

SPMSM을 이용한 침상침하용 재봉틀 구동시스템 개발

박내춘* 김상훈* 박세훈** 박경두**
강원대학교* 유니콘머신공업(주)**

Development of a SPMSM Drives System for Industrial Sewing Machine

Park Nae Chun* Kim Sang Hoon* Park Sei Hun** Park Kyung Doo**
Kangwon National University.* Unicorn Machine Industries Corp.**

ABSTRACT

본 논문에서는 PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor)을 이용한 재봉틀 구동시스템을 개발하였다. 전자원 관측기를 이용하여 속도를 추정하고, 벨트(Belt)에 의한 외란 토크를 추정하여 보상하였다. 개발된 재봉틀 구동시스템을 실제 재봉틀에 장착하여 그 효율성을 검증하였다.

1. 서론

재봉틀 구동 시스템에서는 고성능, 다기능을 요구하며 침(針)의 정밀한 위치제어를 필요로 한다. 정밀한 위치제어를 위해서는 정확한 토크제어를 필요로 한다. 기존에 공업용 재봉틀에 널리 사용되는 BLDCM(Brushless DC Motor)는 제어가 간단하고, 가격이 저렴하다는 장점이 있으나, 전류(轉流)로 인한 소음이 발생하는 단점이 있다^[1]. 최근에는 제어기 가격 하락의 영향으로 효율이 높고 출력 밀도가 높은 영구자석 동기 전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor : PMSM)를 사용하는 공업용 재봉틀이 늘어나고 있다^[2].

본 논문에서는 PMSM을 이용한 저가의 재봉틀 구동 시스템을 개발하였고, 개발된 재봉틀 구동 시스템을 실제 재봉틀에 장착하여 그 효율성을 검증하였다.

2. 재봉틀 구동 시스템

2.1 회전자 초기 위치 추정

영구자석 동기 전동기를 기동시키기 위해서는 회전자의 초기 위치의 정보가 필수적이다. 초기위치를 잘못 추정한 경우 회전자는 역방향으로 회전하거나 기동에 실패할 가능성이 있다^[3]. 회전자의 절대적인 위치 정보를 얻기 위해서는 회전자에 레졸버나 절대형 엔코더와 같은 위치 센서를 부착하여야 한다. 그러나 이러한 위치 센서들을 사용하게 되면 전체 시스템의 가격이 상승하게 된다. 재봉틀 구동시스템과 같은 저가의 시스템에서는 증분형 엔코더만을 사용하므로 초기 위치를 추정하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 고정자 인덕턴스의 변화를 이용한 초기 위치 추정 방법을 사용하였다^[4]. 이 방법을 사용하게 되면 초기 회전자 위치를 $\pm 7^\circ$ 이내의 오차 범위로 추정 할수 있다.

2.2 위치 제어

공업용 재봉틀에는 정지시에 침의 정확한 위치제어가 필요로 한다. 침의 위치검출을 위해 재봉틀에는 1회전당 침상(針上), 침하(針下)의 두 펄스가 발생하는 '싱크로'가 있으나, 이 싱크로는 1회전당 1펄스이므로 위치제어는 불가능하며, 전동기에 연결된 엔코더로 제어하여야 하는데, 전동기와 재봉틀이 고무벨트로 연결되어 있으므로 벨트의 밀림과 진동으로 인하여 침상신호에서 다음 침상신호까지의 엔코더 펄스 수는 항상 수%의 오차가 존재한다. 그리고 위치제어기로 비례제어기나 슬라이딩모드제어기 등의 제어기를 사용할 경우 속도지령치가 불연속으로 변화하고, 가속도가 불연속이 되어 재봉틀의 관성과 마찰이 비교적 큰 이러한 시스템에서 벨트의 진동과 밀림은 침의 정지시에 많은 오차를 유발시키게 된다.

