

철도차량 HVAC의 압축기용 듀얼 유도 전동기 구동 시스템

Dual Induction Motor Drive System for Compressors in HVAC of Railway Vehicles

이은우*, 복영한**, 이준석*†

EunWoo Lee*, Younghan Bok**, June-Seok Lee*†

초록 본 논문은 비엔나 정류기와 5-레그 인버터를 이용한 철도 차량 HVAC에서의 압축기용 듀얼 유도 전동기 구동 시스템을 제안한다. 기존 시스템은 다이오드 정류기와 3-레그 인버터를 기반으로 구성되어 있으며, 비선형적인 부하 특성 및 직류단 입력 전압 범위 제한 등의 문제점이 있다. 제안하는 시스템에서는 비엔나 정류기를 통해 입력 전류를 선형적으로 제어하여 직류단 입력 전압을 안정적으로 공급한다. 또한, 5-레그 인버터를 도입함으로써 2대의 3-레그 인버터 대비 스위치 수를 줄여 시스템의 구성 효율을 향상시킨다. 제안하는 시스템의 성능은 시뮬레이션을 통해 검증한다.

주요어 : 철도 차량 HVAC, 비엔나 정류기, 5-레그 인버터, 듀얼 유도 전동기

1. 서 론

철도 차량 HVAC의 기존 압축기 구동 방식은 구조와 제어가 간단하여 다이오드 정류기와 3-레그 인버터로 구성된다. 그러나 이 구성은 대표적인 비선형 부하로, 직류단 전압 V_{dc} 제어가 불가능하며, 3-레그 인버터 2대를 사용하는 구성으로 인해 시스템의 부피 및 비용이 증가하는 한계가 있다.

본 논문에서는 비엔나 정류기와 5-레그 인버터(FLI)를 적용한 압축기 구동 시스템을 제안한다. 비엔나 정류기는 입력 전류 I_U, I_V, I_W 경로를 제어함으로써 전류의 고조파를 저감하고, V_{dc} 제어를 가능하게 하여 선형 부하 특성을 나타낸다 [1]. 이를 통해 인버터는 안정적으로 높은 V_{dc} 를 사용할 수 있다. 또한, FLI는 기존 대비 전력 반도체 소자를 2개 줄일 수 있어, 인버터의 비용 및 부피를 절감할 수 있다[2].

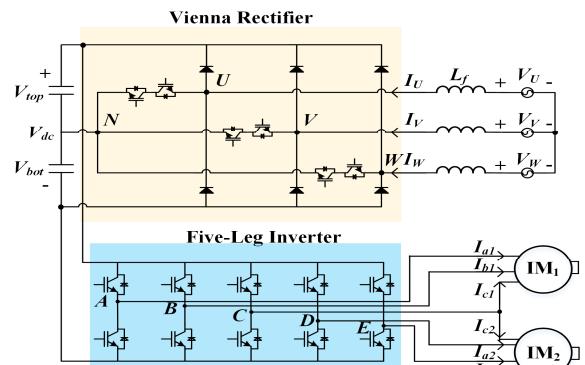


Fig. 1 Circuit of drive system with Vienna rectifier and FLI.

2.1 제안하는 시스템의 구성

제안하는 시스템의 구성은 Fig. 1과 같이 구성된다. 계통 전원 V_U, V_V, V_W 을 필터 인덕터 L_f 를 거쳐 V_{dc} 로 변환하는 비엔나 정류기와 유도 전동기 2대를 구동하는 FLI로 구성된다.

2.2 제안하는 시스템의 제어 방법

Fig. 2는 제안하는 시스템의 제어 블록도를 나타낸다. FLI는 압축기용 유도 전동기에 속도 센서가 없으므로 고피나스 자속 추정기를 통해 속도 및 자속을 추정한다[3]. 이후 PI 제어기인 속도 제어기와 전류 제어기를 통해 각 유도 전동기를 제어하며, 독립적으로 구동하기 위해 dou-

* 교신저자: 단국대학교 공과대학 전자전기공학과(jjs@dankook.ac.kr)

** 단국대학교 공과대학 전자전기공학과

*** 동양이엔피 제품 개발2팀

2. 본 론

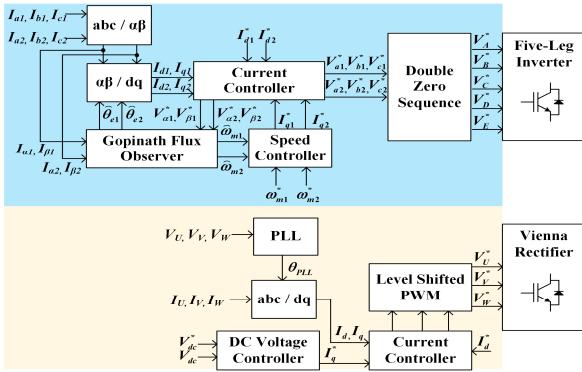


Fig. 2 Block diagram of the FLI and the Vienna rectifier.

