

直流電動機控制電路設計

許中平・黃煌嘉 編譯

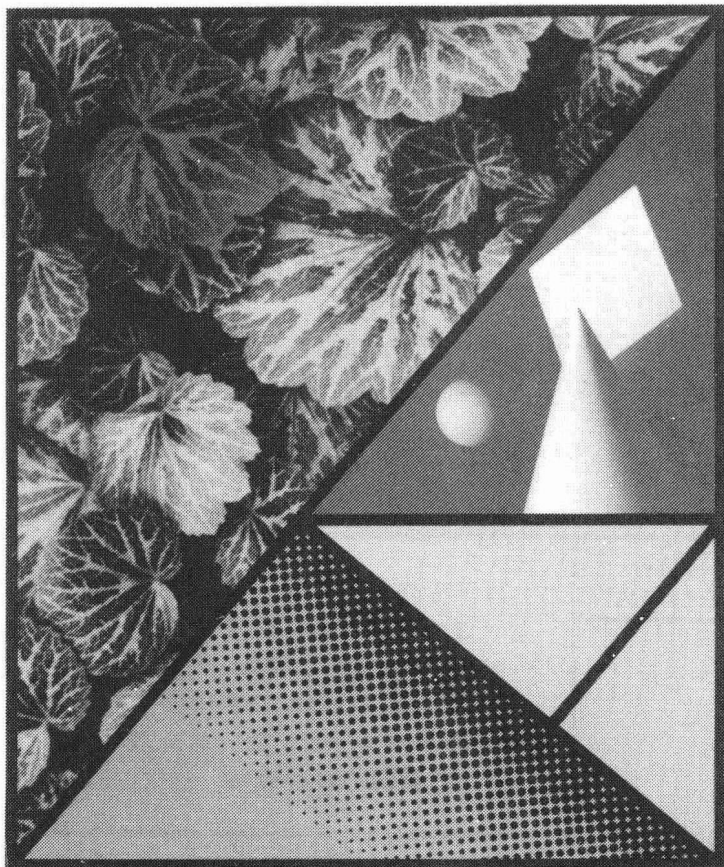


全華科技圖書公司 印行

zh L D D J

直流電動機控制電路設計

許中平・黃煌嘉 編譯



全華科技圖書公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

直流電動機 控制電路設計

許中平 編譯
黃煌嘉

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話 / 5 8 1 1 3 0 0 (總機)

郵撥帳號 / 0 1 0 0 8 3 6 - 1 號

發行人 陳 本 源

印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

定 價 新臺幣 150 元

二版 / 75年12月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0221021

DCモータの制御回路設計

安定に, 正確に, 効率よくまわす技術

谷腰欣司 著

原 版 序

今日，以小型電動機爲中心的機電（electromechanical），進步非常地顯著，各方面技術性變化也有相當地績效。

如家電方面的VTR及CD唱機，事務方面的影印機及字體處理機，又工業方面有作業用機器人（robot）等，都使人類的生活品質提高並更加地豐富。

機電的進步，不僅是受到以電動機爲中心的控制技術進步之影響，功率電子學（power electronics）與微電子學（micro electronics）的技術進步對機電也有很大的貢獻。

有關電動機的各種書籍，及包含控制技術的實用書，在市面上極爲缺乏。特別是有關控制電路設計的技術，以及實現特性、基本特性的變化等系統的書籍幾乎沒有，對現場技術人員在這方面的資料造成尋求不易的困難。本書爲使讀者能得到一整套的直流電動機使用各種控制電路設計的知識，特別是在控制技術的基本應用裏，加入許多的電路例，作淺易的說明。

又本書加入筆者在各項技術研討會或技術指導中，由本書作者針對現場技術人員提出的各項疑問，作詳細的答覆與說明之內容，並考慮其實用性的內涵。故若能熟讀本書，則在有關直流電動機的控制技術方面，必能達到充分

