

무선전력전송을 이용한 Dual-Active-Bridge Converter

이재홍[†], 이승환[†], 김성민^{*}, 김명룡^{**}

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과[†], 한양대학교 전자공학부^{*}, 한국철도기술연구원^{**}

Loosely Coupled Dual-Active-Bridge Converter

Jaehong Lee[†], Seung-Hwan Lee[†], Sungmin Kim^{*}, Myung-Yong Kim^{**}

School of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul, S. Korea[†]

Division of Electrical Engineering, Hanyang University, ERICA Campus, S. Korea^{*}

Propulsion System Research Team, Korea Railroad Research Institute, S.Korea

ABSTRACT

본 논문에서는 양방향 전력 전송을 가능케 해주는 Dual-active-bridge (DAB) 컨버터에서, 고주파 변압기 대신 무선 전력 전송 코일을 이용한 시스템을 제안한다. 기존의 DAB 컨버터에서 주로 사용되는 고주파 변압기는 Core-type 또는 shell-type으로 만들어지며, 1차 측 권선과 2차 측 권선이 자기적으로 강하게 결합되어 높은 전력 전달 효율을 가지도록 만든다. 이런 DAB 컨버터를 직/병렬 연결해 MV-DC to LV-DC로 변환하는 반도체 변압기 등을 구성할 때, 1차 측 권선과 2차 측 권선 사이에는 절연 문제와 1차 측 스위치 회로와 2차 측 스위치 회로, 그리고 고주파 변압기가 각각 따로 절연해야 하는 문제점이 있다. 본 논문에서 제안하는 DAB 컨버터는 1차 측과 2차 측이 수 cm 이격되어 있어 1차 측과 2차 측 사이의 자기적 결합이 굉장히 약하다. 따라서 1차 측과 2차 측 코일을 커패시터로 공진시켜 전력을 전달하는 무선전력전송(Loosely Coupled Inductive Wireless Power Transfer)을 이용한다. 무선전력전송의 공진 topology는 Parallel-Series로 선택했고, impedance transformation 회로를 추가했다.

1. 서 론

전력전자 기술의 발전과 반도체 스위치 소자의 성능이 향상됨에 따라 50 내지 60 Hz의 주파수에서 동작하는 기존의 변압기의 주파수를 수 내지 수십 kHz에서 동작 시키려는 연구가 많이 진행되고 있다.^{[1]-[4]} 고주파 변압기와 반도체 스위치를 이용해 수 kHz 이상에서 전력을 변환하는 장치를 반도체 변압기(Solid-state transformer)라고 한다. 이 반도체 변압기는 동작 주파수가 높기 때문에 전력밀도가 높아 중전압의 변압기에 비해 소형화 및 경량화가 가능하다는 장점이 있다. 1차 측과 2차 측에는 양방향 전력 전송을 가능케 해주는 Dual-active-bridge (DAB) 컨버터가 적용되어 수십 kHz에서 변압기를 동작 시킬 수 있다. 그러나 기존에 연구되고 있는 고주파 변압기는 자기적으로 강하게 결합된 Core-type 또는 shell-type으로 만들어지며 변압기에 발생하는 열을 식히고 변압기의 1차 측과 2차 측을 절연시키기 위해서 절연유 등을 사용하게 된다. 그러나 절연유에 의해 시스템의 무게가 증가하게 되고 또한 절연유가 누출되거나 폐기할 시 환경오염 문제가 발생하게 된다. 이러한

문제를 해결하기 위해서 본 논문은 기존의 고주파 변압기 대신에 수 cm 떨어진 1차 측 코일과 2차 측 코일 간의 무선전력전송(Loosely coupled inductive wireless power transfer)을 적용하여 전력을 전달하는 DAB를 제안한다. 앞으로 이어지는 내용은 다음과 같다. 2절에서는 1kW급 무선전력전송 회로 설계에 대한 내용으로 공진 topology 선정 및 impedance transformation circuit에 대해 연구를 하였다. 3절에서는 회로 simulation을 통해 검증을 하였다.

2. 무선전력전송 회로 설계

2.1 Topology 선정

무선전력전송(Loosely coupled inductive wireless power transfer)은 1차 코일과 2차 코일 간의 자기적 결합이 약하다. 따라서 커패시터를 추가해서 공진을 시켜야 높은 효율을 얻을 수 있다. 1 kW급 DAB 시스템에 Parallel-Series 공진 topology를 사용하였다. Parallel-Series topology는 1차 측에 병렬 연결된 커패시터가 1차 측 코일 전류를 인버터 전류보다 크게 증폭시켜 2차 측에 전압을 유도하기 위한 mutual inductance가 감소하여 코일의 크기가 감소한다. 하지만 input impedance가 공진주파수에서 크므로 impedance transformation 회로가 추가적으로 필요하다.

