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

正員 森 征之 (三重大)
正員 駒田 諭 (三重大)
正員 堀 孝正 (三重大)

学生員 武市 義典 (三重大)
正員 石田 宗秋 (三重大)

Speed Control of Two Mass Resonant System with Disturbance Observer by H ∞ Control Method
Masayuki Mori, Member, Yoshinori Takeichi, Student, Satoshi Komada, Member,
Muneaki Ishida, Member, Takamasa Hori, Member, (Mie University)

キーワード：2慣性共振系，H ∞ 制御，外乱オブザーバ，振動抑制，外乱特性

1. まえがき

2慣性共振系では，制御系の応答角周波数を上げると制御系が振動し，外乱の影響を受け易くなる。影響軽減のためにH ∞ 制御法の適用が提案されているが，制御対象の極とH ∞ 制御器の零点とが相殺されるので，負荷トルク外乱に対する抑圧特性は十分には改善されない。本報告では，2慣性共振系にあらかじめ外乱オブザーバを付加してからH ∞ 制御器を設計することにより，制御対象の極とH ∞ 制御器の零点の相殺による影響が緩和できるため，外乱特性と振動抑制双方の改善が可能であることをシミュレーションにより示す⁽¹⁾。

2. 外乱オブザーバの付加による等価制御対象の極の変化

イナーシャ J_M のモータとイナーシャ J_L の負荷が，硬さ K_s の軸で接続されている2慣性共振系に電機子電流 i_a とモータ速度 ω_M を入力とする速度ベース外乱オブザーバを付加した制御系のブロック線図を図1に示す。ここで， K_t ， D_M ， D_L ， D_s はそれぞれモータのトルク定数及び粘性係数，負荷粘性係数，軸粘性係数である。なお，制御対象に外乱オブザーバを付加した等価制御対象に対してH ∞ 制御器を

図1 外乱オブザーバを付加した2慣性共振系

Fig.1 Two mass resonant system with disturbance observer.

設計するとき，等価制御対象モデルに積分器が含まれるため，文献⁽²⁾の方法を用いてH ∞ 制御器を設計する。

P_{do} を外乱オブザーバを付加したときの i_a^{ref} から ω_M までの等価制御対象の伝達関数， P_d を i_a から ω_M までの伝達関数， P^* は外乱オブザーバのノミナルシステム， G をそのフィルタ，添え字 o 及び n はそれぞれ制御対象に外乱オブザーバを付加したものとノミナル値であることを表わすものとする。次式のようになる

$$P_{do} = \frac{P_d P^*}{G P_d + (1 - G) P^*} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_d = \frac{K_t \{ J_L s^2 + (D_L + D_s) s + K_s \}}{J_M J_L s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \dots\dots\dots (2)$$

$$P^* = K_{ts} / (J_M s), \quad G = g / (s + g) \dots\dots (3)$$

ただし， $a_2 = J_M (D_L + D_s) + J_L (D_M + D_s)$

$$a_1 = K_s (J_M + J_L) + D_s (D_M + D_L) + D_M D_L$$

$$a_0 = K_s (D_M + D_L)$$

P^* ， G を(3)式とすると，たとえパラメータ変動が生じても， P_{do} の不安定極は原点の極だけである。(証明略)

表1のパラメータを用い， G のカットオフ周波数 g を10 [rad/s]刻みで10~500 [rad/s]と変化させたときの P_{do} の極を図2に示す。図2より， g を適当な値に設定すると， P_{do} の極が虚軸から遠ざかり，混合感度問題で問題となる制御対象の極とH ∞ 制御器の零点の相殺による影響が緩和できることが期待される。

表1 制御系のパラメータ

Table 1 Parameters of control system.

	実対象 P_d	モデル P	P^*
K_t [Nm/A]	1	1	1
J_M [kgm ²]	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}
D_M [Nms/rad]	1×10^{-3}	1×10^{-3}	0
J_L [kgm ²]	1×10^{-2}	1×10^{-2}	—
D_L [Nms/rad]	1×10^{-3}	1×10^{-3}	—
K_s [Nm/rad]	50	50	—
D_s [Nms/rad]	1×10^{-7}	0	—

図2 g の変化に対する $P(s)$ の極の動き
Fig.2 Poles of $P(s)$ for variation of g .

