

고속전철용 추진제어장치의 냉각용 인버터를 위한 제동초퍼 회로 설계 및 제어

조성준*
*현대중공업

Design and Control of Braking Chopper Circuit for Ventilation Inverter of Traction Control System

Sung Joon Cho*
*Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

This paper introduces the design and control method of braking chopper circuit which can supply input power to ventilation inverter of traction control system. The DC input voltage from auxiliary block (static inverter) is normally used as an input of ventilation inverter. It converts DC input to AC output voltage to drive cooling fans for traction control system and traction motors. The electrical braking force is very important for high speed train to guarantee safety even though the train is running in the dead section where the pantograph voltage is not supplied. When the high speed train decelerate speed in dead section, the regenerative energy is dissipated by braking resistor. This paper proposed the braking chopper control method to implement rheostatic braking function and the appropriate chopper circuit for supplying voltage source to ventilation inverter during rheostatic braking mode. The proposed chopper circuit makes it possible for traction control system to regenerate power continuously regardless of the existence of pantograph voltage. The feasibility of proposed braking chopper control and circuit were proven by inertia load test and actual train field test.

1. 서론

고속으로 주행하는 고속열차의 안전을 확보하기 위한 제동력은 공기제동장치에 의한 기계 제동력과 추진제어장치에 의한 전기 제동력으로 구분할 수 있다. 고속열차에서 추진제어장치는 견인전동기의 회생에너지를 이용하여 전기 제동력을 발생시킨다. 가선으로부터 단상 25kV의 전압을 입력 전원으로 사용하는 KTX 산천 고속열차의 추진제어장치는 제동 명령이 인가되면 가선으로 회생이 가능한 구간에서는 회생제동 모드로 동작하고 가선 전압이 인가되지 않는 절연 구간에서는 제동초퍼를 이용한 저항제동 모드로 동작한다. KTX 산천의 추진제어장치는 전력 회로의 냉각을 위하여 냉각용 인버터를 내부에 가지고 있으며 냉각용 인버터의 입력 전원은 보조전원장치로부터 인가된다. 하지만 보조전원장치는 입력 전압이 존재하지 않는 사구간이나 차량의 집전장치 고장 등의 경우에는 냉각용 인버터에 전원을 공급할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 가선전압이 없는 상태에서도 냉각용 인버터에 입력전원을 공급하여 지속적인 저항제동이 가능한 제동초퍼 회로의 설계 및 제어 방법을 제안하였다. 또한 개발된 추진제어장치 제동 초퍼 회로의 성능을 검증하기 위하여 실제 차량에 탑재하여 시운전을 실시하였다.

2. 추진제어장치 제동초퍼

추진제어장치의 전력회로는 단상 2레벨 컨버터 2대가 하나의 DC link를 공유하여 병렬로 운전되며, 3상 2레벨 인버터 1대가 견인 전동기 2대를 구동한다.^{[1][2]} 추진제어장치의 제동초퍼는 DC link 회로에 연결된 전력 소자와 제동 저항기로 구성된다. 그림 1은 추진제어장치의 전력회로 블록 다이어그램이다. 저항제동 모드에서 입력측의 단상 컨버터는 동작하지 않으며 이 때 인버터는 견인전동기에서 발생하는 회생에너지를 이용하여 제동력을 발생시킨다. 가선전압의 부재로 인하여 컨버터가 동작하지 않으므로 발생된 회생에너지는 DC link에 연결된 제동 저항기를 통해 소비되어야만 한다. 추진제어장치 전력회로의 냉각을 위한 냉각용 인버터는 정상시에는 보조전원장치로부터 DC670V를 공급받아 입력전원으로 사용하지만 가선전압이 없는 사구간에서는 보조전원장치로부터 전원을 공급받을 수 없다. 따라서 본 논문에서는 저항제동기에서 소비되는 회생에너지를 이용하여 냉각용 인버터에 입력전원이 공급되도록 제동초퍼 회로를 설계하였다. 추진제어장치의 제동 초퍼가 동작하는 경우 DC link에 연결된 제동 저항기에 유기되는 전압은 DC2800V의 크기를 가지는 PWM 파형이다. 이러한 전압 파형을 냉각용 인버터의 입력 전원으로 사용하기 위하여 본 논문에서는 제동저항기를 그림 1과 같이 분압회로로 구성하고 약 DC700V 크기의 PWM 전압을 얻은 후에 LC 필터를 사용하여 일정전압의 DC로 변환한다.