본 연구에서는 가속도가 연속적으로 변화하도록 다음과 같은 가속도 패턴을 계산하고 이에 따라 속도지령을 발생하여, 침상신호가 발생하기 직전에 가속도, 속도, 위치오차가 동시에 0이 되도록 제어한다. 가속도 패턴은 그림 1과 같다.

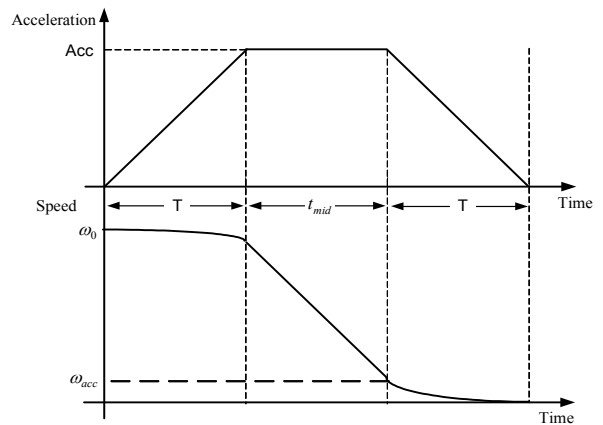


그림 1 가속도와 속도 패턴
Fig. 1 Acceleration and speed pattern

2.3 속도 추정

정밀한 속도제어를 위해서는 높은 PPR의 엔코더를 필요로 하지만 재봉틀 구동시스템과 같은 저가의 시스템에서는 가격에 문제로 낮은 PPR의 엔코더를 사용한다. 본 연구에서는 360 PPR의 엔코더와 관측기를 이용하여 속도와 회전자의 위치를 추정하였다. 재봉틀과 같이 벨트를 사용하는 시스템에서는 벨트의 밀림과 진동으로 저속에서 많은 속도 오차를 유발시키게

된다. 본 논문에서는 이러한 외란 토크 성분을 관측기로 추정하여 q축 전류에 보상하여 속도의 오차 성분을 제거하였다.

기계 시스템의 운동 방정식을 이용하여 다음과 같은 관측기를 구성하였다^[5].

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \\ \dot{T}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{B}{J} - \frac{1}{J} & \frac{1}{J} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \\ T_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J} \\ 0 \end{bmatrix} T_e + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{bmatrix} \theta - [1, 0, 0] \begin{bmatrix} \hat{\theta} \\ \hat{\omega} \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

4. 실험 결과

저가의 구동 시스템 개발을 위하여 제어기는 ARM7 계열의 ST(STMicroelectronics)사의 32bit MCU(STR755FV2)를 사용하였고, 스위칭 소자는 Fairchild사의 600[V], 20[A]의 IGBT(FSBB20CH60C)를 사용하였고, 스위칭 주파수는 10[kHz]이고, 재봉틀 구동용 정동기로는 표면 부착형 영구자석 동기 전동기를 사용하였고, 그 사양은 표 1과 같다.

표 1 550W SPMSM 사양
Table 1 specifications of 550W SPMSM

출력	550 [W]
극 수	4
정격 속도	3000[rpm]
정격 토크	1.7 [Nm]
정격 전류	3.5 [A]

그림 2는 속도 지령에 대한 실제 속도와 q축 전류 파형을 나타내고 있다. 속도 지령은 재봉틀의 패달로부터 인가되고, 침의 정확한 위치 제어는 그림 1과 같은 속도와 가속도 패턴을 이용하여 수행하였다.

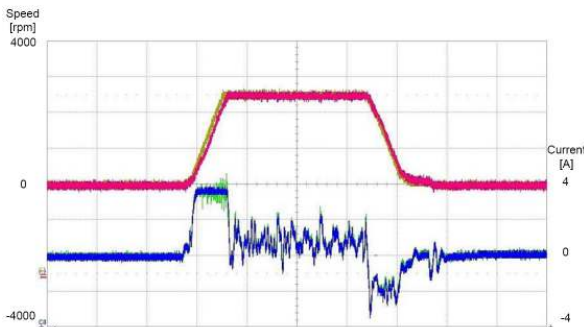


그림 2 속도와 q축 전류
Fig. 2 Speed and q-axis current

전동기와 재봉틀이 벨트로 연결되어 있으므로 벨트의 진동과 밀림 등이 외란 토크로 작용하여 속도에 맥동이 발생하게 된다.

