

수소연료전지 및 배터리 하이브리드용 병렬 SRDAB 모듈형 컨버터 개발

한동규, 이상민, 이승환
 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과

Development of a Fuel-cell and Battery Hybrid Parallel SRDAB Converter Module

Dongkyu Han, Sangmin Lee, Seung-Hwan Lee
 School of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul

전체적인 컨버터 손실을 줄일 수 있다^{[6],[7]}.

ABSTRACT

본 논문에서는 수소연료전지 및 배터리 하이브리드 전원의 전력 제어를 위해 양방향 전력 전송이 가능한 Series-resonant dual-active-bridge (SRDAB) 컨버터를 병렬 연결한 모듈형 컨버터를 제안한다. 제안한 병렬 모듈형 컨버터는 시뮬레이션을 통해 750V_{DC} 부하에 적용 가능성을 검증하였다. 또 해당 컨버터를 직렬 연결하여 1500V_{DC} 출력 부하에 확장 가능함을 보였다.

1. 서론

전 세계적으로 기후변화에 대응하고 온실가스 배출을 줄이기 위한 탄소 중립 정책이 강조되면서, 화석연료의 대체 에너지원으로 수소연료전지가 주목받고 있다^[1]. 현재 해외에서는 수소연료전지를 이용한 철도차량이 운행되고 있으며, 국내에서도 수소연료전지를 활용한 철도차량에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[2],[3]}. 수소연료전지는 느린 동특성으로 인해 부하 전력 증가에 따른 즉각적인 전력 공급이 어렵다^[4]. 따라서, 인버터 정전압 공급, 회생 에너지 저장 및 수소연료전지의 동특성 보안을 위해 배터리를 함께 사용하는 하이브리드 형태의 전원 구성이 필요하고, 이를 위한 전력 변환 장치가 요구된다^[5]. 수소연료전지 및 배터리 하이브리드를 위한 다양한 형태의 기존 연구가 많으나, 본 연구에서는 SRDAB 컨버터의 병렬 연결을 통해 양방향 전력 전송 및 출력 전압/전력 확장 가능한 모듈형 컨버터를 제안하고, 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 병렬 모듈형 컨버터의 검증을 진행한다. 또한, 직렬 연결된 모듈형 컨버터의 시뮬레이션을 통해 제안한 컨버터의 확장 가능성을 검증한다.

2. 제안한 병렬 SRDAB 컨버터 모듈 Topology

그림 1은 본 논문에서 제시한 수소연료전지 및 배터리 하이브리드용 병렬 SRDAB 컨버터 모듈의 회로도를 나타낸다. V_{in} 및 V_{out} 은 각각 입력 전압 및 출력 전압을 의미하며, C_f, C_b 는 각각 SRDAB 컨버터의 공진 튜닝 커패시턴스, L_f, L_b 는 변압기의 누설 인덕턴스, R_f, R_b 는 변압기 권선 저항을 의미한다. SRDAB 컨버터는 스위치 도통 시 영전압 스위칭이 가능하며, 공진의 영향으로 스위치 단락 시 전류를 감소시킬 수 있어

