

철도차량용 공진형 컨버터 구현을 위한 변압기 설계

강태섭*, 최성호*, 홍찬희*, 마상길**, 임지영**
 브이씨텍*, 대전도시철도공사**

The Design of Transformer for the Implementation of Railway Resonant Converter

Tae Sub Kang*, Sung Ho Choi*, Chan Hee Hong*, Sang Gil Ma**, Ji Young Lim**
 Vctech*, DJET**

ABSTRACT

현재 철도차량 전력변환 장치의 소형, 경량화 필요성이 제기되고 있으며 이에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그 중 공진형 컨버터를 적용한 전력변환 장치가 하나의 대안으로 되고 있다. 본 논문에서는 철도차량용 공진형 컨버터 구현을 위한 변압기 설계에 관해 기술하였다. 실제와 유사한 공진 특성 및 성능을 구현하기 위해 설계 사양에 따른 변압기 모델링을 하여 시뮬레이션에 적용하였으며, 설계한 변압기를 적용한 시작품 공진형 컨버터를 제작하여 동작을 확인 하였다.

1. 서 론

전기철도 차량이 국내에 도입되지 얼마되지 않지만 전기철도 분야는 반도체 기술의 발전과 전력전자 기술의 발달을 기반으로 다양하게 발전되고 있다.^[1] 이러한 전기철도 차량의 발전 가운데에서도 전력변환 장치의 보다 소형, 경량화 필요성이 대두되고 있으며, 이에 따른 연구가 이루어지고 있다. 그 중 공진형 컨버터를 적용한 철도차량용 전력변환 장치가 하나의 대안이 되고 있다. 캐패시터와 변압기 누설 인덕턴스의 공진 특성을 이용한 공진형 컨버터(Resonant Converter)는 전력변환 장치의 소형, 경량화와 높은 효율의 장점이 있다. 공진형 컨버터를 구현하기 위해서는 변압기 설계 시 누설 인덕턴스 값이 중요하다. 따라서 정확한 공진 특성을 구현하기 위해 실제 철도차량 전력변환 장치 용량인 150KVA 변압기 설계 및 설계 사양에 따른 모델링을 적용한 시뮬레이션을 하였으며, 실제 부하 용량 150KVA 급 하프 브릿지 공진형 컨버터(Half Bridge Resonant Converter)를 제작하여 공진 특성 및 성능을 확인하였다.

2. 공진형 변압기 설계

2.1 공진형 컨버터

그림 1은 철도차량용 하프 브릿지 공진형 컨버터 회로를 나타낸다. 상위 스위치와 하위 스위치, 공진 캐패시터, 변압기, 정류 다이오드로 구성된다. 표1은 공진형 컨버터의 사양을 나타낸다. 부하용량 150 KVA 급 공진형 컨버터는 스위칭 주파수 7 kHz로 동작하며, 정격 입·출력 전압은 각각 DC 1,500 V, 750 V이다.

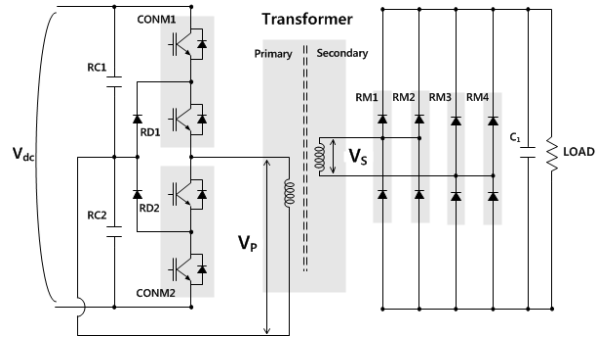


그림 1. 하프 브릿지 공진형 컨버터 회로

표 1. 하프 브릿지 공진형 컨버터 파라미터

| Circuit Element | Value |
|----------------------------------------|-------|
| Input Voltage V_{dc} (V) | 1,500 |
| Output Voltage V_o (V) | 750 |
| Output Reactive Power P_R (KVA) | 150 |
| Output Active Power P_A (W) | 127.5 |
| Power Factor | 0.85 |
| Transformer Turn ratio $n (= N_2/N_1)$ | 1 |
| Switching Period T_S (μ S) | 142.8 |
| Duty Ratio D | 0.5 |
| Load Resistance R_L (Ω) | 15 |

2.2 변압기 설계

변압기 Core는 TODA ISU 사에서 제작한 PM5 재질의 U120BC를 선정하였으며, 2개를 조합하여 E Core로 구성하였다. 사양은 표2와 같다.

표 2. Core U120BC Effective Parameters

| | | | |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| Effective length (l_e) | 49.3mm | Effective volume (V_e) | 59.81mm ³ |
| Effective area (A_e) | 12.13mm ² | Permeance factor (c) | 3.09 |

1차측 턴 수는 수식 1과 2에 의해 유도되며, 이때의 1차측 턴 수는 8 turn 이 된다.

$$\lambda = \int V_1(t) dt \quad (1)$$

$$N_1 = \frac{\lambda}{2 \cdot \Delta B \cdot A_c} \quad (2)$$

위 수식에서 λ 는 쇄교자속, ΔB 는 자속밀도, A_c 는 유효 단면적을 나타낸다. ΔB 는 0.2T 이다.

