

브릿지형 전원장치의 소프트 스위칭을 위한 준공진 회로의 비교 및 분석

이재형, 노태원, 안정훈, 이병국[†]
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

Comparative Analysis on Quasi-Resonant Switching Cell for Soft-Switching of Bridge-Type Power Converter

Jaehyung Lee, Tae Won Noh, Jung Hoon Ahn, and Byoung Kuk Lee[†]
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 브릿지형 양방향 전력변환장치의 기본 제어 방식을 유지하면서 효율을 향상시키기 위하여 소프트 스위칭을 하는 준공진 회로를 비교한다. 각 회로의 이론적 분석 및 시뮬레이션 검증을 통하여 제어 방식과 효율 개선 관점에서 장단점을 분석한다. 분석결과를 기반으로 전력변환장치의 정격용량 및 스위칭 주파수에 적합한 준공진 스위칭 셀을 도출한다.

1. 서론

EV (Electric Vehicle) 구동 시스템에서의 HDC (High voltage DC DC Converter), ESS (Energy Storage System) 등 다양한 분야에서 양방향 Buck/Boost 컨버터는 제어 및 고용량 설계에 용이하여 많이 사용된다. 그러나 하드 스위칭으로 인하여 고속 스위칭 시 전력밀도 개선에 제약이 있다.

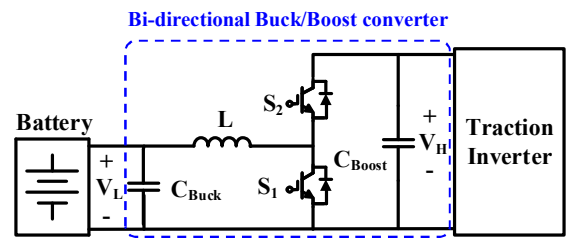
전력밀도를 향상시키는 방안으로 공진을 이용하여 영전압 혹은 영전류의 소프트 스위칭을 하는 방안이 연구되어 왔다. 대표적으로 반주기 이상의 공진주기를 이용하는 방법과 최소한의 공진주기를 이용하는 방법이 있다.

본 논문은 먼저 HDC 용 양방향 Buck/Boost 컨버터에 대한 설계 및 손실분석을 통하여 전체 손실 중 스위칭 손실의 영향을 살펴본다. 그 후, 공진을 이용하여 스위칭 손실을 저감하는 두 개의 대표 토폴로지를 제시하고 양방향 Buck/Boost 컨버터의 손실과의 손실 특성을 분석한다. 또한, 스위칭 주파수에 따른 손실 양상 및 전력밀도를 분석함으로써 부하용량 및 스위칭 주파수에 적합한 준공진형 스위칭 셀을 도출한다. 이론적 분석 및 시뮬레이션을 통하여 도출된 결과의 타당성을 검증한다.

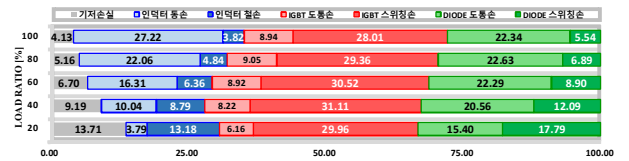
2. 최적 준공진형 스위칭 셀 선정 방안

2.1. 양방향 Buck/Boost 컨버터 분석

그림 1 (a)는 EV의 구동 시스템에 사용되는 HDC 용 양방향 Buck/Boost 컨버터이다. 이 컨버터는 간단한 구조로 인하여 제어와 고용량 설계가 용이하지만, 하드 스위칭을 하기 때문에 전력밀도 개선에 제약이 있다. 표 1은 본 논문에서 가정한 EV 구동 시스템 용 HDC 사양과 주요 구성소자를 정리한 것이다. EV 구동 시스템에 HDC가 사용되는 경우 EV에 탑재되는 배터리의 전류사양을 만족시키기 위하여 기저손실의 영향이 큰



(a) 양방향 Buck/Boost 컨버터 토폴로지



(b) 손실분석표

그림 1 기본 양방향 Buck/Boost 컨버터 토폴로지 및 손실분석

Fig. 1. Topology and power losses of bi-directional converter.

