

PSIM을 이용한 고효율 역률개선회로의 손실분석

성원용, 김윤성, 조남진, 이병국
성균관대학교 정보통신대학

Loss Analysis of High Efficiency PFC Circuit Using PSIM

Won Yong Sung, Yun Sung Kim, Nam Jin Cho, and Byoung Kuk Lee
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 전기자동차의 탑재형 충전기 (OBC, On Board Charger)에 적용 가능한 고효율 역률개선회로 (PFC, Power Factor Correction Circuit)들의 손실을 분석한다. 평균전류모드 제어를 이용하여 conventional boost PFC, interleaved boost PFC, semi bridgeless PFC, totem pole PFC, pseudo totem pole PFC, back to back bridgeless PFC, interleaved bridgeless PFC 등 7개의 토폴로지를 3.3kW OBC 기반으로 설계하고, 각 토폴로지의 손실을 수식과 PSIM의 thermal module을 이용하여 분석한다. 분석한 결과를 토대로 제시한 토폴로지의 효율 및 성능을 비교한다.

1. 서론

최근 전력전자와 배터리 기술의 발전에 의해 전기자동차가 상용화되는 단계에 이르렀다. 전기자동차에는 OBC가 실장되는데, 이러한 OBC는 크게 계통전압을 정류 및 승압하는 AC DC부와 절연 및 강압하는 DC DC부로 구성된다. 특히 AC DC부는 국제 표준 규격인 IEEE Std. 519 1992에 의해 고조파와 역률규격에 따라야 한다. 일반적으로 AC DC부는 이러한 AC DC부에는 Active PFC가 사용된다. Conventional Boost PFC는 산업용으로도 널리 이용되어 성능을 향상시키기 위한 방법이 많이 연구되어 왔다. 특히 이를 개량하여 효율을 향상시키는 방법에 대한 연구가 많이 진행되어왔고 더 높은 효율을 갖는 다양한 토폴로지들이 제안되었다.

본 논문에서는 PFC로 사용되는 7개의 토폴로지를 선정하여 CCM에서 동작했을 때, 각 토폴로지들의 소자들에서 전력손실에 영향을 미치는 요인을 분석한다. 또한 OBC에 적용되는 3.3kW 정격으로 각 토폴로지를 적용한 시스템을 설계한다. PSIM을 통한 효율분석을 수행한다.

2. PFC 토폴로지의 손실분석

2.1 PFC 토폴로지

그림 1은 CCM으로 동작하는 7가지 Boost PFC 토폴로지들이다. 이 토폴로지들은 논문들에서 소개된 토폴로지들이다. 그림 1의 (b)~(f)는 (a)의 Conventional Boost PFC보다 높은 효율을 얻기 위해 고안된 회로들이다.

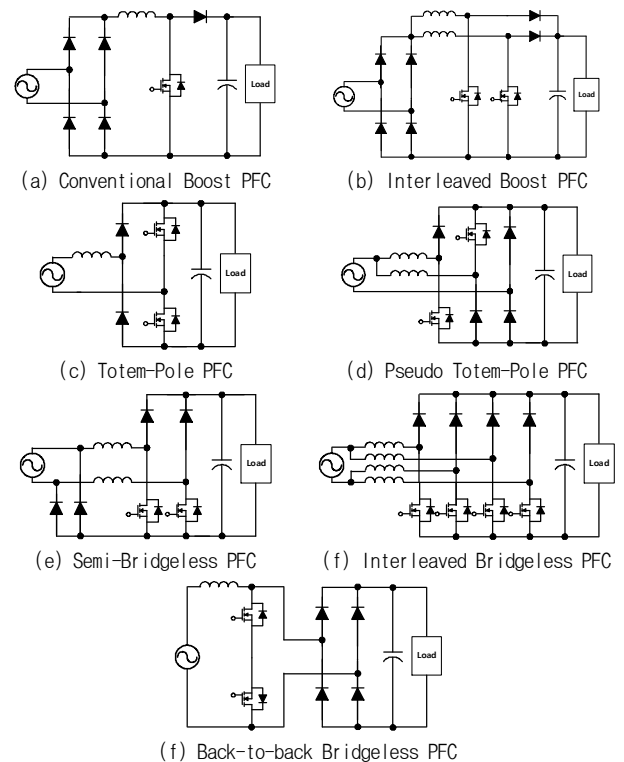


그림 1 PFC 토폴로지
Fig. 1 PFC topologies

Conventional Boost PFC는 가장 기본적인 형태로 정류기와 boost 컨버터의 직렬 연결로 구성된다.