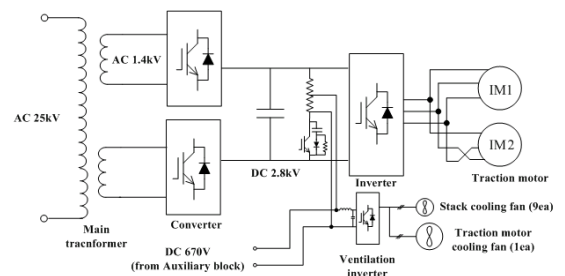


그림 1. 추진제어장치 전력회로 블록도

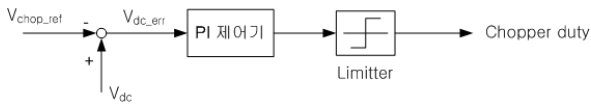


그림 2. 제동초퍼 제어 블록도

전인전동기로부터 발생한 회생에너지를 제동 저항기를 통해 소모하기 위해서는 일정 DC link 전압이 유지되도록 제동 초퍼의 duty를 결정해야 한다.^[3] 그림 2는 제동초퍼 duty를 결정하는 제어기의 블록 다이어그램이다. 제동 초퍼의 duty는 실제 전압의 크기에 따라 PI 제어기에 의해 결정되며 최대값은 제한된다. 제동 초퍼의 duty는 차량 속도에 따라 변화하며 회생에너지가 큰 고속영역에서 큰 값을 가진다. 따라서 추진제어장치가 최대전력으로 동작하는 고속에서 냉각팬용 인버터에 안정적인 입력전원의 공급이 가능하다.

3. 제동 초퍼 및 냉각팬용 인버터 동작 시험

개발된 추진제어장치 제동 초퍼 회로의 유효성을 확인하기 위하여 전력회로 부하 시험을 실시하였다. 그림 3은 제동 초퍼가 duty 50%로 동작하는 경우의 특성 파형이다. 제동 초퍼 전력회로 시험시 추진제어장치는 컨버터부만 동작하여 DC link 전압을 일정하게 유지한다. 그림 3에서 알 수 있듯이 제동초퍼 동작시 측정된 IGBT 양단의 전압 최대값이 3kV 이하로 안정적인 동작이 가능하다.

차량에서 실제 저항제동 모드로 동작하는 경우에 제동 초퍼 제어 알고리즘과 냉각팬용 인버터의 정상 동작을 확인하기 위하여 본선 시험을 실시하였다. 그림 4는 냉각팬용 인버터가 제동초퍼 회로로부터 입력전원을 공급받아 동작하는 모드에 대한 시험 결과이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 제동 초퍼가 동작하는 중에 냉각팬용 인버터에 동작 명령이 인가되면 초기 충전회로를 통하여 냉각팬용 인버터의 DC link 전압이 약 750V까지 상승했다가 인버터의 출력 전류가 상승하면서 DC link 전압이 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 5는 냉각팬용 인버터가 동작을 정지한 후에 다시 재기동하는 경우의 파형이다. 제동 초퍼로부터 입력전원을 공급받아 동작하는 중에 제동 명령이 취소되어 제동 초퍼가 동작을 중지하면 냉각팬용 인버터도 출력을 차단한다. 제동 명령이 재인가 되면 제동초퍼가 다시 동작하며 냉각팬용 인버터도 재기동 시퀀스를 진행한다. 그림 5에서 알 수 있듯이 냉각팬용 인버터의 재기동시에는 회전하는 팬의 주파수에 따라 냉각팬용 인버터의 DC link 전압이 일부 상승하였다가 출력 전류가 증가하면서 DC link 전압이 감소하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 고속열차용 추진제어장치의 제동초퍼 회로와 제동 초퍼 duty 제어 알고리즘을 제시하였으며 주전원이 차단된 상태에서 안정적인 저항제동 기능을 수행하기 위하여 제동 초퍼로부터 입력전원을 공급받아 냉각팬용 인버터에 입력전원을 공급하는 전력회로를 제안하였다. 개발된 제동 초퍼 회로와 제어 알고리즘의 유효성을 KTX 산천 추진제어장치에 적용하여 전력회로 시험과 본선 시험을 통하여 검증하였다.

