

2.3 교류 가선 구간에서의 인버터 제어 방법

교류 가선에서 철도차량이 운전될 경우 단상 PWM 정류기의 사용으로 인하여 입력전원 주파수 60Hz의 2배인 120Hz의 주기적인 리플 성분이 정류기 출력 직류전압에 발생하게 되며, 인버터 출력 크기에 비례하여 커지게 되는데 이러한 현상은 인버터의 출력 주파수와 일치하는 시점에서 출력 전류에 큰 맥동을 발생시키며, 차량의 진동 및 소음의 원인으로 작용한다. 이러한 현상을 비트(Beat)현상이라고 한다.

식 (1)은 직류전압의 맥동분을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \Delta V_{dc} &= (1/C_{dc}) \int i_c dt \\ &= -P_{davr} / (2\cos\Phi V_{davr} \omega C_{dc}) \sin(2\omega t - \Phi) \\ &= -\Delta V_d \sin(2\omega t - \Phi) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 ΔV_d 는 직류전압 맥동성분의 최대치를 의미하며, P_{davr} 은 직류전력평균치로 $(V_c I_s / 2) \cos\Phi = V_s I_s / 2$ 로 표현할 수 있고, 직류전력의 변동분은 식 (2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\Delta P_d = -(V_c I_s / 2) \cos(2\omega t - \Phi) \quad (2)$$

또한 직류전압의 평균치를 V_{davr} 이라 하면 DC Link에 흐르는 직류 전류 i_c 는 식 (3)과 같이 근사화 될 수 있다.

$$\begin{aligned} i_c &= \Delta P_d / V_{davr} \\ &= -(P_{davr} / V_{davr} \cos\Phi) \cos(2\omega t - \Phi) \end{aligned} \quad (3)$$

위의 수식으로부터 직류전압의 맥동은 DC Link 커패시터의 크기에 반비례하고 입력전류 크기에 비례하여 발생되며, 주기는 전원 주파수의 2배임을 확인할 수 있다.

이러한 비트현상을 저감하기 위하여 인버터와 견인전동기 사이에 리액터를 설치하는 방법과 120Hz에 해당하는 공진필터를 DC Link에 병렬 접속하여 리플 성분을 제한하는 방법이 연구되었다.^{[1][2]} 이러한 방법은 수동소자와 접속기를 추가적으로 설치해야하는 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 비트리스(Beatless) 제어 방법을 이용하여 비트현상의 저감을 확인하였다. 그림 3은 전동차 구동을 위한 인버터의 제어 블록도를 나타낸다.

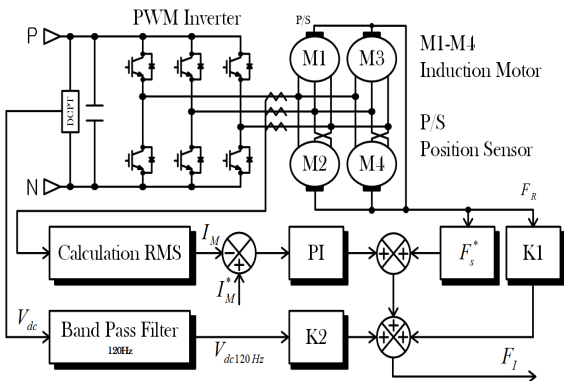


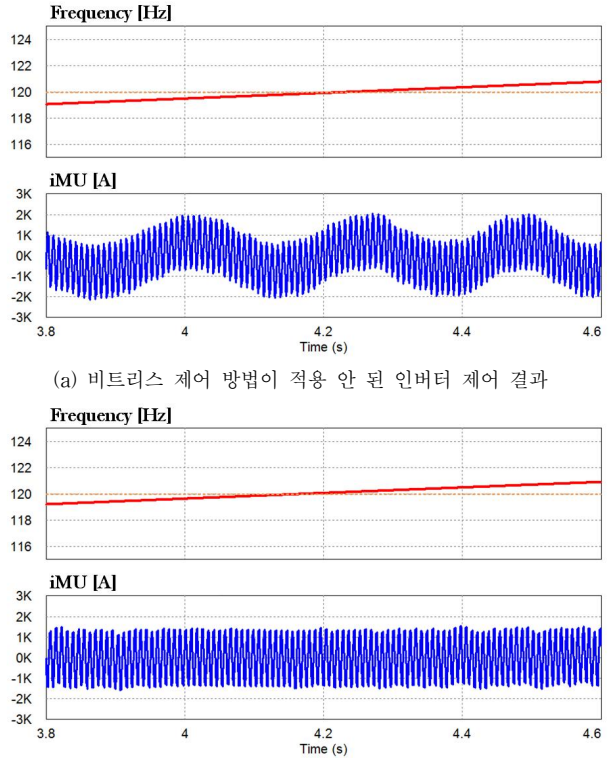
그림 3 인버터의 비트리스 제어 블록도
Fig. 3 Beatless Control Block Diagram of Inverter

비트현상을 저감하기 위한 주파수 보상항은 전원 주파수 60Hz로부터 발생하는 직류 120Hz의 맥동 성분을 검출하고 일

정 이득값과 곱하는 방법으로 구성된다. 이렇게 인버터의 주파수를 미세하게 가변 하는 제어를 비트리스 제어라고 한다.

2.4 컴퓨터 시뮬레이션

그림 4는 Psim Tool로 시뮬레이션 한 결과이다.



(a) 비트리스 제어 방법이 적용 안 된 인버터 제어 결과

(b) 비트리스 제어 방법이 적용 된 인버터 제어 결과

그림 4 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation Results

인버터 출력 주파수가 120Hz에 해당하는 구간에서 비트현상으로 인하여 인버터 출력 전류에 큰 맥동이 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 비트리스 제어를 적용하여 비트현상이 저감되는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 교류 가선 구간에서의 전동차용 추진 제어 장치의 제어 방법에 대하여 기술하였으며, 단상 PWM 정류기의 사용으로 인한 비트현상을 저감하기 위하여 비트리스 제어를 수행하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] K. Klausecker, "Modern Control and Power Electronics for the AC Drives of the German High Speed Train ICE", Main Line Railway Electrification, pp. 53 57, 1989.
- [2] F.Flinders, W.Oghanna, "Simulation of a Complex Traction PWM Rectifier Using Simulink and the Dynamic Node Technique," Industrial Electronics, pp.738 743, vol. 2, 1997.