2 慣性共振系の速度制御用H ∞ コントローラの次数低減化

学生員 橋本 誠司 (宇都宮大)

正 員 神山 健三 (宇都宮大)

Lower-order H ∞ Controller for Speed Control of Two Mass System

Seiji Hashimoto, Student, Kenzo Kamiyama, Member (Utsunomiya University)

キーワード：2 慣性負荷系，H ∞ 制御，状態フィードバック，オブザーバ，軸ねじり振動抑制

1. まえがき

2 慣性共振負荷を持つ速度サーボ系に極・零相殺を緩和したH ∞ 制御を適用する提案がなされている[1],[2]。負荷速度を制振する目的でH ∞ 制御を適用しても、トルク外乱に対しては制御対象の持つ共振特性が保存され、負荷速度は制振できない。そこで本研究では、まずトルク外乱特性を改善する目的から状態フィードバック補償（以下S.F.B補償と略記）を用いて制御対象の極配置（トルク外乱から負荷速度までの極と同一）を行う。このとき、極の配置はトルク外乱特性を改善し、同時にその極を不確かさとしても扱えるよう適切に配置する。このように極配置して低次元化された制御対象の負荷速度制御にH ∞ 制御を適用すると、H ∞ コントローラの次数が低減化される。ここでは、トルク外乱特性のよい、次数低減化されたH ∞ コントローラ的设计手法を提案する。

2. 状態フィードバック補償による次数低減

2.1. S.F.B補償による制御対象の極配置

2 慣性共振負荷、速度制御系、状態量オブザーバを含む全体の制御系のブロック図、及び制御対象の各定数を図1に示す。S.F.B補償付での ω_2/I^* の伝達関数 $G_{\omega 2}$ は

$$G_{\omega 2} = \frac{N_1 s + N_0}{s^4 + D_3 s^3 + D_2 s^2 + D_1 s + D_0} \quad \text{-----}(1)$$

ここで、

$$\begin{aligned} N_0 &= \frac{K_1 K}{F J_1 J_2 T_c}, \quad N_1 = \frac{K_1 C}{F J_1 J_2 T_c} \\ D_0 &= \frac{K(B_1 + B_2)}{J_1 J_2 T_c}, \quad D_1 = \frac{K(J_1 + J_2) + (K T_c + C)(B_1 + B_2) + B_1 B_2}{J_1 J_2 T_c} \\ D_2 &= \frac{J_1(B_2 + C) + J_2(B_1 + C) + K T_c(J_1 + J_2) + C T_c(B_1 + B_2) + B_1 B_2 T_c}{J_1 J_2 T_c} \\ D_3 &= \frac{J_1 T_c(B_2 + C) + J_2 T_c(B_1 + C) + J_1 J_2}{J_1 J_2 T_c} \end{aligned}$$

これに対し、S.F.B補償付では ω_2/I^* の伝達関数 G_k は

$$G_k = \frac{N_1 s + N_0}{s^4 + f_3(k_4) s^3 + f_2(k_2, k_3, k_4) s^2 + f_1(k_1, k_2, k_3, k_4) s + f_0(k_1, k_2, k_3, k_4)} \quad \text{---}(2)$$

ここで、 $f_i(k)$ はフィードバック係数 $k_1 \sim k_4$ の関数であり、それらを調整して望ましい極に配置することができる。

J1=J2=60 [kg-m²], B1=B2=6 [Nm/rad/s], K=2.16 × 10⁵ [Nm/rad]
C=144 [Nm/rad/s], Kt=7.64 [Nm/A], Fc=0.01 [V/A], Tc=0.0125 [s]

図1 状態量オブザーバを用いた2 慣性速度制御系
Fig.1. Speed control system of two mass with state observer.

