

# 높은 역률을 위한 전해 커패시터가 없는 전동기 구동 시스템의 새로운 방법

강신원, 김상일, 김래영, 현동석†  
한양대학교

## A Novel Method of High Power Factor Control for Motor Drive System with Single-Phase Rectifier without Electrolytic Capacitor

Shin Won Kang, Sang Il Kim, Rae Young Kim, Dong Seok Hyun†  
Hanyang University

### ABSTRACT

본 논문에는 전동기 구동 가전제품에서 전해 커패시터 없이 높은 역률을 얻기 위한 제어 방법을 제안한다. 제안한 시스템은 단상 다이오드 정류기, 필름 커패시터, 3상 인버터, AC 전동기로 구성되어 있다. 높은 역률을 얻기 위해서, 이 논문은 계통 전압의 위상에 대해서 q축 전류를 지연하는 방법을 제안한다. 이 논문은 벡터제어와 Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) 방법을 사용하였다. 시뮬레이션 결과는 PSIM을 통하여 확인하였고, 제안한 방법의 효율을 보여주고 있다.

### 1. 서론

최근에 가정의 전력수요가 높아짐에 따라 전기에너지의 효율 및 품질에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 가정용 부하로서 인덕턴스 부하의 사용이 증가하고 이를 제어하기 위한 일반적인 전력변환장치를 사용하는 경우, 역률이 나쁜 특징을 갖게 된다. 따라서 역률을 높이는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이를 개선하기 위해 기존에는 별도의 PFC(Power Factor Correction) 회로를 부착하는 경우가 대부분이었다. 본 논문에서는 PFC를 부착하지 않고 인버터의 제어를 이용하여 역률을 개선하는 방법을 제시하고자 한다.

그림 1의 단상 다이오드 정류기를 갖는 3상 가정용 인버터 시스템은 단상 다이오드 정류기, 대용량 커패시터, 3상 인버터 그리고 교류 전동기로 구성되어 있다. 대부분의 인버터 시스템은 DC Link 전압을 일정하게 유지하기 위해 큰 전해커패시터를 부착하고 있다. 하지만, DC Link 전압을 높게 유지하기 위한 대용량의 전해커패시터는 사이즈가 클 뿐만 아니라 열화에 의한 수명 단축으로 시스템의 내구성을 떨어뜨리는 문제를 낳고 있다. 또한 DC Link 전압을 높은 전압으로 유지하는 것은 역률에도 악영향을 준다. 이 문제를 개선하기 위해 대용량 전해커패시터를 기존 용량보다 수 백배 적은 소용량 필름 커패시터로 대체하면, 커패시터에 의한 사이즈, 내구성 문제 등이 해결 될 뿐만 아니라 계통 입력의 역률 개선효과도 도모할 수 있다. 이와 같은 방법을 전해 커패시터가 없는 구동 시스템이라 하고, 이 방법에 관한 여러 연구들이 진행 되어 왔다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 전해 커패시터가 없는 전동기 구동 시스템에 대한 새로운 방법을 제안하고 있다. 우선 입력 전류를 센싱 받고, DC Link 전압의 위상과 위상 지연을 갖도록 q축 지령 전

류를 만들고, 약 자속제어를 통해 고속에서도 높은 역률을 가지고 운전할 수 있도록 하였다. 제안한 방법은 시뮬레이션을 통해 타당성과 성능을 확인하였다.

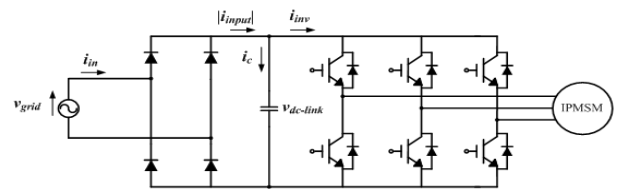


그림 1. 전동기 구동 인버터 시스템.

