

교류전동기의 주기적인 부하토크에 의한 속도리플을 저감하는 속도제어기법

정성민, 김민, 최종우

경북대학교

Speed Control Method for Reduction Speed-ripple by Periodic Load Torque of AC Motors

Sung-Min Jung, Min Kim, Jong-Woo Choi

Kyungpook National University

Abstract

Speed output has ripple such as periodic torque ripple if load torque with periodic ripple was injected in AC motor. In this paper, it is proposed method to reduce speed ripple through novel speed control method. It replaces algorithm to compensate torque ripple. Proposed method demonstrated through simulation using MATLAB SIMULINK.

1. 서론

교류전동기는 산업용에서 가전에 이르기까지 널리 사용되고 있다. 교류전동기 구동시스템에는 정밀한 토크 제어 성능을 가지는 벡터제어가 널리 사용되고 있는데, 벡터 제어를 이용한 교류전동기 구동시스템에서 윗셋전류, 전류 스케일링(Scaling)오차, 데드타임(Dead Time), 코깅(Cogging) 등의 원인으로 전기각주파수에 동기된 주기적인 토크 리플이 발생한다. 또한 주기적인 리플성분을 가지는 부하토크가 전동기에 인가된 경우에 부하토크 리플 성분의 주파수에 동기된 토크리플이 발생하게 된다. 이러한 토크 리플 성분으로 인해 전동기의 속도에 속도리플이 발생하게 된다.

본 논문에서는 주기적인 리플 성분을 가지는 부하토크에 의한 속도리플을 저감하는 속도제어기법을 제안하고 시뮬레이션(MATLAB SIMULINK)을 통해 검증하였다.

2. 본론

2.1 기존의 속도 제어기

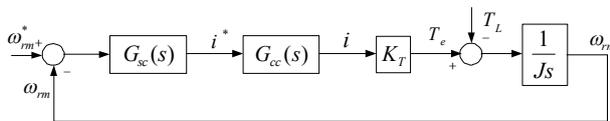


그림 1 비례-적분 속도제어기
Fig. 1 Proportional-Integral Speed Controller

그림 1은 일반적인 속도제어기의 구조를 나타낸다. 여기서 $G_{sc}(s)$, $G_{cc}(s)$ 는 각각 속도제어기와 전류제어기를 의미한다. 일반적으로 널리 사용되는 속도제어기^[1] 형태는 비례-적분제어기로 구성되며, 전류제어기를 1차 지연필터로 고려하여 개루프 전달함수를 구하면 식 (1)과 같다.

$$G_{sc}(s) = (K_{sp} + \frac{K_{si}}{s}) \cdot \frac{\omega_{cc}}{s + \omega_{cc}} \cdot \frac{K_T}{Js} \quad (1)$$

여기서 ω_{cc} 는 전류제어기의 대역폭이고, K_T , J 는 각각 전동기의 토크상수, 관성이고, K_{sp} , K_{si} 는 속도제어기의 비례, 적분이득이다.

2.2 부하토크 관측기

그림 2는 부하토크 관측기^[1]가 포함된 전동기 구동 시스템이다. 부하토크 관측기의 동특성이 충분히 빠를 경우 부하토크

T_L 의 추정치 \hat{T}_L 을 얻을 수 있고 속도 제어기에 전향 보상함으로써 부하토크에 대한 속도 제어 특성을 개선할 수 있다. 이를 이용한 토크리플 보상 알고리즘이 널리 사용되고 있다.

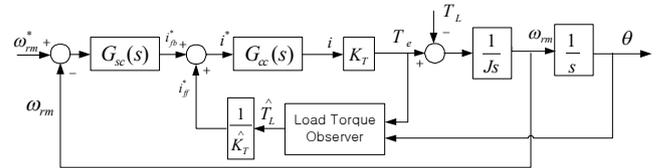


그림 2 부하토크 관측기
Fig. 2 Load Torque Observer

부하토크 관측기를 적용한 토크리플 보상 알고리즘에서 실제 부하토크의 추정값 \hat{T}_L 은 관측기의 연산 과정, ADC, DAC변환 과정에서 시지연, 위상지연이 발생하게 되고, 부하토크가 일정한 주파수를 가지고 진동 하는 성분을 가지는 경우 추정값 \hat{T}_L 은 실제 부하토크 값을 완벽히 추정하지 못하게 된다. 이로 인해 실제 부하토크 값이 아닌 왜곡된 추정값을 전향 보상하게 됨으로써 전동기의 토크리플, 속도리플이 더욱 커지는 결과를 초래하게 된다.

