# 영구자석형 동기전동기용 인버터에서 정현파-구형파 운전 방식 사이의 전환 방법

이승용, 윤덕용 공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

# The Transition Control Technique between Sinusoidal-Wave and Square-Wave Driving Method in Inverter for PMSM

Seung-Yong Lee, Duck-Yong Yoon Kongju National University

#### **ABSTRACT**

영구자석형 동기전동기를 구동하는 인버터에서는 기본적으로 정현파 운전 방식을 사용하지만 최근에는 구형파 운전 방식도 종종 사용되고 있다. 정현파 운전 방식은 구형파 운전 방식에 비해 토크 리플이 작고 기동 성능이 우수하며, 약자속 제어를 이용하여 정격 속도 이상의 고속 운전이 가능하다. 이에 비해 구형파 운전 방식은 제어 알고리즘이 간단하고 스위칭 손실이 적은 장점이 있지만, 토크 리플이 크고 정격 속도 이하의 영역 에서만 운전이 가능하다는 단점이 있다.

최근에 인버터의 운전 중에 각각의 장점이 있는 이들 2가지 운전 방식을 서로 전환하는 방법으로 가전제품의 압축기와 같은 연속 부하에 적용하기 위한 연구가 진행되었다. 저속 구간에서는 스위칭 손실을 줄이기 위하여 구형파 운전 방식을 주로 사용하고, 고속 구간에서는 안정적인 제어 성능을 위하여 정현파 운전 방식을 사용한다. 또한, 이 2가지 운전 방식의 전환 구간에서의 발생되는 과도 상태를 짧게 줄이기 위하여 속도 및전류 제어기의 제어 변수에 대한 초기화 방법이 제시되었다.

본 논문에서는 구형파 운전 구간의 속도 제어기에 비례 적분 전류 제어기를 추가하여 전류 리플을 감소시키고, 전환 구간에 서의 속도 및 전류 제어기의 제어 변수에 대한 초기화 방법을 제시하였다.

## 1. 서 론

영구자석형 동기전동기를 구동하는 인버터에서는 전동기의 상전류 형태에 따라 정현파 운전 방식과 구형파 운전 방식을 사용하는 것이 가능하다. 일반적으로 영구자석형 동기전동기는 정현파 운전 방식을 주로 사용하는데, 이 방식은 토크 리플이작고 빠른 속도 응답 특성을 갖고 있어 서보용 속도 제어 시스템에 사용된다. 또한, 약자속 제어를 이용하여 정격속도 이상의고속 운전이 가능하다. 이에 비해 구형파 운전 방식은 제어 알고리즘이 간단하여 저성능의 MCU로 구현이 가능하고, 스위칭손실이 적어 인버터의 효율을 중시하는 시스템에 사용된다. 그러나, 토크 리플이 크고 정격 속도 이하로만 운전이 가능한 단점이 있다. 이 방식은 가변속 운전 분야에 적합하다.

최근에 영구자석형 동기전동기를 넓은 속도 범위에서 제어하는 인버터에서 이들 2가지 운전 방식의 장점을 사용하기 위하여 운전 중에 서로 전환하는 방법이 연구되고 있다.[11]2] 본 논문에서는 2가지 운전 방식을 서로 전환하는 기존 방법[1]을

개선하기 위하여 구형파 운전 방식에서는 속도 제어기에 비례적분 전류 제어기<sup>[3]</sup>를 추가하여 전류 리플을 감소시키고 속도응답 특성을 개선하며, 정현파 운전 방식에서는 벡터제어 알고리즘과 SVPWM 기법을 적용하여 최상의 제어 성능을 유지한다. 그리고, 이 2가지 운전 방식의 전환 구간에서 발생되는 과도 상태를 감소시키기 위하여 전류 제어기의 제어 변수들에 대한 초기화 방법을 제시하고 시뮬레이션으로 이를 확인한다.

#### 2. 구형파 운전 방식의 전류 제어

그림 1은 구형과 운전 방식의 알고리즘 블록도와 그 내부의 비례 적분 전류 제어기를 나타내고 있다. 이 전류 제어기의 출 력에는 역기전력을 전향보상하였다.

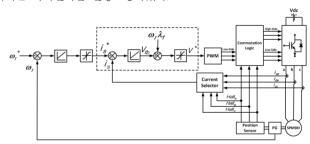


그림 1 구형파 운전 방식의 알고리즘 블록도

Fig 1. Algorithm block diagram of square-wave driving method

그림 2와 그림 3은 종래의 전압 제어를 사용한 구형파 운전 방식<sup>[11]</sup>과 전류 제어를 사용한 구형파 운전 방식에 대하여 각각 시뮬레이션을 수행하여 상전류를 나타내었다. 그림 3이 그림 2에 비하여 상전류의 리플이 감소한 것을 확인할 수 있다.

## 3. 정현파-구형파 운전 방식 사이의 전환 방법

### 3.1 정현파 운전 방식에서 구형파 운전 방식으로의 전환

정현파 운전 방식에서 구형파 운전 방식으로 전환하기 위해 서는 자속각  $\theta$ 가  $0^{\circ}$ 인 지점에서 수행되어야 한다.

