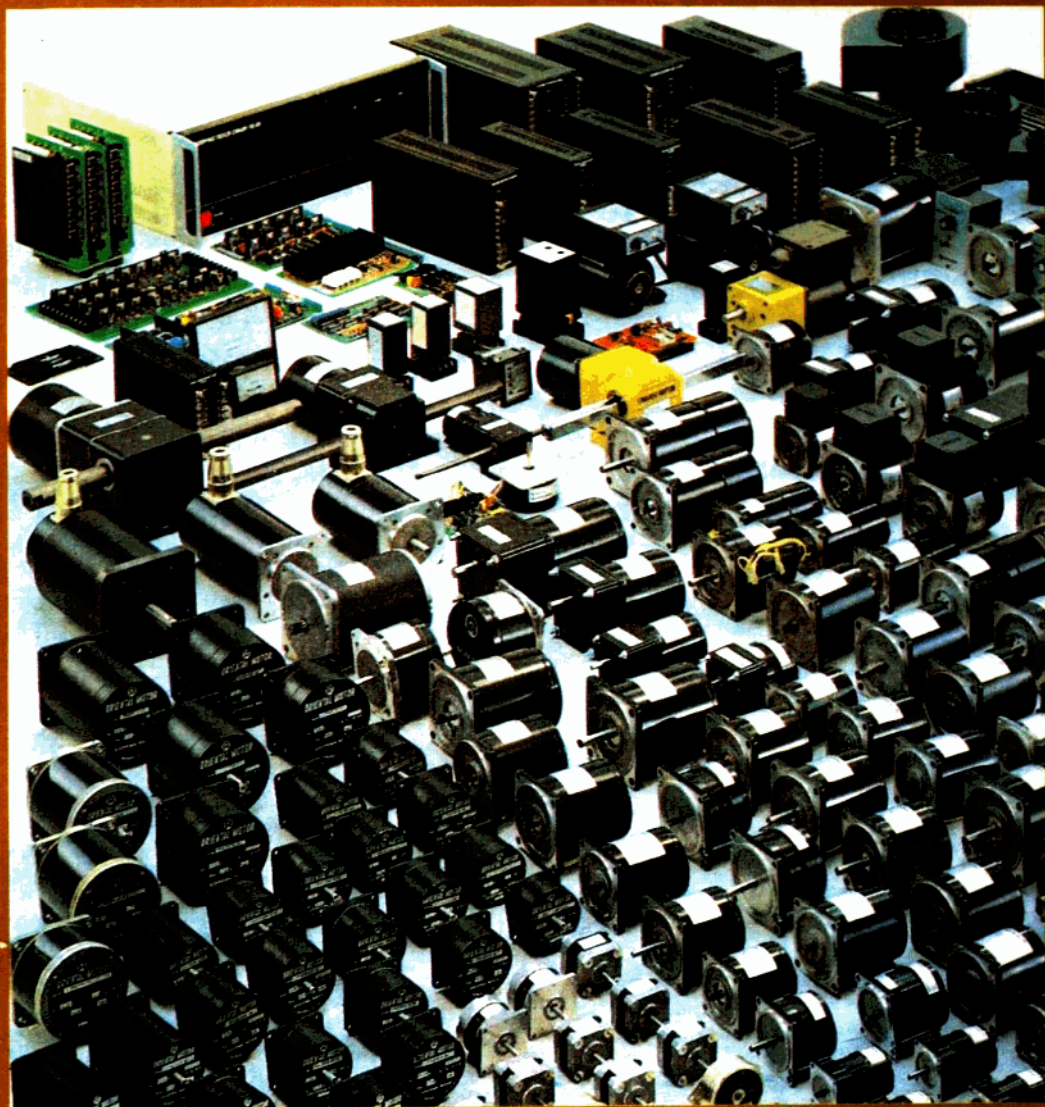


步進馬達應用技術

陳熹棣 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

ステッピングモータ活用技術

海老原大樹 編著
岩佐 孝夫

原 序

最近工廠自動化、辦公室自動化及資訊的設備，呈現高度成長的趨勢，馬達是驅動這些設備的核心，為適應各種不同的用途，因此必須對馬達本體及控制方式有所研究及改進。

傳統上對於馬達性能的要求，大都著重於馬達連續性轉動的性能良好與否，近年來對於馬達性能有較嚴格的要求，例如加速特性、高速定位特性、速度改變的適應性，就伺服控制系統而言，不僅要求定位的準確性，同時要求馬達的重量輕，體積小，效率高及成本低。

