

DC-DC 컨버터의 동기 및 비동기 스위칭 방식에 따른 효율분석

이나영, 조성은, 조영훈
건국대학교 전력전자연구실

Efficiency Analysis of DC-DC Converter according to Synchronous and Asynchronous Switching

Nayoung Lee, Soung eun Jo, Younghoon Cho
Power Electronics Lab.
Konkuk Univ.

ABSTRACT

최근 태양광, Energy Storage System(ESS) 등의 신재생에너지의 발전과 직류기반의 디지털 기기가 늘어나면서 직류전력망에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 DC DC 컨버터의 필요성이 증가하고 있다. DC DC 컨버터의 경우 동기식과 비동기식의 스위칭 방식을 고려할 수 있으며, 각 방식에 따라 전류가 다이오드 혹은 스위치를 통해 흐르게 된다. 본 논문에서는 동기 및 비동기 컨버터의 효율을 실제 실험을 통하여 비교 분석하였다.

1. 서론

최근 전기차(EV)와 신재생에너지의 보급이 확대됨에 따라 직류 전원에 대한 관심이 증가하고 있다. 미국의 EPRI(Electric Power Research Institute)에서는 2020년 직류 배전의 보급률이 현재의 20%에서 50%까지 증가할 것으로 예상하고 관련 연구를 진행 중이며 전 세계적으로도 직류배전 시스템에 대한 연구를 활발히 진행 중이며 이에 대한 관심이 높다.^[1] DC DC 컨버터는 전원단의 주요 부품으로도 사용되는데, 가전 업계에서 가장 많이 쓰이는 컨버터는 벅 컨버터로 많은 기기의 전원 및 배터리 충전회로로 사용되고 있다. 본 연구에서는 스위칭 방식과 부하의 변화에 따른 벅 컨버터의 효율을 다룰 것이다. 전력 분석기로 효율을 계산하여 고효율의 DC DC 벅 컨버터 스위칭 조건을 찾고자 한다.

2. 스위칭 방식에 따른 벅컨버터의 구성 및 동작

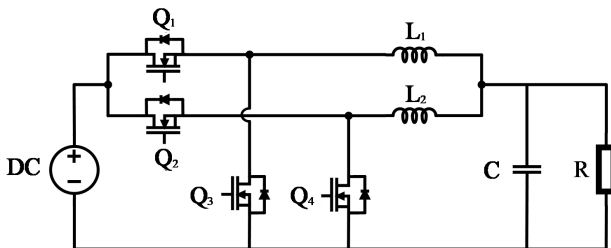


그림 1. 인터리브 벅컨버터의 구성
Fig. 1. Interleaved Buck Converter.

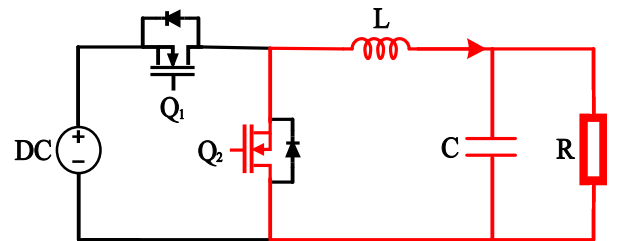


그림 2. 동기식 벅 컨버터의 Q1이 OFF 시 동작모드
Fig. 2. Operation mode of Synchronous Buck Converter(Q1 off).

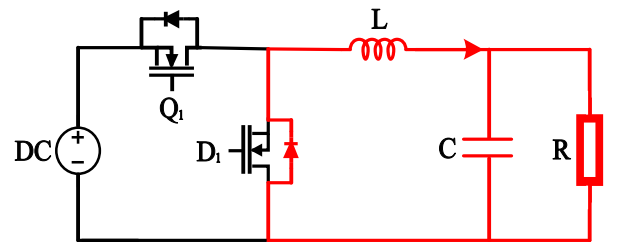


그림 3. 비동기식 벅 컨버터의 Q1 OFF 시 동작모드
Fig. 3. Operation mode of Asynchronous Buck Converter(Q1 off).