Interleaved Boost PFC는 Conventional Boost PFC를 2병렬로 연결한 구조로 각 스위치에 흐르는 전류의 크기가 절반으로 감소하여 손실을 저감한다.

Totem Pole PFC는 전류 도통 경로에서 전력반도체 소자의 수량을 줄임으로써 Conventional Boost PFC에 비해 손실이 저감된다. Conventional Boost PFC는 스위치의 on off 여부와 무관하게 전류 도통 경로에 항상 3개의 전력반도체 소자가 위치하지만, Totem Pole PFC의 경우에는 항상 2개의 전력반도체 소자에만 전류가 도통하여 손실이 저감된다.

Pseudo Totem Pole PFC은 Totem Pole PFC와 동일한 방식으로 손실을 저감한다. 하지만 일반적으로 특성이 좋지 않은 FET의 역병렬 다이오드 대신에 성능이 좋은 다이오드를 사용

함으로써 Totem Pole PFC에 비해 효율을 상승시킬 수 있다.

Semi bridgeless PFC는 일반적인 Bridgeless PFC에 순환 다이오드를 추가하여 도통손실을 저감하고, 노이즈를 제거하기 위한 토폴로지이다.

Interleaved Bridgeless PFC는 Bridgeless PFC를 Interleaving 방식으로 구성하고 제어한 토폴로지이다. 4개의 인덕터를 사용함으로써 코어의 사이즈를 줄이고, 각 전력반도체 소자에 흐르는 전류의 크기도 절반 이하로 감소하여 도통손실을 저감시킨다^[1].

마지막으로 Back to back Bridgeless PFC는 Bridge를 완전히 제거한 형태의 PFC로, Conventional Boost PFC에서 출력 다이오드에 흐르는 전류의 크기가 정류기에 흐르는 전류보다 작은 것을 이용하여 입력전류가 아닌 출력전류를 정류하는 방법으로 도통손실을 저감시킨다.

2.2 PFC 토폴로지의 손실분석

토폴로지 분석을 위해 정격 전력 3.3kW 기준으로 시스템을 설계하였다. 정격 입력전압은 220 Vac, 정격 출력 전압은 380 V, 스위칭 주파수는 50kHz로 설계하였다. 정류 다이오드는 LN25XB60을 사용하였고 MOSFET은 FCH47N60을 사용하였다. FRD는 IDP23E60을 사용하였으며, 인덕터는 정격 부하의 10%부하에서 CCM으로 동작하도록 설계하였다.

PFC의 각 부에 흐르는 전류의 크기는 Conventional Boost PFC에서의 전류 실효값을 계산한 식 (1)~(3)을 응용하여 계산할 수 있다.

$$I_{rect} = \frac{I_{in}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$I_{FET} = I_L \sqrt{1 - \frac{8\sqrt{2} V_{in}}{V_{out}}} \quad (2)$$

$$I_{FRD} = I_L \sqrt{\frac{8\sqrt{2} V_{in}}{V_{out}}} \quad (3)$$

설계한 시스템의 각 전력반도체 소자에 흐르는 전류의 크기는 그림 2와 같다.