在這一變革期間的研究開發及設計工作特別辛苦，但基本上對於構成系統的馬達及驅動電路，可正確的掌握，且已有全盤的考慮和處理方案。

關於馬達的控制問題，不僅控制馬達做定速運轉，而且兼顧暫態狀況下的性能及馬達本身的共振現象，使得問題變得非常複雜，不易解決。

近年來步進馬達的應用日廣，但共振問題很難解決，使得使用者產生敬而遠之。

在研讀步進馬達之際，通常可從各種有關步進馬達的著作及論文著手，但是這些著作的重點，主要說明步進馬達的歷史、種類及理論分析，對於實際應用

缺乏具體可行的說明，本書乃針對實際應用的層次來說明。

在辦公室自動化設備中，大量採用步進馬達，因此步進馬達的控制成爲馬達應用的一個分支，本書將從設計者的觀點來探討步進馬達的控制及應用。

本書分成基礎篇、應用篇及活用篇，在應用篇中，針對步進馬達的加減速及定位控制方法，有具體的說明。

本書得以順利出版，承蒙工業調查委員會古內正行先生的協助和指導，在此一併致謝。

海老原大樹

譯者序

近年來電子電機的科技快速發展，政府和民間全力推動工廠自動化和辦公室自動化運動，電腦系統扮演著重要的角色，電腦控制的設備包含電腦的周邊裝置和自動化機器，使用在這些設備的馬達有兩種，一是直流伺服馬達，其次步進馬達；本書乃針對步進馬達討論基本原理，以實例說明如何選擇、分析、計算，如何以微電腦控制步進馬達的系統，共振現象的對策。

本書可做為研習步進馬達的參考書，或專科以上學校電機機械及電機控制課程的輔助教材。

本書的編輯校對，多於公餘之暇執筆，不妥或錯誤之處恐所難免，至祈先進專家惠賜指正，俾再版時加以修訂是幸。本書得以完成，承蒙陳本源先生的鼓勵與協助，謹在此致謝。

陳 熹 棣
謹識於新竹市

摘 要

介紹步進馬達的發展背景和過程、特徵、用途、種類、動作原理包含步進馬達轉矩如何產生，步進馬達的動態特性、靜態特性和暫態特性，步進馬達的控制理論，驅動步進馬達的電路，應用微電腦控制步進馬達，及軟體撰寫，分析步進馬達的共振現象及對策，如何選擇步進馬達，系統如何分析和計算，步進馬達的量測方法及應用實例。

編輯部序

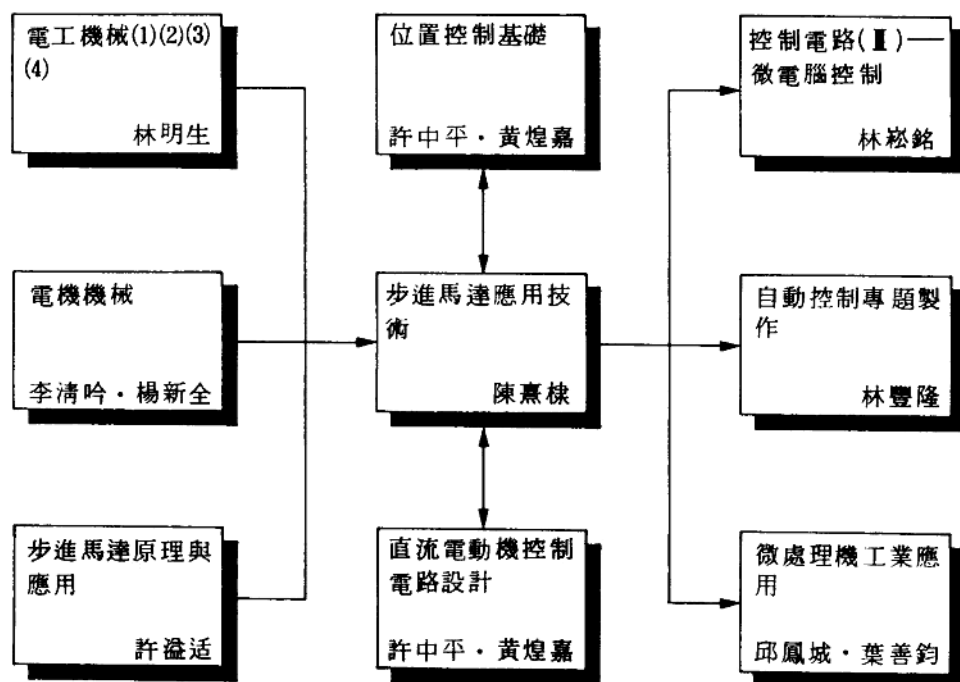
「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

