

철도차량 보조전원장치의 THD 저감을 위한 공진 보상 제어기

박태현, 이승우
우진산전

Resonance Compensation Controller For THD Reduction Of Auxiliary Power Supply

Park Tae Hyeon, Lee Seung Woo
Woojin Co.Ltd

ABSTRACT

철도 차량 보조전원장치는 철도차량의 부하에 전원을 공급하는 역할을 하는 장치이다. 이러한 부하들은 선형 부하와 비선형 부하를 포함하여 인버터 출력의 고조파 성분을 증가시킨다. 발생한 고조파는 출력 전압의 품질을 저하시켜 이에 대한 제어가 필요하다. 본 논문에서는 비선형 부하에 의해 발생하는 고조파에 대하여 공진 보상기를 통해 저감하는 기법에 대하여 제안하고 PSIM 모의해석을 통해 검증한다.

1. 서론

철도차량 보조전원장치는 차량 부하중에 냉난방장치, 형광등, 배터리 충전등 여러 부하에 안정적인 전압을 공급하는 장치이다. 하지만 이러한 부하 중에 비선형 부하들로 인해 출력 전압에 고조파가 발생한다. 이런 고조파 성분들에 대하여 기존 PI 제어는 기본파 성분에 대한 제어만을 수행하여 고조파에 대한 제어가 이루어 지지않아 고조파 발생 시에 THD가 급증한다. 이러한 THD의 증가는 주변 장치에 장애를 일으키거나 부하 동작에 이상을 야기시킨다. 또한 변압기에 고조파로 인한 발열과 인버터의 전체적인 효율을 저감시켜 이에 대한 제어가 필요하다. 이러한 THD 저감에 대한 제어 방식 연구는 이전부터 진행되어 왔으며 고정 좌표계의 PR 제어기^[1], 회전 좌표계에서 고조파 주파수에 따라 dq 변환을 통한 제어를 이용한 연구^[2]가 있다.

본 논문에서 회전좌표계에서 PI와 R제어기를 이용하여 고조파를 저감시키는 보상기법에 대하여 제안하고 이를 PSIM 시뮬레이션으로 검증한다.

2. 기존 고조파 제어 기법

2.1 고조파 주파수에 따라 dq변환을 통한 고조파 보상

이전에 연구되었던 dq 축에서의 고조파 보상 방식은 그림 1과 같이 각 고조파 성분에 대하여 해당 각주파수로 dq 변환을 통하여 이를 제어하여 기본파 성분 제어기 출력에 보상하는 방식을 통하여 제어하였다. 하지만 이러한 방식은 고조파를 dq 변환한 값에 고조파가 발생하면 출력에 또다른 고조파가 증가하게 된다, 이러한 상황을 방지하기 위해 dq 변환 후에 추가적

인 필터를 구성하여 노이즈성분을 소거해야 한다. 이러한 과정들로 인해 저감하려는 고조파 성분이 많을수록 연산량이 증가한다,

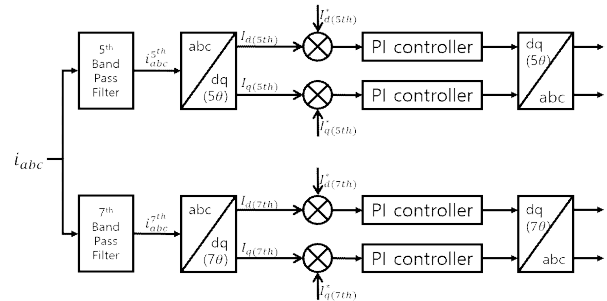


그림 1 dq 변환을 통한 고조파 제어기 블록선도
fig 1 Harmonic controller Block diagram

3. 제안하는 고조파 보상 기법

3.1 회전 좌표계 6차 고조파 보상

본 논문에서는 출력 전압의 5, 7차 고조파를 저감시키기위해 dq축에서의 6차 고조파 공진제어기를 통한 보상하는 방법을 제안한다. 3상 5, 7차 고조파는 아래 나타낸 식(1)을 식 (2)에 대입하면 dq 축에서 식(3)과 같이 6차 고조파로 변환된다. 변환된 6차 고조파에 대하여 공진 제어기를 구성하면 해당 주파수에 대한 보상을 할 수 있다.

$$\begin{cases} v_a = V \cos(n\theta) \\ v_b = V \cos(n(\theta - \frac{2}{3}\pi)) \quad (n=0,1,2,3,\dots) \\ v_c = V \cos(n(\theta + \frac{2}{3}\pi)) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ \sin\theta \sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{cases} V_d = \sum_{n=1,4,7,10,\dots}^{\infty} V \cos(n-1)\theta + \sum_{n=2,5,8,11,\dots}^{\infty} V \cos(n+1)\theta \\ V_q = \sum_{n=1,4,7,10,\dots}^{\infty} V \cos(n-1)\theta - \sum_{n=2,5,8,11,\dots}^{\infty} V \sin(n+1)\theta \end{cases} \quad (3)$$

식 (1)은 고조파 전압식, 식 (2)는 dq변환 식, 식 (3)은 고조파 전압을 dq 변환한 결과값이다. 그림 2은 제안하는 보상 제어 방식의 블록 선도로 공진제어기를 통해 6차 고조파 대역의 성분을 인버터 전압 명령에 보상을 통해 인버터 출력 전압의 고조파 성분을 억제한다.