2.3 제안하는 속도 제어기

전동기에 주기적인 부하토크가 인가된 경우 속도 제어특성을 개선하기 위해 사용되는 부하토크 관측기를 사용한 알고리즘의 시지연, 위상지연으로 인한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 새로운 속도 제어기를 제안한다.

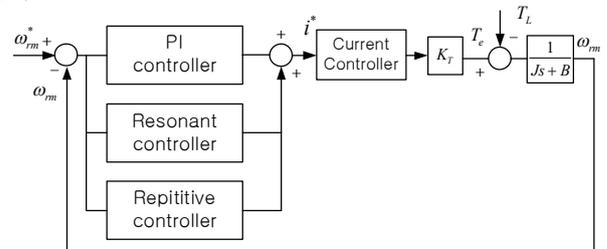


그림 3 제안하는 속도 제어기
Fig. 3 Proposed Speed Controller

그림 3은 제안하는 속도 제어기의 구조를 나타낸다. 제안하는 속도 제어기는 비례-적분-공진 제어기와 반복제어기를 병렬로 연결한 형태이다.

만약 부하토크의 리플 성분에 고조파가 포함된 경우에

는 각각의 고조파에 대한 공진제어기가 추가적으로 구성 되어야 하고, 각각의 고조파에 대한 공진제어기가 병렬로 추가 됨으로써 DSP를 이용한 디지털 제어의 연산시간이 증가하기 때문에 이를 대체하기 위해 반복제어기^[2,3] 가 병렬로 추가되어 있다.

제안된 속도 제어기는 비례-적분 제어기를 주제어기로 하고 주제어기로 보상하지 못하는 부하토크(외란)에 의한 리플 성분의 기본파 주파수 성분을 공진제어기로 제어하고, 리플 성분의 고조파 성분을 반복제어기로 제어하는 형태이다.

$$T(s) = \frac{\left(K_{sp} + K_{si} \frac{1}{s} + K_{sr} \frac{s}{s^2 + \omega_0^2} + K_{re} \frac{e^{-sT}}{1 - e^{-sT}} \right) K_T \frac{1}{Js + B}}{1 + \left(K_{sp} + K_{si} \frac{1}{s} + K_{sr} \frac{s}{s^2 + \omega_0^2} + K_{re} \frac{e^{-sT}}{1 - e^{-sT}} \right) K_T \frac{1}{Js + B}}$$

(2)

여기서 K_{sp} , K_{si} , K_{sr} , K_{re} 는 각각 비례 이득, 적분 이득, 공진 이득, 반복제어 이득을 나타낸다.

3. 모의 실험

제안한 속도제어기법을 MATLAB SIMULINK로 검증하였다. 모의 실험에 사용한 영구자석 동기전동기의 제정수와 정격은 표1에 나타내었다.

속도지령은 램프 함수로 1500 rpm 을 인가하였다. 부하토크를 인가하였을 때, 정상상태에서 기존의 속도제어기와 부하토크 관측기를 사용한 방법, 제안한 속도제어기의 속도 출력 파형을 측정하여 비교하였다.

표 1. 영구자석 동기전동기의 제정수와 정격

극수	8
정격 출력	1kW
정격 전류	6.74A _{rms}
토크 상수(K_T)	1.02975Nm/A
고정자 저항(R_s)	0.704Ω
고정자 인덕턴스(L_s)	7.996mH
관성(J_m)	0.00156kgm ²

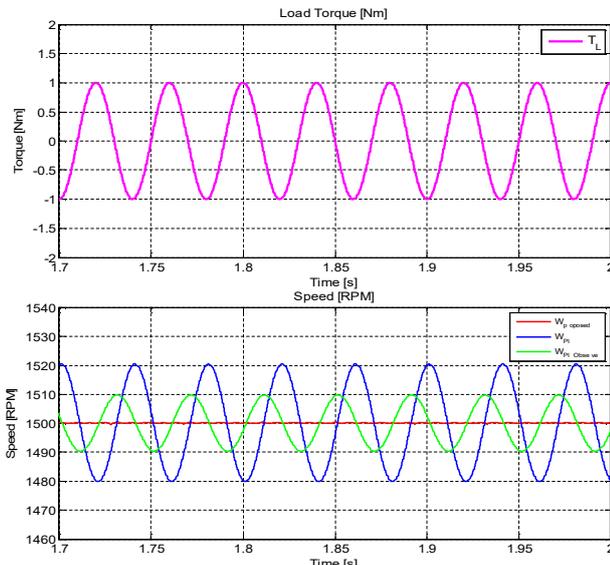


그림 4 정현파 부하토크, 속도출력, 속도오차
Fig. 4 Sine wave Load Torque, Speed output, Speed Error