그림 1은 실험에 사용한 Interleaved Buck Converter의 구조로, 네 개의 파워 MOSFET과 두 개의 인덕터 그리고 1개의 커패시터로 구성된다. 인터리브 방식으로 회로를 구성하면 위상차가 180°인 인덕터로 인해 상쇄작용이 일어난다. 이로 인해 기존의 벅컨버터 방식과 비교했을 때 출력 리플 전류를 줄이는 효과가 나타나므로 보다 더 우수한 효율을 기대할 수 있다.^[2]

그림 2는 동기식 벅컨버터의 회로도이다. MOSFET Q1은 회로의 입력 전압에 직접 연결된다. Q1이 ON되면 전류는 Q1과 LC 필터를 통해 부하로 흐르게 된다. Q1이 OFF 하고 Q2가 ON 되면 그림 2에 나타난 것과 같이 전류는 Q2의 역병렬 다이오드가 아닌 MOSFET의 채널을 통해 전류가 흐르게 된다.

그림 3은 비동기식 벅 컨버터의 구조를 나타낸 것이다. MOSFET Q1이 ON일 때는 동기식 벅 컨버터와 비동기식 벅 컨버터가 같게 동작하므로 비동기식 벅 컨버터의 Q1이 OFF 일 때의 동작모드만을 나타낸 것이다. Q1이 OFF 하면 다이오드로 전류가 흐르며 LC 필터의 충전된 전류가 부하로 공급되며 이는 충전된 전류가 방전될 때까지 계속된다. 동기식 벅 컨버터의 MOSFET Q2를 항상 OFF 시킨다면 다이오드만 동작

하게 되어 비동기식 벅 컨버터와 같이 동작한다는 점을 고려하여 실험을 진행하였다.

3. 실험 결과 및 분석

Interleaved Buck Converter를 이용하여 스위칭 방식에 따른 벅 컨버터의 효율 차이를 확인하였다. 400V의 일정한 입력 전압을 인가하고 부하의 조건은 일정하게 하였다. 출력전력을 0.3KW씩 증가시키며 효율을 측정하였으며, 스위칭 방식을 동기식, 비동기식으로 하여 각각 실험을 진행하였다.

컨버터의 입출력에 대한 효율은 요꼬가와사의 WT1800E로 측정하여 그림 3에 나타내었고, 스위칭손실로 인한 열 발생량을 확인하기 위해 FLUKE사의 FLK Ti100으로 스위치 4개의 열화상데이터를 측정하여 그림 4에 나타내었다.

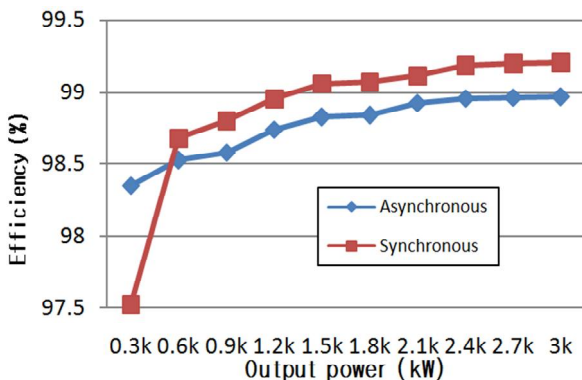


그림 4. 동기식과 비동기식 벅 컨버터의 효율 비교

Fig. 4. The comparison of the efficiency between Synchronous and Asynchronous Buck Converter.

그림 4는 벅 컨버터를 동기식과 비동기식으로 스위칭 하였을 때, 부하에 따른 효율의 변화를 보여주고 있다. 출력전력을 0.3kW부터 3kW까지 증가시켰을 때, 출력전력이 작은 초기에는 비동기식 벅 컨버터가 동기식 벅 컨버터에 비해 높은 효율을 보였으나 출력전력이 증가하면서 동기식 벅 컨버터가 비동기식 벅 컨버터 보다 높은 효율을 보이는 것을 확인하였다. 또한 동기식 벅컨버터의 경우 전력을 3kW까지 높였을때 99.87%의 고효율로 동작하는 것을 확인할 수 있다.

