

4-레그 인버터의 중성점 전압변동 최소화 방법

A Method for Minimizing Neutral Point Voltage Fluctuation of a Four-Leg Inverter

김도현*, 이준희**, 김태현***, 이준석*†

Do-Hyeon Kim*, June-Hee Lee**, Taehyun Kim***, June-Seok Lee*†

초 록 본 논문에서는 4-레그 인버터(FLI)를 이용하여 2대의 유도전동기(Induction Motor, IM)를 동기 속도로 제어할 때 DC-link 커패시터에서 발생하는 중성점 전압변동을 최소화 시키는 방법을 제안한다. FLI에서 두 IM의 한 상은 커패시터 중성점에 공통으로 연결되고 나머지 상은 각각 스위치로 구성된 레그에 연결된다. 그러므로, 공통으로 연결된 레그의 전류 흐름에 따라 중성점 전압변동이 생기게 되고 그로 인해 전압 이용률이 감소하며 각 상의 전류가 불평형이 된다. 본 논문에서는 부하 조건에 상관없이 공통 레그 전류의 크기를 감소시켜 중성점 전압변동 성분을 줄일 수 있는 방법을 제안한다. 제안 방법의 타당성은 시뮬레이션 결과를 통해 검증한다.

주요어 : 4-레그 인버터, 중성점 전압변동, 공통 레그 전류, 유도전동기, 동기 속도

1. 서 론

철도차량 HVAC시스템은 3상 전원을 공급받아 냉방장치의 압축기용 유도전동기(IM) 2대를 구동한다. 철도차량 3상 전원의 건전성확보를 위해 내부장치의 부하 특성을 선형부하로 변경함에 따라 기존에 적용되는 다이오드 정류기가 컨버터타입으로 변경되고 있다. 따라서, 비용 절감 측면에서 2대의 IM 구동을 위해 2대의 인버터보다 전력반도체 소자가 적은 4-레그 인버터(FLI) 사용을 고려할 필요가 있다.

FLI를 이용하여 2대의 IM을 구동 할 경우 중성점 전압변동에 의해 DC-link 전압 이용률이 감소하게 되며 3상 전류가 불평형이 되는 문제가 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 중성점 전압변동의 크기를 최소화할 수 있는 방법을 제안하며 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다.

† 교신저자: 단국대학교 공과대학 전자전기공학
학과(ljs@dankook.ac.kr)

* 단국대학교 공과대학 전자전기공학과

** 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부

*** 인터모빌리티(주) 전력변환제어팀

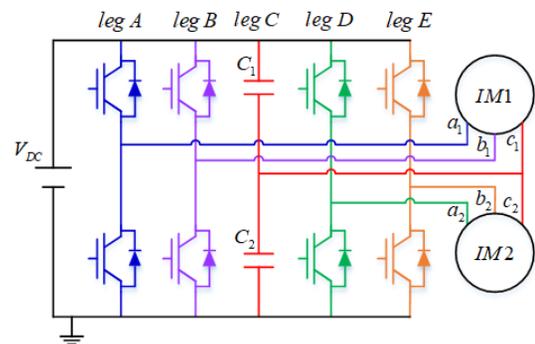


Fig. 1 Circuit configuration of FLI.

2. 본 론

2.1 FLI의 회로 구성

FLI는 Fig. 1 과 같이 8개의 스위치로 구성된 레그와 직렬로 연결된 2개의 커패시터로 구성된 1개의 레그로 이루어져 있다. 커패시터로 구성된 레그는 각 IM의 한 상에 같이 연결되며 나머지 레그는 각 IM의 나머지 상에 연결된다.

2.2 제안하는 중성점 전압변동 최소화 방법

중성점 전압변동 성분을 식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

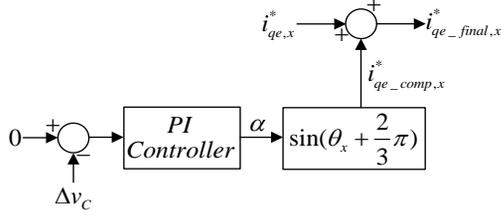


Fig. 2 Block Diagram of q-axis current compensation.

$$\Delta v_c = -\frac{1}{2C} \int (i_{c1} + i_{c2}) dt = -\frac{1}{2C} \int I_c dt \quad (1)$$

여기서 i_{c1} 과 i_{c2} 는 각 IM의 c상 전류이고, I_c 는 공통 레그 전류이다.

