

양방향 브리지리스 역률보상회로에 적합한 변류기 구조 및 제어방법에 관한 연구

김동관, 김건우, 정연호, 문건우

카이스트

Study on Structure and Control Method of Current Transformer for Bidirectional Bridgeless Boost PFC

Dong Kwan Kim, Keon Woo Kim, Yeonho Jeong, and Gun Woo Moon

KAIST

ABSTRACT

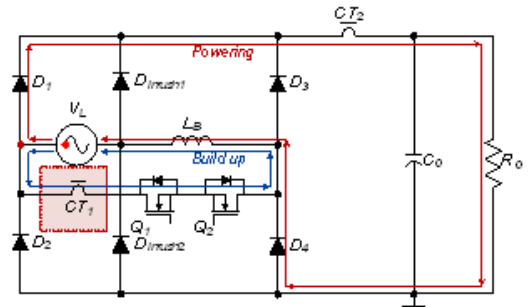
본 논문에서는 양방향 브리지리스 역률 보상회로의 구동을 위해 필수적인 전류감지용 변류기 구조에 대해 연구한다. 이를 통해, 양방향 브리지리스 역률보상회로의 기존 전류감지 방법들을 분석하고, 전류기의 전류감지성능을 최적화 할 수 있는 방법에 대해 연구한다. 또한, 이를 바탕으로 얻어진 변류기와 동일한 전력품질을 가지면서 실제 산업에 적용할 수 있는 양방향 브리지리스 역률보상회로용 변류기 구조 및 제어방법을 제안한다.

1. 서론

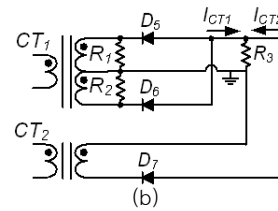
전류 연속 모드 브리지리스 부스트 역률보상회로는 (CCM Bridgeless Boost PFC) 브리지 다이오드가 제거되어 다이오드에서 발생하는 큰 도통 손실을 저감할 수 있다. 하지만, 이때, 브리지리스 역률보상회로 구조에 따라 EMI 특성 및 사용할 수 있는 소자의 특성이 결정되기 때문에, EMI 규제 만족 및 비용 절감 등을 고려하면 사용할 수 있는 브리지리스 역률보상회로의 수는 매우 제한적이다 [1]. 대표적인 브리지리스 역률보상회로로는 그림 1. (a)와 같이 양방향 브리지리스 역률보상회로가 (Bidirectional Bridgeless PFC) 있다. 양방향 브리지리스 역률보상회로는 다이오드 D_3 및 D_4 의 느린 역회복 특성을 이용해 높은 EMI 규제를 만족시킬 수 있다 [2].

브리지리스 역률보상회로는 회로의 특성상 홀센서나 변류기를 이용해 인덕터 전류를 감지한다. 이 때, 홀센서에서 제대로 된 인덕터 전류 값을 얻기 위해서는 감지된 전압 값에서 DC 오프셋 전압을 제거하고, 정류를 하는 등 후처리가 필요하다. 따라서 디지털 제어 방식에서는 쉽게 적용이 가능하지만, 아날로그 제어 방식에서는 복잡한 회로가 추가되기 때문에 적합하지 않다. 이러한 이유로, 그림 1. (a). 및 (b).에서 볼 수 있듯 변류기를 이용해 전류를 감지하는 방식이 널리 사용된다. 이 때, 변류기를 사용하게 되면, 변류기의 자화 인덕터에서 발생하는 자화전류로 인해 감지전류의 오차가 크게 발생할 수 있다. 따라서, 자화 인덕터로 인한 전류를 제거해야한다.

