위칭 시점에 스위치의 body diode에 흐르고 있는 전류를 없앤다. 이를 통해 reverse recovery 문제를 해결하여 전류 연속 모드로 동작이 가능하게 할 뿐 아니라 영 전압 스위칭도 가능

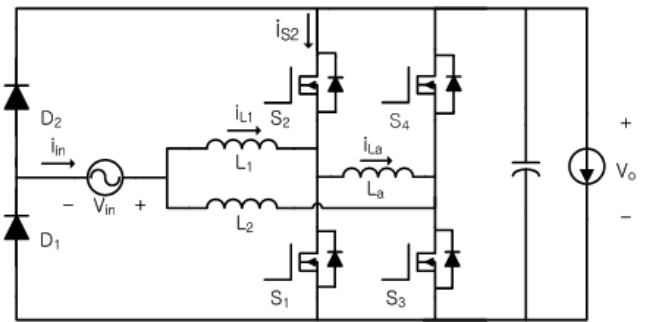


그림 1 제안하는 전류 연속 모드 totem pole 역률 보상 회로  
 Fig. 1 A proposed CCM totem-pole PFC circuit

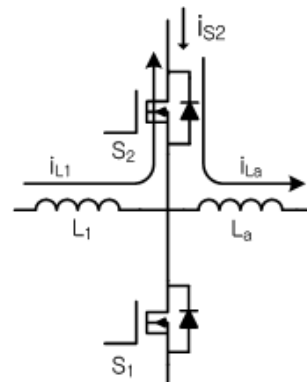


그림 2 S1와 S2 leg와 인덕터의 전류  
 Fig. 2 Current of S1 and S2 leg and inductors

하다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 회로의 동작을 확인한다.

### 2. 제안하는 회로의 구동 방식

그림 1은 제안하는 interleaved totem pole 역률 보상 회로이다. 제안하는 회로는 기존의 interleaved totem pole 역률 보상 회로에서 각 스위치 leg의 사이에 보조 인덕터 La를 추가한 구조이다. 입력 전압이 0보다 클 때는 S1과 S3가 주 스위치의 역할을 하고 S2와 S4가 보조 스위치의 역할을 하며 입력 전압이 0보다 작을 때는 반대 역할을 한다. 다이오드 leg는 입력 전압의 극성에 따라 도통이 결정되어 입력 전압의 주파수로 동작한다. 입력 전압이 양이면 D1이, 입력 전압이 음이면 D2가 도통된다. 기존의 interleaved totem pole 역률 보상 회로는 전류 연속 모드로 동작 시 주 스위치가 켜지는 시점에 보조 스위

치의 body diode로 전류가 도통하고 있어서 reverse recovery 문제가 발생한다.

동작이 대칭적이기 때문에 입력 전압이 양수인 경우에 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>가 이루고 있는 leg에 대해서만 기술한다. 제안하는 회로에서 L<sub>a</sub>의 양단에는 S<sub>1</sub>과 S<sub>4</sub> 혹은 S<sub>2</sub>와 S<sub>3</sub>가 동시에 켜짐에 따라 출력 전압이 인가되고 그에 따라 L<sub>a</sub>에 전류가 흐르게 된다. 그림 2는 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub> leg와 L<sub>1</sub>, L<sub>a</sub>에 흐르는 전류를 도시한다. i<sub>La</sub>가 i<sub>L1</sub>보다 크면 i<sub>S2</sub>가 양이 되어서 reverse recovery 문제가 발생하지 않는다. 따라서 이 조건을 만족할 때 totem pole 역률 보상 회로를 전류 연속 모드로 구동할 수 있다. 또한 이 조건을 만족하게 되면 보조 스위치가 꺼질 때 보조 스위치로 흐르던 전류가 주 스위치의 body diode로 도통하게 되어서 주 스위치가 영 전압 스위칭으로 동작한다. 보조 인덕터에 전압이 인가되는 구간은 시비율이 0.5보다 작은 경우는 시비율, 시비율이 0.5보다 큰 경우는 (1 - 시비율)이므로 수식이 달라진다. 이를 정리하면 L<sub>a</sub>의 최댓값은 식 1과 같다.

$$L_a < \frac{DV_0T}{\left(\frac{I_{in}}{2} + \frac{V_{in}}{L}DT\right)} \quad \text{when } D < 0.5 \quad (1)$$

$$L_a < \frac{D'V_0T}{\left(\frac{I_{in}}{2} + \frac{V_{in}}{L}DT\right)} \quad \text{when } D > 0.5$$

