



基於最小追蹤誤差 與頻域限制條件 之伺服馬達PID控制器參數 自動調整法則

Automatic Parameter Adjustment for PID Controller of Servo Motor Based
on the Minimum Tracking Error and Frequency Domain Limits

陳信文

國立交通大學
電機工程學系
研究生

鄭中強

國立交通大學
電機工程學系
研究生

蕭得聖

國立交通大學
電機工程學系
副教授

關鍵詞(Keywords)

- 最小化積分平方誤差
Integral Of Squared Error
- 參數自動調整
Parameter Automatic Adjustment
- 頻率整形
Frequency Shaping

摘要(Abstract)

有鑑於伺服馬達控制架構中大多數仍然使用PI或PID控制器，大部分的設計方法可經由簡單的公式求得PID控制器參數，但多數的調整方法無法兼顧系統的強健與性能。所以，本文章提出一

套調整方法，同時考慮到時域與頻域的性能指標，在最小化平方積分誤差時，亦同時加入頻域限制。利用頻率整形(frequency shaping)的概念，調整系統之頻率響應，以達成符合相位邊界(phase margin)且使頻寬最大化的最佳控制器參數調整方法，使設計出的控制系統能兼顧強健性與性能，再由此最佳化參數調整方法發展出一整套的參數調整流程，最後將此調整流程整合於人機介面，並實際運用在Faulhaber伺服馬達的速度控制與位置控制上。實驗結果顯示，與Faulhaber的參數自動調整演算法相比，本研究所得到的控制器參數可達到更好之控制效能。

PI or PID controllers are widely used in servo motor control nowadays. However, most PID gains are determined by simple formulas which cannot satisfy the requirements of robustness and



performance simultaneously. This study proposed a new PID gain tuning method which considers the performance of time and frequency domains at the same time. While minimizing the integral of squared errors, the proposed method also imposes frequency domain constraints. Using the frequency shaping technique, the proposed method satisfied the need for the user specified phase margin and maximized the bandwidth of the system. Therefore, both robustness and performance were explicitly taken into account. Graphic user interfaces were designed to facilitate the whole tuning process. Experiments were conducted in the position and velocity loops of a servo motor from Faulhaber. The results showed that a better performance was achieved in comparison with the Faulhaber's auto-tuning algorithm.

1. 前言

近幾年來，隨著工業的快速發展，許多原本以人力完成的工作漸漸的被機械自動化取代，不同型態的自動化機台也應運而生。往往需要精準的速度控制或位置控制，伺服馬達在其中就扮演了極為重要的角色。

雖然學術界已發展出了許多的控制理論與方法，但現階段最為廣泛運用於伺服馬達的仍然是比例 - 積分 - 微分 (proportion-integration-differentiation, PID) 控制，因其結構簡單、調整方便所以依然是工業控制中主要的技術工具。

2. 研究目的

本研究致力於設計一套伺服馬達 PID 控制參數調校的完整流程，使用者可以根據需求選擇規格，使系統得以達成期望的效能。為方便使用者操作，本研究將參數調整流程整合於圖型化人機介面 (graphical user interface, GUI)，讓一般的使用者也能夠輕易上手使用。

3. PID 參數自動調整演算法與調整流程

3.1 參數化適應性控制演算法

對於 PID 控制器參數的設計和調整有很多種方法，如 Gain-phase margin method [1] 中，設計的準則為增益邊界與相位邊界，也有透過頻率整形的方法 [2、3]。而本研究採用最小化積分平方誤差 (integral of squared error, ISE) 為參數調整之準則，使用 ISE 目的為形成凸包 (convex) 的形態如此得以使用適應性參數調整法則。在任何時刻 t ，ISE 的定義如下(1)

$$J_{ISE} = \int_0^t e^2(v) dv \quad (1)$$

其中 e 為控制誤差。ISE 為時域上的最佳化準則，不過單以時域準則尋找最佳化參數，其結果往往會導致系統的穩健性不佳。因此，本研究提出創新參數調整演算法，在最小化 ISE 時，亦同時加入頻域限制。利用頻率整形的概念，調整系統之頻率響應，使其具備足夠的增益邊界與相位邊界，以

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】400期・105年7月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌信箱：jmi@itri.org.tw