

# 전해 캐패시터가 없는 단상 입력 인버터를 위한 매입형 동기전동기의 구동 전류 파형 생성 방법

손영락, 이옥진, 하정익  
서울대학교 전기·컴퓨터공학부

## A current profiling method for IPM in single-phase source inverter without Electrolytic Capacitor

YoungRack Son, Wook-Jin Lee, Jung-Ik Ha

School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

### Abstract

본 논문에서는 전해 캐패시터가 없는 단상 입력 인버터 시스템의 출력 전류 파형 생성 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 모터 제정수에 의한 전압 변화를 고려하여 계통 전류 형태를 정현파에 가깝게 만드는 출력 전류 지령을 구할 수 있다. 운전 조건에 맞는 최적 출력 전류를 수치 해석을 통해 구하고, 이를 참조표로 만들어 사용한다. 제안된 구동 전류 파형 생성 알고리즘에 대해 설명하고, 모의 실험을 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 검증했다.

### 1. Introduction

일반적으로 단상 입력을 받는 구동 시스템에는 일정한 직류단 전압 유지를 위해 큰 용량의 전해 캐패시터를 사용한다. 그러나 전해 캐패시터는 수명이 짧고 맥동 전류 특성이 나빠 시스템의 신뢰성을 저하시키는 원인이 된다. 또한 높은 용량의 전해 캐패시터를 추가 회로 없이 시스템의 직류단에 적용할 경우 계통 역률이 낮아지는 문제가 있다.

최근 이 문제들을 해결하기 위해 그림 1과 같이 필름 캐패시터를 직류단 캐패시터로 사용한 시스템이 연구되고 있다. 필름 캐패시터는 긴 수명과 우수한 맥동 전류 특성을 가지고 있어 높은 신뢰성을 얻을 수 있으나, 전해 캐패시터에 비해 단위 면적 당 현저히 낮은 용량을 가진다. 따라서 가격과 부피를 고려했을 때 시스템의 직류단 용량이 작아지고, 단상 전원에 동기화되어 직류단 전압이 크게 맥동하게 된다. 직류단 전압의 큰 변동은 전동기 제어를 위한 전압 확보의 문제를 발생시키기 때문에 이를 해결하기 위한 방법들이 제안되어 왔다. 기존의 연구에서는 구동 전류의 형태를 직류단 전압의 크기에 따라 변형하는 여러 방법을 제안했으나, 전동기의 저항 및 인덕터에 걸리는 전압 변화를 고려하지 않고 있다. 이는 예상하지 못한 전압 여유 부족 구간을 발생시키고 이로 인해 전동기 출력을 정확히 제어하지 못하는 구간이 발생한다. 또한 이 구간에서의 전동기 출력 오차로 인해 계통 전류의 역률 및 고조파 특성의 개선 효과가 떨어지는 문제가 생긴다.

본 논문에서는 수치 해석을 통해 계통 역률을 개선할 수 있는 구동 전류 파형 생성 알고리즘을 제안하고, 모의 실험을 통해 계통 역률 및 계통 전류 고조파 특성이 개선됨을 보인다.

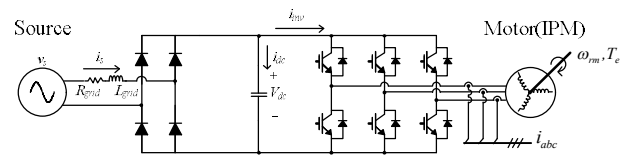


그림 1. 제안된 전동기 구동 시스템.

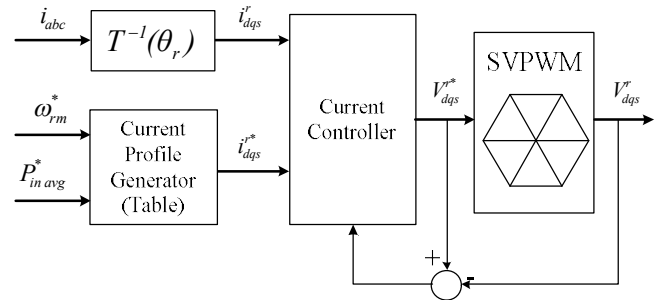


그림 2. 전동기 제어 알고리즘 블록도.

