

# V/F 운전시 전동기 경부하 진동 개선

홍 성 민, 정 세 중  
현대중공업

## Motor Vibration Suppression during V/F Operation at Light-Load

Sung-Min Hong, Se-Jong Jung  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

### ABSTRACT

본 논문은 전동기의 V/F 운전시 발생하는 경부하 진동을 억제하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 기존의 무부하 전류를 사용하는 방법을 변형하여 V/F 운전시 전원 및 기계적 진동에 의해 발생하는 경부하 진동을 억제하여 운전 특성을 향상시킨다. 제안한 방법을 적용한 V/F 운전 특성을 실험을 통하여 검증하고 기존의 V/F 운전 대비 개선된 성능을 비교 분석한다.

### 1. 서 론

유지와 보수가 간편하고, 전동기 제어 기술이 발전함에 따라 유도전동기는 여전히 산업계의 여러 분야에서 널리 사용된다. 이러한 유도전동기의 제어기법 중 V/f 제어 기법은 기본적으로 정상상태를 가정한 것이므로 과도 상태의 특성이 좋지 않으며, 특히 저속에서는 고정자 전압 강하로 인한 토크 부족의 단점이 있지만, 구현이 간단하고, 대용량에서는 견실하다는 장점으로 빠른 동특성을 요구하지 않는 유도전동기의 범용 구동에 많이 사용된다.

고정자 저항의 영향으로 인한 저속 영역 토크 생성 문제와 V/f 운전시 발생하는 전동기 경부하 진동은 범용인버터의 대표적인 문제점이다.

본 논문은 앞서 언급한 문제점 중 정상상태 경부하 운전시 발생하는 전동기 진동에 대한 개선 방법을 제안한다.

### 2. V/f 운전

#### 2.1 V/f 일정 제어

V/f 일정제어는 지령 주파수에 비례하여 전압 지령을 만들고, 지령 주파수를 통해 만들어진 위상각을 사용하여 3상 전압지령을 만든다. V/f 제어의 근사화하는 과정에서 발생하는 기동 초기 부족한 토크 문제를 보완하기 위해 토크부스트를 사용한다. 본 논문에서는 벡터를 이용한 V/f 일정 제어를 사용하여 운전시 전동기 경부하 진동 개선을 검증하였다.

#### 2.2 벡터를 이용한 V/f 일정 제어

식 (1)은 동기좌표계 상에서 유도전동기의 고정자 전압방정식이다.

$$v_{ds}^e = R_s i_{ds}^e + \frac{d\lambda_{ds}^e}{dt} - \omega_e \lambda_{qs}^e \quad (1)$$

$$v_{qs}^e = R_s i_{qs}^e + \frac{d\lambda_{qs}^e}{dt} + \omega_e \lambda_{ds}^e$$

고정자, 회전자 쇄교자속과 과도 고정자 인덕턴스(Stator Transient Inductance)는 다음과 같다.

$$\lambda_{ds}^e = L_s i_{ds}^e + L_m i_{dr}^e, \lambda_{qs}^e = L_s i_{qs}^e + L_m i_{qr}^e \quad (2)$$

$$\lambda_{dr}^e = L_r i_{dr}^e + L_m i_{ds}^e, \lambda_{qr}^e = L_r i_{qr}^e + L_m i_{qs}^e$$

$$sL_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \quad (3)$$

동기좌표계 회전자 자속이 d축에만 존재하는 것을 이용하여(  $\lambda_{qr}^e = 0$  ), 동기좌표계 고정자 전압방정식은 식(4)와 같이 표현 가능하다.

$$v_{ds}^e = (R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2}) i_{ds}^e - \sigma L_s \frac{di_{ds}^e}{dt} - \omega_e \sigma L_s i_{qs}^e - R_r \frac{L_m}{L_r^2} \lambda_{dr}^e \quad (4)$$

$$v_{qs}^e = (R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2}) i_{qs}^e - \sigma L_s \frac{di_{qs}^e}{dt} + \omega_e \sigma L_s i_{ds}^e + \omega_r \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^e$$

식 (4)를 정상상태(d/dt=0)일 때를 가정하여 정리하면, 식 (5)가 된다.

$$v_{ds}^e = R_s i_{ds}^e - \omega_e \sigma L_s i_{qs}^e \quad (5)$$

$$v_{qs}^e = R_s i_{qs}^e + \omega_e \sigma L_s i_{ds}^e + \omega_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^e + R_r \frac{L_m}{L_r^2} i_{qs}^e$$

도출된 식에서 편의상 동기주파수(  $\omega_e$  )를 회전자 각주파수(  $\omega_r$  )와 같다고 가정하면, 슬립주파수(  $\omega_{slip}$  )는 0이 된다.

$$0 = \omega_{slip} = \frac{R_r}{L_r} \frac{i_{qs}^e}{i_{ds}^e} \Rightarrow i_{qs}^e = 0 \quad (6)$$

식 (6)을 식 (5)에 대입하면, 식 (7)과 같은 고정자 전압 방정식을 도출할 수 있다.

$$v_{ds}^e = R_s i_{ds}^e \quad (7)$$

$$v_{qs}^e = \omega_e L_s i_{ds}^e \gg v_{qs\_max} \frac{\omega_e}{\omega_b}$$

벡터를 이용한 V/f 제어는 동기좌표계 고정자 d축 전류

지령을 자속을 일정하게 유지하기 위한 크기로 사용하고, 원하는 속도로 인버터를 구동시키는 제어 기법이다.

