

LCL-필터를 사용하는 계통연계 인버터의 개선된 불연속 전압 변조 방식

박진혁, 한동엽, 이교범
아주대학교

Improved DPWM Scheme for Grid-Connected Inverters with an LCL-Filter

Jin-Hyuk Park, Dong Yeob Han, Kyo-Beum Lee
AJOU UNIVERSITY

ABSTRACT

본 논문에서는 LCL 필터가 사용된 계통연계 인버터의 공진 전류를 저감하기 위한 개선된 불연속 전압 변조 방식을 제안한다. 기존의 불연속 전압 변조 방식은 전압변조신호가 60도마다 불연속적으로 변하기 때문에 많은 고조파가 발생하며, 이 고조파와 LCL 필터를 사용하는 계통연계 시스템의 공진주파수 대역이 겹치면 계통전류가 공진하는 문제가 발생한다. 제안하는 불연속 전압 변조 방식은 3상 지령 전압의 최대, 최소값을 이용한 오프셋을 전압 변조 신호에 주입하여 불연속적인 부분에 의해 발생하는 고조파를 저감하여, 공진주파수 대역이 겹치게 되었을 경우 발생하는 문제를 방지한다. PSIM 시뮬레이션을 통해 제안하는 불연속 전압 변조 방식의 타당성을 검증한다.

1. 서론

계통연계 인버터는 ESS (Energy Storage System), 신재생 에너지, 전기자동차 충전기 등의 여러 전력변환시스템에서 사용되며, 이에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이러한 전력변환장치는 높은 효율을 필요로 하며 불연속 전압 변조 방식은 스위칭 손실을 줄여 전력변환장치에 효율을 상승시킬 수 있다^[1]. 또한 대용량 시스템의 계통연계 시 L 필터 대신 LCL 필터를 사용하면, LCL 필터가 L 필터보다 작은 인덕턴스가 요구되기 때문에 필터의 크기를 줄일 수 있어 필터 가격의 하강 및 전체 시스템의 동적응답속도의 상승효과를 가져올 수 있다^[2]. 하지만 계통연계형 인버터에 기존의 불연속 전압 변조 방식과 계통측에 LCL 필터를 같이 사용할 경우, 전압 변조 신호의 불연속적인 부분에 의해 발생한 출력전압의 고조파와 LCL 필터의 공진 주파수대역이 겹치면 출력전류가 공진하는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 LCL 필터를 사용하는 계통연계 시스템에서 전압 변조 신호의 불연속적인 부분에서 발생하는 고조파와 LCL 필터의 공진 주파수대역이 겹칠 경우 발생하는 출력전류가 공진하는 문제를 해결하기 위한 개선된 불연속 전압 변조 방식을 제안한다. 제안하는 방법은 전압 변조 신호의 불연속적인 부분을 연속적으로 만들어 고조파의 발생을 감소시켜 공진에 의한 출력전류의 맥동을 저감할 수 있다. 제안하는 불연속 전압 변조 방식의 타당성은 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 개선된 불연속 전압 변조 방식

그림 1은 제안하는 불연속 전압 변조 방식의 오프셋 전압이다. 제안하는 불연속 전압 변조 방식은 60도 마다 불연속적으로 변하는 기존의 오프셋 전압의 양쪽 15도에 새로운 오프셋을 주입하여 전압 변조 신호를 연속적으로 만든다. 식 (1)은 각 상마다 120도 위상차를 갖는 3상 지령전압을 나타낸다.

$$\begin{aligned} V_a^* &= V_m \sin(\omega t) \\ V_b^* &= V_m \sin(\omega t - 2\pi/3). \\ V_c^* &= V_m \sin(\omega t + 2\pi/3) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (2)는 기존의 불연속 전압 변조 방식의 오프셋 전압을 나타내며, V_{dc} 는 직류단 전압, V_{max}^* 와 V_{min}^* 은 3상 지령전압의 최대, 최소값을 의미한다.

$$V_{offset} = \begin{cases} \frac{V_{dc}}{2} - V_{max}^* & , V_{offset} > 0 \\ -\frac{V_{dc}}{2} - V_{min}^* & , V_{offset} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

기존의 전압 변조 방식의 오프셋 전압은 양에서 음으로, 음에서 양으로 불연속적으로 변하기 때문에 많은 고조파를 발생시킨다. 제안하는 방법에서는 3상 지령전압의 최대, 최소값을 이용하여 이를 연속적으로 만들어 고조파 발생을 저감시킨다. 식 (3)은 제안하는 전압 변조 신호를 위한 삼각파이며 3상 지령전압의 최대값과 최소값으로 구성되어 있다.

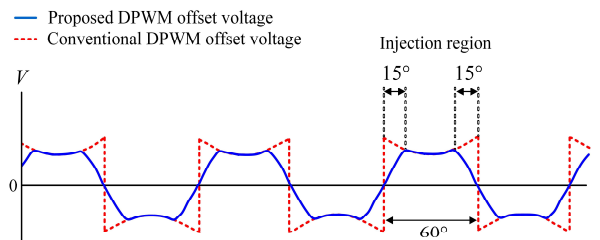


그림 1 기존 불연속 전압 변조 방식의 오프셋 전압과 제안하는 불연속 전압 변조 방식의 오프셋 전압 비교

Fig. 1 Comparison the proposed DPWM offset voltage with the conventional DPWM offset voltage

