

고속열차용 주전력변환장치 궤도회로 간섭 고조파 저감 제어

조성준, 정만규, 이광주, 이현수, 유지윤*
현대중공업, 고려대학교*

The Harmonics Interference Control of Track Circuit and Traction Converter for High Speed Train

Sung Joon Cho, Man Kyu Jeong, Kwang Ju Lee, Heon Su Lee, Ji Yoon Yoo*
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd, Korea University*

ABSTRACT

열차가 주행하는 선로에 설치되는 궤도회로는 레일 자체를 전기회로의 일부로 사용하여 일정 구간 내의 차량 유무를 판단하기 위한 회로이다. 국내의 경우 사용 주파수에 따라 전원전압 주파수의 짝수 고조파 대역을 사용하는 고속선 궤도회로와 홀수 고조파 대역을 이용하는 일반선 궤도회로로 구분할 수 있다. 이러한 궤도회로가 설치된 선로를 주행하는 고속차량의 주전력변환장치 컨버터는 단위 역률 제어를 수행하기 위하여 전원전압의 홀수 배수의 스위칭 주파수를 가지고 있기 때문에 컨버터 동작 시 가선전류에 고조파 전류가 생성된다. 이 때 컨버터부에서 발생하는 고조파 전류의 주파수와 궤도회로의 사용 주파수 대역이 일치하는 경우에 궤도회로의 오작동을 유발할 수 있다. 본 논문에서는 입력 컨버터부에서 사용하는 스위칭 주파수를 운행 구간에 따라 가변시켜 궤도회로 간섭 고조파 성분을 제어하는 방법을 제안하고 시험을 통해 성능을 확인하였다.

1. 서론

궤도회로는 선로의 신호기, 선로전환기 등 신호 기기를 제어할 목적으로 설치하며 열차검지 등에 주요한 수단으로 사용된다. 궤도회로의 기본 원리는 레일을 구간 별로 구분하여 전기회로를 구성하여 흐르는 전류를 검지 기준으로 한다. 하지만 궤도회로에서 차량을 검지하기 위한 전기회로의 일부로 사용되는 레일은 차량에 주전원을 공급하는 가선전압에 의하여 발생하는 귀선전류의 경로로써 동시에 사용된다. 따라서 궤도회로에서 차량의 위치를 검지하기 위하여 사용하는 신호의 주파수 대역과 운행 중인 차량에서 발생하는 가선전류의 고조파 주파수가 일치하는 경우 열차검지 회로의 부정확한 현상이 발생할 수 있다.^[1]

2. 고속선 및 일반선 궤도회로

궤도회로는 사용전원에 따라 직류, 교류, 정류, 코드, 가청주파수(AF, Audio Frequency) 등이 있다. AF 궤도회로는 신호전류에 1kHz 내외의 가청주파수를 변조기로 사용하여 신호를 송신하고 수신부에서는 변조된 주파수를 선택증폭기로 복조하여 궤도 계전기를 동작시킨다.

현재 국내에서 주로 사용되는 궤도회로는 무절연식 AF 궤

도회로이고 고속선 구간의 UM71C 타입과 일반선 구간의 TI21 타입으로 구성되어 있다.

고속선 구간의 궤도회로는 유럽과 상이한 국내의 전원전압 주파수 조건에 따라 전원 전압의 짝수 고조파 대역을 사용하여 차량의 전장품에서 발생하는 고조파 성분으로부터 영향이 없으며 사용 주파수 대역은 표 1과 같다.

표 1 UM71C 궤도회로 신호 주파수

순번	UM71C 궤도회로 주파수	관련고조파
1	2040Hz	34 th
2	2400Hz	40 th
3	2760Hz	46 th
4	3120Hz	52 nd

일반선 구간에 설치된 TI21 무절연 궤도회로는 표 2와 같이 궤도회로 주파수를 구분하여 사용한다. 복선의 경우에는 A/B, C/D 2개 조를 사용하여 상선과 하선을 구분한다. 표 2에서 알 수 있듯이 일반선 궤도회로에서 사용하는 신호 주파수 중에서 C 타입 궤도회로의 Lower frequency가 전원전압 주파수의 33차 고조파 성분과 거의 일치한다. 따라서 KTX 산천 고속열차 주전력변환장치의 입력 컨버터에서 발생하는 고조파 전류가 C 타입 궤도회로와 간섭현상을 일으킬 수 있다.

표 2 TI21 궤도회로 신호 주파수

궤도회로 주파수 코드	Normal frequency [Hz]	Operating frequency [Hz]		관련고조파
		Lower	Upper	
A	1699	1682	1716	28 th
B	2996	2279	2313	38 th
C	1996	1979	2013	33 rd
D	2593	2576	2610	43 rd

3. 간섭 고조파 저감 제어

3.1 주전력변환장치 가선 고조파

고속열차용 주전력변환장치는 그림 1에서 알 수 있듯이 2대의 단상 컨버터와 1대의 3상 인버터로 구성된다. PWM 컨버터는 단상 입력 전압을 DC로 변환하여 인버터부에 공급하는 역할을 수행한다.^[2]

