

# 계통연계형 인버터의 계통 전류 고조파 저감을 위한 6차 고조파 제어 기법

신지욱, 박영수, 이교범  
아주대학교

## 6th Harmonic Control Method for Reduction of Grid Current Harmonic Distortion in a Grid-Connected Inverter

Jiook Sin, Yeongsu Bak, Kyo-Beum Lee  
Ajou University

### ABSTRACT

본 논문에서는 계통연계형 인버터의 계통 전류 고조파 저감 기법을 제안한다. 일반적으로 인버터의 계통연계를 수행할 때, 계통 측 전류는 주로 정지 좌표계 상의 5차 및 7차 고조파 성분을 포함한다. 계통 측 전류의 5차 및 7차 고조파 성분은 동기 좌표계 상에서 6차 고조파 성분으로 나타난다. 본 논문에서는 동기 좌표계 상의 6차 고조파 성분 제어를 적용하여 계통 전류의 고조파를 저감하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법의 타당성은 시뮬레이션을 통해 검증한다.

### 1. 서론

최근 세계적으로 자원 고갈 및 지구온난화 등 심각한 환경 문제의 해결 방안으로 재생 에너지원 및 에너지저장장치의 요구가 증가되고 있다. 재생 가능한 에너지원과 계통 사이의 전력변환장치로써 일반적으로 계통연계형 인버터가 사용된다. 이는 계통에 투입되기 위한 고품질 전력을 보장하는 중요한 역할을 한다<sup>[1]</sup>. 이상적인 계통 전압은 정현파로 나타나지만, IEEE Std. 1547 규정에 따르면, 계통 기준에서 5% 미만의 5차 및 7차 고조파 성분만 허용된다. 따라서 정확한 인버터 출력을 합성하고 고조파를 저감하기 위한 다양한 제어 기법이 연구되었다<sup>[2-3]</sup>. 본 논문에서는 계통연계형 2-레벨 인버터의 계통 전압에 포함되는 5차 및 7차 고조파에 의한 전류 왜곡 발생 시, 동기 좌표계 6차 고조파 성분을 제어하여 전류의 고조파에 의한 왜곡을 감소시키는 기법을 제안하였다. 동기 좌표계의 6차 고조파 성분을 제어하기 위해서는 전역 통과 필터와 비례적분 제어를 사용한다. 전역 통과 필터는 동기 좌표계 d-q축 전류 각각의 지연된 위상을 제공하기 위해 사용된다. 제안하는 6차 고조파 제어 기법의 실효성 및 타당성을 PSIM을 이용한 시뮬레이션 결과로 검증하였다.

### 2. 제안하는 6차 고조파 제어 기법

그림 1은 본 논문에서 구현한 계통연계형 2-레벨 인버터를 나타낸다. 일반적으로 계통 측 정지 좌표계 d-q축 전류는 식 (1)과 같이 5차 및 7차 고조파 성분을 포함한다. 이를 동기 좌표계 d-q축 전류로 변환하면 식 (2)와 같이 6차 고조파 성분으로 표현된다. 따라서 동기 좌표계 상의 6차 고조파 성분을 제

어하여 계통 측 전류의 고조파에 의한 왜곡을 저감할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_d^s &= I_m \left\{ \sin(\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \dots \right\} \\ I_q^s &= I_m \left\{ -\cos(\omega t) + \frac{1}{5} \cos(5\omega t) - \frac{1}{7} \cos(7\omega t) + \dots \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} I_d^e &= I_m \left\{ \frac{1}{5} \sin(6\omega t) + \frac{1}{7} \sin(6\omega t) + \dots \right\} \\ I_q^e &= I_m \left\{ -1 + \frac{1}{5} \cos(6\omega t) - \frac{1}{7} \cos(6\omega t) + \dots \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

### 2.1 전역 통과 필터

전역 통과 필터는 신호처리 필터의 하나로서 진폭 이득과 관련된 전역적인 필터들과는 달리 통과하는 신호의 위상 특성만을 변화시킨다. 전역 통과 필터를 통과한 신호는 이득은 모든 주파수에 대해 동일하고 90° 위상 지연 특성을 가진다.

### 2.2 디지털 전역 통과 필터의 구현

디지털 전역 통과 필터는 bilinear, forward, backward 등의 방식으로 구현된다. 먼저 단일 이득을 가지는 전역 통과 필터의 전달 함수는 식 (3)과 같다. 전역 통과 필터를 디지털로 변환하기 위해 식 (3)의 전달 함수를 bilinear transformation 방식을 이용하면 식 (4)와 같이 표현된다.

$$G(s) = \frac{s - \omega}{s + \omega}, \quad s = \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (3)$$

$$G(z) = \frac{(2 - \omega T) - (2 + \omega T)z^{-1}}{(2 + \omega T) - (2 - \omega T)z^{-1}} \quad (4)$$

