

시스템 응답 특성 개선을 위한 PI-IP 혼합 제어기 설계

박진호, 원충연
성균관대학교

PI-IP Hybrid Controller Design for Improvement of System Response Characteristic

Jin Ho Park, Chung Yuen Won
SungKyunKwan Univ.

ABSTRACT

제어 시스템은 과도 응답을 거쳐 입력 명령에 근접하는 정상 상태 응답이 출력되도록 설계되기 때문에 동적시스템으로 정의된다. 이러한 동적시스템을 설계할 때 과도 응답과 정상 상태 오차, 안정도의 보장은 시스템 설계 시 가장 기본적으로 고려되어야 하는 요소이다. 본 논문에서는 동적시스템의 응답 특성 개선을 위하여 PI제어기와 IP제어기의 특성을 동시에 이용할 수 있는 혼합제어기를 설계하고 PMSM의 속도제어기에 적용하여 응답 특성을 시뮬레이션으로 확인하였다.

1. 서 론

제어계를 설계할 때에는 안정성과 속응성 및 정상상태 오차의 세 가지 항목을 고려하여야 한다. 이러한 항목에 대하여 많은 산업계에서 만족할 만한 성능을 보여주는 제어기로 PI 제어기가 있다. PI 제어기는 제어기에 입력되는 지령값과 현재 출력되고 있는 출력값의 오차를 0으로 만드는 데 목적을 두고 있는데 각 제어기의 이득값이 제어기를 포함하고 있는 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 따라서 PI 제어기의 사용으로 정상 상태 오차를 개선할 수는 있지만 일반적으로 안정도는 감소하게 된다. 제어공학 측면에서 PI 제어기는 전달함수의 분자에 있는 영점이 시스템의 과도응답에 영향을 주기 때문이다. 이러한 PI 제어기의 문제점을 개선하기 위하여 제어기의 이득값을 조정하는 적응제어 기법이 많이 연구되어 왔다.^[1] 그러나 실제로 이득값을 조정하게 되면 센서를 통해 피드백 받는 출력값의 잡음에 대한 민감도에 영향을 주게 되며 시스템 안정도에 악영향을 끼칠 수 있다. 또한 시스템에 속해 있는 다른 제어기의 구동 성능에 영향을 끼칠 수 있으므로 실제로 설정할 수 있는 범위가 제한적이다. 반면에 PI 제어기의 구조를 약간 변경하여 구성된 IP 제어기의 경우엔 PI 제어기와 달리 영점이 제거된 전달함수를 얻을 수 있다. PI 제어기는 지령값과 출력값의 오차를 비례제어 하지만 IP 제어기는 출력값에 대한 비례 제어를 하게 된다. 그러나 속응성이 떨어져 지령값에 대한 응답특성이 늦다는 단점이 있다.

본 논문에서는 속응성이 좋지만 안정도가 떨어지는 PI 제어기와 반대의 특성을 가지는 IP 제어기의 장점을 이용하여 시스템에 적용시킬 수 있는 혼합제어기를 구성하고 이를 PMSM의 속도제어기로 구성하여 지령속도에 대한 응답특성을 확인하였다.

2. PI-IP 혼합제어기

2.1 PMSM의 속도 제어계에서 혼합제어기의 구성

본 절에서는 각 제어기의 구성 및 문제점을 분석하고 결합하여 PMSM의 속도제어기로 구성하는 과정과 응답특성을 시뮬레이션으로 확인한다.

2.1.1 PI 제어기와 IP 제어기의 구성

PI 속도 제어기의 제어 블록도는 그림 1과 같으며 속도 지령에 대한 실제 속도의 전달함수를 구하면 식 (1)과 같다.

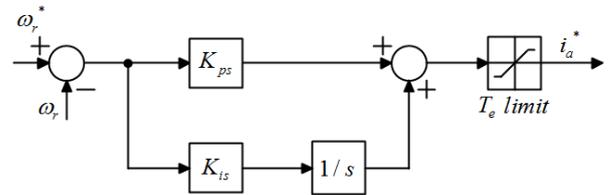


그림 1 PI 속도 제어기 블록도
fig. 1 Block diagram of PI speed controller

$$\frac{\omega_m}{\omega_m^*} = \frac{\frac{K_T K_{ps}}{J} s + \frac{K_T K_{is}}{J}}{s^2 + \frac{K_T K_{ps}}{J} s + \frac{K_T K_{is}}{J}} \quad (1)$$

식 (1)의 전달함수에서 분자항에 있는 영점 ($s = -K_{is}/K_{ps}$)이 과도응답에 영향을 주어 오버슈트가 발생하는 응답특성을 보이게 된다. 이러한 특성은 시스템의 안정도를 떨어뜨리는 결과를 가져온다.

PI 제어기와 반대의 특성을 갖는 IP 속도 제어기의 제어 블록도는 그림 2와 같으며 속도 지령에 대한 실제 속도의 전달함수는 식 (2)와 같다.

그림 2와 같이 제어기를 구성하면 식 (1)에서 영점이 제거된 전달 함수를 얻을 수 있다. 따라서 영점에 의한 오버슈트가 발생하지 않으며 실제로 PI 제어기보다 이득을 더 크게 설정할 수 있다. 일반적으로 동일한 오버슈트를 기준으로 PI 제어기보다 대역폭을 약 5.4배 정도 증가시킬 수 있다. 따라서 대역폭을 더 크게 함으로 외란에 대한 더 좋은 응답 특성을 기대할 수 있다.