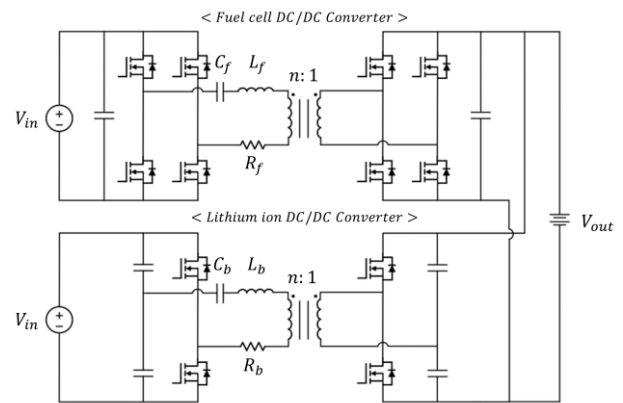


그림 1 병렬 SRDAB 컨버터 회로도

3. 제안한 병렬 SRDAB 컨버터 모듈 성능 검증

3.1 병렬 SRDAB 컨버터 모듈 회로 및 파라미터

설계한 회로를 검증하기 위해 회로 시뮬레이션 프로그램 PLECS를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 2는 직렬 연결된 병렬 SRDAB 컨버터 시뮬레이션 모델을 나타낸다. SRDAB 컨버터 모듈 1과 모듈 2는 각각 병렬 SRDAB 컨버터 모듈을 나타내며, 두 모듈의 직렬 연결을 통해 확장된 병렬 SRDAB 컨버터 모듈을 나타낸다. 또한, 표 1은 수소연료전지 및 배터리 하이브리드용 병렬 SRDAB 컨버터에 사용된 파라미터들을 나타낸다.

표 1 병렬 SRDAB 컨버터 시뮬레이션 파라미터

V_{in}	537 V	V_{out}	750 V
L_f	600 μ H	L_b	200 μ H
C_f	440 nF	C_b	660 nF
R_f	754 m Ω	R_b	251 m Ω
f_{sw}	20 kHz	Turn ratio	0.716

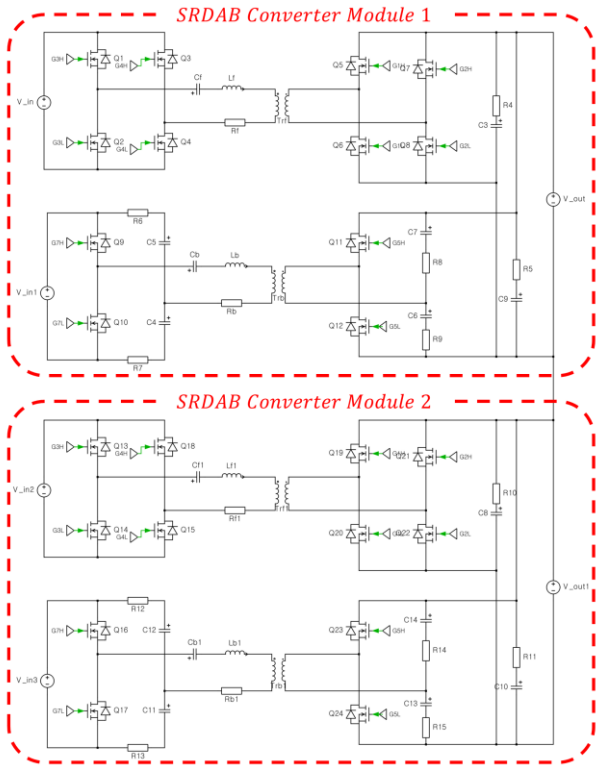


그림 2 직렬 연결된 병렬 SRDAB 컨버터 모듈 시뮬레이션 모델

3.2 회로 시뮬레이션 결과

그림 3은 그림 2의 병렬 SRDAB 컨버터 시뮬레이션 결과를 나타낸다. P_{fin} 과 P_{bin} 은 각각 수소연료전지 및 배터리 하이브리드용 병렬 SRDAB 컨버터의 입력 전력을 나타낸다. 또한, P_{out} 은 출력 전력을 나타낸다. 병렬 SRDAB 컨버터의 총 입력 전력은 4.04kW, 출력 전력은 4kW로 병렬 SRDAB 컨버터의 효율은 약 99%이다. 그림 4는 그림 2의 직렬 연결된 병렬 SRDAB 컨버터 시뮬레이션 결과를 나타낸다. P_{in1} 과 P_{in2} 는 각각 병렬 SRDAB 컨버터의 입력 전력을 나타내며, P_{total} 은 컨버터 시스템의 총 출력 전력을 나타낸다. 직렬 연결된 병렬 SRDAB 컨버터의 입력 전력은 8.08kW, 출력 전력은 8kW로 약 99%의 효율을 갖는다.