정현파 운전 중에 벡터 제어를 수행하기 위하여 동기 회전 좌표계로 변환된 d, q축 전류를 식 (1)에 따라 전환 구간에서 구형파 운전 방식의 전류 제어기 지령으로 사용한다.

$$i_s^* = \sqrt{(i_{ds})^2 + (i_{qs})^2} \tag{1}$$

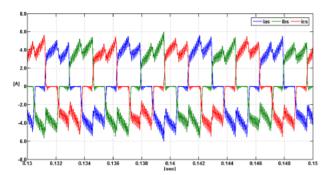


그림 2 구형파 운전 방식에서 상전류(전압 제어)

Fig. 2 Phase currents of square-wave driving method(voltage control)

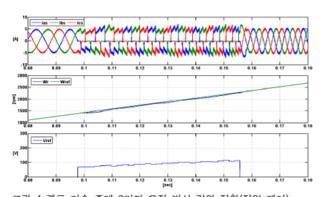


그림 4 램프 기속 중에 2가지 운전 방식 간의 전환(전압 제어) Fig. 4 Transition control between two driving methods to ramp speed up(voltage control)

3.2 구형파 운전 방식에서 정현파 운전 방식으로의 전환 구형파 운전 방식에서 정현파 운전 방식으로 전환하기 위해 서는 마찬가지로 자속각 θ가 0°인 지점에서 수행되어야 한다.

$$\begin{split} i_{qs}^* &= 2i_s/\sqrt{3} \\ i_{ds}^* &= 0 \end{split} \tag{2}$$

구형파 운전에서의 전류는 식 (2)에 따라 정현파 운전 방식의 d, q축 전류 제어기 지령으로 사용한다.

실제 속도  $\omega_r$ 과 지령 속도  $\omega_r^*$ 는 2가지 운전 방식의 전환 간에도 동일하게 속도 제어기에서 사용된다.

#### 3.3 2가지 운전 방식간의 전환 시뮬레이션

그림 4와 그림 5는 동기전동기를 램프로 가속하는 중에 2가지 운전 방식 간의 전환 동작을 시뮬레이션한 결과를 나타내고 있다. 여기서, 그림 4는 구형파 운전 구간에서 전압 제어를 수행하였고, 그림 5는 구형파 운전 구간에서 전류 제어를 수행한 시뮬레이션 결과이다.

그림 4와 그림 5의 정현파 운전 구간에서는 서로 동일한 운전 특성을 보여주고 있다. 그리고, 정현파 운전에서 구형파 운전으로 전환시에도 기본적으로 제어는 원활하게 수행되지만 세부적으로는 다른 특성을 보인다. 그림 4에서는 구형파 운전 구간에서 실제 속도  $\omega_r$ 이 지령 속도  $\omega_r^*$ 와 다소 차이를 보이면서 따라가며, 구형파 운전에서 정현파 운전으로 전환시에 상전류의 리플이 큰 것을 볼 수 있다.

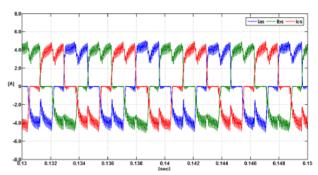


그림 3 구형파 운전 방식에서 상전류(전류 제어)

Fig. 3 Phase currents of square-wave driving method(current control)

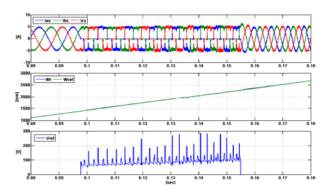


그림 5 램프 가속 중에 2가지 운전 방식간의 전환(전류 제어) Fig. 5 Transition control between two driving methods to ramp speed up(current control)

그림 5에서는 전체 운전 구간에서 실제 속도  $\omega_r$ 과 지령 속도  $\omega_r^*$ 와의 차이가 거의 없으며, 구형파 운전에서 정현파 운전으로 전환시에도 상전류의 리플이 그림 4에 비해 상당히 작아진다. 또한, 전압 제어와 전류 제어를 사용하는 경우 전환 구간에서의 전압 지령  $V^*$ 도 상당한 차이가 있음을 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

비례 적분 전류 제어기를 사용하여 구형파 운전 구간에서의 전류 리플을 감소시켰고, 이 구간에서의 속도 응답 특성을 개 선하였다. 또한 정현파 운전 방식과 구형파 운전 방식 간의 전 환 구간에서도 제시한 제어 변수의 초기화 방법을 사용하면 상 당히 안정적으로 동작한다는 것을 시뮬레이션으로 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] K.-W. Lee, S. G. Park and S. K. Jeong, "A Seamless Transition Control of Sensorless PMSM Compressor Drives for Improving Efficiency Based on a Dual-Mode Operation", IEEE Trans. Power Electron, vol. 30, no. 3, pp. 1446–1456, March 2015.
- [2] 허성용, "냉장고 압축기용 IPMSM 구동 시스템의 구형파-정현파 통전방식 절환 기법", 경북대학교 석사학위 논문, pp. 15-23, 2014.
- [3] 김상훈, DC, AC, BLDC 모터제어, 복두 출판사, pp. 80-90, 2012.