변압기의 전선은 정격 전류(I_S), 전류밀도(S)와의 관계를 통해 선정되며, 수식 (3)과 같다.

$$A_{wire} = \frac{I_S}{S} \quad (3)$$

본 공진형 컨버터의 변압기 정격전류는 200 [A]이며, 전류밀도는 3 [A/mm²] 이다. 표 3은 위의 설계기준을 바탕으로 제작된 변압기 파라미터이다.

표 3. 공진 변압기 파라미터

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Core | UU 120BC |
| Wire | Lits Wire 0.12Ø * 2700 (2병렬) |
| Turn ratio (N_1/N_2) | 1 |
| Magnetic Inductance | 2.2 [mH] |
| Primary Leakage Inductance | 2.23 [uH] |
| Secondary Leakage Inductance | 2.5 [uH] |

3. 시뮬레이션 및 실험

표 3과 같은 사양으로 변압기 모델링을 적용하여 시뮬레이션하였다.

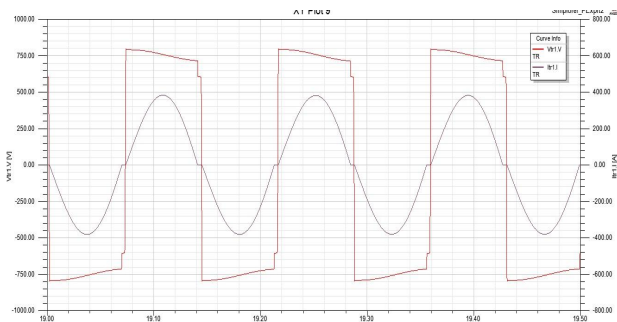


그림 2. 변압기 전압, 전류 시뮬레이션 파형

그림 2는 변압기 전압, 전류 시뮬레이션 파형이다. 스위칭 주파수 7 kHz에서 전류 파형은 전압 파형과 같은 시점에서 영의 값을 갖으며, 사인파의 공진 특성을 나타낸다. 시뮬레이션을 통해 실제 제작한 변압기를 적용하였을 때의 유효성을 확인하였다.

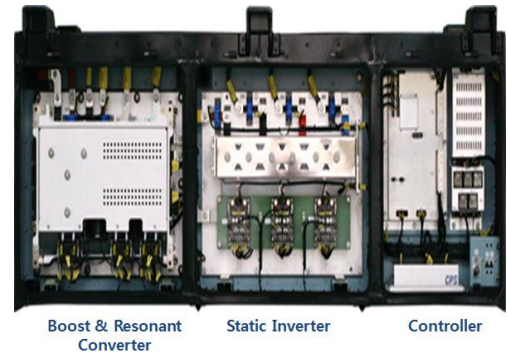


그림 3. 공진형 컨버터가 적용된 철도차량용 보조전원장치

그림 3은 철도차량용 보조전원장치이다. 공진형 컨버터 부는 설계 및 제작한 변압기를 적용하여 구현하였다.

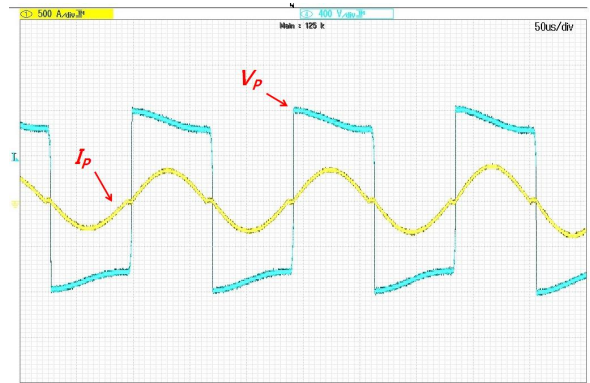


그림 4. 변압기 전압 (V_p), 전류 (I_p) 실험 파형

그림 4는 시제품 공진형 컨버터 변압기의 1차측 전압, 전류 실험 파형이다. 입력전압 1,500V에서 스위칭 주파수 7 kHz로 동작하며, 시뮬레이션 결과와 같은 공진특성을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 철도차량 보조전원장치에 적용 가능한 하프 브릿지 공진형 컨버터를 구현하기 위한 변압기 모델링에 따른 시뮬레이션 및 실제 변압기를 적용한 시제품 구현하였다. 시뮬레이션과 실험 모두 정격 조건에서 공진 특성을 나타내었다. 이를 통해 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확인하였으며, 실험을 통해 유효성을 입증하였다. 시제품 공진형 컨버터는 소형, 경량화, 소음 및 효율에서도 우수성을 나타내고 있어 실제 철도차량 전력변환 장치 적용 가능성을 확인하였다.

이 논문은 2011년도 중소기업청의 재원으로 한국산업기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구임. (SA112646)

참 고 문 헌

[1] 이은규, “전기철도차량의 보조전원용 전력 변환장치 기술”, 전력전자학회, 전력전자학회논문지 제14권 제5호, pp. 31~35, 2009. 10