的技術水準。

本書共分為十二章：

第一章 為敘述直流電動機的特性，就轉數、發生轉矩 (torque)、反電動勢 (counter e. m. f.)、內電阻以及電流等關係來研討。

第二章 就控制的基本技術來說明電動機控制的意義與目的。

第三章 以具體的電路例來解說穩定轉數的基本構成，與最簡單的穩定性控制法。到此 (1 ~ 3 章)，對電動機穩定運轉的電路設計方法，應有相當的瞭解了。

第四章 就伺服 (servo) 電路來解釋轉數檢出使用轉速發電機 (tachogenerator) 以及頻率發電機 FG (frequency generator)，並依分離構成綜合時與提取專用 IC 操作時的差異，作詳細的說明。

第五章 依 PLL (phase lock loop) 控制來解說以 1 ~ 4 章所學的電路技術，作高穩定轉數的方法。在此採電動機專用的 PLL IC 電路之設計法作說明，介紹到這裡 (1 ~ 5 章)，直流電動機轉數的穩定性 (稱為定速控制) 技術法，大概能完全理解。

第六章 說明伺服系統 (反饋系統) 的控制特性以改良其技術。一般伺服系統 (servo system) 的特性改善，或評估響應特性 (response characteristic) 時，必須導入伺服系統的控制理論。在這裡儘量避免艱深的理論，來詳述伺服系統的穩定電路常數的設計法，並加入具體性的電路例，或波形照片等，使伺服系統穩定與不穩定的意義能更深入瞭解。

第七章 就省功率所不可或缺的 PWM 控制技術來闡述，PWM 控制已變成今日電動機數位控制 (digital control) 的主流，且為電動機控制技術法最重要的一種。在這裡從最基本到應用來說明，並涉及省功率化的效果。

第八章 位置決定控制。主要為類比控制 (analog control) 的基本與具體性電路例，以實際的使用例來說明。

第九章 解說使用微算機 (micro computer, μC) 時的基本技術。若以此種的介面方法來探討電動機控制使用微算機時的優點，便可使讀者更易於理解。

第十章 利用微算機的位置決定控制。以第八章的類比位置決定控制，解說數位控制技術的方法。又因數位化使微算機的介面 (interface) 簡化，並可說明能實現高精度的位置決定控制。本書承研究位置決定控制多年的多摩川精機 (株) 之永瀨隆光氏的協助，得以完成。

最後的第十一章與第十二章，是以實際且具功效之要訣以及技術作系統綜合的方式，解說多種實例。

本書為敘述控制技術的全部方法，希望對實際從事機電設計有關的諸位讀者有確實的效用。

本書在執筆時，朋友們提供許多文獻及資料，供筆者作參考，在此特別感謝他們。並承永瀨隆光氏的幫助，使第十章得以完成。及本書在編輯時，承 CQ 出版社的蒲生良治氏協助、才能順利出書，一併謹此誌謝。

筆者

譯者序

自動化是人類最後的願望，工廠、辦公室、家庭皆朝自動化的途徑邁進，微電腦的出現更加速自動化的步調，單獨以傳統的電機機械已無法滿足時代的需要，我們若要迎頭趕上時代，只有不斷地學習，而學習捷徑不外乎擷取先進國家的科技，融會貫通，而成為自己的東西，才能創造出更精良的技術，為國家、社會服務。出版參考書籍，現今是很難賺錢的，但全華科技出版公司不惜巨資，引進美日科技名著，翻譯成中文，供我國工業界參考，希望能提高我國的科技水準，默默為國家作事，實難能可貴。