2.2. H ∞ コントローラの次数低減

(1)式の制御対象において、制御対象の振動項を不確かさとして制御対象の次数を低減した場合、H ∞ コントローラの次数を低く設計すると、バンド幅は不確かさに基づく振動の共振点の影響から狭くなる。従って目標値応答が遅く、トルク外乱特性も悪化する。このとき、目標値応答を速くすると、振動項の振動に対してより高次の重みを選ぶ必要がある。そのため、H ∞ コントローラの次数はより高次となる。

そこでS.F.B補償を用いて振動項を含めた4次の制御対象の極配置を行い、そのうち2次を不確かさとしてロバスト安定とするH ∞ コントローラを設計する。すなわち、4つの極を p_1, p_2, p_3, p_4 に配置すると制御対象は次式となり

$$G_k = \frac{N_1 s + N_0}{(s + p_1)(s + p_2)(s + p_3)(s + p_4)} \quad \text{-----}(3)$$

ここで、2つの極 p_3, p_4 を不確かさとしその動特性を無視することにより、制御対象は次式のように2次となる。

$$G_{k2} = \frac{N_1 s + N_0}{(s + p_1)(s + p_2)p_3 p_4} \quad \text{-----}(4)$$

図2 H ∞ 制御系Fig.2. H ∞ control system.

図3 S.F.B補償付き不付きでの応答特性

Fig.3. Response without S.F.B and with S.F.B compensation.

3. シミュレーション結果

制御系設計にあたり立ち上がり時間は100[ms]以下とする。また、H ∞ コントローラ設計のための、重み関数を含めた一般化制御対象を図2に示す。

S.F.B補償不付の制御対象に対しH ∞ コントローラ(5次)を設計した。ここで重み W_T はバンド幅から、 W_S はコントローラの次数低減という観点から

$$W_T = \frac{(1/2.8s+1)^3}{1000}, \quad W_S = \frac{13.5}{s+0.01} \quad \text{-----(5)}$$

そのときの目標値応答、及びトルク外乱に対する周波数応答特性を図3(a)に示す。また、その制御対象にS.F.B補償を行い4つの極 p_1, p_2, p_3, p_4 の配置を、摂動に関係するバンド幅と、過電流を避けるという観点から $s = -70$ の4重根とし、そのうち2つの極 p_3, p_4 を摂動としてロバスト安定となる3次のコントローラを設計した。 W_T はバンド幅と摂動を考慮して、 W_S はコントローラの次数低減という観点から

$$W_T = \frac{1/1.2s+1}{10}, \quad W_S = \frac{12}{s+0.01} \quad \text{-----(6)}$$

図4 重み関数 W_T と不確かさ(摂動)のボード線図
Fig.4. Bode plot of weighting function W_T and uncertainty.

そのときの目標値応答、及びトルク外乱応答特性を図3(b)に示す。また、その時の不確かさの摂動と重み W_T を図4に示す。図3(b)よりトルク外乱特性が改善され、かつ、目標値応答特性も良好である。

4. あとがき

2慣性共振系の制御対象に対して状態フィードバック補償を行い、極を適切に配置することにより、トルク外乱特性が改善でき、同時に制御対象の次数低減が可能となる。これにより、H ∞ コントローラの次数が低減化できる。その低減化されたH ∞ コントローラでも、目標値応答特性だけでなく、トルク外乱特性も改善できることをシミュレーションにより検証した。

(平成6年12月2日受付)

文 献

- (1) 森・武市・駒田・石田・堀：「外乱オブザーバを付加した2慣性共振系のH ∞ 制御法による速度制御」, 電学論D, 114, 1173~1174 (平6-11)。
- (2) 進藤・森本・武田：「共振比制御とH ∞ 制御による2慣性系の速度制御」, 平成6年電気学会全国大会講演論文集, No.674。

橋 本 誠 司

神 山 健 三

(非会員) 1971年12月19日生。1994年3月宇都宮大学電気電子工学科卒業。同年4月宇都宮大学大学院工学研究科博士前期課程電気電子工学専攻入学。現在に至る。モータドライブの制御を主に研究中。計測自動制御学会の会員。

(正員) 1936年3月12日生。1961年3月早稲田大学大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社、モータドライブの研究開発に従事。1991年4月宇都宮大学工学部教授。工学博士。パワーエレクトロニクス及びモータドライブの研究と教育に従事。電気学会、IEEEなどの会員。