現在我們就將這本「步進馬達應用技術」呈獻給您。在工廠及辦公室步入自動化的今天，步進馬達扮演著極端重要的角色，但步進馬達如何運作，如何應用在自動化設備裡却是一大課題。本書即針對步進馬達的原理及用途做深入的探討，並對微電腦如何來控制步進馬達做全盤性之剖析。

本書著重以實例說明動作原理與控制方式，讀者不但容易明瞭，更可馬上加以利用，實為專題製作及自動控制人員最佳參考書。

同時，為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，我們將竭誠為您服務。

流 程 圖



符 號 表

B : 磁通密度	J : 轉動慣量
D : 制動常數	J_M : 轉子的轉動慣量
D : 外徑、內徑	J_L : 負荷的轉動慣量
E_m : 額定電壓	L : 等效電感
F : 作用力 (磁力)	ℓ : 長度
F : 摩擦力	l_o : 馬達轉動一圈時, 機械的
F : 直線運動的機械在軸向的 作用力	位移量
F_o : 導螺桿所受的作用力	M : 質量, 重量
f_L : 起動頻率	k : 係數
f : 頻率	m : 相數
f_n : 自然振動頻率	N : 定子磁極的線圈數
f_s : 最大起動頻率	N : 脈波數
f_H : 最大運轉頻率	P : 導螺桿的螺距
GD^2 : 飛輪效應	p : 氣隙的磁導
g : 重力加速度	R : 磁路的磁阻
H : 磁場強度	R_m : 鐵心的磁阻
I : 電流	R_g : 氣隙的磁阻
I_m : 單相額定電流	R_m : 線圈電阻
i : 激磁電流	R_o : 外部電阻
i : 減速比	r : 電阻
	T_o : 加速轉矩

T_H : 保持轉矩 (holding torque)	λ : 磁交鏈
T_M : 馬達產生的轉矩	Φ : 磁通量
T_L : 負荷轉矩	α : 加速的傾向
T : 轉矩	τ_R : 轉子的極距
T_F : 摩擦力換算成馬達轉矩值	Δ : 角度誤差
t : 上昇時間	θ : 溫度上昇
t : 脈波寬度	θ : 角位移
t_a : 加速時間	$\dot{\theta}$: 角速度
t_b : 定速時間	θ : 角加速變
V : 空隙體積	θ_s : 步進角
V_m : 電壓	δ : 角位移的變化量
v : 移動速度	ω : 角速度
W : 消耗的功率	ω_n : 共振角速度
W_m : 磁場的能量	η : 效率
x : 微算機的一個機器周期 (machine cycle)	μ : 摩擦係數
Z_R : 轉子的極數	μ_o : 空氣的導磁率
	ρ : 密度
	ϵ : 靜態時角度的誤差

1	步進馬達簡介	2
1.1	步進馬達及其發展背景	2
1.2	步進馬達的歷史	2
1.3	步進馬達的特徵及用途	3
2	步進馬達的種類	7
2.1	構造上的分類	7
2.2	步進馬達以其他方式的分類	9
3	步進馬達的理論基礎	12
3.1	動作原理	12
3.2	轉矩發生的機構	16
3.3	轉矩及步進角	20
4	特性及名詞	23
4.1	靜態特性	23
4.2	動態特性	27
4.3	暫態響應特性	29

