

PMSM의 MTPA 운전이 가능한 V/f 제어 시 안정화 기법

박승찬, 김상훈

강원대학교 BIT 의료전기전자융합공학

Stabilization Method for V/f Control with a MTPA operation of PMSMs

Seung-Chan Park, Sang-Hoon Kim

BIT Electrical & Medical Convergent Eng., Kangwon National Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 PMSM(Permanent magnet synchronous motor)의 MTPA(Maximum Torque Per Ampere) 운전을 고려한 V/f 제어 시 안정화 기법에 대해 제안한다. PMSM은 V/f 제어 시 부하 변동에 따라 탈조할 가능성이 있다. 제안된 기법은 안정도 개선을 위해 추정된 q축 전류를 이용하여 부하 변동 정보를 얻고 이를 바탕으로 고정자 주파수를 변동하여 회전자 속도가 동기속도를 유지할 수 있는 안정화 기법을 적용하였다. 제안된 안정화 기법으로 저속 영역부터 약자속 영역까지 부하 변동에도 안정적인 운전이 가능하도록 하였다. 1kW SPMSM의 모의실험을 통하여 제안된 기법의 효용성을 검증하였다.

1. 서론

영구자석 동기전동기(PMSM)는 높은 효율과 전력 밀도, 우수한 동특성 때문에 넓은 응용분야에서 사용되고 있다. V/f 제어는 전동기의 평균 토크를 제어하는 방법으로 팬, 송풍기, 펌프 등과 같이 비교적 정밀한 제어를 요구하지 않는 범용 전동기 구동 분야에서 주로 사용된다^[1]. 그러나 기존 V/f 제어는 운전 주파수에 비례하는 고정자 전압을 인가하므로 부하 상황이 고려되지 않아 효율적인 구동이 어렵다. 또한, 댐핑 권선이 없는 PMSM은 부하 변동에 따라 탈조할 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 MTPA 운전을 수행하고, 부하 변동에도 안정적으로 구동이 가능한 V/f 제어 기법이 연구되었다^[2]. 그러나 기존 연구는 약자속 영역에서의 운전이 고려되지 않았다. 본 논문에서는 추정된 d축 전류를 기반으로 PI제어기를 통해 고정자 전압의 크기를 변동하여 MTPA 운전을 수행하고, 추정된 q축 전류를 기반으로 부하 변동 정보를 얻어 부하 변동에 따라 고정자 주파수를 변동함으로써 저속 영역부터 약자속 영역까지 안정적으로 구동이 가능한 V/f 제어 기법을 제안한다.

2. MTPA 운전에 기반한 V/f 제어 시 안정화 기법

2.1 V/f 제어 시 약자속 영역에서의 운전점

저속 영역에서 SPMSM(Surface mounted PMSM)의 경우 MTPA 운전을 위해 d축 전류는 0이며 q축 전류는 부하 전류로 고정자 전류가 모두 q축에 위치해야 한다. 이를 위해 V/f 제어 시 부하에 따라 고정자 전압의 크기를 변동하여 MTPA 운전을 수행한 V/f 제어 기법이 연구되었다^[2]. 그러나 약자속

영역에서는 인가할 수 있는 전압에 제한이 있기 때문에 정격 전압 이상의 전압을 인가해 줄 수 없다. 식(1)은 SPMSM의 정상상태 출력 토크를 나타낸다. 여기서 P 는 극수, X_s 는 고정자 리액턴스, λ_{pm} 는 영구자석 쇄교자속 이다.

$$T_e = \frac{3P}{2} \frac{V_s \lambda_{pm}}{X_s} \sin\delta \quad [0 \leq \delta \leq \frac{\pi}{2}] \quad (1)$$

$$v_{ds}^r = R_s i_{ds}^r - \omega_r L_s i_{qs}^r = -V_s \sin\delta \quad (2)$$

$$v_{qs}^r = R_s i_{qs}^r + \omega_r L_s i_{ds}^r + \omega_r \lambda_{pm} = V_s \cos\delta \quad (3)$$

식(1)로부터 약자속 영역에서 고정자 전압 V_s 이 정격 전압으로 고정되고 부하가 일정한 경우 속도가 증가함에 따라 전력각 δ 이 증가함을 알 수 있다. SPMSM의 정상상태 d-q축 전압은 전력각 δ 에 대해 식(2)-(3)과 같이 표현된다. 식(3)으로부터 전력각 δ 이 증가함에 따라 q축 전압 v_{qs}^r 은 감소함을 알 수 있는데, q축 전류 i_{qs}^r 는 부하에 의해 결정되기 때문에 $R_s i_{qs}^r$ 항은 일정하여 속도가 증가하면 d축 전류는 음(-)으로 증가하게 된다.

벡터 제어 기법에서는 PMSM을 약자속 영역에서 운전하기 위해 음(-)의 d축 전류를 흘려 공극의 유효 자속 크기를 줄여주는 약자속 제어를 한다^[1]. 속도가 증가함에 따라 d축 전류가 음(-)으로 증가하도록 전류 제어기에 입력되는 d축 전류지령을 계산하거나 별도의 제어기를 사용하여 구하게 되는데, 이는 제어 알고리즘을 복잡하게 만든다. 하지만 V/f 제어는 속도가 증가함에 따라 전력각 δ 에 의해 운전점이 결정되어 d축 전류가 음(-)으로 증가하기 때문에 약자속 제어를 위한 d축 전류 지령을 구하지 않고도 공극의 유효 자속 크기를 줄일 수 있다.

2.2 제안된 안정화 기법

PMSM의 안정적인 구동을 위해서는 회전자 속도가 동기속도를 유지해야 한다. 댐핑 권선이 없는 PMSM은 부하 변동에 따라 회전자 속도가 동기속도를 유지하지 못하고 탈조할 가능성이 있다. 따라서 부하 변동으로 인해 변동하는 회전자 주파수를 따라 고정자 주파수를 적절히 변동해야 한다. 본 논문에서는 추정된 q축 전류를 고역 통과 필터에 통과시켜 부하 변동 정보를 얻어 댐핑 요소로 사용한다.

그림 1은 PMSM의 간략화된 Small-Signal 모델을 보인다. 그림 1로부터 부하 변동 ΔT_L 에 대한 토크 변동 ΔT_e 의 전

