

유도 전동기의 V/f 운전 시 최소 동손 제어 기법

김원재, 김상훈
강원대학교 전기전자공학전공

Minimum Copper Losses Control for V/f Operation of Induction Motors

Won Jae Kim, Sang Hoon Kim
Kangwon National University

ABSTRACT

본 논문에서는 유도 전동기의 V/f 운전 시 동손을 최소화 하는 제어 방법을 제안한다. 제안된 방법은 V/f 운전 시 부하에 따라 최소 동손 제어가 가능하도록 고정자 전압 크기를 가변하여 부하 변동에 따른 동특성 향상과 효율적인 구동이 가능하게 하였다. 5HP 유도 전동기 구동시스템에 대한 시뮬레이션을 통해 제안된 기법의 효용성을 검증하였다.

1. 서 론

유도 전동기는 다른 전동기에 비해 구조적으로 단순하고 견고하며 저가이기 때문에 현재 여러 범용 전동기 구동분야에서 가장 널리 사용되고 있다. 최근 환경 보호와 관련하여 국제 에너지 기구(International Energy Agency, IEA)에 따르면 전 세계적으로 매년 전력수요가 2.2%가 증가하고 있지만 이산화탄소 배출량은 3.2%로 전력수요를 앞지르고 있다. 이러한 상황에서 전력수요의 대부분을 차지하고 있는 전동기의 효율적 운전이 중요하게 되었다. 유도 전동기를 효율적으로 구동하기 위해서는 주어진 토크 지령을 최소의 전류로 출력하는 방법이 필요하다.

유도 전동기를 효율적으로 구동하기 위해 벡터 제어 시에는 자속을 정격 값으로 일정하게 유지하고 따라서 d축 전류는 일정하게 유지하고 q축 전류는 요구되는 토크에 따라 결정된다^[1]. 그러나 V/f 운전 시 고정자 전압은 주파수에 비례하여 인가하게 되는데 부하 상황에 따라 d축 전류가 정격 값과 다르게 변동할 수 있다. 이에 본 논문에서는 V/f 운전 시 자속을 일정하게 유지하도록 d축 전류를 일정히 유지하기 위해 부하 상황에 따라 운전 주파수를 변동하는 방법을 제안한다.

2. V/f 운전 시 최소 동손 제어 방법

2.1 최소 동손을 제어를 위한 고정자 전압

유도 전동기의 효율적인 구동을 위해서는 d축 전류는 정격으로 일정히 흘려주고 부하 변동에 따라 q축 전류를 흘려주어야 한다. 이러한 d, q축 전류를 흘려주기 위해 유도전동기에 인가해야할 d, q축 고정자 전압은 식(1)과 (2)와 같다. 여기서 R_s 는 고정자 저항, ω_e^* 는 지령 운전 주파수, σ 는 누설계수, i_{ds-r}^* , i_{qso}^* 는 d, q축 전류 지령이다.

$$v_{ds}^{e*} = R_s i_{ds-r}^{e*} - \omega_e^* \sigma L_s i_{qso}^{e*} \quad (1)$$

$$v_{qs}^{e*} = R_s i_{qso}^{e*} + \omega_e^* L_s i_{ds-r}^{e*} \quad (2)$$

$$V_{s-ML}^2 = (R_s i_{ds-r}^{e*} - \omega_e^* \sigma L_s i_{qso}^{e*})^2 + (R_s i_{qso}^{e*} + \omega_e^* L_s i_{ds-r}^{e*})^2 \quad (3)$$

부하 정보 즉, q축 전류를 정확하게 알고 있는 경우 식(1)과 식(2) 또는 식(3)으로 주어진 고정자 전압을 인가하면 d축 전류를 정격으로 흘려줄 수 있게 된다. 하지만 부하 정보가 정확하지 않은 경우 요구되는 고정자 전압을 인가하지 못하여 부하 변동에 따라 d축 전류가 변동하게 되어 효율적인 구동이 불가능하게 된다. PMSM에서 최소 동손 제어를 위해 이러한 d축 전류의 변동으로부터 부하 정보를 얻는 방법^[2]에 대하여 제안하였지만 제어기의 사용으로 구동 알고리즘이 복잡해지고 부하 변동에 빠른 동특성을 기대하기 어렵다.

일정 부하에서 유도 전동기에 흐르는 전류는 인가되는 고정자 전압의 크기와 운전 주파수에 따라 달라진다. 지령 주파수 ω_e^* 에서 최소 동손 운전을 위한 d축 전류는 정격이고 q축 전류를 고려하지 않는 경우의 고정자 전압의 크기는 식(4)와 같이 구해진다. 그러나 식(4)와 같이 ω_e^* 에서 구해지는 고정자 전압의 크기로 다른 운전 주파수 ω_e 를 인가하는 경우($\omega_e^* \neq \omega_e$) 식(4)는 식(5)와 같이 표현할 수 있는데 이로부터 토크 지령 T_e^* 에 대하여 실제 운전전류가 달라짐을 알 수 있다.

$$V_{s-d}^{*2} = (R_s i_{ds-r}^{e*})^2 + (\omega_e^* L_s i_{ds-r}^{e*})^2 \quad (4)$$

$$V_{s-d}^{*2} = (R_s i_{ds}^e - \omega_e \sigma L_s i_{qs}^e)^2 + (R_s i_{qs}^e + \omega_e L_s i_{ds}^e)^2 \quad (5)$$

이 상황이 그림 1에 보인다. 그림 1은 식(4)와 같이 지령 운전 주파수 ω_e^* 로 구해진 고정자 전압으로 다른 운전 주파수 ω_e 를 전동기에 인가할 때이다. ω_e 가 ω_e^* 보다 큰 경우 d축 전류는 감소하며 ω_e 가 ω_e^* 보다 작은 경우 d축 전류는 증가하게 된다. 따라서 식(4)로 주어진 고정자 전압으로 부하 상황에 따라 운전 주파수를 적절히 변동하면 d축 전류를 정격으로 일정하게 유지할 수 있다. 그러나 이러한 경우 지령 운전 주파수 ω_e^* 와 다른 운전 주파수 ω_e 로 구동하게 되므로 이를 보상하는 방법은 뒷 절에서 설명한다.

2.2 최소 동손 제어를 위한 운전 주파수 보상 방법

