UDC 621.771:621.316.71:681.515.8

研究開発
ノート
61-B8

2 自由度 PID による圧延機 の速度制御

正 員 齊 藤 制 海 (豊橋技科大)

非会員 伊 東 稔 (豊橋技科大)

正 員 石 田 紘 一 (富士電機)

圧延ロールを駆動する直流電動機 の速度制御系には周波数領域での設計手法である PI 制御方式が多く用いられてきた。近年、この PI 制御方式に代わって時間領域での設計手法である現代制御理論を用いた種々の方式が提案され、筆者らも観測器を伴う LQI 制御系を提案した。しかし、この種の制御系は構成が複雑になり、デジタル化したとき乗除算回数が増え計算時間がかかり過ぎるとか、パラメータ変動に対するロバスト性などに問題がある。

本研究では周波数領域の設計技法に立ち返り、2 自由度 PID 制御方式による圧延ミルの速度制御系について考察する。制御対象は図 1 の破線で囲まれた部分で、鋼板がロールにかみ込むときステップ状の負荷トルク外乱 τ_L が加わるものとする。このとき制御の目的は、

- (i) 設定値変更によるロールの回転速度 n_L の追従性の良い応答
 - (ii) τ_L の速やかな補償
- の二つである。

PI 制御方式では (i) 項の立場からパラメータを調整すれば (ii) 項が悪くなり、逆に (ii) 項の立場から行くと (i) 項のほうがおそろそかになるので、結果的に、(i)、(ii) 項の間をとらざるを得なかった。そこで、図 1 のように PID 補償要素に更にフィードフォワード要素 $(\alpha + s\beta T_d)$ を付け加えた 2 自由度 PID 制御系を構成すれば、(i)、(ii) 項の要求を同時に満たすことができる。図 1 において目標値 ref から n_L までの伝達関数 $G_1(s)$ 、および負荷トルク外乱 τ_L から n_L までの伝達関数 $G_2(s)$ はそれぞれ

$$G_1(s) = \phi K_p \{ s^2 T_i T_d (1 - \beta) + s T_i (1 - \alpha) + 1 \} / \Delta \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$G_2(s) = \{ S^4 T_s T_M T_A T_i + S^3 T_s T_i \times (T_M + T_d K_p \phi) + s^2 T_i (T_s K_p \phi + T_A) + S (T_s K_p \phi + T_i) \} / \Delta \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta \triangleq S^5 T_L T_s T_M T_i + S^4 T_L T_s T_i \times (T_M + T_d K_p \phi) + S^3 T_i (T_L T_s K_p \phi + T_L T_A + T_M T_A) + S^2 (T_L T_s K_p \phi$$

図 1 2 自由度速度制御系の構成図

Fig. 1. Block diagram of two freedom degree speed controller.

図 2 目標値および外乱に対する応答の比較

Fig. 2. Comparison in response for step reference and disturbance.

$$+ T_L T_i + T_M T_i + T_i T_d K_p \phi) + s T_i K_p \phi + K_p \phi$$

となる。(1)、(2)式からわかるように、フィードフォワード要素のパラメータ α, β は $G_2(s)$ に現われず、 $G_1(s)$ にのみ存在する。そこで、まず $G_2(s)$ のパラメータ K_p, T_i, T_d を外乱に対し望ましい応答になるように設定し、次いでそれらを固定したまま $G_1(s)$ を目標値に対し追従性が良くなるように、 α, β を設定すればよい。これより (i)、(ii) 項の要求に対して独立にパラメータを設定してやることができる。

図 2 は制御対象の各時定数 $T_L = T_M = 0.1s$, $T_i = 0.02s$, $T_A = 0.01s$ とし、 ref の設定値は単位ステップ、外乱 τ_L は単位ステップが 1 秒後に印加したときの観測器付 LQI, PI 制御系、および 2 自由度 PID 制御系の応答をシミュレーションにより比較したものである。これより 2 自由度 PID の応答特性は LQI 制御系には劣るが、従来の PI 制御に比べればかなり改善されたことがわかる。また、ここでは結果を割愛したが、2 自由度 PID 制御系はパラメータ変動に対して LQI や PI 制御系に比べて格段に頑強であることもわかった。

(昭和 61 年 4 月 2 日受付)

Speed Controller of Rolling Mill with Two Freedom Degree PID. By Osami Saito, Member, Minoru Ito, Non-member (Toyohashi University of Technology) & Koichi Ishida, Member (Fuji Electric Co. Ltd).

齊藤制海: 正員, 豊橋技術科学大学情報工学科
伊東 稔: 非会員, 豊橋技術科学大学情報工学科
石田紘一: 正員, 富士電機製造株式会社