

H-브릿지 멀티레벨 인버터의 권선형 동기전동기 센서리스 제어

이광환, 박영민
현대중공업 (주)

Sensorless control for wound rotor synchronous motor of H-bridge multilevel inverter

Kwang Hwan Lee, Young Min Park
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

러시아를 포함한 동유럽 국가에서는 아직까지 상용전원으로 권선형 동기전동기를 구동시키는 산업현장이 많이 있으며, 최근 에너지 절감을 위해 대용량 고전압 권선형 동기전동기 구동용 H 브릿지 멀티레벨 인버터에 대한 수요가 증가하고 있다. 권선형 동기전동기의 일반 V/F 운전 시에 전동기 회전자자의 속도가 완벽히 동기화되지 않아 저속영역에서 난조가 발생하여 출력토크가 진동하는 현상으로 운전이 어려움이 있으며, 저속 영역에서의 낮은 토크 출력으로 인하여 다양한 부하에 적용이 힘든 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 H 브릿지 멀티레벨 인버터의 권선형 동기전동기 구동 시 헌팅 억제 알고리즘을 추가하고 속도 지령에 보상함으로써 저속 영역의 속도/토크 헌팅 현상을 저감하는 센서리스 제어 방법을 제안하였다.

1. 개요

최근 산업현장에서는 에너지 절약을 위해 상용전원을 이용한 전동기 구동이 아닌 속도 제어가 가능한 인버터를 이용한 구동이 늘어나고 있다. 그 중에서도 러시아를 포함한 동유럽 국가에서는 상용전원으로 구동하는 대용량 고전압 권선형 동기전동기가 많이 있어 동기전동기 구동 기능을 보유한 대용량 산업용 인버터가 큰 경쟁력을 확보할 수 있다.

H 브릿지 멀티레벨 인버터는 각 상마다 단상 인버터가 직렬로 연결된 구조로 출력전압 크기 증대가 용이하고 정현파에 가까운 전압파형을 얻을 수 있어 대용량 고전압 전동기를 구동하기에 적합한 전력 토폴로지이다.^[1] 또한 입력측 다권선 변압기는 2차측 권선간 위상차를 두는 형태로 구성되어 있어 인버터 입력단 전류의 고조파를 저감시키는 역할을 한다.

위치/속도 센서 없이 인버터를 이용하여 일반적인 V/F 제어로 권선형 동기전동기 구동 시 저속영역에서는 인버터 회전자계의 속도와 회전자자의 속도가 완벽히 동기화 되지 않아 토크가 진동하는 현상이 발생한다. V/F 제어는 부하와 여자전류의 변화에 따른 난조현상을 피할 수 없어 안정적인 운전을 위하여 제동권선을 이용하여 일정속도까지 가속 후 여자전원과 부하를 투입하는 운전방법이 일반적이다.^[2] 본 논문에서는 H 브릿지 멀티레벨 인버터의 권선형 동기전동기 구동 시 발생하는 속도/토크 헌팅 문제를 저감시키고 기동 토크를 향상시키는 센서리스 제어 방법을 제안하였다.

2. 제안된 속도 센서리스 제어

제안된 속도 센서리스 제어 방법은 기동과 저속영역 운전영역에서 권선형 동기전동기의 안정적인 구동을 위해 사용할 수 있는 방법으로 일정속도 이상 영역에서는 V/F 제어 또는 센서리스 벡터 제어로 절제한다. 적용된 센서리스 제어는 기본적으로 개루프 제어이지만, 벡터제어의 개념으로 자속분과 토크분 전류 제어를 수행한다.

