

뉴로퍼지기법에 의한 SRM의 맥동토크 최소화 A Neuro-Fuzzy Based Torque Ripple Minimization of Switched Reluctance Motors

박한웅* · 원태현** · 박성준*** · 추영배*** · 김철우§ · 황영문§
Han Woong Park* · Tae Hyun Won** · Sung Jun Park***
Young Bae Choo***Chul Woo Kim§ · Young Moon Hwang§

*해군사관학교 · **동의대학 · ***거제대학 · §부산대학교
*Naval Academy · **Dongeeui College · ***Koje College · §Pusan Nat. Univ.

ABSTRACT

A neuro-fuzzy based torque profile model of SRM with considerably improved accuracy is obtained using the measured data for training. The inferred torque profiles, which comprise magnetic non-linearities, represent the dynamic model of SRM. Then the reference torque signal with optimized waveform and switching angle are decided to control the torque directly. Hence, the presented scheme controls the torque in an instantaneous basis, allowing powerful torque control with minimum torque ripple even during the transient operation of the motor.

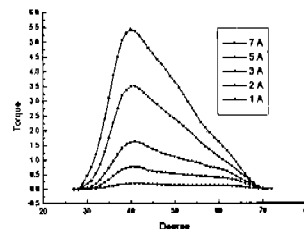
Simulation and experimental results demonstrating the effectiveness of the proposed torque control scheme are presented.

1. 서론

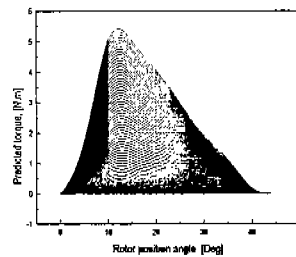
SRM은 많은 장점을 가지고 있으나 토크의 맥동과 소음이 크다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 SRM의 맥동토크를 최소화시키기 위해 토크 프로파일로써 기기를 모델링한다. 이를 위해 몇 가지 경우에 대해 측정된 토크 프로파일로부터 신경회로망을 사용하여 모든 전류값 및 회전자위치각에 대한 토크 및 인덕턴스 데이터를 구하는 방법을 제시한다. 이를 바탕으로 각 상간의 토크중첩을 고려하여

총합 발생토크의 맥동성분을 최소화시키는 기준토크 오크 파형을 설정하고, 이 기준토크와 상전류로부터 구한 토크 값으로 직접적인 토크 델타변조기법에 의해 기준 토크를 추종하는 새로운 제어방식을 제안한다. 또한 제안된 방식을 실시간으로 처리하고, 제어기의 신뢰성을 높이기 위해 DSP를 사용한다.

2. 뉴로퍼지에 의한 토크 및 인덕턴스 프로파일 추론



(a) 측정 토크 프로파일

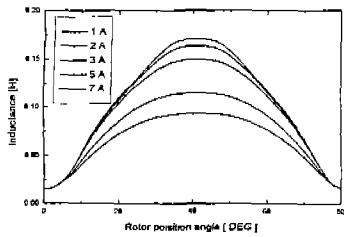


(b)추론 토크 프로파일

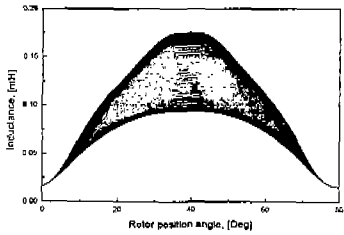
그림 1. 측정 및 추론 토크 프로파일

Fig. 1. Measured and inferred torque profiles

그림 1(a)는 피시험 전동기에서 일정 전류를 흘렸을 때 1° 단위별로 각 회전자위치에서 토오크를 측정 한 파형이다. 그러나 이와 같이 제한된 데이터만으로는 원하는 토오크제어를 구현할 수 없기 때문에, 그림1(b)에서 보는 바와 같이 뉴로퍼지를 이용하여 0.1[A]단위별로 토오크 프로파일을 추론하였다. 한편, 수치해석을 하기 위해서는 인덕턴스 프로파일에 대한 정보가 필수적이다. 따라서 앞의 토오크 프로파일의 추론기법을 그대로 사용하여 그림2(a)의 측정치로부터 (b)와 같이 인덕턴스 프로파일을 추론하였다.



(a) 측정 인덕턴스 프로파일



(b)추론 인덕턴스 프로파일

그림 2. 일정전류하의 측정 및 추론 토오크 파형
Fig. 2. Measured and inferred inductance profiles at constant current

3. 평활토오크 발생을 위한 기준토오크의 선정

일반적인 토오크 프로파일은 자기포화의 영향으로 좌우 비대칭이다. 따라서 최대토오크를 발생시키기 위해 토오크 프로파일의 좌우대칭 정도에 따라 토오크 지령치 평활부분을 적절하게 설정하여야 한다. 또한 상간중첩 영역에서 평활토오크를 발생하기 위해서는, 이 구간에서의 중첩되는 상간의 토오크의 합이 지령토오크의 평활한 부분의 크기와 같도록 해야 한다. 그림 3은 7[A]의 일정한 전류값에서 시험전동기의 각 상토오크와 총합토오크, 그리고 평활토오크를

발생시키기 위한 기준토오크의 설정법을 나타낸다.