표 1 양방향 Buck/Boost 컨버터의 사양 및 주요 구성소자

Table 1. Specification and main elements of Buck/Boost converter

Parameter	Value	Main elements
Low voltage	V_L 200 [V]	Switch
High voltage	V_H 320 [V]	L
Rated power	P_o 3.3 [kW]	
Switching frequency	f_{sw} 20 [kHz]	C_{buck}
Ripple voltage	ΔV 0.2 [%]	C_{boost}
		82uF (삼영TDA)
		390uF (삼영TDA)

영역에서 설계되기 때문에 그림 1 (b)와 같이 하드 스위칭으로 인한 스위칭 손실의 비중이 크다. 따라서 소프트 스위칭을 통해 스위칭 손실 저감 시 큰 효율 증가가 기대된다. 손실은 IC와 DSP 그리고 보조전원 등으로 인한 기저손실, IGBT의 도통손 및 스위칭손, 인덕터의 도통손 및 절손, 그리고 커패시터 ESR에 의한 손실을 고려하여 식 (1) (3)를 통해 구하였다.

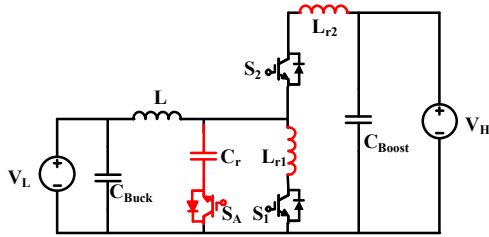
$$P_{IGBT} = P_{IGBT,cond} + P_{IGBT,sw} = [V_{CE} i_{c,avg}] + \quad (1)$$

$$[f_{sw} (\int_0^{tr_i+tf_v} v_{ce}(t) i_c(t) dt + \int_0^{tr_v+tf_i} v_{ce}(t) i_c(t) dt)]$$

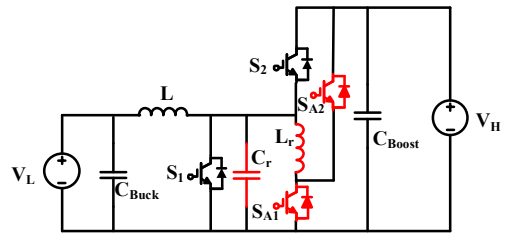
$$P_L = P_{L,cond} + P_{L,core} \quad (2)$$

$$= [I_{L,rms}^2 R_{dc}] + [k_1 B_{max}^{k_2} f_{sw}^{k_3} V_L]$$

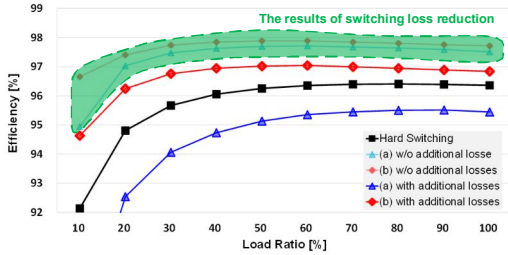
$$P_C = I_{C,rms}^2 \times ESR \quad (3)$$



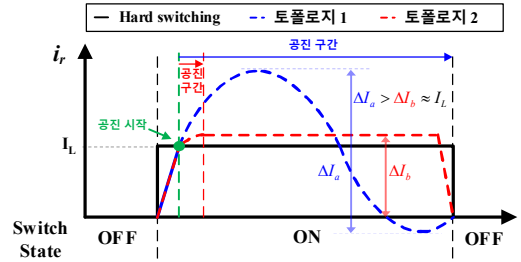
(a) 소프트 스위칭 토폴로지 1



(b) 소프트 스위칭 토폴로지 2



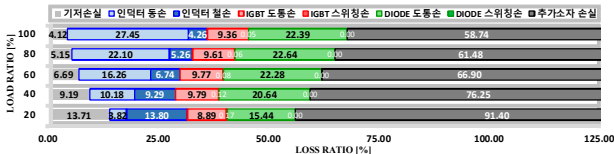
(c) 추가 손실 반영 전/후 효율곡선



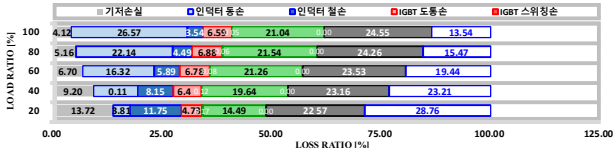
(d) 공진 개념도

그림 2 양방향 소프트 스위칭 토폴로지와 각 토폴로지에별 소프트 스위칭 개념도 및 효율 분석

Fig. 2. Bi-directional soft switching topology, efficiency analysis and concepts of soft switching.



