2-Stage Boost 컨버터의 최대효율 운전을 위한 손실분석

김승민, 조철희, 김동희†
전남대학교 전기공학과

Loss Analysis for Maximum Efficiency Operation of 2-Stage Boost Converter

Seung-Min Kim, Cheol-Hee Jo, Dong-Hee Kim†
Department of Electrical Engineering, Chonnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 고승압이 가능한 2-Stage Boost 컨버터의 최대효율 운전을 위한 손실 분석을 수행한다. 2-Stage Boost 컨버터의 최대효율 지점 추정을 위해 앞단 Boost 컨버터의 출력 전압인 V_{mid}의 변동에 따른 2-Stage Boost 컨버터의 상세한 손실을 분석하며, 손실이 가장 적은 V_{mid}지점을 도출하였으며 실험을 통해 검증한다.

1. 서 론

최근 환경오염 문제들이 세계적인 이슈가 되면서 연료전지와 같은 친환경 에너지들이 주목을 받게 되었고, 그로 인해 친환경 전력 시스템의 수요가 증가하였으나 낮은 셀전압으로 인해 계통연계 동작을 위해 직렬로 다수의 셀을 연결하면 비용적인 측면에서 제한이 있어 주로 고승압이 가능한 컨버터를 사용한다. 고승압이 가능한 컨버터 중, 적은 소자를 사용하는 두 개의 Boost 컨버터를 직렬 연결한 그림 1의 2-Stage Boost 컨버터를 사용할 수 있다. 이러한 2-Stage 컨버터를 사용하는 경우 연료전지등 입력전압과 부하의 크기에 따라 Inductor, Switch 및 Diode에서 손실이 변화하게 되어 전체적인 효율이 복합적으로 변동하게 된다.

본 논문에서는 2-Stage Boost 컨버터의 최대효율 운전을 위한 분석을 수행한다. 효율을 분석하기 위해 컨버터 내부 2개의 Duty제어에 의해 가변하는 V_{mid}의 변화에 따라 컨버터 내부 소자들의 손실을 상세하게 분석하였으며, 목표하는 출력전압까지 컨버터가 최소한의 손실만을 발생하는 V_{mid}를 찾아 최대효율로 승압할 수 있는 운전점을 실험을 통해 확인하였다.

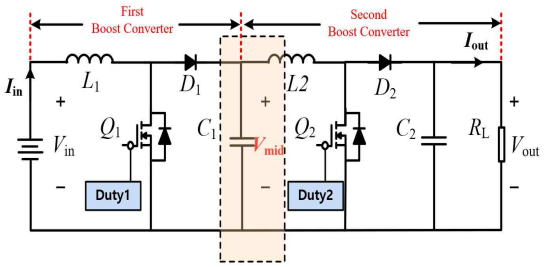


그림 1 2-Stage Boost 컨버터
Fig. 1 2-Stage Boost Converter

2. V_{mid} 전압 변동에 따른 컨버터 손실 분석

2-Stage Boost 컨버터의 손실은 대부분 Inductor, Switch, Diode에서 발생하며 앞단 Boost Converter 출력 전압 V_{mid}의 크기에 따라 각 컨버터에 흐르는 전류와 전압의 크기가 변하게 되어 컨버터 내부 소자들의 손실 크기가 변동하게 된다[1][2]. 그러므로 36[V]와 48[V]의 입력 전압 조건에서 V_{mid}전압의 크기 변동에 따라 2-Stage Boost 컨버터 효율 변화의 수식적 분석을 수행한다.

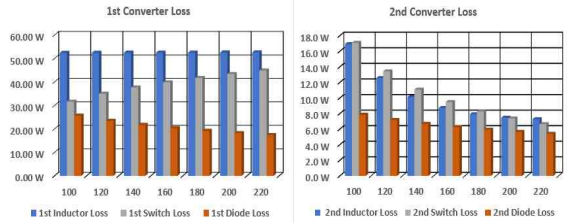


그림 2 입력 36[V], 출력 전력 1[KW] 에서의 2-Stage Boost 컨버터 손실
Fig. 2 2-Stage Boost converter loss at input 36[V], Output Power 1[KW]