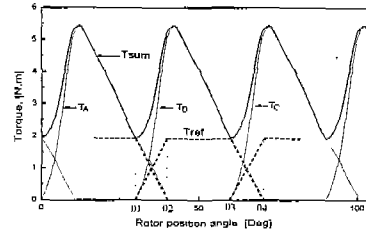


그림 3. 기준토오크 파형의 선정
Fig. 3. Selection of reference torque

한상의 기준토오크의 시작각도(θ_1)는 인접한 앞상의 지령토오크의 하강시작각도(θ_3)와 일치하여야 한다. 이 조건으로부터 피시험 전동기의 θ_1 을 0°로 하고 에 위치하여야 한다. 또 토오크 증가영역의 각도인 $\theta_1 \sim \theta_2$ 의 결정은 일정 감자전압하에서 부토오크가 발생하지 않는 각도로 설정하여야 한다. 본 연구에서는 이 값을 8°로 설정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 순시적인 전류의 크기를 제어하기 위해 순시 가변전압원을 인가하여 델타변조기법을 통하여 원하는 토오크형상을 제어하였다. 이때 델타변조기법에서 토오크 밴드폭은 토오크지령치의 5[%]로 설정하였다. 인가전압은 300[V]로 하였으며, $\theta_1 \sim \theta_2$ 를 8°로 설정하여 부하의 크기와 속도에 따른 특성을 고찰하였다.

그림 4는 저속영역인 500[rpm], 2.0[N.m]의 부하조건하에서 전류 및 토오크파형을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 상전류의 후단부에서 평활토오크를 발생하기 위한 전류를 정착하지 못하여 이 영역에서 맥동토오크가 다소 나타남을 알 수 있지만 이 맥동토오크는 전체 토오크에 큰 영향을 미치지 못한다.

그림 5는 1000[rpm], 1.5[N.m]의 부하조건하에서 전류 및 토오크파형을 나타내고 있다. 지령토오크의 기울기가 그림 11에 비하여 크게 되어 전류정착시 피크치가 상대적으로 크게 나타나고 있다. 또한 전류소호를 위한 시간이 부족하여 약간의 부토오크가 발생하나 이는 밴드폭에 비하여 무시할 수 있는 정도이

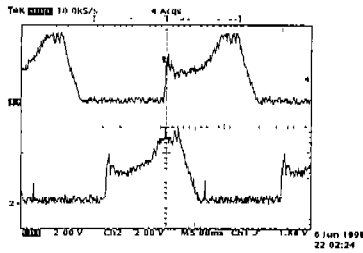
다. 결과적으로 그림 5와 같은 부하조건에서도 양호한 특성을 나타내고 있다.

5. 결론

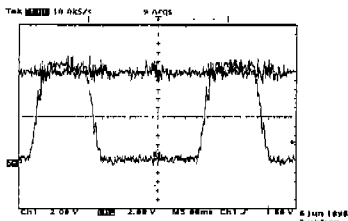
본 연구에서는 SRM의 맥동토크를 최소화시키기 위해, 각 상간의 토크중첩을 고려하여 총합 발생토크의 맥동성분을 최소화시키는 기준토크 파형을 설정하였으며, 이 기준토크와 상전류로부터 구한 토크 값으로 직접적인 토크 델타변조기법에 의해 기준 토크를 추종하는 새로운 제어방식을 제안하였다. 그 결과 설정된 속도와 부하영역에서 맥동토크를 크게 감소시키는 효과를 얻음으로써 본 연구에서 제안한 방식의 타당성을 입증하였다.

참고문헌

- [1] I. Husain, M. Ehsani ; "Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Drives by PWM Current Control," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 11, no. 1, pp. 91-98, 1996.
- [2] Graham E.Dawson, Anthony R.Eastham and Jerzy Mizia; "Switched Reluctance Motor Torque Characteristics : Finite Element Analysis and Test Results," IEEE Trans. on IA, Vol. 23, No. 3, pp. 532-537, 1987.



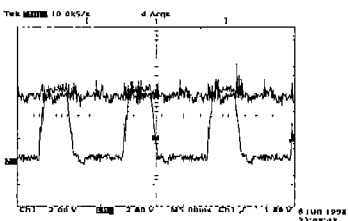
3[A]/Div
(a) 상전류파형



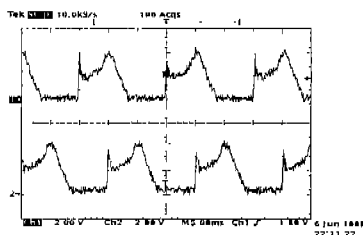
0.5[N.m]/Div
(b) 상전류 및 총 토크파형

그림 4. 500[rpm], 2.0[N.m]의 부하조건하에서 전류 및 토크파형

Fig. 4. Current and torque waveforms at 500[rpm], 2.0[N.m]



3[A]/Div
(a) 상전류파형



0.5[N.m]/Div
(b) 상전류 및 총 토크파형

그림 5. 1000[rpm], 1.5[N.m]의 부하조건하에서 전류 및 토크파형

Fig. 5. Current and torque waveforms at 1000[rpm], 1.5[N.m]