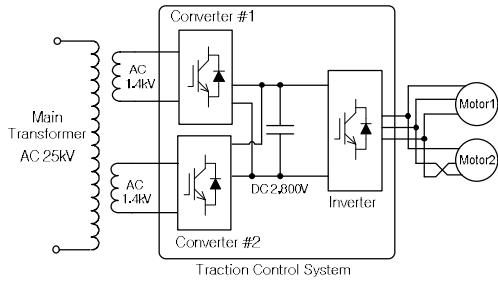


그림 1 KTX 산천 주전력변환장치 구성도

컨버터부의 스위칭 주파수는 전력반도체 소자의 정격과 냉각 성능을 고려하여 결정되며 최대 용량 운전을 위한 KTX 산천 고속열차의 주전력변환장치 스위칭 주파수는 540Hz로 전원 전압 기본 주파수에 대하여 9펄스 모드를 기본으로 동작한다. 단상 PWM 컨버터의 고조파 전류는 스위칭 주파수의 두 배인 1080Hz의 side band에서 생성되지만 두 대의 PWM 컨버터가 병렬로 운전되고 고조파 전류가 상쇄되도록 interleaving 제어를 수행하기 때문에 실제 발생하는 고조파 전류 성분은 2160Hz의 side band인 1980Hz, 2340Hz 등에서 식 (1)과 같이 발생된다.

$$h = j \times (2 \times M_p) \pm k \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, n(\text{정수}), k = 1, 3, \dots, m(\text{홀수})$$

여기서 h는 고조파 발생 차수이며 M_p 는 펄스 모드이다. 따라서 TI21 C type 궤도회로의 Low 주파수 사용 대역인 1979Hz와 주전력변환장치의 33차 고조파 전류 발생 주파수 대역(1980Hz)이 중첩되어 궤도회로 부정낙하에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

3.2 컨버터부 간섭 고조파 저감 제어

일반선 구간에서 발생하는 주전력변환장치의 고조파 전류에 의한 궤도회로 간섭 현상을 제거하기 위하여 고속선 구간과 일반선 구간의 컨버터부 스위칭 주파수를 운행 정보에 따라 가변하는 방법은 그림 2의 블록도와 같다.

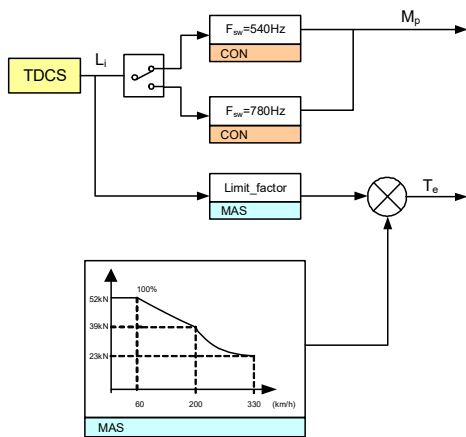


그림 2 간섭 고조파 저감 제어 블록도

고속열차용 주전력변환장치는 전력반도체 소자로 모듈형 IGBT를 사용하고 있으며 제한된 공간에서 최적의 냉각성능을

구현하기 위해 히트 파이프 방식의 공냉식 강제 냉각을 방법을 사용하고 있다. 이 때 운행 구간에 따른 스위칭 주파수의 가변은 냉각 성능의 제한과 함께 고려되어야 한다. 따라서 일반선 구간에서 일정속도 이상 구간에서는 주전력변환장치의 출력을 그림 2와 같이 제한한다.

그림 3은 컨버터 동작 모드가 13펄스로 설정된 경우의 컨버터 입력전류이며 그림 4는 간섭 고조파 제어 방법을 적용한 주전력변환장치의 관성부하 시험 결과 파형이다.

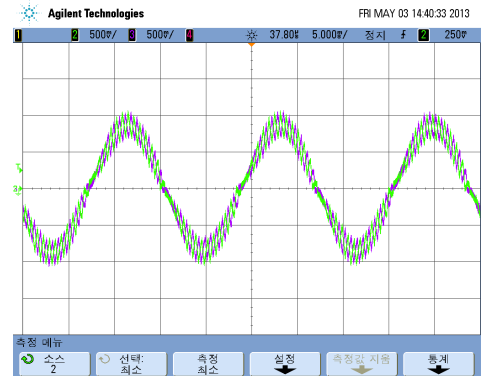


그림 3 컨버터 입력 전류 (13펄스)

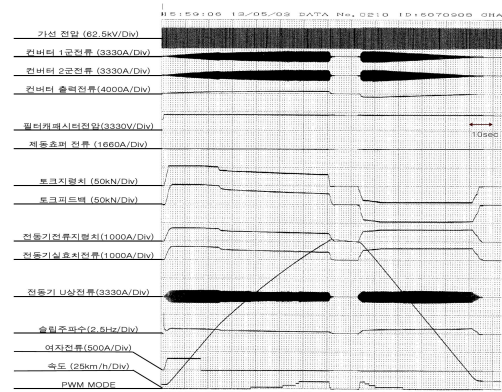


그림 4 13펄스 관성부하 시험

4. 결론

고속열차용 주전력변환장치의 고조파 전류로 인한 궤도회로 간섭현상을 제거하기 위하여 컨버터 동작 펄스 변경과 출력제한 방법을 제안하였으며 관성부하 시험을 통하여 제안 방법이 일반선 운행 속도 범위에서 정상 동작하는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 최계식, 이시빈, 김범곤, 이태훈, 고준영, "KTX 산천운행시 발생하는 전자파노이즈에 대한 AF궤도회로 신뢰성 확보방안 기술연구", 한국철도학회 학술대회 논문집, pp. 1279~1288, 2013.
- [2] 조성준, 정만규, 이광주, 박건태, "KTX 산천 고속열차 추진 제어장치 개발". 2010년 전력전자하계학술대회 논문집, pp.295~296, 2010.