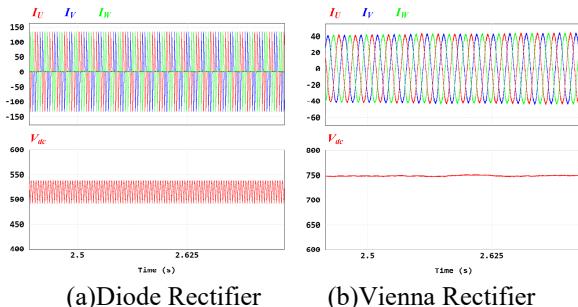


Fig. 3 Waveforms of I_U, I_V, I_W , and V_{dc} between diode rectifier and Vienna rectifier.

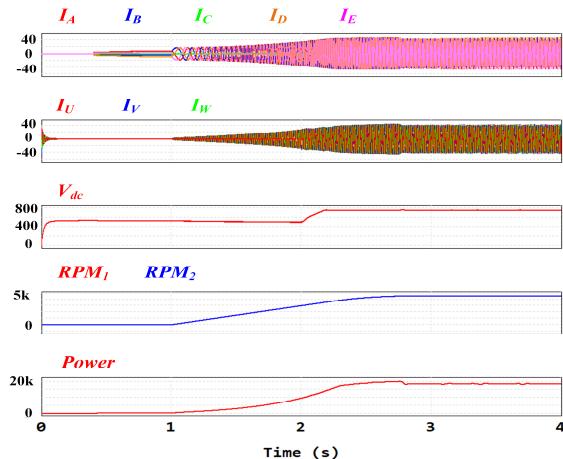


Fig. 4 Overall operating waveforms of proposed system.

ble zero sequence (DZS) 기법을 적용한다[2]. 비엔나 정류기는 V_U, V_V, V_W 으로부터 PLL을 통해 전압의 위상 θ_{PLL} 정보와 전압의 크기 V_{mag} 등을 얻는다. 이후 PI 제어기인 전압 제어기와 전류 제어기를 통해 V_{dc} 와 I_U, I_V, I_W 를 제어한다.

2.3 시뮬레이션 결과

제안하는 시스템의 타당성을 검증하기 위해

Table 1 Simulation Parameters

Rectifier Parameter	Value	Motor Parameter	Value
Grid Phase Voltage	220Vrms	R_s, R_r	$0.802\Omega, 1.803\Omega$
Grid Frequency	60Hz	L_s, L_r	97.1mH
Filter Inductor	1.32mH	L_m	87.7mH
DC-Link Capacitor	1200μF	Pole	2
Rated Power	20kW	Rated Speed	5292rpm
Switching Frequency	10kHz	Rated Torque	16.7Nm

Table 2 Input Current THD of Rectifier

Topology	Diode Rectifier	Vienna Rectifier
THD	3.4, 3.2, 3.3%	123, 123, 123%

Table 1의 시뮬레이션 파라미터와 PSIM을 사용하여 비엔나 정류기와 FLI를 구성하여 시뮬레이션을 진행하였다. 이때, 두 유도 전동기의 파라미터는 Table 1로 동일하다.

Fig. 3과 Table 2는 20kW 기준 다이오드 정류기와 비엔나 정류기에 대한 I_U, I_V, I_W, V_{dc} 의 과형과 전류 THD를 나타낸다. 1.32mH의 L_f 기준 비엔나 정류기의 저차 고조파가 개선되어 더 낮은 THD를 갖는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 제안하는 시스템의 전체 동작을 나타낸다. 0s에서 0.5s까지 초기 충전, 0.5s에서 4s까지 전동기 구동, 2s에서 비엔나 정류기가 동작하여 750V_{dc}으로 안정적으로 제어되는 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 비엔나 정류기와 5-레그 인버터를 적용한 철도 차량 HVAC에서의 압축기용 듀얼 유도 전동기 구동 시스템을 제안하였다. 비엔나 정류기를 통해 입력 전류와 직류단 전압의 제어 성능을 개선하였으며, 5-레그 인버터를 통해 시스템의 부피 및 비용을 저감하였다. PSIM 시뮬레이션을 통해 제안하는 시스템의 성능을 검증하였다.

후 기

이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 (주)동양이엔피의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 한국연구재단에서 부여한 과제 관리 번호).

참고문헌

- [1] Ju-Yeon, Lee, and June-Seok Lee. "An Improved Zero-Current Distortion Compensation Method for the Soft-Start of the Vienna Rectifier" *Electronics* 13, no. 10, 2024.
- [2] D. Choi, J. -S. Lee, Y. -S. Lim and K. -B. Lee, "Priority-Based Model Predictive Control Method for Driving Dual Induction Motors Fed by Five-Leg Inverter," *IEEE Trans.Power Electron.*, vol. 38, no. 1, pp. 887-900, Jan. 2023.
- [3] G. -J. Jo and J. -W. Choi, "Gopinath Model-Based Voltage Model Flux Observer Design for Field-Oriented Control of Induction Motor," *IEEE Trans.Power Electron.*, vol. 34, no. 5, pp. 4581-4592, May 2019.