비동기식 벅 컨버터와 동기식 벅 컨버터의 손실이 다른 주요 요인은 그림 1의 Q3과 Q4에서의 전류 흐름의 차이 때문으로 보인다. 동기식의 경우 스위치로, 비동기식의 경우 다이오드로 전류가 흐르기 때문에 각 소자의 손실 정도가 다르다. 실험에 사용된 MOSFET 소자 C3M0065090D의 데이터시트에 의하면 MOSFET의 $R_{DS(on)}$ (Drain Source On State Resistance)은 25℃의 조건에서 65mΩ 이고, MOSFET내부 다이오드의 Diode Forward Voltage(VSD)는 4.8V이다. $R_{DS(on)}$ 이 매우 작기 때문에 아주 큰 전류가 흐르지 않는 이상 MOSFET 채널을 통한 voltage drop 보다 다이오드를 통한 voltage drop 이 더 크다. 따라서 MOSFET을 통해 전류가 도통되는 동기식 벅컨버터에 비해 다이오드를 통해 전류가 도통되는 비동기식 벅 컨버터의 전력 손실이 더 큰 것으로 볼 수 있다.

그림 5는 동기식 벅컨버터와 비동기식 벅컨버터의 출력전력에 따른 온도변화를 나타낸 것이다. 낮은 출력 전력에서는 동기식과 비동기식의 벅컨버터의 스위치 온도가 거의 비슷하였지

만 출력전력을 높일수록 비동기식 스위치의 온도가 동기식 스위치보다 더 높게 측정되었다. 또한 출력 전력이 커질수록 두 스위치의 온도 차이가 점점 증가하는 것을 확인할 수 있다.

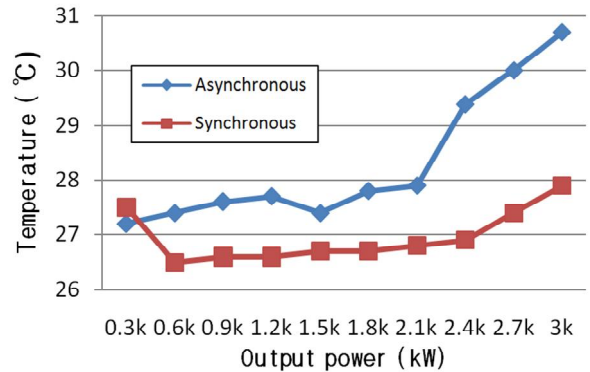


그림 5. 동기식과 비동기식 벅컨버터의 스위치 온도

Fig. 5. The comparison of the switch temperature between Synchronous and Asynchronous Buck Converter.

스위치의 온도 증가는 스위치의 전력손실에서 기인한다. 즉 스위치의 전력 손실이 증가할수록 더 많은 열에너지가 발생하기 때문에 스위치의 온도가 올라가는 것이다. 비동기식 컨버터는 출력전력이 높아질수록 온도가 빠르게 상승하는 반면에 동기식 컨버터는 그에 비해 느린 속도로 온도가 상승하였다. 즉 비동기식 컨버터는 출력전력이 높아질수록 더 높은 에너지 손실이 발생하고 이로 인해 효율은 더 낮아지게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 스위칭 방식에 따른 효율 분석을 하기 위하여, 벅 컨버터의 스위칭 방식에 따른 부하별 효율을 측정하였다. 다이오드를 통해 전류가 도통하는 비동기식 벅컨버터와 MOSFET을 통해 전류가 도통하는 동기식 벅컨버터의 효율을 비교하여, 동기식으로 벅컨버터를 스위칭 하는 것이 비동기식으로 스위칭 하는 것 보다 효율이 더 좋은 것을 확인하였다.

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 산업연계 교육활성화 선도대학(PRIME) 사업에서 지원을 받아 수행된 연구임

이 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 공학 교육혁신지원사업 『공학교육혁신센터』 사업으로 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] A. Emadi, S. S. Williamson, A. Khaligh, "Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems", IEEE Transactions on Power Electronics, vol.21, pp.567-577, 2006.
- [2] Il Oun Lee, Shin young Cho, Gun Woo Moon . Interleaved Buck Converter having low switching losses and improved step down conversion ratio. ICPE(ISPE), 2136-2143, 2011