本書是自動化控制的重要書籍，內容淺易能懂，非常適合學生專題製作參考用，以及現場技術人員自動化的重要參考書。

譯者所知有限，大膽試譯，疏誤之處在所難免，尚祈學者先進賜予指正。

譯者 許中平 謹識 於台北
黃煌嘉

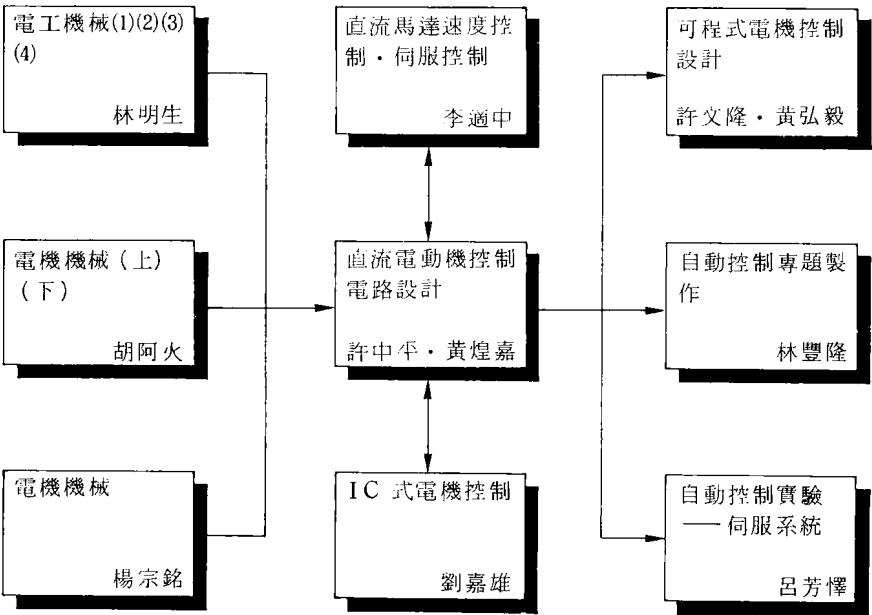
編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

現在我們就將這本「直流電動機控制電路設計」呈獻給您。坊間有關直流馬達之書籍，尤其是控制電路的設計技術，實難得一見。本書有鑑於電機技術人員尋找資料的困難，特將直流馬達的各種控制以平實的敘述來說明工作原理。全書計有轉數、PLL、PWM、微電腦等控制，實例特多，讀者不但可多方面了解直流馬達的控制原理，更可將其運用在所需的電路上，是專題製作最佳參考書。

同時，爲了使您能有系統且循序漸進研習自動控制方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠爲您服務。

流 程 圖



1

電動機基本特性的研究

1

- 1.1 確認電動機的旋轉特性…………… 2
觀察電動機的電流波形／電動機本身的不同特性
- 1.2 轉數的變化…………… 7
切換電阻／二極體切換／加電流放大電晶體／使用OP 放大器
- 1.3 電動機控制的基本知識…………… 12
DC 電動機當作發電機用／觀測反電動勢／電動機的基本特性／轉數與轉矩及電流的相互關係／電動機電流與轉數的計算

2

轉數控制

21

- 2.1 轉數穩定化的考慮法…………… 22
補償電動機內部電壓降的考慮法／伺服技術的利用
- 2.2 電動機轉數檢出的方法…………… 24
測定電動機電流的漣波／利用電動機的反電動勢／利用直流發電機（DC 轉速發電機）的方法／AC 轉速發電機與頻率發電機／轉

3

利用電動機本身特性的轉數控制

31

- 3.1 利用電橋伺服（電子調速器）的轉數穩定化… 32
 電橋電路的作用／模擬電橋伺服／電橋伺服
 電路的實務／使用電晶體的電橋伺服／利用
 電晶體實用電路的實驗
- 3.2 利用比例電流控制的轉數穩定化…………… 39
 比例電流控制的考慮法／實現具體性電路法
 ／使用 IC 的變化／使用 IC 的具體性設計例
 ／變更轉數

4

使用伺服技術本質上的轉數控制

49

- 4.1 考慮本質上的穩定化——DC 伺服（DC Servo）…………… 50
 DC 伺服的概念／利用電晶體構成簡單的電
 路／利用電晶體的 DC 伺服電路／利用 OP
 放大器的 DC 伺服系統
- 4.2 由 DC 伺服進步到 FG 伺服（Frequency Generator Servo）…………… 54
 FG 伺服的基本構成／F-V 變換器的構成／
 實際 FG 伺服的構成／FG 伺服的實用設計
 例／FG 伺服專用 IC 的應用／實現大的可變
 數

- 5.1 PLL 控制 64
 一般的 PLL 與 PLL 電動機控制 / PLL 控制
 的基本考慮法
- 5.2 構成實際的控制電路..... 67
 PLL 控制電動機的實驗 / PLL 控制與 FG 伺
 服的組合 / 石英閉鎖的 PLL 控制 / 轉數由
 晶體振盪來決定
- 5.3 可變速的 PLL 控制 77
 階段性控制轉數 / 頻率合成器的利用 / 更細
 分步級的控制