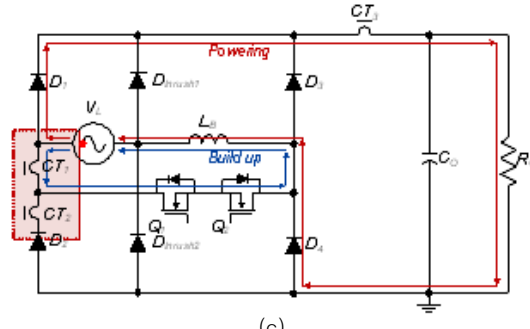
본 논문에서는, 실제 산업용 제품에 적용할 수 있는 양방향 브리지리스 역률보상회로용 변류기 구조에 대해 연구한다. 이를 위해, 기존에 사용 되는 변류기 구조에 관해 분석하고, 실제 산업에 적용할 수 있는 양방향 브리지리스 부스트 역률보상회로에 적합한 변류기 구조 및 제어 방법 제안한다.



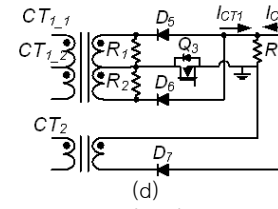
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 1. 양방향 브리지리스 역률보상회로.
(a)기존 변류기를 포함한 회로. (b)기존 변류기 구조.
©제안된 변류기를 포함한 회로. (d)제안 변류기 구조.

2. 제안하는 양방향 브리지리스 부스트 역률보상회로용 변류기 구조 및 제어 방법

일반적으로 전류 연속 모드의 브리지리스 부스트 역률보상 회로에서는 부스트 인덕터 전류를 감지하기 위해 변류기를 사

용한다. 이 때, 변류기의 자화인덕터의 포화를 (saturation) 막고, 2차측으로 넘어가는 감지전류의 왜곡을 없애기 위해 변류기의 자화전류는 매 주기마다 0으로 리셋 되어야한다. 이를 위해, 일반적인 변류기는 그림 1. (a) 및 (b)와 같이 부스트 스위치가 켜진 빌드업 (build up) 구간동안 전류를 감지하는 변류기와 (CT_1) 출력 다이오드가 켜진 파워링 (powering) 구간의 전류를 감지하는 또다른 변류기를 (CT_2) 각각 사용해야한다. 하지만, 이러한 변류기 구조는 매우 일반적임에도 불구하고 기존에 존재하는 특허로 인해 실제로 사용하기 어려워 양방향 브리지리스 역률보상회로의 산업적 적용에 큰 제약사항이 있다.

제안하는 변류기 구조는 그림 1. (c) 및 (d)와 같다. 이 때, CT_{L1} 을 통해 빌드업 전류가 2차측으로 전달되며, 입력이 음의 방향일 경우 파워링 구간의 전류가 CT_{L1} 을 통해 전달되는 것을 막기위해 CT_{L2} 를 사용한다.

하지만, CT_{L1} 과 CT_{L2} 가 2차측과의 턴비가 달라지게 되면 파워링 전류가 완전히 상쇄되지 못하고 일부가 2차측으로 넘어가게 되어 파워링 구간동안 CT_1 의 자화전류가 0으로 리셋되지 못하고 지속적으로 증가하게 되어 인덕터 전류를 변류기에서 제대로 센싱할 수 없게 된다. 따라서, 본 변류기 구조의 2차측에 변류기용 스위치 (Q_3) 구조를 삽입하고, 부스트 스위치의 게이트 신호와 동기 제어하여 이러한 문제를 개선할 수 있다.

이 때, 빌드업 구간의 인덕터 전류를 정확히 얻기 위해서 Q_3 의 정확한 제어는 매우 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 게이트 드라이버에서 발생하는 지연시간을 이용해 Q_3 가 켜진 후 부스트 스위치를 켜고, 부스트 스위치가 꺼진 후 Q_3 를 끄도록 제어한다. 제안된 제어 방식을 적용할 경우, 파워링 전류의 차단을 위해 사용한 Q_3 로 인해 스위치 교차 구간의 교차 전류를 정확히 받지 못하는 문제점을 개선하여, 기존의 변류기와 동등한 전류 감지 성능을 가져 올 수 있다.