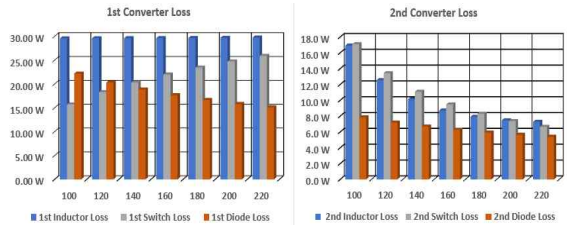


그림 3 입력 48[V] 출력 전력 1[KW] 에서의 2-Stage Boost 컨버터 손실
Fig. 3 2-Stage Boost converter loss at input 48[V] Output Power 1[KW]

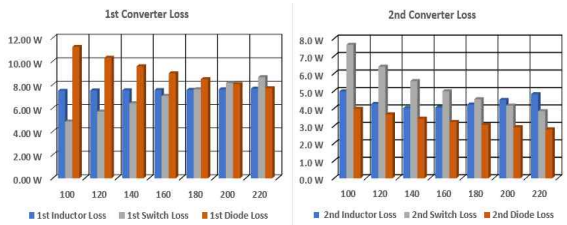


그림 4 입력 48[V]출력 전력 500[W] 에서의 2-Stage Boost 컨버터 손실
Fig. 4 2-Stage Boost converter loss at input 48[V] Output Power 500[W]

위 그림 2, 3, 4를 통해 컨버터의 각 소자는 V_{mid}의 변화에 따라 다양한 Loss가 발생하며, 특히 입력전압이 변화할 때마다 최대 효율 지점을 추정하는 V_{mid}값이 다름을 알 수 있다. 이는 입력전압 또는 부하에 따라 적절한 V_{mid}값 선정으로 2-Stage Boost 컨버터의 효율을 개선할 수 있음을 의미한다.

3. 실험 결과

2-Stage Boost 컨버터의 손실계산 결과 V_{mid}에 따라 손실 차이를 확인하였으며, 표 1을 이용해 내압 300[V]의 스위치를 사용하였으므로 100~220[V]의 V_{mid} 범위에서 입력 36[V], 출력 1[KW]와 48[V] 500[W], 1[KW]에서 컨버터가 최대 효율을 나타내는 V_{mid}지점을 실험을 통해 측정한다.

표 1 Cascaded Boost 컨버터 파라미터
Table 1 Cascaded Boost Converter parameters

L_1 [mH]	0.139	L_2 [mH]	0.791
C_1 [mF]	0.112	C_1 [mF]	0.4
f [Hz]	50000	V_{out} [V]	380
1^{st} Switch	IPX65R190CFDA	1^{st} Diode	IDW40G65C5
2^{nd} Switch	IRFP4868	2^{nd} Diode	IDW20G65C5B

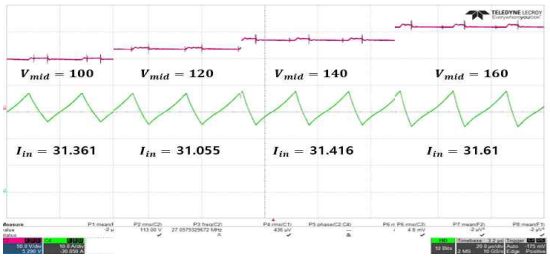


그림 5 입력 36[V], 출력 전력 1[KW]에서의 2-Stage Boost 컨버터 입력전류
Fig. 5 2-Stage converter input current at input 36[V], Output Power 1[KW]

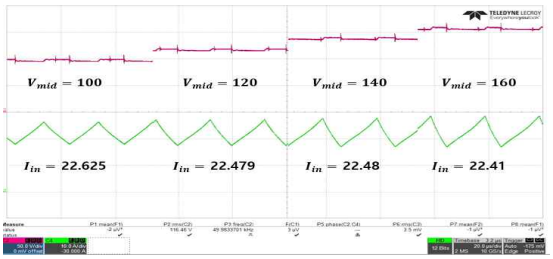


그림 6 입력 48[V], 출력 전력 1[KW]에서의 2-Stage Boost 컨버터 입력전류
Fig. 6 2-Stage converter input current at input 48[V], Output Power 1[KW]