- 6.1 決定伺服系統的增益..... 89
 確認電動機的基本特性 / 爲了抑制負載變動
 率的增益 / 必要增益爲負載變動率的倒數
- 6.2 改善暫態 (Transient) 的特性..... 92
 電動機單體的響應特性 / 如作伺服系統就變
 成二次落後系統 / 二次落後系統的控制特性
 / 作相位補償 / 相位超前電路的構成方法
- 6.3 用實驗來確定..... 98
 無相位補償的場合 / 施以適當的相位補償 /
 相位補償不充分的場合
- 6.4 實際的相位補償..... 100
 雜訊也有頻率特性 / FG 伺服的實例 / 相位

7

電動機的省功率化驅動法—PWM控制 107

- 7.1 何謂 PWM 控制 (Pulse Width Modulation Control)108**
 電動機用脈波轉動／電動機加高速脈波列／
 交換控制的優點／轉數用責任週期控制
- 7.2 PWM 電路的實務.....113**
 一般用 IC 的構成／使用專用 IC 的電路設計
 ／與 PLL 控制的組合
- 7.3 利用 PWM 確認實際的效率提高.....116**
 線性控制的消耗功率／ PWM 控制時的消耗
 功率／實際的效率提高

專欄——電動機的輸出與效率 **120**

8

位置決定控制的應用 **123**

- 8.1 電動機正、逆轉的基本技術.....124**
 使用雙電源的基本電路／單電源作正轉、逆
 轉／專用 IC 的使用
- 8.2 檢出電動機轉軸位置的技術.....127**
- 8.3 位置決定控制的實務.....128**
 利用電位計的位置決定控制／用光量反饋的
 位置決定控制／用光源追蹤的伺服機構

專欄——適合位置決定控制的電動機 **133**

- 9.1 微算機應如何使用.....136**
 最簡易的ON/OFF控制 / 利用微算機的典型
 轉數控制 / 利用微算機作位置決定控制
- 9.2 微算機與電動機的介面 (Interface)137**
 I/O 埠的準備 / 電動機的 ON/OFF 控制 /
 利用 D-A 轉換器的電動機驅動 / 與 DC 轉速
 發電機的介面 / FG 以及轉軸編碼器的介面
 / PLL 控制電路與介面

- 10.1 適合微算機的位置檢出感測器.....150**
 檢出絕對位置的絕對編碼器 / 如有相對位置
 檢出，則使用增量編碼器
- 10.2 位置檢出用編碼器與微算機的介面.....154**
- 10.3 數位位置決定控制.....156**
 使用絕對編碼器的位置決定控制 / 使用增量
 編碼器的位置決定控制 / 最簡單的增量運動
 控制 / 偏差計數器方式的位置決定控制 / 預
 設計數器方式的位置決定控制 / up/down
 counter 方式的位置決定控制
- 10.4 數位位置決定控制的實務.....165**

- 11.1 抑制雜訊的發生.....170**

11.2	抑制電子電路側的電源變動.....	172
11.3	抑制起動時的衝流.....	173
11.4	加速爬升時間.....	175
11.5	加制動作用.....	176
	加制動的原理／有效利用反電動勢	
11.6	步級及低速驅動方法.....	178
11.7	減少電晶體的功率負擔.....	181
11.8	電源直接連接時的保護對策.....	182
11.9	使用電池驅動時的注意事項.....	183
11.10	不受電源極性的影響而仍以一定方向旋轉的電 動機.....	184

12

用心設計具系統性的電動機控制電路技術 187

12.1	電動機具有轉速發電機能的分時驅動方法.....	188
12.2	具有過電流 (Over Current) 限制的電動機控 制電路.....	190
12.3	多數電動機的同步 (Synchronous) 運轉.....	194
12.4	遙控 (Remote) 操作電動機.....	197

第 1 章

電動機基本特性 的研究

1.1	確認電動機的旋轉特性	2
1.2	轉數的變化	7
1.3	電動機控制的基本知識	12