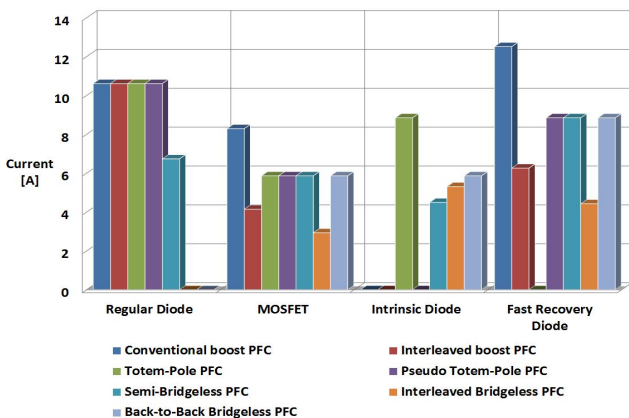


그림 2 전력반도체 소자에 흐르는 전류의 비교 (Vin = 220 Vac, Vout = 380 V, Pout = 3.3 kW)

Fig. 2 Comparison of current flowing through the power semiconductor devices (Vin = 220 Vac, Vout = 380 V, Pout = 3.3 kW)

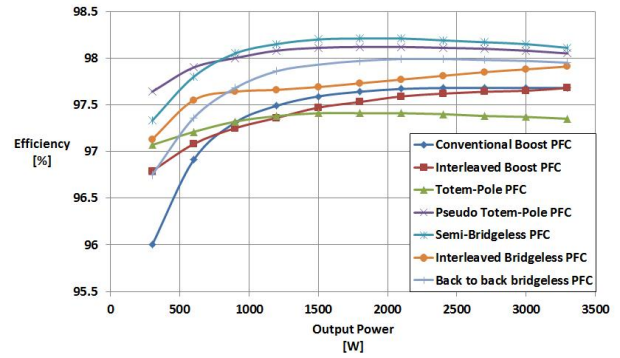


그림 3 시뮬레이션을 이용하여 계산한 효율곡선
Fig. 3 Efficiency curve evaluated by simulation

또한 그림 3은 PSIM을 이용하여 구한 각 토폴로지의 효율곡선이다.

그림 2에서 보인 바와 같이 7개 토폴로지의 전력반도체 소자에 흐르는 전류의 크기는 매우 유사하다. 하지만 그림 3에 나타난 효율곡선을 보면 양상이 전류크기의 양상과 다름을 알 수 있다. 이런 결과가 나타난 이유는 Bridgeless 토폴로지들에서 역병렬 다이오드의 용도로 알 수 있다. Totem Pole PFC를 제외한 Bridgeless 토폴로지들이 스위칭 특성이 좋지 않은 역병렬 다이오드를 입력 측 순환전류의 경로로 이용하는 것과는 달리 Totem Pole PFC의 경우 출력 측 순환전류의 경로로 이용하여 스위칭 손실이 크게 발생하기 때문에 다른 토폴로지들에 비해 효율이 낮게 나타났다. Semi Bridgeless PFC의 경우 900W 이상의 영역에서 효율이 우수하게 나타나는데 이는 입력 측 순환 전류를 정류 다이오드와 MOSFET의 역병렬 다이오드로 나누어 도통하여 손실이 저감되었기 때문이다. 또한 Interleaved Bridgeless PFC의 경우 개별 소자에 흐르는 전류의 크기는 타 토폴로지들에 비해 낮지만, 전력반도체 소자의 수와 인덕터의 수가 타 토폴로지에 비해 많아 효율을 많이 향상하지 못하는 것으로 나타났다.

3. 결론

본 논문에서는 고효율 역률개선회로에 사용되는 Bridgeless 토폴로지들의 손실을 분석하여 전체 시스템의 효율을 비교하였다. 이번 연구에서는 특정 조건에서 손실을 분석하였다. 따라서 향후에는 시스템 요구조건에 따른 최적 Bridgeless 토폴로지의 선정방법에 대해 연구할 계획이다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부의 재원으로 수행된 산업원천기술개발사업 (No. 10039318 2012 12)의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] F. Musavi, W. Eberle, and W. G. Dunford, "A high performance single phase bridgeless interleaved PFC converter for plug in hybrid electric vehicle battery chargers," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 47, no. 4, pp. 1833-1843, Jul./Aug. 2011.