### 2. 본론

#### 2.1 일반적인 전동기 구동 시스템의 역률

일반적으로 DC Link 전압을 일정하게 유지하기 위해 단상 전동기 구동 시스템에서는 큰 전해 커패시터를 사용한다. 그러므로 다이오드 정류기의 도통 시간이 길지 않게 되어 역률이 낮아진다. 그림 2는 다이오드 정류기의 도통시간에 따른 역률 관계를 보여준다. 다이오드 도통시간과 역률 관계식을 따져보면 (1)번식으로 표현할 수 있다.<sup>[1]</sup>

$$\cos\phi = \sqrt{\frac{\theta + \sin\theta}{\pi}} \quad (\phi \text{는 역률각}) \quad (1)$$

위 식에서  $\theta$ 는 다이오드의 도통시간으로 정의된다.  $\theta$ 가 커질수록 계통전압과 입력전류는 동상에 가까워져 역률이 높아진다. 하지만 대용량 전해 커패시터를 갖는 시스템에서는 계통전압이 DC Link 전압보다 큰 경우에만 전류가 흐르기 때문에 낮은 입력 역률을 갖게 된다. 따라서 소용량의 커패시터와 인버터를 이용해 전동기의 전류와 DC Link 전압을 제어하여 입력 역률을 높일 수 있다.

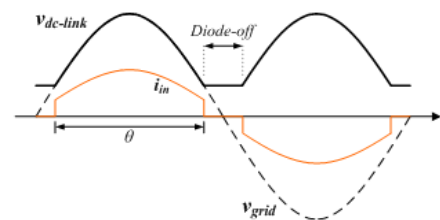


그림 2. 다이오드 도통시간과 역률 관계<sup>[1]</sup>.

## 2.2 제안한 제어 방법

### 2.2.1 높은 역률을 얻기 위한 추론

높은 역률을 얻기 위해서, 다이오드의 도통구간을 늘려주어야 한다. 다이오드가 도통될 때(계통전압의 크기가 DC Link 전압보다 클 때), 다음과 같은 식이 만족된다.

$$v_{dc-link} = |V_{grid_{max}} \cdot \sin\omega_s| \quad (2)$$

여기서  $\omega_s$ 는 계통 주파수이다.

입력전류와 계통전압이 서로 동상이라 가정하면 그림 2와 (2)번식에 의해서, (3) (5)번식이 성립한다.

$$i_c = C \frac{dv_{dc-link}}{dt} = C \cdot V_{grid_{max}} \cdot \omega_s \cdot \cos\omega_s t \quad (3)$$

$$i_{inv} = |i_{input}| - i_c \quad (4)$$

$$= I_{input_{max}} \sin\omega_s t - C \cdot \omega_s \cdot V_{grid_{max}} \cos\omega_s t$$

$$= M \cdot \sin(\omega_s t + \Delta\theta)$$

$$\Delta\theta = -\tan^{-1}\left(\frac{C \cdot \omega_s \cdot V_{grid_{max}}}{I_{input_{max}}}\right) \quad (5)$$

$$M = \sqrt{I_{input_{max}}^2 + (C \cdot \omega_s \cdot V_{grid_{max}})^2}$$

식 (3) (5)으로부터 인버터 전류가 계통 주파수에 대해 위상 지연을 갖게 된다면, 입력전류와 계통전압이 동상이 되어 높은 역률을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 2.2.2 q축 전류 지연

인버터가 전동기로 모두 전력 전달을 할 수 있다고 가정하여 전류의 지령을 구할 수 있다. 인버터 쪽의 순시 전력과 전동기 쪽의 순시전력은 다음과 같다.

$$P_{inv} = v_{dc-link} \cdot i_{inv} \quad (6)$$

$$= V_{grid_{max}} \cdot M \cdot \sin(\omega_s t) \cdot \sin(\omega_s t + \Delta\theta)$$

$$P_{motor} = T_e \cdot \omega_r = K_t i_{qs}^r \cdot \omega_r \quad (7)$$

(6)식과 (7)식이 같으므로 전류 지령 값은 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$i_{qs}^r = \frac{M \cdot V_{grid_{max}}}{K_t \cdot \omega_r} \sin(\omega_s t) \cdot \sin(\omega_s t + \Delta\theta) \quad (8)$$

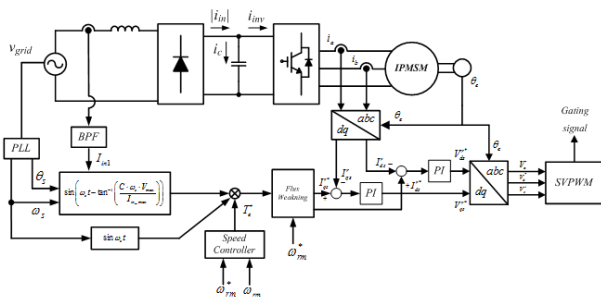


그림 3. 제안한 시스템 블록도.