그림 3은 100[rpm]으로 전동기를 구동할 때 속도와 q축 전류, 그리고 속도의 FFT 분석을 나타내고 있다. 100[rpm]으로 회전할 때 동기 주파수는 3.33[Hz]이고, 속도를 FFT 분석한 결과 벨트에 의하여 기본과 이하의 낮은 주파수의 성분들이 많이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 성분들은 침의 정지시에 많은 오차를 유발시키게 된다.

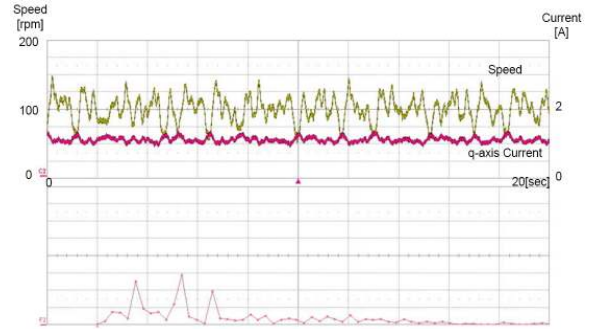


그림 3 속도와 q축 전류, 속도 FFT 분석
Fig. 3 Speed and q-axis current, FFT analysis of speed

그림 4는 관측기를 이용하여 외란 토크를 추정하고 외란 토크 성분을 q축 전류에 보상하였을 때 속도와 q축 전류 그리고 속도의 FFT 분석 결과를 나타내고 있다. 벨트의 진동과 밀림으로 인한 고조파 성분들이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

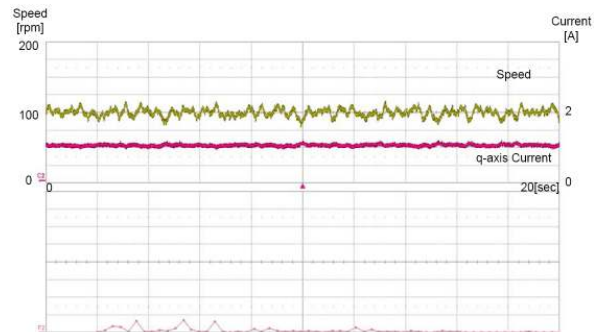


그림 4 속도와 q축 전류, 속도 FFT 분석
Fig. 4 Speed and q-axis current, FFT analysis of speed

3. 결론

본 논문에서는 SPMSM을 사용한 저가의 고성능 재봉틀 구동시스템을 개발하였다. 속도 관측기를 이용하여 속도를 추정하였고, 벨트에 의한 외란 토크를 추정하여 보상하였다. 개발된 구동시스템을 실제 재봉틀에 장착하여 기존의 BLDCM을 사용하는 시스템보다 고성능의 제어가 가능한 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 강승주, 김준석, 설승기, 김덕근, "저가형 BLDCM 구동장치를 이용한 정밀위치제어", 전기학회논문지, 제44권, 제4호, 1995. 4, pp. 447 ~ 452.
- [2] Xiao, Xi; Zhang, Meng; Li, Min; Li, Yongdong, "An improved servo control system for high speed flat industrial sewing machine," Technology and innovation Conference, 2006, pp. 1898 ~ 1901.
- [3] 김상훈, DC 및 AC 모터 제어, 북두출판사, 2007.
- [4] 이윤규, "인덕턴스의 포화현상을 이용한 IPMSM의 회전자 초기 위치 추정," 강원대 공학 석사학위논문, 2010.
- [5] Robert D. Lorenz, "High resolution velocity estimation for all digital AC servo drives," *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, Vol. 27, No. 4, July/Aug., 1991, pp. 701 ~ 705.