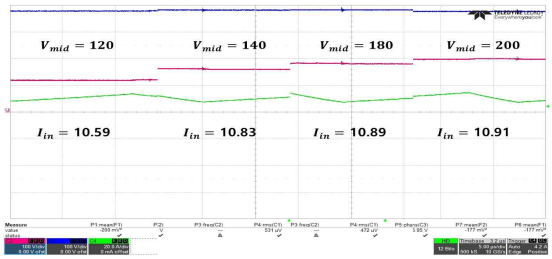
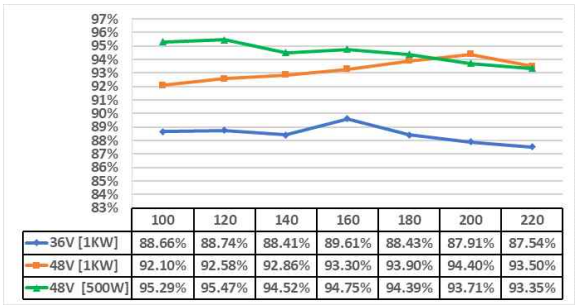


그림 7 입력 48[V], 출력 전력 500[W]에서의 2-Stage Boost 컨버터 입력전류
Fig. 7 2-Stage converter input current at input 48[V], Output Power 500[W]

그림 5와 그림 6은 1[KW]로, 그림 7은 500[W]출력으로 고정하여 실험을 통해 입력 전류 파형을 측정한 결과이다. 입력전압과 출력전압, 출력전력을 고정된 값으로 실험을 진행하였으며 실험 결과 V_{mid}값의 변동에 따라 입력전류의 변화를 확인할 수 있다. 입력 전류의 증가는 입력 전력의 증가를 나타내며 이는 동일한 전력을 출력하는데 이전보다 더욱 큰 전력을 소비하게 된다는 것을 의미한다. 반대로 입력 전류의 감소는 이전보다 낮은 입력전력으로 동일한 전력을 출력한다는 것으로 즉, 입력전류의 변화는 효율의 변화로 해석할 수 있다.



	100	120	140	160	180	200	220
36V [1KW]	88.66%	88.74%	88.41%	89.61%	88.43%	87.91%	87.54%
48V [1KW]	92.10%	92.58%	92.86%	93.30%	93.90%	94.40%	93.50%
48V [500W]	95.29%	95.47%	94.52%	94.75%	94.39%	93.71%	93.35%

그림 8 V_{mid}에 따른 2-Stage Boost 컨버터 효율
Fig. 8 2-Stage Boost Converter Efficiency according to V_{mid}

그림 8은 실험을 통해 얻은 V_{mid}별 2-Stage Boost 컨버터의 효율을 나타낸다. 이는 입력전압과 부하의 크기에 따라서 최대 효율을 나타내는 V_{mid}값이 다르다는 것을 나타낸다. 그러므로 입력전압의 크기에 따라 적절한 V_{mid} 선정으로 더욱 효율적인 2-Stage Boost 컨버터를 동작할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 2-Stage Boost 컨버터의 최대 효율 운전을 위해 컨버터의 손실을 상세하게 분석하여 V_{mid}의 변동에 따라 최대 3%정도의 효율 변화를 확인하였다. 또한, 실험을 통해 입력전압과 부하의 크기에 따라 최대 효율을 추정하는 V_{mid}가 변화하며 적절한 V_{mid}를 선정한다면 2-Stage Boost 컨버터 최대 효율 지점 운전이 가능한 것을 확인하였다. 향후 연구를 통해 목표하는 출력을 발생하기 위한 최대 효율 운전이 가능하도록 Duty를 제어하여 입력전압과 부하의 변화에 적절한 V_{mid}를 유지하여 최대 효율 운전을 위한 알고리즘을 연구할 예정이다.

본 연구는 한국전력공사의 2018년 착수 에너지 거점대학 클러스터 사업에 의해 지원되었음 (과제번호:R18XA04)

참 고 문 헌

[1] Paresh C. Sen, “Magnetic Circuit,” in principles of electric machines and power electronics, 3rd. Kingston, USA: Wiley, 2015, pp. 19 - 23.

[2] Da-Woom Jeong, Cheol Choi, Sung-Jun Park and Dong-Hee Kim, "Optimum Operation Method of 2-Stage Boost Converter", Journal of Power Electronics, pp. 472-473, 2018. 7, July