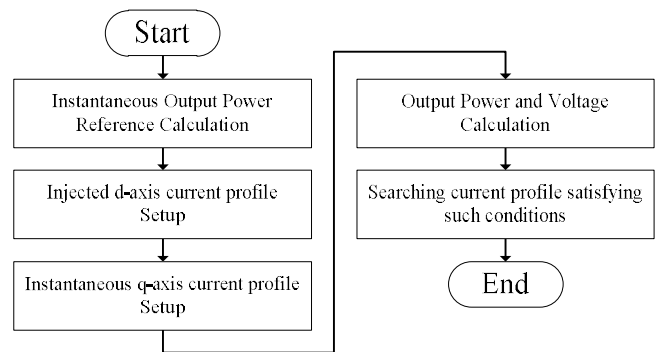


그림 3. 구동 전류 파형 생성 과정 흐름도.

### 2. Proposed Current Shaping Method

그림 2와 같은 과정을 통해 시스템을 제어한다. 구동 전류 파형 생성기는 속도 지령 및 평균 입력 power의 크기를 입력받아 그림 3의 과정을 거쳐 속 해당 운전 조건에서 필요한 구동 전류 파형을 구한다.

먼저 입력 측 역률이 1이고 직류단 전압이 입력 전압의 절대값 형태로 맥동한다고 가정하면 식 (1)과 같이 전동기 출력의 순시 형태를 정할 수 있다.

$$P_{out} = P_{in} - P_{dc} = v_s i_s - v_{dc} i_{dc} \quad (1)$$

$$= V_s I_s \sin^2 \omega_{grid} t - \omega_{grid} C_{dc} V_s^2 \sin 2\omega_{grid} t.$$

전동기 출력을 전동기 전류에 대해 정리하면 식 (2)의 관계를 얻을 수 있다. 정현파 형태의 계통 전류를 얻기 위해서는 전동기 출력의 크기가 식 (1)의 형태와 같아야 한다. 또한 원하는 형태의 전류를 정확히 출력하기 위해서는 출력 전압의 크기가 항상 합성할 수 있는 범위 내에 있어야 한다. 즉, 구하고자 하는 전류는 전동기 출력 조건과 식 (3)으로 표현되는 전압 제한 조건을 모두 만족해야 한다.

$$P_{out} = 1.5\omega_r [\lambda_f + (L_d - L_q) i_{ds}^r] i_{qs}^r + 1.5(i_{ds}^{r2} + i_{qs}^{r2}) + 1.5(L_d i_{ds}^r \frac{di_{ds}^r}{dt} + L_q i_{qs}^r \frac{di_{qs}^r}{dt}). \quad (2)$$

$$V_{out} = \sqrt{(R_s i_{ds}^r + L_d \frac{di_{ds}^r}{dt} - \omega_r L_q i_{qs}^r)^2 + (R_s i_{qs}^r + L_d \frac{di_{qs}^r}{dt} - \omega_r L_q i_{ds}^r)^2} \leq V_{out,lim} \quad (3)$$

위의 조건들을 만족하는 전류 벡터를 미분방정식의 풀이를 통해 정확히 구하는 것은 매우 어렵다. 따라서 수치 해석을 이용하여 정확한 형태에 가까운 해를 구한다. 그 과정은 아래와 같다.

먼저 식 (4)에서 각 성분의 크기 및 위상을 설정해 d축 전류의 형태를 정한다. 처리 데이터 량을 줄이기 위해 4고조파 이상 성분은 제거하여 근사했다.

$$i_{ds}^r = i_0 + i_1 \sin(2\omega_{grid} t + \theta_1) + i_2 \sin(4\omega_{grid} t + \theta_2) + i_3 \sin(6\omega_{grid} t + \theta_3). \quad (4)$$

앞에서 정한 형태의 d축 전류를 사용할 때 전압 제한 및 출력 조건을 만족하는 q축 전류 파형을 찾는다. 먼저  $t = 0$ 일 때 전압 제한 및 출력 조건을 만족하는 q축 전류 값을 찾은 다음, 일정한 간격으로 시간을 늘리면서 해당 시점에서 두 조건을 만족하는 q축 전류 값을 찾는다. 이 과정을 직류단 전압 변동 기준 1주기 동안 반복하면 필요한 q축 전류 파형을 구할 수 있다. (4) 식에서 크기 및 위상 값을 바꾸면서 이상의 과정을 반복하면, 해당 운전 조건에서 사용할 수 있는 구동 전류 파형들을 얻을 수 있다. 이중 전동기 상 전류 실효치의 크기가 가장 작은 전류 파형을 운전에 사용한다.