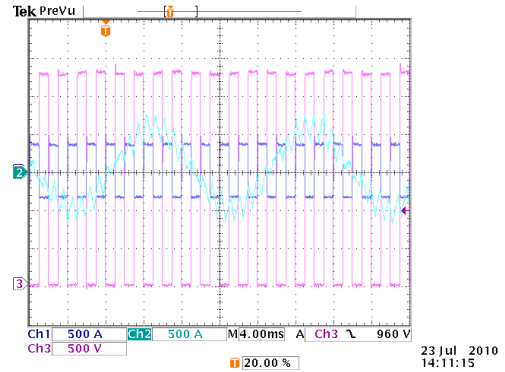


그림 3. duty 50% 동작 시험 (318km/h)

CH1 : 제동초퍼 전류[500A/div]
CH2 : 컨버터 입력전류 [500A/div]
CH3 : 초퍼 IGBT Vce 전압 [500V/div]

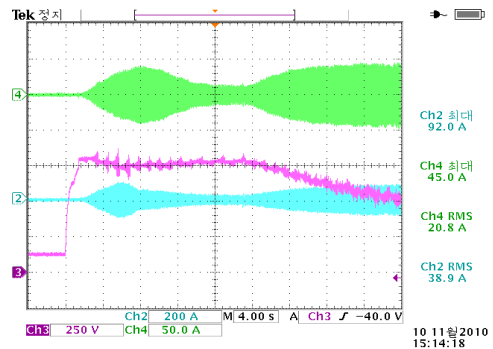


그림 4. 냉각팬용 인버터 동작 시험

CH2: 냉각팬용 인버터 출력전류 [200A/div]
CH3: 냉각팬용 인버터 DC-link 전압 [250V/div]
CH4: 스택 냉각용 팬 입력전류 [50A/div]

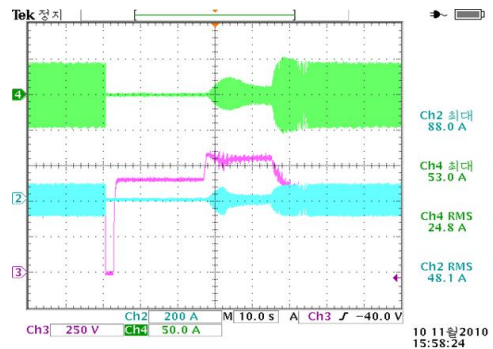


그림 5. 냉각팬용 인버터 재기동 시험

CH2: 냉각팬용 인버터 출력전류 [200A/div]
CH3: 냉각팬용 인버터 DC-link 전압 [250V/div]
CH4: 스택 냉각용 팬 입력전류 [50A/div]

참고 문헌

- [1] 정만규, 조성준, 이광주, 박건태, 김두식, “고속열차용 추진 제어장치의 관성부하 시험에 관한 연구”. 2009년 전력전자 학회학술대회 논문집, pp369~371, 2009.
- [2] 조성준, 정만규, 이광주, 박건태, 김두식, “KTX 산천 고속 열차 추진제어장치 개발”. 2010년 전력전자학회학술대회 논문집, pp295~296, 2010.
- [3] 조성준, 이광주, 김태완, 우명호, 고영철, 김두식, “한국형 고속열차 추진력변환장치의 상용화 기술 확보에 관한 연구”. 2005년 전력전자학회학술대회 논문집, pp363~365, 2005.