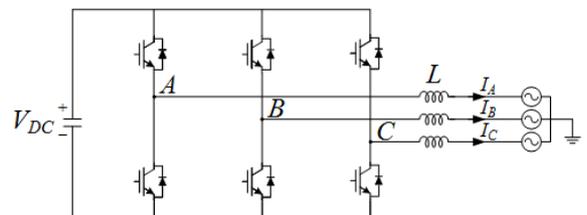


그림 1 계통연계형 2-레벨 인버터  
Fig. 1 Grid-connected 2-level inverter

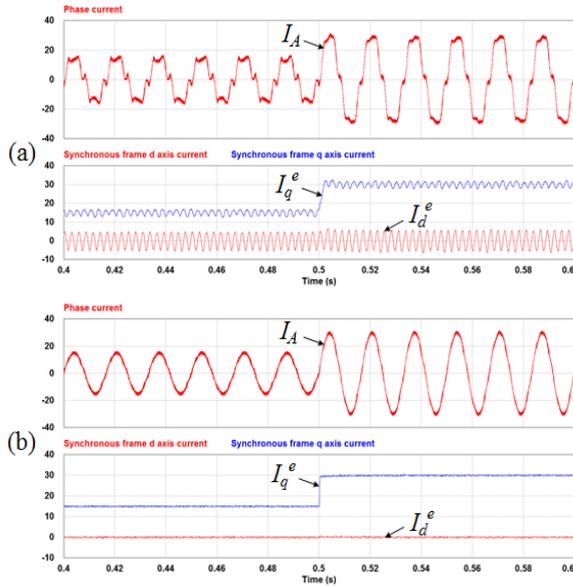


그림 2 계통 측 전류 제어 시뮬레이션 파형

- (a) 6차 고조파 제어 전 시뮬레이션 결과
- (b) 6차 고조파 제어 후 시뮬레이션 결과

Fig. 2 Waveform of current control on grid side

- (a) Simulation results before 6th harmonics control
- (b) Simulation results after 6th harmonics control

### 3. 시뮬레이션 결과

제안하는 제어 기법의 타당성을 확인하기 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시스템 파라미터는 표 1에 나타내었다. 그림 2는 계통 측 전류 제어의 시뮬레이션 결과로써, 그림 2의 (a)와 (b)는 각각 6차 고조파 제어 전, 후의 출력 상전류와 동기좌표계 d-q축 전류를 나타낸다. q-축 지령 전류는  $15 A_{peak}$ 에서  $30 A_{peak}$ 로 변경하였다. 5차 및 7차 고조파 성분의 전압을 계통 측으로부터 주입하고 6차 고조파 성분 제어에 대한 동특성을 보여준다. 제안하는 제어 기법을 적용 후, 그림 2의 (b)와 같이 출력 상전류의 왜곡이 저감됨을 알 수 있다. 그림 3의 (a)와 (b)는 계통 측 전류의 FFT 분석으로써 각각 6차 고조파 제어 전, 후의 결과를 나타낸다. 6차 고조파 제어 전의 FFT 분석과 같이 동기좌표계 d-q축 전류의 360 Hz 대역에 6차 고조파가 발생한다. 6차 고조파 제어 후에는 그림 3의 (b)와 같이 6차 고조파 성분이 감소한다. 이에 따라 출력 상전류의 5차 및 7차 고조파 성분이 저감됨을 알 수 있다.

### 4. 결론

계통연계형 인버터의 6차 고조파 성분을 저감하는 제어 기법을 제안하였다. 계통 측의 5차 및 7차 고조파 성분으로 인해 나타나는 동기좌표계 6차 고조파 성분을 제어하여 인버터 출력의 왜곡을 저감한다. 제안한 기법은 간단한 형태를 가지므로 구현이 용이하며, 전역 통과 필터를 사용하여 이득 감쇠가 발생하지 않고 비례적분제어를 통해 빠른 동특성을 갖는 장점이 있다. 제안된 제어 기법은 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

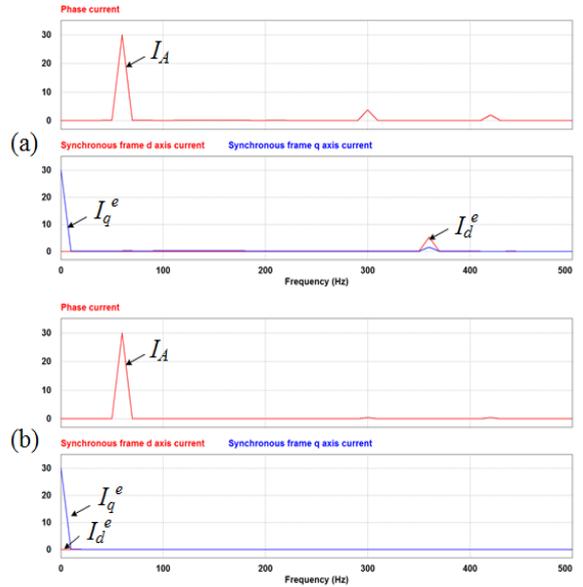


그림 3 계통 측 전류의 FFT 파형

- (a) 6차 고조파 제어 전 FFT 분석 결과
- (b) 6차 고조파 제어 후 FFT 분석 결과

Fig. 3 FFT waveform of current on grid side

- (a) FFT analysis before 6th harmonics control
- (b) FFT analysis after 6th harmonics control

표 1 시스템 파라미터

Table 1 System Parameters

항 목	값
입력전압	$V_{DV} = 600 \text{ V}$
계통선간전압	$V_{grid} = 220 \text{ V}_{rms}$
계통주파수	$f_{grid} = 60 \text{ Hz}$
5차 성분 전압	$V_{5th} = 60 \text{ V}_{rms}$
7차 성분 전압	$V_{7th} = 40 \text{ V}_{rms}$
L 필터	$L = 0.7 \text{ mH}$

### 참 고 문 헌

- [1] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. V. Timbus, "Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 5, pp. 1398-1409, Oct. 2006.
- [2] J.-K. Kim, J.-H. Lee, H.-G. Jeong, and K.-B. Lee, "Improvement of grid connected inverter systems with PR controllers under the unbalanced and distorted grid voltage," in Proc. IPEDMC Conf., pp. 1183-1187, 2012.
- [3] Y. Quan, H. Nian, J. Hu, and J. Li, "Improved control of the grid connected converter under the harmonically distorted grid voltage conditions," in Proc. ICEMS Conf., pp. 204-209, 2012.