(a) $J_L = J_{Ln}$

(b) $J_L = 0.5 J_{Ln}$

(c) $J_L = 2 J_{Ln}$

図3 目標値応答及び外乱応答のシミュレーション結果
Fig.3 Simulation results of responses to speed reference and disturbance

3. シミュレーション結果

まず、 H_∞ 制御器の設計仕様として、 W_{2o} は等価制御対象の相対次数と同じ次数の多項式で、制御対象が表1に示したパラメータの場合のときに $|\Delta_m| < |W_{2o}|$ となるよ

うに、 W_{1o} は積分特性を持つようにして、 W_{1o} 、 W_{2o} 及び g は目標値応答特性がオーバーシュートがなく速く整定するように試行錯誤の上(4)式のように設定した。得られた H_∞ 制御器の次数は分子分母とも3次式である。

比較のため、外乱オブザーバの代わりに積分器を付加したときの H_∞ 制御器を設計する。ただし、 W_1 、 W_2 の低周波ゲイン及びカットオフ周波数を同一にした。

$$W_{1o} = \frac{14}{s}, \quad g = 73$$

$$W_{2o} = \frac{1}{110.6} \left\{ s + 79 + \frac{g s}{s + g} + \frac{\omega_R^2 s^2}{(s^2 + \omega_{AL}^2)(s + g)} \right\}$$

$$\omega_R^2 = \frac{Ks}{J_L}, \quad \omega_{AL}^2 = \frac{Ks(J_L + J_M)}{J_L J_M} \dots\dots(4)$$

表1のパラメータを用いた場合の2慣性共振系の目標値応答、外乱応答を図3(a)に示す。また、負荷イナーシャ J_L が、 $0.5 J_{Ln}$ 、 $2 J_{Ln}$ と変化したときの目標値応答、外乱応答を図3(b)、(c)に示す。図3(a)より、応答は制御対象に外乱オブザーバを付加した方が積分器を付加した場合よりも、オーバーシュートも振動も少なく速く整定しており、外乱オブザーバを付加することで応答特性が改善されることがわかる。また、図3(b)、(c)よりパラメータ変動に対するロバスト性及びロバスト安定性も外乱オブザーバを付加することにより改善されているのがわかる。

4. あとがき

2慣性共振系の速度制御において、制御対象に適切な g を設定した外乱オブザーバを付加してから H_∞ 制御を適用することにより、振動抑制特性や外乱抑圧特性及びパラメータ変動に対するロバスト性及びロバスト安定性が改善されることが確認された。

(平成6年5月9日受付)

文 献

- (1) 森, 武市, 駒田, 石田, 堀: 「2慣性共振系に外乱オブザーバを付加した H_∞ 制御法による速度制御」, 平成6年電気学会全国大会講演論文集, No. 13, pp. 31~32(1994)
- (2) 大内, 美多, 谷坂: 「電動機制御における H_∞ 制御の応用」日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス'91講演会講演論文集(B), pp. 75~77, (1991)
- (3) 海田, 尾崎: 「外乱トルクオブザーバに基づく多慣性系の振動抑制制御」, 平成5年電気学会全国大会講演論文集, No. 6, pp. 73(1993)
- (4) 岩田, 伊藤, 大野: 「外乱オブザーバに基づく2慣性共振系の振動抑制制御」, 平成6年電気学会全国大会講演論文集, No. 6, pp. 46~47(1994)

森 征之(正員) 1968年12月18日生。94年3月三重大学大学院工学研究科電気工学専攻修了。同年4月ミツテック㈱入社。

武市 義典(学生員) 1971年12月28日生。94年3月三重大学工学部電子工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程入学。

駒田 諭(正員) 1964年8月7日生。89年3月慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年4月三重大学工学部電気電子工学科助手。博士(工学)。

石田 宗秋(正員) 堀 孝正(正員)
(電学論D, Vol. 114, No. 6, p. 630参照)