### 2.3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 표 1과 같은 제정수를 갖는 매입형 영구자석 동기 전동기로 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에서 전동기 속도는 2000, 4000rpm이고, 부하 토크는 0.5, 2Nm이다. 그림 4와 5는 2000rpm에서 부하 토크에 따른 입력 역률을 보여

주고 있고, 그림 6과 7은 4000rpm에서 부하 토크에 따른 입력 역률을 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여 저속, 고속뿐만 아니라 경 부하, 중 부하에 대해서도 좋은 역률을 갖는 것을 확인하였다.

표 1. 매입형 영구자석 동기 전동기의 제정수

$R_s$	1.134[ohm]	Pole number	6[pole]
$L_d$	8.1[mH]	Inertia	0.00135[kgm <sup>2</sup> ]
$L_q$	14.15[mH]	Base speed	60[Hz]
Flux linkage	0.0922[wb]	Rated torque	1.6[Nm]

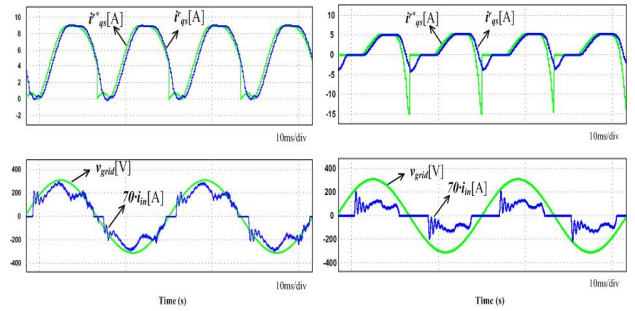


그림 4. 2000rpm, 2Nm 결과.

그림 5. 2000rpm, 0.5Nm 결과.

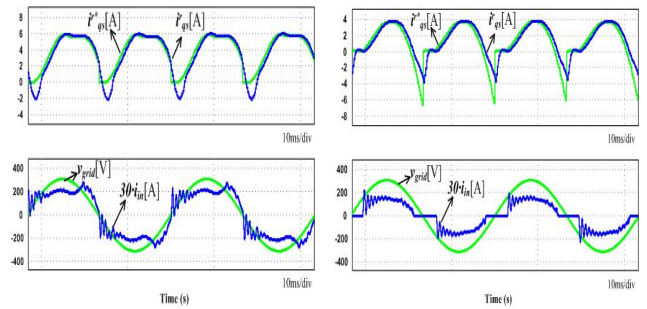


그림 6. 4000rpm, 2Nm 결과.

그림 7. 4000rpm, 0.5Nm 결과.

표 2. 부하 토크와 속도에 따른 역률 값

Power factor	Motor speed[rpm]	Load torque[Nm]	
		2	0.5
	2000	98.0%	90.0%
	4000	94.1%	95.9%

## 3. 결론

본 논문은 높은 역률을 위한 전해 커패시터가 없는 전동기 구동시스템의 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 제어 방법은 다양한 속도와 부하토크에 대해서 높은 입력 역률을 보이고 있다. 또한 단지 전류 지령의 위상 지연을 고려하기 때문에 간단히 적용할 수 있는 시스템이라는 장점이 있다. 제안한 역률 제어 방법의 타당성은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

## 참고 문헌

- [1] Kazuya Inazuma, Kiyoshi Ohishi, Hitoshi Haga, "High Power Factor Control for Inverter Output Power of IPM Motor Driven by Inverter System without Electrolytic Capacitor", Industrial Electronics (ISIE), 2011 IEEE International Symposium on, pp.619-624.