식(1)에서 Δv_c 의 크기는 I_c 의 크기에 따라 정해지게 된다. 따라서, 부하 조건에 상관없이 I_c 의 크기를 줄이기 위해 [1]에서 제안하는 각도 제어기와 슬립 제어기를 FLI에 적용하였다.

[1]의 슬립제어기를 사용할 경우 각 IM의 전류의 크기가 달라져 I_c 가 증가하며 Δv_c 가 커지게 된다. 이를 해결하기 위해 q축 전류에 정현파 형태의 보상전류를 더해 I_c 의 평균값을 조절하게 된다. q축 보상 전류를 나타내면 식(2)와 같다.

$$i_{qe_comp,x}^* = \alpha \sin(\theta_x + \phi) \quad (x=1,2) \quad (2)$$

여기서 α 는 $i_{qe_comp,x}^*$ 의 크기, θ_x 는 각 IM의 전기적 각도를 나타낸다.

식(2)에서 α 는 Fig. 2와 같이 Δv_c 가 0이 되도록 PI제어기를 사용하여 결정되며 ϕ 는 식(2)를 3상 변환하여 구한 c상 전류의 평균값 계산을 통해 결정된다.

Table 1 Parameter of IM.

Power	2.2 [kW]	Stator resistance	1.9625 [Ω]
DC-link voltage	300 [V]	Stator Inductance	0.22136 [H]
Rated current	4.7 [A_{rms}]	Rotor resistance	2.2103 [Ω]
Rated Speed	1750 [rpm]	Rotor inductance	0.22136 [H]
Pole	4	Mutual inductance	0.2097 [H]

2.3 시뮬레이션 결과

Table 1의 IM 파라미터를 이용하여 PSIM에서 시뮬레이션을 했을 때 파형은 Fig. 3과 같다. 시뮬레이션 상 두 IM의 속도는 400r/min으로

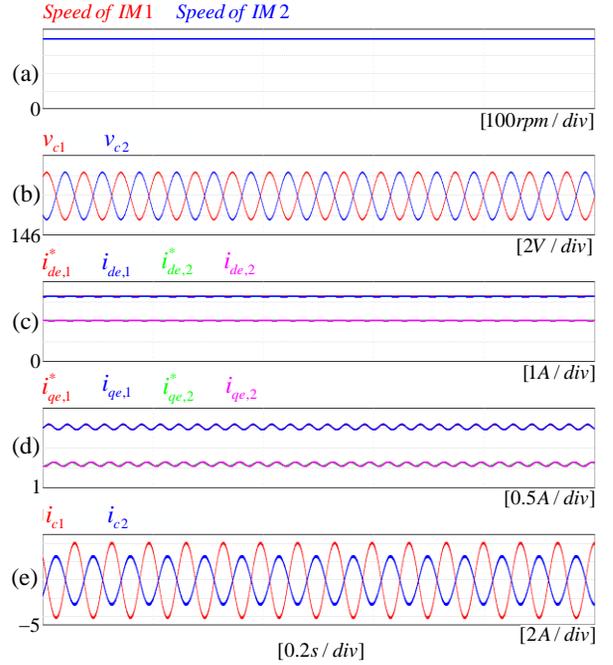


Fig. 3 Simulation result of the proposed method.

제어하였고 Fig. 3(b)와 같이 각 커패시터의 전압 차이가 4V정도인 것을 확인할 수 있다. 또한, 두 IM의 부하 조건이 달라 Fig. 3(c)-(d)와 같이 두 IM의 d, q축 전류의 크기가 다른 것을 볼 수 있고, Fig. 3(e)에서 i_{c1} 과 i_{c2} 의 위상차가 180° 가 되어 I_c 가 줄어들음을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 FLI에서 부하 조건에 상관없이 공통 레그 전류의 크기를 최소화 시켜 중성점 전압변동을 최소화 시키는 방법을 제안하였으며 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2020R1G1A1A100297)

참고문헌

- [1] Y. S. Lim, J. S. Lee, and K. B. Lee, P. Mai, Y. Lu (2019) Advanced Speed Control for a Five-Leg Inverter Driving a Dual-Induction Moto System, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 66, no. 1, pp. 707-716.