4. 실험 결과

제안된 회로의 효율성을 입증하기 위해 실제 전류 품질을 측정하였으며, 그림 2와 그림 3에서 볼 수 있듯 스위치가 사용된 제안된 변류기 구조 및 제어 방식을 사용함으로써 기존 변류기와 동등한 전류품질을 얻는 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 변류기 구조 및 제어 방법을 양방향 브리지리스 부스트 역률보상회로에 적용하면 높은 EMI 특성을 요구하면서 높은 전력용량을 갖는 제품에 널리 적용할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 양방향 브리지리스 역률보상회로에 적합한 전류감지용 변류기에 대해 연구하였다. 또한, 실제 산업에 적용할 수 있으면서도 기존과 동등한 높은 전류 품질을 가질 수 있는 변류기 구조 및 제어 방식을 제안하였고, 그 성능을 검증했다. 이를 바탕으로, 서버용 전원장치, 차량 탑재형 충전기와 같이 높은 전력품질을 요구하는 제품에 적합한 양방향 브리지리스 부스트 역률보상회로가 실제 응용분야에서 널리 쓰일 수 있다.

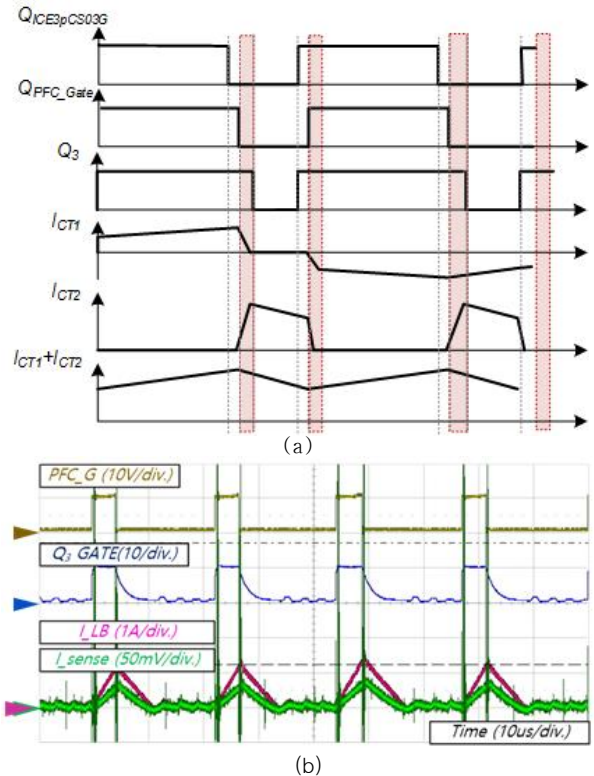


그림 2. 제안된 변류기의 동작 파형. (a)동작 파형. (b)실험 파형.

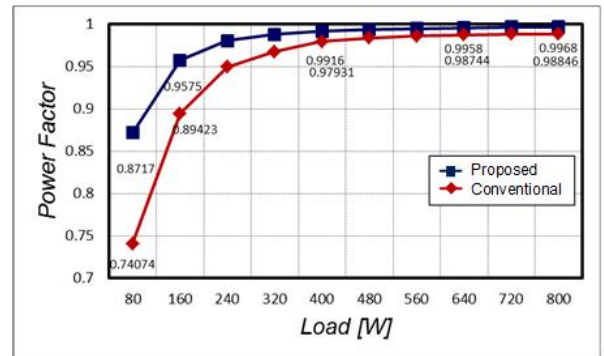


그림 3. 측정된 역률 그래프.

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF 2016R1A2B2010328).

참고 문헌

- [1] H. Ye, Z. Yang, J. Dai, C. Yan, X. Xin, and J. Ymg, "Common Mode Noise Modeling and Analysis of Dual Boost PFC Circuit."
- [2] L. Huber, Y. Jang, and M. M. Jovanovic, "Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers," IEEE Trans. on Power Electron., vol. 23, no. 3, pp. 1381-1390, 2008.