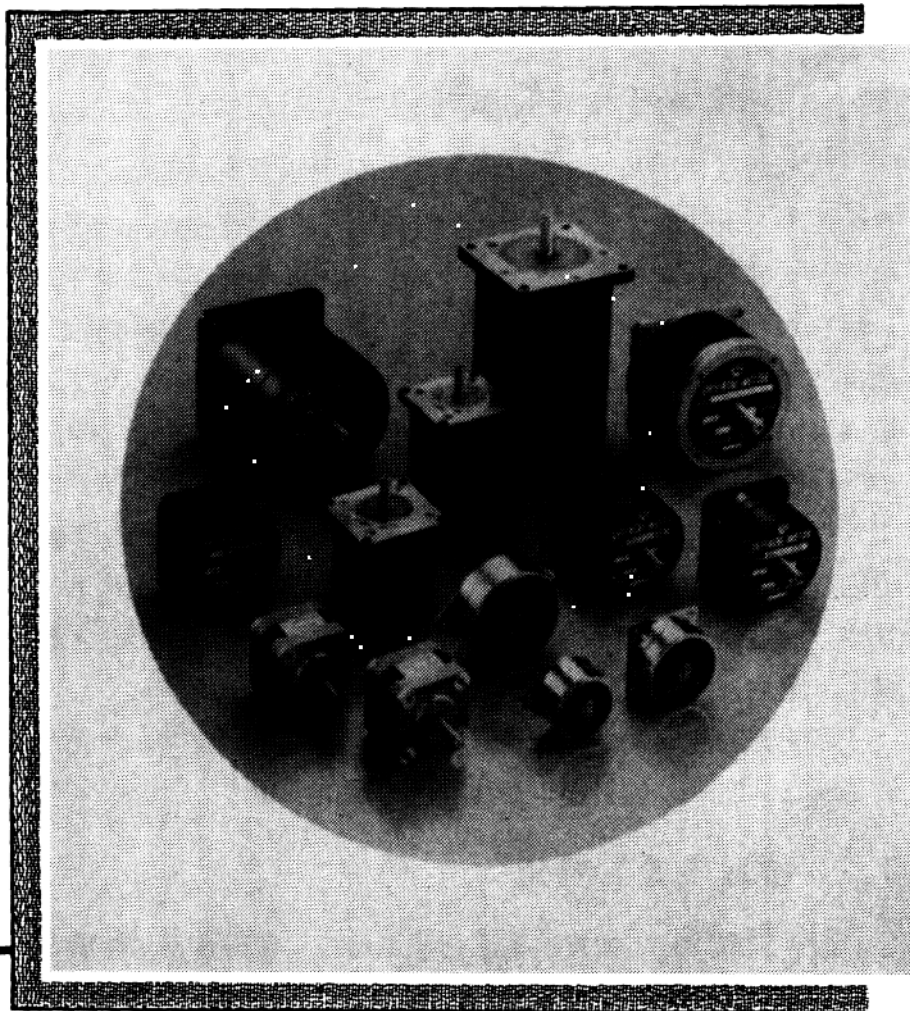
5	混合式步進馬達的種類及特性	32
5.1	混合式步進馬達的特徵	32
5.2	依相數分類	34
5.3	依相數以改善性能	35
5.4	依轉子相數分類	49
5.5	依轉子齒數以改善性能	50
6	步進馬達控制的基礎	54
6.1	控制概念	54
6.2	控制方塊圖	55
6.3	控制上考慮因素	56
6.4	開回路控制及閉回路控制	58
7	步進馬達的控制電路及驅動電路	61
7.1	驅動電路	62
7.2	控制電路	80
7.3	電路組成上的注意事項	95
7.4	定電壓及定電流驅動電路	103
8	微算機應用在步進馬達的控制	109
8.1	步進馬達與微算機	109
8.2	脈波產生的基本程式	109
8.3	微算機控制步進馬達的實例	114
8.4	可變速度控制	121

