

영구자석동기전동기에서 속도고리PI조절기 반감김설계의 한가지 방법

리 국 철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《새 세기 산업혁명은 본질에 있어서 과학기술혁명이며 첨단돌파에 경제강국건설의 지름길이 있습니다.》

비례적분조종에서 닫긴고리성능이 예측된 선형특성에 관하여 현저하게 퇴화되는 감김(windup)현상을 어떻게 방지하겠는가 하는것은 사보전동기구동체계의 정상동작을 보장하는데서 중요한 문제로 나선다.

선행연구[1]에서는 역계산AW(Anti-Windup)에 기초한 4가지 형태의 실험결과들을 비교하고 정적 및 저차보상이 완전차보상보다 우월하지만 다른 성능지표들에 대하여서는 명백하지 못하다는것을 밝히였으며 선행연구[2]에서는 과대조절과 안정시간이 같은 오차의 과도과정성능이 주로 적분의 안정상태값의 영향을 받으며 그 적분안정상태값은 부하와 속도참조값들에 의해 조종된다는것을 밝히였다.

일반적으로 PI조절기의 출구는 다음의 식에 의해 계산된다.

$$U_n = \frac{K_p \tau_c (\tau_i + 1)}{\tau_i (\tau_c s + 1)} e + \frac{1}{\tau_c s + 1} U_s \quad (1)$$

이때 τ_c 의 선택이 매우 중요한데 AW설계에서는 그것의 대역을 경험적으로 $\tau_i \sim 8\tau_i$ 까지로 설정한다.

한편 추적형AW설계에서는 명백히 K_c 가 미지의 량으로 미리 설정되어야 하는데 이것이 바로 약점으로 된다. 그것은 K_c 가 어떤 계단속도변화에 대하여 적절하게 얻어졌다 할지라도 체계가 모든 동작환경에 대하여 좋은 속도응답을 가질수 있다는 담보가 없기때문이다.

여기로부터 체계의 상태에 기초하여 반결합부분의 증폭도뿐아니라 K_c 값을 자동적으로 생성할수 있는 토막역계산AW를 설계한다.

1. 토막역계산AW

전통적인 추적형AW구조는 그림 1과 같다.

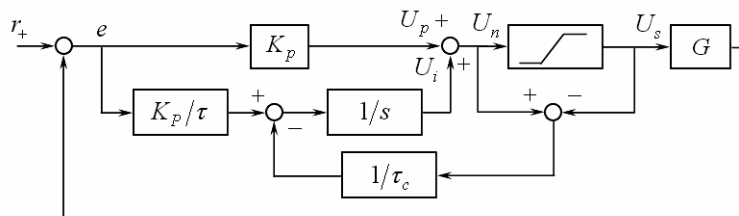


그림 1. 전통적인 추적형AW구조

그림 1의 체계에 대하여 $U_s \in [-0.1, 0.1]$ 이고 $K_p = 1$ 이라고 가정하면 $r:0 \Rightarrow 1$ 인 계단 지령이 주어질 때 $U_n > U_s > 0$ 으로 될뿐아니라 조절기는 즉시에 포화된다.

한편 $e_u = U_n - U_s$ 라고 하고 K_c 가

$$K_c = \frac{eK_p}{U_n - U_s} K_i \quad (2)$$

와 같은 형태로 표시된다면 적분기의 출구 U_i 는 변하지 않는다.

그리고 $U_i(0) = 0$ 인 경우 식 (2)로부터 $U_i(t) = 0$ 이라는것을 알수 있다.

이 경우

$$U_n = U_p = eK_p \quad (3)$$

이며 이로부터

$$K_c = \bar{\theta} K_i \quad (4)$$

이다. 여기서

$$\bar{\theta} = \frac{U_n}{U_n - U_s} = 1 + \frac{0.1}{U_n - 0.1} \quad (5)$$

이다.

만일 K_c/K_i 가 $\bar{\theta}$ 에 따라 계산되는 경우 조절기가 포화될 때 적분기가 정지하게 되며 이것은 속박된 적분AW와 등가로 된다. 이로부터 조절기가 체시간에 포화에서 빠져나오도록, 전동기가 동적과정에서 최대가속도를 얻도록 하자면 적분이 적당한 준위로 유지되어야 한다.

이제 a 를 조절기에서 포화를 가리키는 턱값으로 설정하자.

이때 조절기는 $e_u = U_n - U_s \geq a$ 에서 강하게 포화되기때문에 적분을 억제하기 위하여 식 (2)로부터 K_c 를 계산한다.

한편 $0 < e_u = U_n - U_s < a$ 에서는 $K_c = K_i$ 로 되며 이때의 AW처리는 추적형과 같이 된다.