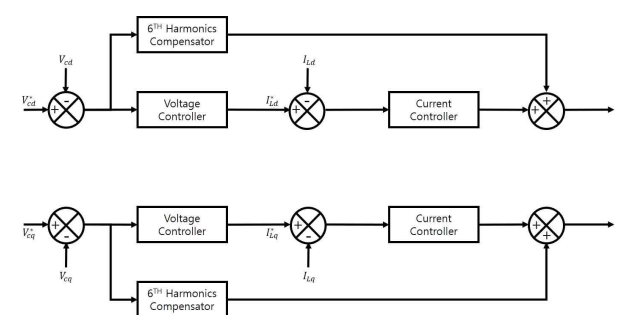


그림 2 제안하는 회전 좌표계 고조파 보상 제어기 블록선도
fig 2 Proposed SRF harmonic controller block diagram

4. 모의 해석

Pism 모의해석을 통해 6차 고조파 보상에 대한 효과를 검증하였다. 표 1을 모의해석에 사용된 인버터 파라미터를 나타내었다.

표 1 모의해석 파라미터
Table 1 simulation parameters

Output Power	17.4[kW]	Battery Charger Power	1.94[kW]
Non-linear Load Power	2.78[kW]	AC Load Power	12.7[kW]

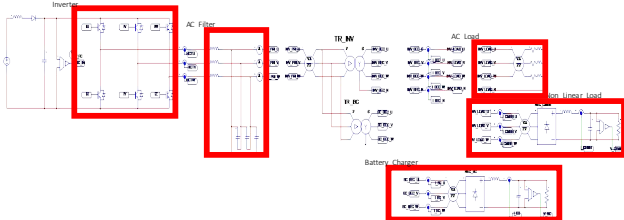
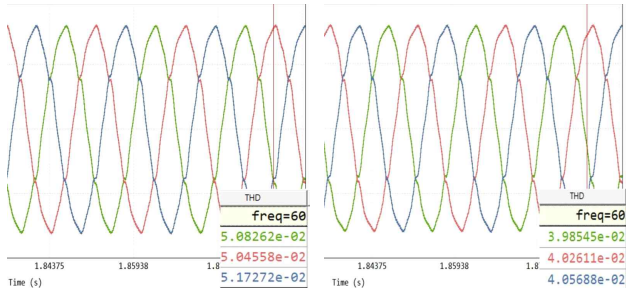
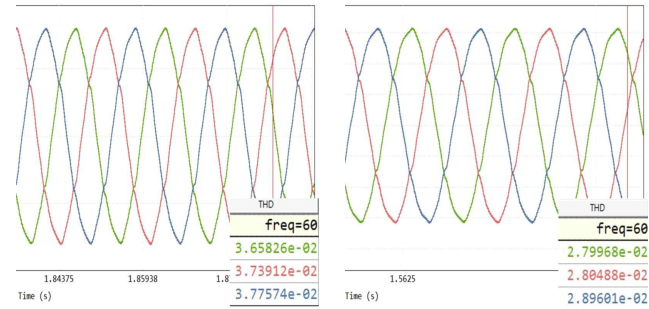


그림 3 PSIM 모의해석 회로도
fig 3 PSIM simulation circuit

4.1 모의해석 결과



(a) PI 제어
그림 4 정격부하 인버터 출력 전압, THD
fig 4 Rated Load inverter output voltage, THD



(a) PI 제어
그림 5 실제부하 인버터 출력 전압, THD
fig 5 Real Load inverter output voltage, THD

그림 4, 5는 전부하 상태에서 PI제어와 제안하는 제어기법의 출력 전압 파형과 THD이며 그림 6, 7은 실제 부하 상태에서 PI제어와 제안하는 제어 기법의 출력 전압파형과 THD이다.

표 2 출력 전압 고조파 왜율 비교
Table 2 Output voltage THD compare

	출력 전압 고조파 왜율[%]	
	PI 제어	PI+R
Rated Load	5.1	4.02
Real Load	3.71	2.82

5. 결론

본 논문에서는 비선형 부하로 발생하는 5,7차 고조파 저감에 대하여 dq축 전압의 6차 고조파를 이용한 공진제어기를 구성하여 출력 전압의 THD를 저감시키는 것을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

참고 문헌

[1] Wujong Lee, Jongmin Jo,Hanju Cha,“Voltage Control of Stand-Alone Inverter for Power Quality Improvement Under Unbalanced and Non-linear Load”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65, No. 4, pp. 567~575, 2016

[2] Sungjoon Cho, Ho-Sung Kang, Kyo-Beum Lee, Ji-Yoon Yoo,“Performance Improvement of a Grid-Connected Inverter under Distorted Grid Voltage Using a Harmonic Extractor”, Electronics 2019, 8(9), 1038