2021 년도 한국철도학회 추계학술대회 논문집 KSR2021A070

커패시터 평균전류를 이용한 철도차량용 반도체 변압기의 Dual Active Bridge 컨버터 모델링

Modeling of Dual Active Bridge Converter of Solid State Transformer for Railway Vehicles Using Capacitor Average Current

곽주일*, 이준석*†, 박진혁**, 김명룡**

Ju-Il Kawk*, June-Seok Lee*†, Jin-Hyuk Park**, Myung-yong Kim**

초 록 철도차량용 추진시스템에 사용되는 반도체 변압기(Solid-State-Transformer)에는 절연형 DC-DC 컨버터의 일종인 DAB (Dual Active Bridge) 컨버터가 사용될 수 있다. DAB 컨버터는 구조적으로 고주파 변압기를 포함하고 있으므로 전력 밀도가 높으며, 고압 측과 저압 측의 절연 기능 또한 수행한다. 이러한 DAB 컨버터를 안정적으로 제어하기 위해서는 모델링이 수반되어야 한다. DAB 컨버터는 비선형 시스템이므로 일반적으로 상태 공간 방정식을 이용하여 복잡하게 모델링 된다. 이와 달리 본 논문에서는 컨버터 2차 측 전압과 커패시터의 평균전류를 사용하여 보다 간단하게 모델링 하는 방법을 제안한다. 제안하는 모델링의 타당성은 시뮬레이션을 통해 검증한다.

주요어 : 반도체 변압기, Dual Active Bridge, 모델링, 철도차량 추진시스템, DC-DC 컨버터

1. 서 론

철도차량의 경량화는 차량의 운행 시 에너지의 효율을 개선해 주므로 철도차량 설계 시 중요한 요소이다[1]. 기존 국내 철도차량 시스템은 권선형의 유입식 주변압기, 승압형 컨버터 그리고 전동기를 구동시키기 위한 전력으로 변환해주는 인버터로 이루어져 있다. 주변압기는 일반적으로 무게가 많이 나가며 전력 밀도가 낮으므로 이를 대체하는 기술인 반도체 변압기의 개발 중요성이 커지고 있다.

본 논문에서는 반도체 변압기 구성 중 고효율 절연형 양방향 DC-DC 컨버터인 DAB 컨버터에 대해 컨버터 2차 측 전압과 커패시터의 평균전류를 사용하여 모델링 하는 방법을 제안한다.

† 교신저자: 단국대학교 공과대학 전자전기공학과(ljs@dankook,ac.kr)

* 단국대학교 공과대학 전자전기공학과

** 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부

2. 본 론

2.1 DAB 컨버터의 동작 원리

Fig. 1은 권선비가 n:1인 DAB 컨버터의 회로도이다. 손실이 0이라고 가정했을 때, 컨버터의 전달 전력은 식(1)과 같다. DAB 컨버터는 변압기 1차 측 전압과 2차 측 전압의 위상차(ϕ)에 의해 전력을 전달한다. 변압기 1차 측 전압의 파형이 2차 측 전압의 파형의 위상보다 앞서 있다면 전력은 1차 측에서 2차 측으로 전달된다. 반대의 경우, 전력은 2차 측에서 1차 측으로 전달된다[2].

$$P_1 = P_2 = \frac{n V_1 V_2}{L f_2} \times \frac{\phi}{2\pi}(1-\frac{\phi}{\pi}) \quad (1)$$

2.2 DAB 컨버터 제어기 모델링

Fig. 2는 DAB 컨버터 제어기의 블록도이다. DAB 컨버터의 지령 출력 전압이 PI제어기를 통해 위상각 $D_\phi (= \frac{\varphi}{\pi})$를 생성하고, 이 D_ϕ는 전력 전달 상수 G_D를 거쳐 2차 측 커패시터 전류 I_2를 생성한다.