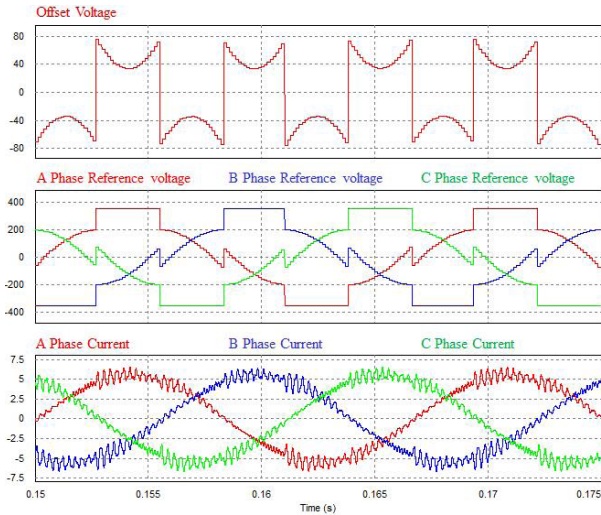


그림 2 기존 불연속 전압 변조 방식의 오프셋 전압, 3상 지령전압, 출력전류

Fig. 2 Offset voltage of the conventional DPWM, 3 Phase reference voltage, and output current

$$V_{tri} = (V_{max}^* + V_{min}^*)/2. \quad (3)$$

V_{tri_norm} 은 V_{tri} 를 식 (2)의 오프셋 전압 크기에 비례하게 주입하기 위해 일반화한 것으로 식 (4)와 같이 표현된다.

$$V_{tri_norm} = \frac{2 \times V_{tri}}{V_{tri_peak}}. \quad (4)$$

V_{tri_peak} 는 V_{tri} 의 최대값을 의미한다.

제안하는 불연속 전압 변조 방식의 오프셋 전압은 식 (5)와 같다.

$$V_{new_offset} = \begin{cases} V_{offset} \times V_{tri_norm}, & 0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ \\ V_{offset}, & 15^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \\ V_{offset} \times V_{tri_norm}, & 45^\circ \leq \theta \leq 60^\circ \end{cases}. \quad (5)$$

제안하는 전압 변조 신호는 연속적으로 변하기 때문에 인버터 출력전압에 발생하는 많은 고조파를 저감할 수 있다. 따라서 출력전류의 공진문제를 해결할 수 있다.

3. 시뮬레이션

제안하는 개선된 불연속 전압 변조 방식의 시뮬레이션은 LCL 필터를 사용한 3상 계통연계형 3레벨 인버터를 사용하였다. 정격은 5 kW, 계통전압은 311 V, 스위칭주파수는 7.8 kHz, 직류단 전압은 700 V, LCL 필터의 계통측 인덕터는 0.71 mH, 커패시터는 4.4 μF, 인버터측 인덕터는 1.4 mH로 시뮬레이션을 진행하였다.

그림 2는 기존의 전압 변조 신호를 사용한 시뮬레이션 파형이다. 전압 변조 신호의 불연속적인 변화에 의해 생기는 고조파와 LCL 필터의 공진주파수 대역이 일치하여 출력전류가 맥동하는 것을 확인할 수 있다.

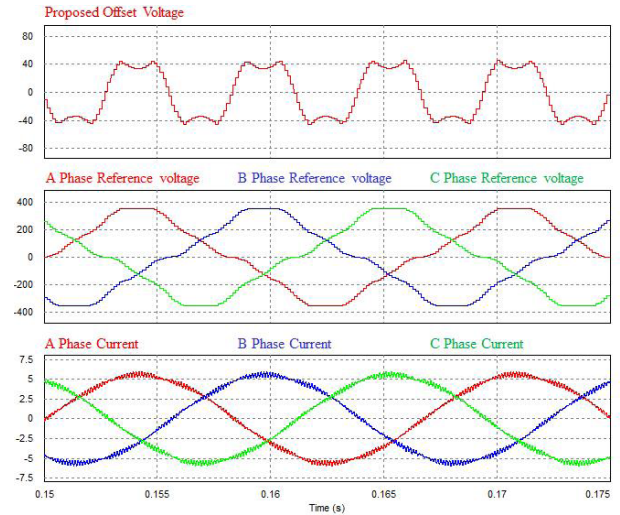


그림 3 제안하는 불연속 전압 변조 방식의 오프셋 전압, 3상 지령전압, 출력전류

Fig. 3 Offset voltage of the proposed DPWM, 3 Phase reference voltage, and output current

그림 3은 제안하는 전압 변조신호를 사용한 시뮬레이션 파형이다. 기존의 방식과 달리 전압 변조 신호가 연속적이기 때문에 LCL 필터의 공진주파수 대역과 일치하는 고조파가 감소해 출력전류가 맥동하지 않는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 LCL 필터가 포함된 계통연계 인버터 시스템에서 인버터의 공진 전류를 저감하는 개선된 전압 변조 방식을 제안한다. 기존의 불연속 전압 변조 방식은 전압 변조 신호의 불연속적인 변화에 의해 생기는 고조파와 LCL 필터의 공진 주파수 대역폭과 일치하면 출력전류가 공진하는 문제가 있다. 제안하는 불연속 전압 변조 방식은 3상 지령전압의 최대값과 최소값을 이용하여 전압 변조 신호를 연속적으로 만들어 출력전압의 고조파 발생을 방지하여 공진에 의한 출력전류의 맥동을 저감하였다. 제안하는 불연속 전압 변조 방식의 타당성은 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

참고 문헌

- [1] B. A. Welchko, S. E. Schulz, S. Hiti, "Effects and compensation of dead time and minimum pulse width limitations in two level PWM voltage source inverters," Industry Applications Conference, 2006. 41st IAS Annual Meeting., vol.2, pp.889-896, Oct. 2006
- [2] H. G. Jeong, K. B. Lee, S. W. Choi, and W. J. Choi, "Performance improvement of LCL filter based grid connected inverters using PQR power transformations," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 25, no. 5, pp. 1320-1330, May 2010.