### 3. 제안한 V/f 운전시 경부하 진동 개선 방법

전동기의 기계적 공진과 부정확한 제어로 발생하는 V/f 운전시 발생하는 경부하 진동은 인버터의 성능을 저해하는 요인이다.

그림 1은 벡터를 근거로 하는 V/f 제어 블록도이다.

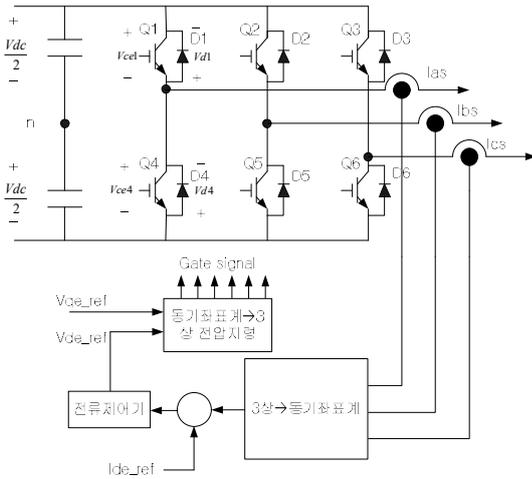


그림 1. 벡터를 근거로 하는 V/f 제어블록도

제안한 방법은 임의로 설정한 d축 전류 지령값을 실시간으로 변경하면서 V/f 운전시 발생하는 경부하 진동을 개선한다. 기동토크를 필요로 하는 초기 기동 때를 제외하고, d축 전류 지령의 값을 실제 전류의 필터값으로 사용한다.

필터된 실제전류는 무부하 전류의 0.5배에서 1.5배로 제한하여 d축 전류 지령의 값의 범위를 설정한다.

표 1. 운전주파수에 따른 전류 지령

Frequency Period	동기좌표계 d축 전류 지령
$Frequency < 5Hz$	무부하 전류 ( $i_{d\_rate}$ )
$5Hz \leq Frequency < 10Hz$	비율로 변경
$10Hz \leq Frequency$	필터된 실제전류 ( $i_{ds\_flt}^e$ )

### 4. 실험 결과

그림 2와 그림 3에서 전류 맥동을 보면 제안한 방법을 적용한 V/f 운전에서 기존에 전류 맥동이 발생할 때의 특정주파수에서 전동기 진동 억제 성능이 있음을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법이 V/f 운전시 발생하는 경부하 진동 개선 효과가 있음을 확인하였다.

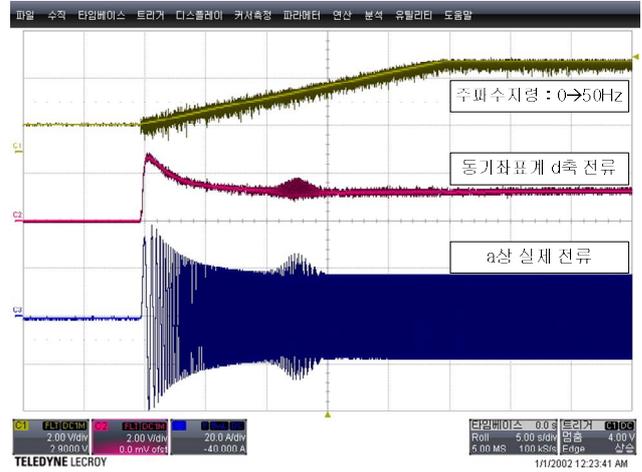


그림 2. V/f 운전 파형(제안한 방법 미적용)

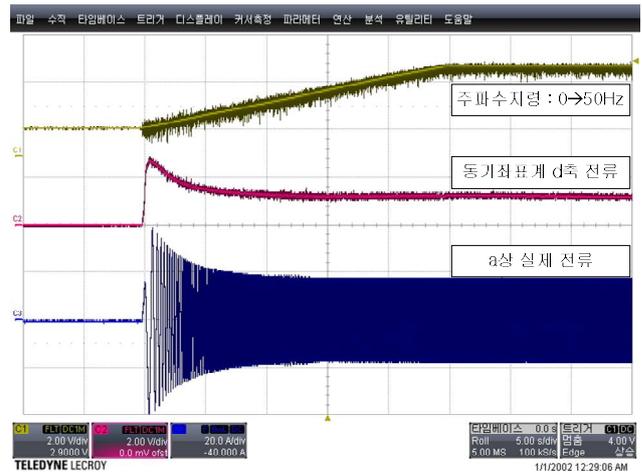


그림 3. V/f 운전 파형(제안한 방법 적용)

### 5. 결론

본 논문에서는 V/f 운전시 경부하 진동 개선 방법을 제안하고, 특정 주파수에서 발생하는 공진을 억제하여 V/f 운전 성능을 향상시켰다. 제안한 방법을 현대중공업 7.5kW N700V 인버터와 7.5kW 유도전동기를 사용한 실험 조건에서 성능을 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] 정강률, "전동기의 경부하진동으로부터 자유로운 범용인버터", 전력전자학술대회 논문집, 2006. 6, pp. 110-112