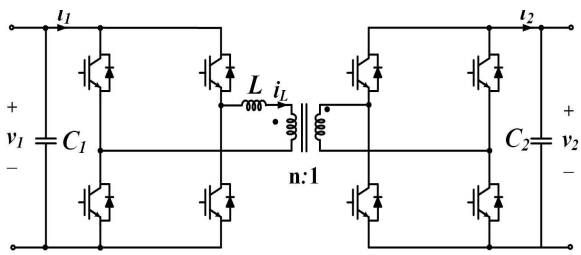


Fig. 1 DAB Converter circuit

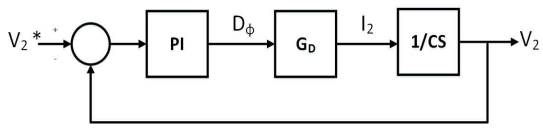


Fig. 2 DAB Controller block diagram

$$< i_2 > = \frac{n V_2}{2Lf_2} \times D_\varphi (1 - D_\varphi) = D_\varphi \times G_D$$

$$G_D = \frac{n V_2}{2Lf_2} \times (1 - D_\varphi) \tag{2}$$

Fig. 2의 블록도를 통해 일반적인 2차 제어 시스템 모델과 같아지도록 정리하면 PI 제어기의 이득 값 (K_p, K_i) 은 식 (3)과 같이 정리할 수 있다.

$$k_p = \frac{2\zeta\omega_n C_2}{G_D},\ k_i = \frac{\omega_n^2 C_2}{G_D} \tag{3}$$

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

제안하는 모델링의 타당성을 검증하기 위해 PLECS 시뮬레이션의 결과를 MATLAB의 동특성 분석결과와 비교하여 검증하였다. 무부하 상태에서 시뮬레이션을 진행하였고 시뮬레이션에서 사용된 파라미터는 Table 1과 같다. 무부하 상태이므로 정상상태에서는 전력을 전달하지 않으므로 D_ϕ는 0로 설정했다.

Fig. 3 (a), (b)는 각각 MATLAB과 PLECS의 DAB 컨버터의 동특성 그래프이다. DAB 컨버터 2차 측에 출력된 V_2의 오버슈트와 정착시간이 같음을 볼 수 있다. 각각의 오버슈트와 정착시간의 값은 Table 2와 같다.

4. 결론

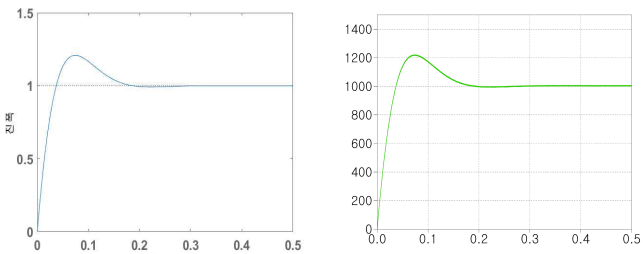
본 논문에서는 DAB 컨버터의 출력전압을 기반으로 한 모델링을 제안하였다. 제안하는 모델링을 적용한 PLECS 시뮬레이션과

Table 1 DAB Converter parameters

Table 2 DAB Converter overshoot and settling time

	PLECS	MATLAB
Over Shoot	22[%]	21.6[%]
Settling Time	0.31[sec]	0.32[sec]

MATLAB을 통해 확인한 모델링의 동특성이 동일함을 확인함으로써 모델링의



(a) MATLAB **(b) PLECS**

Fig. 3 Time dynamic characteristic of DAB converter

parameter	value
V_1	1036 [V]
V_2	1000 [V]
C_1	2202 [μF]
C_2	1000 [μF]
n	1.036
f	20 [kHz]
D_ϕ	0

타당성을 검증하였다.

3. 후기

본 연구는 국토교통부의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 21RSCD-C163337-01).

참고문헌

[1] U. M. Choi, J. H. Park, M. Y. Kim, and J. S. Lee (2020) Operation-Profile Based Lifetime Evaluation of Power Semiconductor Devices in Solid-State Transformer for Urban Railway Vehicles, *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, vol. 25, no. 6, pp. 33-38

[2] U. I. Choi (2016) Modeling and Modulation of

Dual-Active-Bridge DC-DC Converter Using Fourier-Series Analysis, PhD Thesis, Seoul National University, pp. 27-46