이로부터 다음의 식

$$K_c = \theta K_i \quad (6)$$

와 같은 규칙에 따라 K_c 의 값을 변화시키자. 여기서

$$\theta = \begin{cases} 1, & U_s < U_n < U_s + a \\ \frac{eK_p}{U_n - U_s}, & U_n \geq U_s + a \end{cases} \quad (7)$$

이다. 이와 같이 설계된 토막역계산AW구조를 그림 2에서 보여주었다.

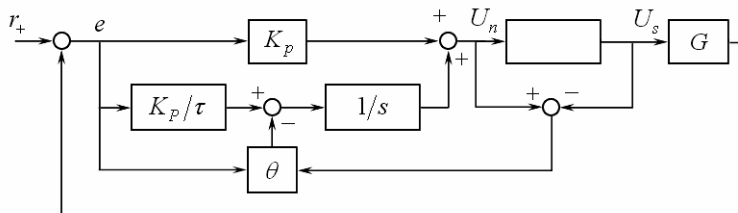


그림 2. 토막역계산AW구조

2. 모의 및 결과분석

모의실험을 위하여 영구자석동기전동기사보체계의 정격값을 다음의 표에 제시하였다.

표. PMSM사보전동기의 정격값

파라미터	값
정격출력/kW	0.75
정격모멘트/Nm	2.4
정격속도/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	3 000
회전자관성/($\text{N} \cdot \text{m}^2$)	8.53×10^{-5}
고정자저항/ Ω	0.45
고정자유도도/mH	3.9
최대전류/A	18.6

각이한 조건하에서의 조종체계모의파형들을 그림 3과 4에 제시하였다.

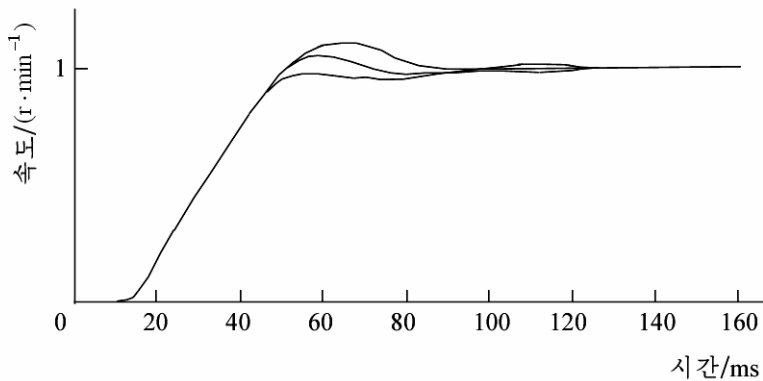


그림 3. 각이한 AW의 모의곡선

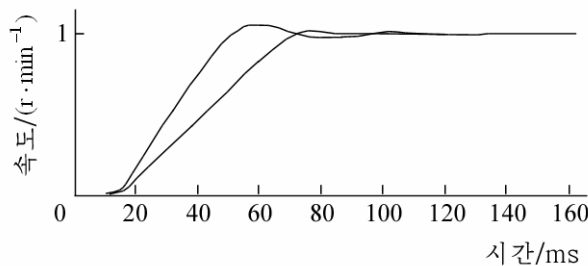


그림 4. 각이한 부하조건에서의 토막역계산AW의 모의곡선

그림 3, 4에서 보는바와 같이 전통적인 역계산AW방법에 기초한 토막역계산AW방안은 영구자석동기전동기의 사보체계에 대하여 전동기속도응답의 신속성을 담보할수 있으며 과대조절이 지나치게 커지는 현상과 너무 이르게 포화되는 현상을 극복할수 있다는것

을 알 수 있다.

또한 제안된 방법은 관성, 마찰계수, 회전모멘트-전류계수와 같은 전동기파라미터들을 필요로 하지 않는다.

맺 는 말

전통적인 AW방안을 리용하여 영구자석동기전동기의 속도조종을 위한 PI조절기를 설계함으로써 파라미터를 생성하기 힘든 문제들을 해결하였으며 모의실험을 통하여 AW방안을 가진 조절기들의 동적성능이 향상된다는것을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] H. B. Shin; IEEE Transactions on Industrial Electronics, **59**, 1509, 2012.
- [2] H. B. Shin; IEEE Transactions on Industrial Electronics, **45**, 445, 1998.

주체108(2019)년 11월 5일 원고접수

A Method of Anti-Windup PI Controller for Speed Control in Permanent-Magnet Synchronous Motor

Ri Kuk Chol

We have solved the difficult problems to constitute parameters by designing PI controller for the speed control in permanent-magnet synchronous motor with the traditional AW scheme.

And we have also verified that the dynamic performance of controller with the AW scheme are improved through the simulation.

Keywords: permanent-magnet synchronous motor(PMSM), anti-windup, integral saturation, PI controller