그림 4,5,6은 각각 전동기에 인가한 정현파, 삼각파, 고조파(1~6차 정현파 합성) 부하토크와 정상상태에서 속도출력이다. 모의실험 결과 제안한 속도제어기법이 기존의 속도제어기와 부하토크 관측기를 사용한 경우보다 속도리플 저감 성능이 향상됨을 확인 하였다.

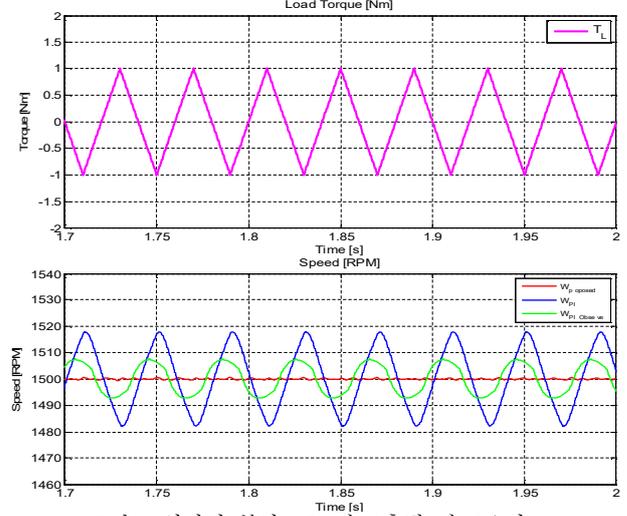


그림 5 삼각파 부하토크, 속도출력, 속도오차
Fig. 5 Triangular wave Load Torque, Speed output, Speed Error

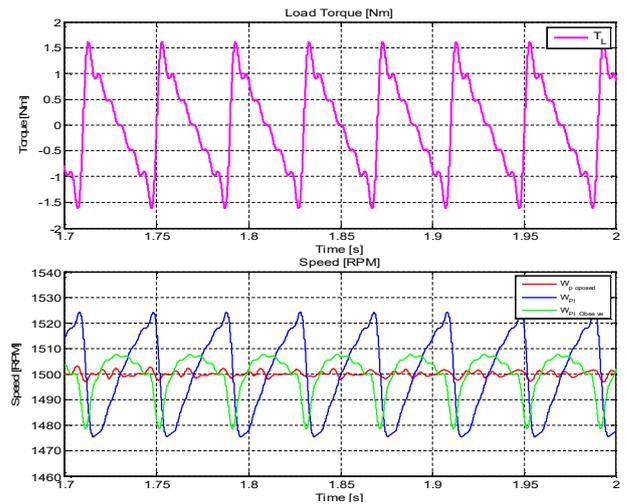


그림 6 고조파 부하토크, 속도출력, 속도오차
Fig. 5 Harmonics Load Torque, Speed output, Speed Error

4. 결론

본 논문은 주기적인 부하토크가 인가된 전동기 구동 시스템에서 속도리플을 저감하는 속도제어기법을 제안하였다. 제안하는 속도제어기법을 이용하면 기존의 속도제어기와 부하토크 관측기를 사용하는 경우보다 속도리플 저감 성능이 뛰어난을 모의실험을 통해 검증하였다.

참고문헌

- [1] 설승기 “전기기기 제어론” 홍릉과학출판사 4장
- [2] K.Toyama, H.Ohtake, S.Matsuda, S.Kobayashi, M.Morimoto, and H.Sugimoto, "Repetitive Control of Current for Residential Photovoltaic Generation System", Ind. Elec. Soc., Conf. of IEEE, Vol. 2, pp. 741-745, 2000.
- [3] S.Fukuda, T.yoda, " A Novel Current-Tracking Method for Active Filters based on a Sinusoidal Internal Model," IEEE Trans. Ind. App., vol. 37 no. 3 pp. 888-895, 2001.