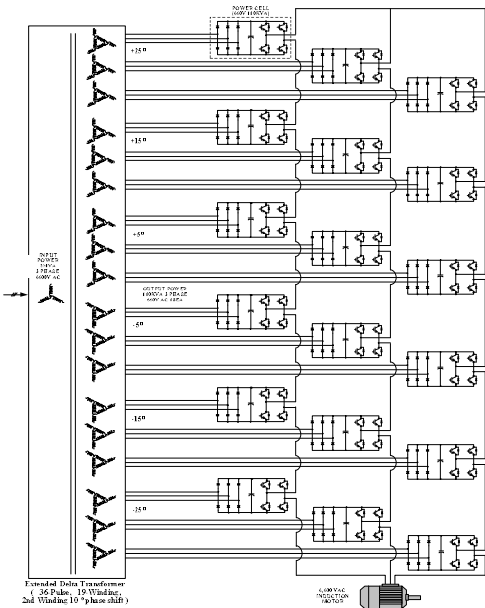


그림 1 H-브릿지 멀티레벨 인버터 구성도

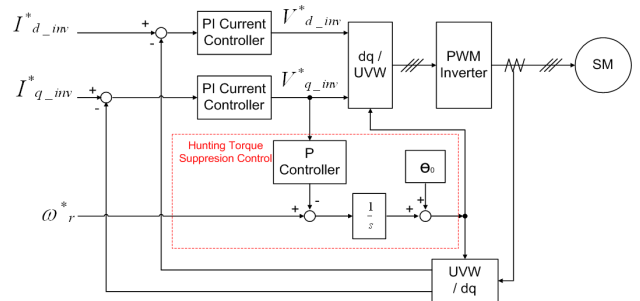


그림 2 속도 센서리스 제어 블록도

$I_{d_inv}^*$ 와 $I_{q_inv}^*$ 는 각각 인버터 제어에 사용하는 d/q축의 전류 지령을 나타내며, $\Delta\theta$ 는 인버터 자계와 회전자 자계의 각도 차이를 나타낸다. 저속영역에서 인버터 자계와 회전자 자

계 간의 각도의 흔들림으로 인한 토크 헌팅 현상을 저감하기 위하여 P제어기로 구성된 헌팅 억제 제어기를 사용한다. q축 PI 전류제어기의 출력 $V_{q_inv}^*$ 에는 토크 헌팅 성분이 간접적으로 나타나며, 이를 이용하여 헌팅 성분을 인버터 주파수 지령에 보상하여 인버터 자계와 회전자 자계의 오차를 줄이는 제어를 수행하여 속도/토크 헌팅 억제 운전을 가능하게 하였다.

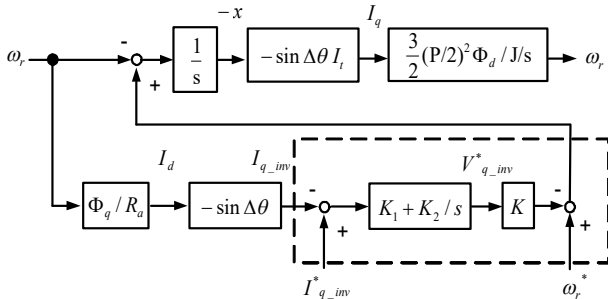


그림 3 토크 헌팅에 대한 억제 알고리즘 적용

그림 3은 제안된 헌팅 억제 알고리즘을 포함한 헌팅 발생 Loop를 나타내고 있다. 이 Loop는 토크 헌팅 발생 시의 헌팅 발생 모델링과 헌팅 억제 알고리즘을 포함하였으며, 이에 대한 전달함수는 식 (1)과 같고 이는 헌팅 억제 알고리즘의 P 이득을 선정하는 데 사용된다. x 는 인버터 자계와 회전자 자계 사이의 헌팅 각도, ω_r 은 전동기 회전속도, R_a 는 고정자 저항, Φ_q 와 Φ_d 는 인버터 출력 q축, d축 자속, K1과 K2는 PI 전류 제어기의 P, I 이득, K는 헌팅 억제 제어기의 P 이득을 나타낸다.

$$G(s) = \{A \cdot K \cdot (K_1 + K_2/s) - 1\} \cdot B/s^2$$

$$= \frac{A \cdot B \cdot K \cdot (K_1 \cdot s + K_2) - B \cdot s}{s^3}$$

$$A \equiv \frac{\Phi_q}{r_a} (-\sin \Delta \theta), B \equiv \frac{3/2 \cdot (P/2)^2 \cdot \Phi_d \cdot I_{q_inv}}{J} \cdot (-\sin \Delta \theta) \quad (1)$$

3. 실험장치의 구성 및 결과

3.1 실험장치의 구성

45kVA 7 레벨 H 브릿지 멀티레벨 인버터와 380V/20kW의 권선형 동기전동기를 이용하여 센서리스 제어 시험을 수행하였다.