### 3. 시뮬레이션 결과

표 1과 같은 제원을 가지는 역률 보상 회로를 통해 동작을 검증하였다. 그림 3은 시뮬레이션 결과이다. 입력 전압이 0보다 큰 경우를 시뮬레이션 하였으며 파형은 각각 출력 전압, 보조 스위치 S<sub>2</sub>의 드레인 소스 전압과 전류, 주 스위치 S<sub>1</sub>의 드레인 소스 전압과 게이트 소스 전압, 보조 인덕터 L<sub>a</sub>의 전류, 그리고 메인 인덕터 L<sub>1</sub>과 L<sub>2</sub>의 전류 파형을 도시하였다. 주 스위치가 켜지는 시점인 t<sub>2</sub>에 보조 스위치의 body diode에 흐르는 전류가 없으면 reverse recovery 문제가 발생하지 않는다. 그림 2의 보조 스위치의 전류 i<sub>S2</sub>는 이미 t<sub>1</sub>에 양이 되어서 이후에 body diode로 도통하지 않는다. 따라서 스위칭 시점인 t<sub>2</sub>에 전류가 0보다 크게 되어 body diode로 흐르는 전류가 없다. 또한 V<sub>gs1</sub>과 V<sub>s1</sub>에서 확인할 수 있듯이 주 스위치가 영 전압 스위칭으로 동작하고 있다. 그림 3에서 보조 스위치는 reverse recovery 문제가 없이 스위칭이 가능하며 메인 스위치는 영 전압 스위칭으로 동작함을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 전류 연속 모드로 동작이 가능한 interleaved totem pole 역률 보상 회로를 제안하였다. 기존의 interleaved totem pole 역률 보상 회로의 두 개의 스위치 leg 사이에 보조 인덕터를 연결하여 스위치의 body diode로 도통하는 전류를 상쇄시켜 주어서 전류 연속 모드 totem pole 역률 보상 회로에서 발생하는 reverse recovery 문제가 발생하지 않도록 했다. 또한 보조 인덕터를 추가함으로써 메인 스위치가 영 전압 스위칭이 가능하다. 제안하는 회로는 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

표 1 제안하는 회로의 검증을 위한 시뮬레이션 값  
Table 1 Simulation parameters of proposed circuit

변수	값	변수	값
출력 파워	1 kW	입력 전압	220 V <sub>ac</sub>
출력 전압	380 V <sub>dc</sub>	입력 인덕터	400 μH
출력 Cap.	800 μF	보조 인덕터	200 μH
주파수	100 kHz		

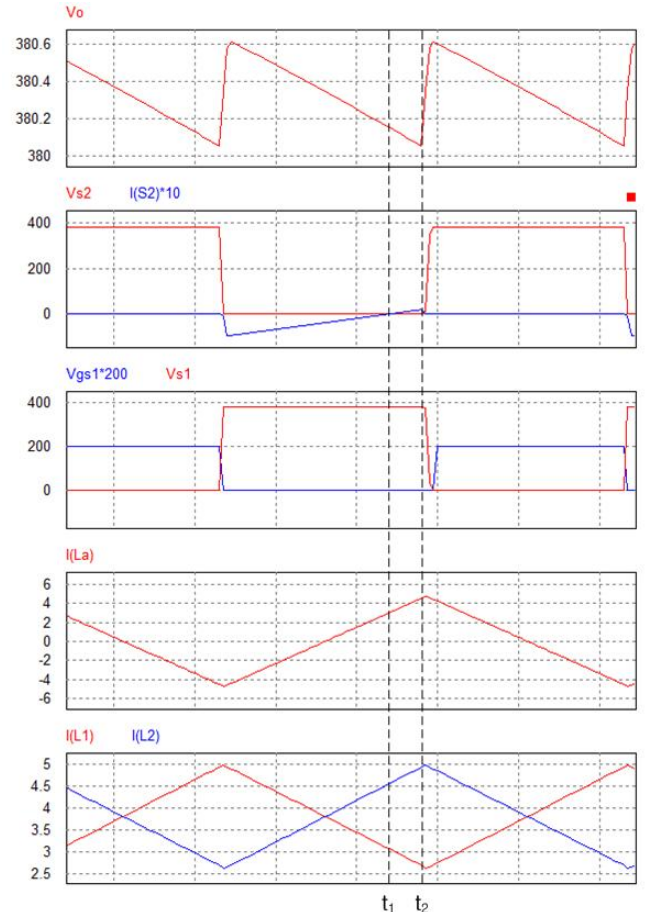


그림 3 제안하는 전류 연속 모드 totem-pole 역률 보상 회로의 시뮬레이션 파형

Fig. 3 A simulation waveform of proposed CCM totem-pole PFC

### 참고 문헌

- [1] Jae Hyun Kim, Gun Woo Moon, and Jae Kuk Kim, "Zero Voltage Switching Totem Pole Bridgeless Boost Rectifier with Reduced Reverse Recovery Problem for Power Factor Correction", IPEMC, Vol. 2, pp. 1044-1048, 2012, June.
- [2] Bin Su and Zhenhyu Lu, "An Interleaved Totem Pole Bridgeless Boost Rectifier with Reduced Reverse Recovery Problem for Power Factor Correction", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 25, pp. 1406-1415, 2010, June.