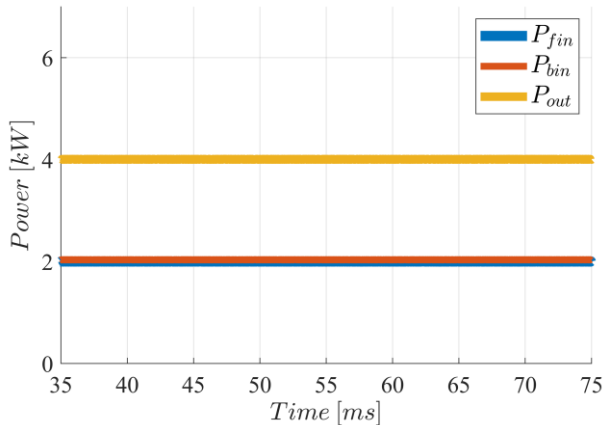


그림 3 병렬 SRDAB 컨버터 입력 전력 및 출력 전력 파형

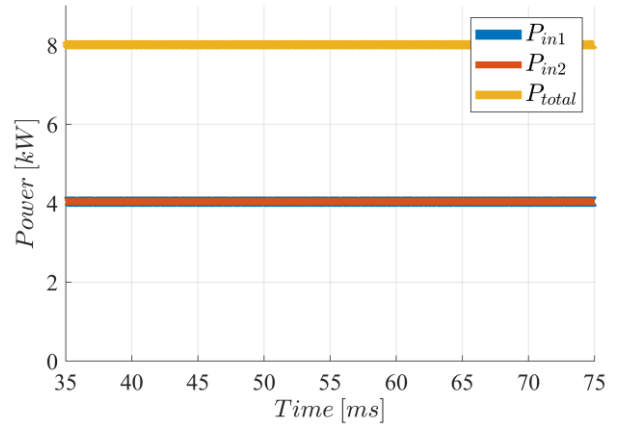


그림 4 직렬 연결된 병렬 SRDAB 컨버터 입력 전력 및 출력 전력 파형

4. 결론

본 논문에서는 수소연료전지용 SRDAB 컨버터와 배터리용 SRDAB 컨버터가 병렬로 연결되어 하나의 모듈을 이루는 하이브리드용 컨버터를 개발하였다. 회로 토폴로지로서 SRDAB 컨버터의 사용을 통해 스위칭 손실을 최소화할 수 있었으며, 설계된 파라미터로 시뮬레이션을 진행한 결과 99%의 효율을 얻을 수 있었다. 제안한 모듈형 컨버터는 직렬 및 병렬 연결을 통해 다양한 전압 및 전력이 요구되는 컨버터 시스템에 적용할 수 있다.

본 연구는 한국철도기술연구원 기본사업(PK2403D1)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] S. Padhee, U. C. Pati and K. Mahapatra, "Comparative analysis of DC-DC converter topologies for fuel cell based application," 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), Delhi, India, 2016.
- [2] H. N. Tran, T. -T. LE, H. Jeong, S. Kim and S. Choi, "A 300 kHz, 63 kW/L ZVT DC-DC Converter for 800-V Fuel Cell Electric Vehicles," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 37, no. 3, pp. 2993-3006, March 2022.
- [3] J. -Y. Kim, B. -S. Lee, Y. -J. Lee and J. -K. Kim, "Integrated Multi Mode Converter With Single Inductor for Fuel Cell Electric Vehicles," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 69, no. 11, pp. 11001-11011, Nov. 2022.
- [4] A. Shahin, M. Hinaje, J. -P. Martin, S. Pierfederici, S. Rael and B. Davat, "High Voltage Ratio DC-DC Converter for Fuel-Cell Applications," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 12, pp. 3944-3955, Dec. 2010.
- [5] F. Z. Peng, Hui Li, Gui-Jia Su and J. S. Lawler, "A new ZVS bidirectional DC-DC converter for fuel cell and battery application," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no. 1, pp. 54-65, Jan. 2004.

- [6] F. M. Ibanez, J. M. Echeverria, J. Vadillo and L. Fontan, "A Step-Up Bidirectional Series Resonant DC/DC Converter Using a Continuous Current Mode," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 3, pp. 1393-1402, March 2015.
- [7] Lee, S., Hong, W., Kim, T. et al. Voltage balancing control of a series-resonant DAB converter with a virtual line shaft. J. Power Electron. 22, 1347-1356 (2022).