2.2 Impedance transformation circuit

Parallel-Series topology는 공진 주파수에서 큰 input impedance를 가지므로 impedance transformation circuit을 추가하여 input impedance를 줄여야 한다. Impedance transformation circuit은 그림 1 처럼 inductor와 capacitor가 resonant tank에 직렬로 연결하여 구성하였다.

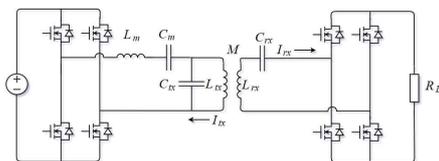


그림 1 임피던스 변환 회로가 추가된 무선전력전송 시스템
Fig. 1 Parallel-Series wireless power transfer system with an impedance transformation network

3. 무선전력전송 회로 시뮬레이션

3.1 회로 시뮬레이션

설계한 회로를 검증하기 위해 PLECS를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 2에 시뮬레이션 모델이 나타나있다. 표 1에 시뮬레이션에 사용된 파라미터들이 정리되어 있다. 그림 3에 시뮬레이션으로 구한 입력전력과 출력전력이 있다. 입력전력과 출력전력의 RMS 값은 853 W와 843 W으로 효율은 98.8 %이다.

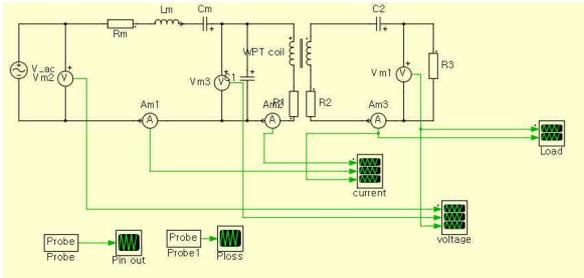


그림 2 PLECS 시뮬레이션 모델
Fig. 2 PLECS simulation model

표 1 무선전력전송 시스템 상수
Table 1 Parameters of the wireless power transfer system

Rtx	8 mΩ	Rrx	2 mΩ
Ltx	31 μH	Lrx	268 μH
Ctx	226 nF	Crx	26 nF
Rm	0.1 Ω	Lm	20 μH
Cm	452 nF	R _L	50
Freq	60 kHz	k	0.3

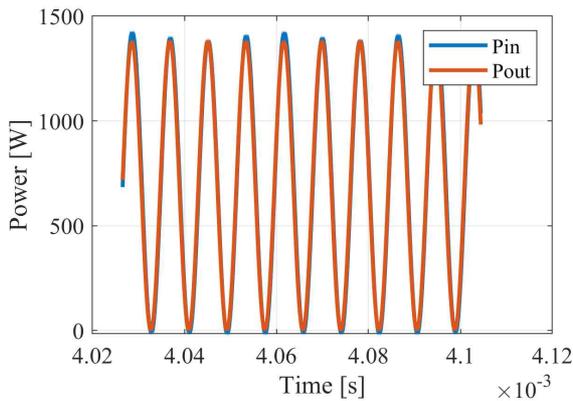


그림 3 시뮬레이션 모델의 입력전력과 출력전력
Fig. 3 Simulated input and output power

4. 결론

종래의 DAB에 사용되는 고주파 변압기를 대체할 수 있는 무선전력전송 코일을 제안한다. 시스템 효율, 안정도, 크기 등을 고려했을 때 Parallel-Series topology가 선정되었다. 1차 측 코일과 커패시터가 병렬로 연결되어 있기 때문에 공진 주파수에서 증폭된 임피던스를 낮추기 위해서 인덕터와 커패시터를

직렬연결한 임피던스 변환 회로가 추가되었다. 설계된 파라미터로 시뮬레이션을 진행한 결과 98.8 %의 효율을 얻을 수 있었다.

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(19RTRP-B146487-05)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Ross P. Twiname, "A Dual-Active Bridge Topology With a Tuned", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 30, NO. 12, DECEMBER 2015 CLC Network
- [2] Gabriel Ortiz, "Modeling of Soft-Switching Losses of IGBTs in High-Power High-Efficiency Dual-Active-Bridge DC/DC Converters", IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 60, NO. 2, FEBRUARY 2013
- [3] Juergen Biela, "Design of a 5-kW, 1-U, 10-kW/dm³ Resonant DC-DC Converter for Telecom Applications", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 24, NO. 7, JULY 2009
- [4] Myung-Yong Kim et al., "SEMICONDUCTOR TRANSFORMER FOR RAILWAY VEHICLE WITH WIRELESS POWER TRANSMISSION COIL AND WIRELESS POWER TRANSMISSION COIL THEREOF", KOREA Patent 10-1953571-0000, filed August 18, 2017, and issued February 25, 2019.