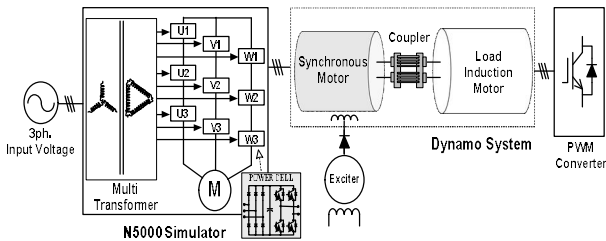
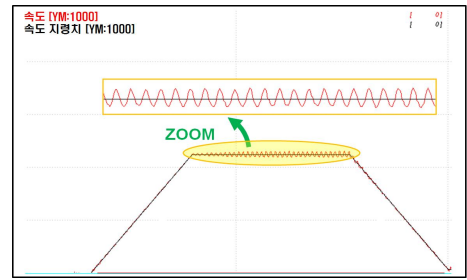


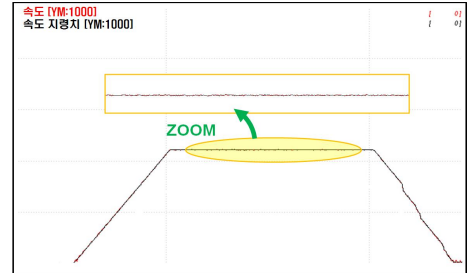
그림 4 시험 시스템 구성도

3.2 실험 결과

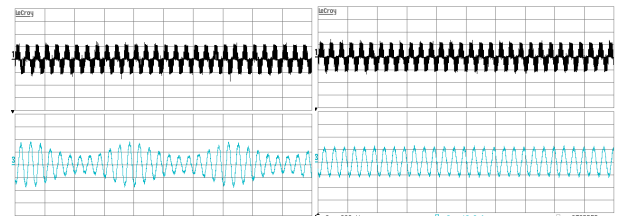
그림 5는 무부하 상태에서 헌팅 억제 알고리즘 적용 전과 후의 속도 파형과 출력 전압/전류 파형을 나타내며, 헌팅 억제 알고리즘 사용 시 속도와 전류 헌팅이 크게 감소하였음을 보여 준다. 또한, 그림 6은 50% 부하 조건에서 기동 후 가속속 운전 시에 속도 파형과 출력 전압/전류 파형을 나타내며 V/F 제어에서 구동할 수 없는 부하도 구동 가능함을 보여준다.



(a) 헌팅 억제 알고리즘 적용 前 전동기 속도 파형

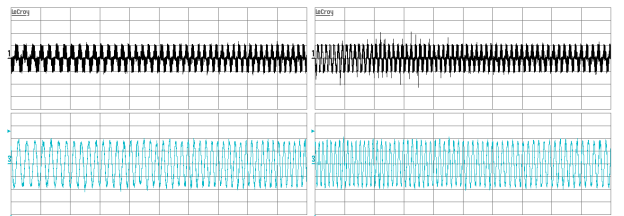


(b) 헌팅 억제 알고리즘 적용 後 전동기 속도 파형



(c) 헌팅 억제 알고리즘 적용 前 (d) 헌팅 억제 알고리즘 적용 後
Ch. 1 : 인버터 출력전압 (X axis: 0.2msec./div., Y axis: 200V/div.)
Ch. 2 : 인버터 출력전류 (X axis: 0.2sec./div., Y axis: 10A/div.)

그림 5 헌팅 억제 알고리즘 적용 前 / 後의 실험 결과



(a) 가속 운전 시 (b) 감속 운전 시
Ch. 1 : 인버터 출력전압 (X axis: 0.2msec./div., Y axis: 200V/div.)
Ch. 2 : 인버터 출력전류 (X axis: 0.2sec./div., Y axis: 20A/div.)

그림 6 부하 토크 50% 조건 시험 결과

4. 결론

제안된 제어 방법의 타당성과 실용성을 검증하기 위해 다이나모 미터 부하 조건에서 H 브릿지 멀티레벨 인버터를 이용한 고전압 대용량 동기전동기 센서리스 제어 실험을 실시하였다. 저속영역에서 속도/토크 헌팅 현상을 저감하고 기동토크를 향상시켜 안정적인 운전과 적용 부하의 확대를 가능하게 하였다.

참고 문헌

- [1] Bin Wu, "High Power Converters and AC Drives", A John Wiley & Sons, 2006
- [2] R. C. Schaefer, "Excitation Control of the Synchronous Motor", IEEE Transactions on Industry Applications, vol.35, no.3, pp.108 115, May 1999.