### 3. Simulation Result

그림 4, 5와 표 1은 모의 실험을 통해 제안된 알고리즘을 구현한 것이다. 기존 알고리즘<sup>[1]</sup>과 계통 역률 및 고조파 특성을 비교했다. 실험에 사용된 전동기는 에어컨 압축기용으로 사용되는 모터로, 계통 전류 고조파 관련 규정<sup>[2]</sup>을 만족해야 한다. 그림 4는 정격 속도 및 출력 조건에서 수치 해석을 이용하여 찾은 모터 구동 전류 파형 및 이를 이용한 시스템 제어시 계통 전류 및 직류단 전압을 도시한 것이다. 그림 5는 계통 전류를 주파수에 대해 분석, 고조파 성분을 규정에 명시된 제한치와 비교하여 도시한 것이다.

### 4. Conclusion

본 논문에서는 제안된 전해 캐패시터를 제거한 단상 전원을 사용하는 전동기 구동 시스템에 적용할 수 있는 새로운 전동기 구동 전류 파형 생성 알고리즘을 제안했다. 제안한 알고리즘을 통해 얻은 구동 전류 파형을 이용하여

시스템을 제어할 경우 모터의 인덕턴스 성분에 의한 전압까지 고려하여 제어할 수 있으므로 시스템의 입력 측 전류 역률 및 고조파 특성을 크게 개선할 수 있다.

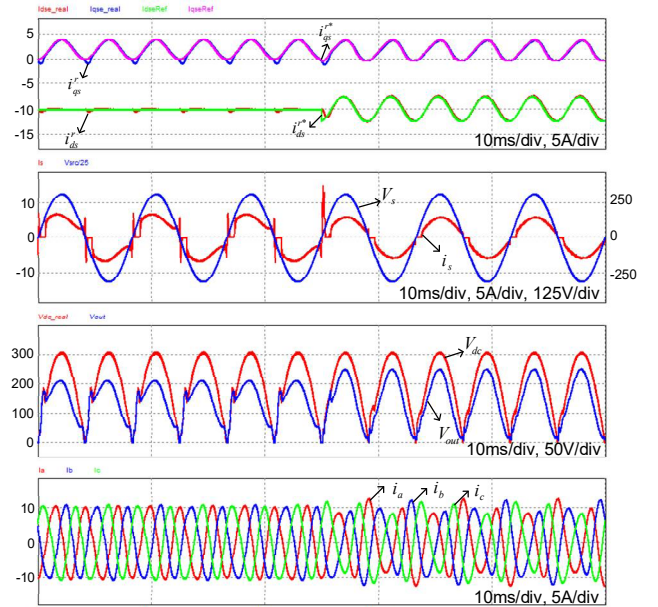


그림 4. 출력 전류 생성 알고리즘 비교.

	기존 알고리즘	제안 알고리즘
PF	0.958	0.992
THD	30.01%	12.36%

표 1. 계통 역률 및 고조파 특성 비교.

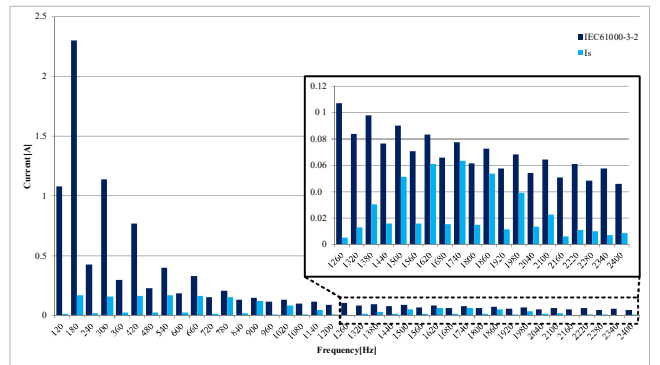


그림 5. 계통 전류 주파수 분석.

### Acknowledgment

본 연구는 LG 전자 EC 사업부와의 기술 용역을 통해 진행되었음.

### Reference

- [1] 정현삼, 지승준, 설승기, 박영재, 이동환, “단상 입력과 소용량 직류단 캐패시터를 가지는 3 상 교류 전동기 구동용 인버터의 제어”, 2011 전력전자학회 추계 학술대회 논문집, pp.14-15.
- [2] Electromagnetic Compatibility, Part 3, Section 2. Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16A$  per phase), EN61000-3-2