9	步進馬達的控制軟體	127
9.1	步進馬達控制上的考慮事項	127
9.2	步進馬達的運動方程式	128
9.3	起動頻率及慣性	129
9.4	負荷轉矩及轉矩產生	132
9.5	加速及減速控制法	133
9.6	步進馬達相位平面的控制	139
9.7	共振、失步的原因及對策	157
10	步進馬達系統的選擇	164
10.1	系統的基本結構	164
10.2	驅動機構	165
10.3	負荷估計	166
10.4	系統設計的計算公式	171
10.5	步進馬達選定程序	174
11	步進馬達計算及選定實例	177
11.1	定時輸送帶運送紙張	177
11.2	導螺桿控制位置的機構	181
11.3	機械手臂控制	185
12	步進馬達的測量方法	190
12.1	步進馬達常數的測量	190
12.2	轉矩和角度的測量	191
12.3	角度 - 轉矩特性的測量	193

12.4	頻率 - 轉矩特性的測量	197
12.5	角度的精確度測量	198
12.6	暫態特性的測量	202
12.7	溫度測量	207
13	步進馬達的應用實例	209
13.1	辦公室自動化作務機器方面的應用	209
13.2	測量機器方面的應用	214
13.3	工業自動化機器方面的應用	219
13.4	機器人方面的應用	222

第一篇

基礎篇



1 步進馬達簡介

1.1 步進馬達及其發展背景

電機機械在工業及商業的發展上，佔有很重要的地位，尤其是馬達是絕不可或缺的。但在過去馬達大部份使用在連續運轉的場合，且由於是採機械連軸裝置帶動負載，故只有運轉和停機兩種簡單的應用。現在馬達應用的範圍急速擴大，而且在各種不同的使用情況下，所要求的標準便有很大的差異，例如生產工廠自動化（factory automation），節約能源的工廠及機器人控制（robot control），所使用的馬達對於環境、溫度、成本、濕度、壽命等事項的要求都不相同，且就定位的精確度，小形化，節省能源等而言亦不相同。在辦公室自動化（office automation）方面，因要求業務處理過程的合理化及擴大處理能力。資訊終端裝置所使用的馬達則要求小形化、響應速度快、定速持性、起動時間短、解析度高、定位準確。

在這種需求的環境下，依數位脈波而轉動的馬達——步進馬達，受到廣泛的注意，結果，步進馬達被大量的採用。

1.2 步進馬達的歷史

近十年來，各方面嘗試著應用步進馬達，使得步進馬達廣泛的被引用，其原理在古時候就為人們所熟悉。

在發明電磁鐵的同時，法國人提出利用電磁鐵的吸力產生旋轉運動的原理，這就是目前步進馬達的雛形，由於電子科技進步神速，激磁線圈電流換相的方式，已由機械凸輪切換，演變成電子換相電路，目前這種方式，僅應用在旋轉式螺管線圈（rotary solenoid）的情況下。

爾後，永久磁鐵式的步進馬達被發明，最初由於步進角度大，以致毫無精確度可言。

西元1950年代，小角度的步進馬達被發明後，數位式控制機器受到注目，屢經改良後，而成目前的形態。

近年來電腦進步神速，尤其是微電腦、微算機，因而帶動各方面的自動化，應用在間歇運動（incremental motion）場合的馬達，需要位置控制（position control）及速度控制（velocity control），例如電腦終端裝置、傳真機（facsimile）等，在這些應用中對於馬達的體積、解析度、精確度都有很高的要求，所以對於各種不同用途及不同的要求標準，則有各種不同種類及不同性能的步進馬達，近十年來，步進馬達的數量大量增加，1983年約生產三千萬部，其中約有百分之八十是使用在辦公室自動化方面。

1.3 步進馬達的特徵及用途

步進馬達和一般馬達在許多方面不盡相同，下面是步進馬達的特徵：

- (1) 以數位脈波信號，直接做開迴路控制，系統結構非常簡單。
- (2) 在速度可控制的範圍內，其轉速和數位脈波的頻率成正比。
- (3) 步進馬達的起動、停止、正反轉控制容易，響應良好。
- (4) 步進馬達的轉動角度和輸入的數位脈波數成正比。
- (5) 角度的誤差量很小，沒有累積誤差。