(a) 소프트 스위칭 토폴로지 1의 손실분석표



(b) 소프트 스위칭 토폴로지 1의 손실분석표

그림 3 기본 토폴로지에 대비 효율 특성

Fig. 3. Efficiency analysis compared to basic topology.

2.2. 소프트 스위칭 토폴로지 분석

설계한 HDC에 공진 인덕터, 커패시터, 그리고 스위치를 추가한 그림 2 (a), (b)의 토폴로지 1, 2에 대해 분석한다^[1, 2]. 토폴로지 1, 2는 각각 반주기 이상의 공진주기와 최소한의 공진주기를 이용하여 소프트 스위칭을 함으로써 그림 2 (c)에서와 같이 HDC의 효율을 높인다. 그러나 그림 2 (d)처럼, 토폴로지 1은 전류 실효값을 증가시키며 큰 ΔI_a 를 갖고 토폴로지 2의 경우 전류 실효값은 유지하나 공진 인덕터의 철손과 스위치에서의 하드 스위칭 손실이 발생한다. 양방향 Buck/Boost 컨버터 대비 토폴로지 1, 2의 손실 특성은 그림 3 (a), (b)와 같고 이를 반영한 최종 효율은 그림 2 (c)에서 확인할 수 있다.

2.3. 주파수 가변에 따른 토폴로지 적합도 분석

추가적으로 그림 4는 양방향 Buck/Boost 컨버터 및 토폴로지 1, 2의 풀부하에서 ΔI_L 을 고정시켰을 때, f_{sw} 에 따른 효율 및 전력밀도를 분석한 것이다. 양방향 Buck/Boost 컨버터의 경우 f_{sw} 가 증가할수록 필터 L값의 감소로 R_{dc} 가 작아져서 동손은 줄어들지만 철손과 스위칭 손실은 증가하여 전체 손실은 커진다. 토폴로지 1, 2의 경우 f_{sw} 가 증가할 때 스위칭 손실의 영향이 거의 없기 때문에 전체 손실이 보다 높은 f_{sw} 에서 증가한다. 토폴로지 1, 2에 추가된 소자의 부피가 상대적으로 작기 때문에 전력밀도는 필터 L의 코어가 바뀔 때에만 크게 변화한다.

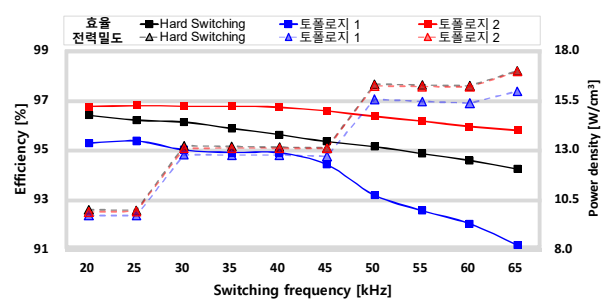


그림 4 스위칭 주파수에 따른 효율 및 전력밀도

Fig. 4. Efficiency and power density according to f_{sw} .

3. 결론

본 논문에서는 소프트 스위칭을 하는 브릿지 구조의 양방향 DC DC 컨버터들을 비교 및 분석하였다. 공진을 이용하여 소프트 스위칭을 하는 토폴로지를 바탕으로 양방향 Buck/Boost 컨버터 대비 소프트 스위칭을 통해 감소하는 손실과 추가되는 손실 특성을 분석하였고, 또한 주파수 가변에 따른 효율과 전력밀도 분석을 통해 적합한 준공진형 스위칭 셀을 도출하였다.

이 논문은 2015년도 산업통상자원부의 지원으로 한국산업기술평가위원회의 지원을 받아 수행한 녹색산업선도형이차전지기술개발 사업(No.10053711)입니다.

참고 문헌

- [1] M. Ahmadi, M. R. Mohammadi, E. Adib, and H. Farzanehfar, "Family of non isolated zero current transition bi directional converters with one auxiliary switch.", *IET Power Electronics*, vol. 5, No. 2, pp. 158-165, Apr. 2012.
- [2] K. H. Chao, and C. H. Huang, "Bidirectional DC DC soft switching converter for stand alone photovoltaic power generation systems.", *IET Power Electronics*, vol. 7, No. 6, pp. 1557-1565, Jun. 2014.