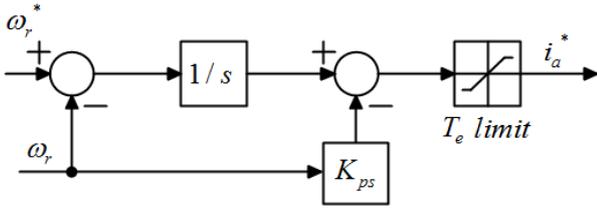


그림 2 IP 속도 제어기 블록도
fig. 2 Block diagram of IP speed controller.

$$\frac{\omega_m}{\omega_m^*} = \frac{\frac{K_T K_{is}}{J}}{s^2 + \frac{K_T K_{ps}}{J}s + \frac{K_T K_{is}}{J}} \quad (2)$$

그러나 IP 제어기는 적분 시정수를 갖는 1차 지연 필터를 거친 지령값이 입력되는 PI 제어기와 동일한 구조이기에 입력 지령의 지연으로 인하여 속응성이 떨어지는 단점이 있다.

2.1.2 PI-IP 혼합제어기 구성

그림 3은 앞 절에서 확인한 두 제어기를 혼합하여 사용하기 위한 제어블록도 이다.

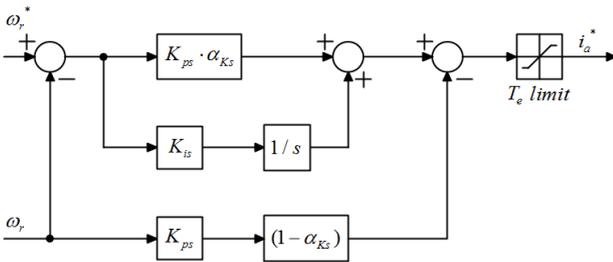


그림 3 PI-IP 혼합 속도 제어기 블록도
fig. 3 Block diagram of PI-IP hybrid speed controller

그림 3의 제어 블록도에서 확인할 수 있듯이 두 가지의 제어기를 선택하여 사용할 수 있도록 설정변수 α_{Ks} 가 존재한다. 이 설정변수는 0에서 1까지의 값으로 제한되는데 0으로 입력되면 제어기는 IP 제어기로 구동되며 1로 입력되면 PI 제어기로 구동된다. 시스템의 특성 및 외란에 대하여 이 설정변수를 적응적으로 제어한다면 PI 제어기의 속응성과 IP 제어기의 안정성을 모두 만족시킬 수 있는 응답특성을 얻을 수 있다.

2.2 컴퓨터 시뮬레이션

혼합 제어기의 구동성능을 확인하기 위해 MATLAB을 이용하여 PMSM의 속도제어 응답특성을 확인하였다.

그림 4(a)는 PI 속도 제어기의 응답특성 결과이며, 그림 4(b)는 IP 속도 제어기의 응답특성을 나타내는 시뮬레이션 결과이다. 그림 4(a)는 속응성은 매우 좋으나 오버슈트가 발생하며 그림 4(b)는 그림 4(a)와 반대의 결과를 보이고 있다.

그림 4(c)는 그림 3의 제어 블록도를 그대로 구성한 혼합 제어기의 속도 응답 특성을 나타내는 결과이다. PI 제어기에서 나타나는 오버슈트가 최대한 억제되었으며 IP 제어기보다 속응성이 좋은 것을 확인할 수 있다. 그러나 정상상태에서 외란 토크에 대한 응답 특성은 동일한데 이것은 외란토크에 대한 속도

의 전달 함수가 두 제어기 모두 동일하기 때문이다.

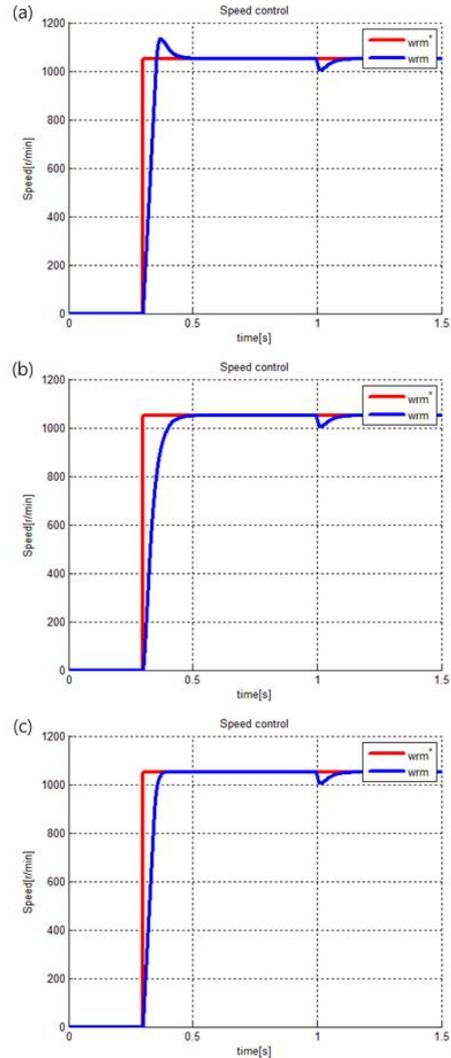


그림 4 시뮬레이션 결과
fig. 4 Simulation result

3. 결론

본 논문에서는 가장 많이 사용되는 PI 제어기와 그 반대 특성을 갖는 IP 제어기의 장점을 모두 이용할 수 있는 혼합 제어기를 이용하여 PMSM의 속도 제어기를 구성하고 그 응답특성을 확인하였다. 두 가지 제어기의 사용 빈도를 결정하는 설정변수 α_{Ks} 의 값을 적응적으로 변경하게 되면 속응성, 안정성, 정상상태 오차를 모두 만족시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

참고 문헌

[1] Sant, A.V., Rajagopal, K.R., "PM Synchronous Motor Speed Control Using Hybrid Fuzzy PI With Novel Switching Functions", Magnetics, IEEE Transactions on, Vol. 45, pp. 4672-4675.