528 水圧駆動樹脂封止プレスの制御に関する研究

A Study on Control of a Water-hydraulic Moulding Press

正 真田一志 (横国大)

Kazushi SANADA, Yokohama National University

Keywords: H^∞ Control, Force Control, Moulding Press, Water Hydraulics

1 はじめに

半導体製造工程での利用が検討されている水圧駆動による樹脂封止プレスの荷重制御系を、不確かさを考慮した H^∞ 制御理論を適用して設計する手法について検討した。

2 樹脂封止プレスの実験装置

実験装置の構成を Fig. 1 に示す。片ロッドシリンダを水圧用サーボ弁で制御する。ピストンが固定壁を押下する荷重をロードセルで検出してフィードバック制御する。

Fig. 1 Experimental setup of a water-hydraulic press

3 H^∞ 制御系の設計と実験

サーボアンプの印加電圧から荷重までのステップ応答を測定し、1次遅れ要素で近似した。ローパスフィルとあわせて、ノミナルモデル G_0 を得た。

$$G_0 = \frac{Ak_p}{(1+T_p s)(1+T_{LF} s)} \quad (1)$$

数値例を次式に示す。

$$G_0 = \frac{1.01 \times 10^7}{(s+200)(s+5)} \quad (2)$$

荷重制御時、サーボ弁は Fig. 2 に示すようにオーバーラップ領域で動作するようにした。流量特性を線形近似し、作動水の圧縮性、固定壁のばね定数、ピストンの慣性を考慮して、印加電圧から荷重までの伝達関数 G_1 を得た。

$$G_1 = \frac{\frac{c_1 A}{c_2}}{1 + \frac{1}{c_2} \left(\frac{A^2}{(K_w + Ms^2)} + \frac{W}{K_e} \right) s} \frac{1}{1 + T_{LF} s} \quad (3)$$

Fig. 2 A spool within overlap region

ノミナルモデル G_0 の乗法的な不確かさを詳細なモデル G_1 をもとに評価した結果を Fig. 3 に示す。等価体積弾性係数、流量特性および固定壁のばね定数に不確かさがあるとした。

Fig. 3 Multiplicative uncertainty

目標荷重に対して定常偏差のないサーボ系とするため、コントローラが持つべき積分器を式(4)に示すようにノミナルモデルに含めて Fig. 4 に示す混合感度問題を解く。

$$G_0' = G_0 \frac{1+s}{s} \quad (4)$$

重み関数を式 (5)と式(6)のように設定する。パラメータ a_{WT} と a_{WS} をさまざまに変えてコントローラを求め、実験を行ってステップ応答を測定した。

$$W_T = a_{WT} \times s \left(1 + \frac{s}{2000} \right) \quad (5)$$

$$W_s = \frac{1}{1 + a_{WS}s} \quad (6)$$

Fig. 4 Mixed-sensitivity problem

一例として、 a_{WS} を 10.0 に固定して a_{WT} を 0.20 から 0.40 まで 4 通りに変えた場合の H^∞ コントローラの周波数応答を Fig. 5 に示す。パラメータ a_{WT} が小さいほど、より大きなゲインが得られる。低周波数帯域でゲインの傾きが -20dB/dec. であり、位相遅れが 90 度であることからコントローラが積分特性を持っていることがわかる。ゲインは中周波数帯域でほぼ一定値を示し、高周波数帯域で増加している。位相遅れも高周波数帯域で 0 度付近まで回復しており、概略として PID コントローラに似ている。

数値例を挙げると、 $a_{WT}=0.25$ 、 $a_{WS}=10$ の場合、 H^∞ コントローラは次式のようにになる。

$$C = \frac{0.742(s+200)(s+5)}{s(s+1997)(s+940)} \quad (7)$$

ステップ応答の実験結果を Fig. 6 に示す。パラメータ a_{WT} が小さいほど整定時間が短い。また、ここに示した実験結果ではいずれの場合も行き過ぎは見られなかった。

4 おわりに

荷重制御系を H^∞ 制御理論を適用して設計し、その制御特性を実験によって検討した。水圧サーボ弁のオーバーラップで荷重制御を行う際、スプールとランドの隙間を通る流量特性を考慮することが重要である。本研究では、流量特性の変動幅を考慮して H^∞ 制御理論を適用した。実際にはオーバーラップ特性を指定すればある程度の精度で加工することができるので、どの程度の流量特性を持たせるのがよいのかを、逆に制御系設計の観点から検討する必要があることを指摘しておく。

謝 辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構、新規産業創造型提案公募事業、プロジェクト ID 99S29-007-004 の援助を得て実施した。誌上をお借りして謝意を表す。

参考文献

- 1) 真田一志、石川 格、水圧駆動樹脂封止プレスの速度および荷重制御に関する研究（基本制御系のシミュレーションと実験）、日本油圧学会論文集、掲載可

Fig. 5 Bode diagram of a controller

Fig. 6 Step responses