

# 目 次

## 第1章 ステッピング・モータの歴史

1.1	第2次大戦終了まで	2
1.2	終戦から1960年代前半まで	3
1.3	近代ステッピング・モータの夜明け	5
1.4	1970年代——ステッピング・モータの全盛期始まる	8
1.5	半導体素子の発展がステッピング・モータの利用を拡大した	9
1.6	大きい IBM の影響力	10
1.7	学術的研究の進展	10
1.8	ステッピング・モータの将来	12
1.9	ステッピング・モータの名称について	13

## 第2章 近代ステッピング・モータの概要

2.1	開ループ制御の基本的システム	15
2.1.1	システムの構成	15
2.1.2	ステップとインクリメント	17
2.1.3	ステッピング・モータの応用上の特徴	20
2.2	ステッピング・モータの分類	22
2.2.1	VR形モータ	23
2.2.2	PM形ステッピング・モータ	31
2.2.3	ハイブリッドPM形モータ	32
2.2.4	リニア形ステッピング・モータ	38
2.2.5	アウト・ロータ形ステッピング・モータ	40
2.2.6	モノファイラ巻とバイファイラ巻	42
2.3	励磁方式の基本形	43

2.3.1	1相励磁方式	44
2.3.2	2相励磁運転	44
2.3.3	半ステップ駆動	47
2.3.4	2-3相励磁, 3-4相励磁	48
2.3.5	3相VR形モータのバイファイラ2相励磁	49
2.3.6	ブリッジ回路による励磁法	51
2.3.7	ミニステップ運転	52
2.4	単相ステッピング・モータ	54
2.4.1	ギャップを非対称にする方式	55
2.4.2	くま取り形モータ	57
2.4.3	インダクタ形ロータ	58
2.4.4	サイクロノーム	61
2.4.5	くま取り式多極モータ	63
2.4.6	機械的に回転方向を定める方法	64
2.5	ステッピング・モータと他機種モータの比較	64
2.5.1	ステッピング・モータは同期モータの一種である	64
2.5.2	直流モータのデジタル駆動	66
2.5.3	ステッピング・モータと直流モータの応用上の比較	68

### 第3章 ステッピング・モータの基礎理論

3.1	VR形モータにおける静止トルクの発生機構	71
3.1.1	透磁率が無限大の場合	73
3.1.2	一定透磁率の場合	76
3.1.3	飽和の作用	78
3.1.4	飽和を含む一般的な取扱い方	81
3.1.5	相互誘導の作用	84
3.1.6	スティフネス特性	84
3.2	ハイブリッド PM 形モータのトルク理論	86

3.2.1	問題の扱い方	86
3.2.2	永久磁石の作用	87
3.2.3	定常トルク	89
3.3	歯部構造ならびに歯数, ステップ数, 相数の関係	90
3.3.1	歯部構造	91
3.3.2	歯数, ステップ数および相数の関係	92
3.4	動特性の基礎理論	93
3.4.1	基礎方程式	93
3.4.2	ステッピング・モータの伝達関数	100
3.4.3	過渡応答	106
3.5	トルク対速度特性	111
3.5.1	連続特性	112
3.5.2	脱出特性を支配するパラメータ	114
3.5.3	起動特性と停止	116
3.6	共振と不安定現象	117
3.6.1	共振および不安定現象の分類	118
3.6.2	低速域共振	119
3.6.3	中速域共振	119
3.6.4	中速域共振に及ぼすパラメータの影響	122
3.6.5	高速域共振	123
3.6.6	うず電流の作用	123
3.7	ダンパー	124
3.7.1	ダンパーの効果と種類	124
3.7.2	ダンパーの理論	125

## 第4章 実用計算式

4.1	基本式と単位	130
4.2	負荷の静止摩擦トルク	131

4.3 慣性モーメントの計算と測定法 .....	133
4.3.1 計算式 .....	133
4.3.2 慣性モーメントの単位について .....	135
4.3.3 慣性モーメントの計算例 .....	136
4.3.4 慣性モーメントの実測法 .....	137
4.4 等価慣性モーメントの計算式 .....	139
4.4.1 減速あるいは増速機構による慣性モーメントの変換 .....	139
4.4.2 直線運動をする負荷のモータ軸換算した慣性モーメント .....	139
4.4.3 物体を巻き上げる場合の慣性モーメント .....	140
4.4.4 ベルトによって物体を直線運動させる場合の 慣性モーメント .....	141
4.4.5 リードスクリュウによって物体を移動させる場合 .....	142
4.5 慣性負荷を加速するのに要するトルクの計算 .....	143
4.5.1 基本式 .....	143
4.5.2 計算例 .....	144
4.6 位置決め制御 .....	146
4.6.1 スローアップ, スローダウン駆動 .....	146
4.6.2 三角形駆動と台形状駆動の比較 .....	148
4.6.3 直線加速におけるパルス・タイミング .....	151
4.6.4 初期周波数が0でないとき .....	155

## 第5章 ステッピング・モータの運転回路

5.1 運転回路システム .....	157
5.2 分配回路 .....	158
5.2.1 4相モータの2相励磁用分配回路 .....	159
5.2.2 4相モータの1相励磁用回路 .....	162
5.2.3 3相モータ1相励磁用回路 .....	163
5.2.4 3相モータ2相励磁用回路 .....	165



- 5.2.5 3相モータ1-2相励磁用回路 .....165
- 5.2.6 バイファイラ巻3相VR形モータの2相励磁用分配回路 .....165
- 5.2.7 分配回路入力 of 2形成 .....166
- 5.2.8 ハイブリッドPM形モータのブリッジ結線の場合.....167
- 5.2.9 専用MSIの利用 .....168
- 5.3 励磁回路 .....174
  - 5.3.1 分配回路との接続 .....174
  - 5.3.2 駆動回路の問題点 .....175
  - 5.3.3 抑制回路 .....175
  - 5.3.4 立上がり特性の改善 .....180
  - 5.3.5 4相(2相)モータのブリッジ回路運転.....183
  - 5.3.6 3相VR形バイファイラ巻モータの励磁回路 .....186
  - 5.3.7 PWMおよびチョッパ運転 .....187
- 5.4 入力制御回路 .....190
  - 5.4.1 単ステップ駆動 .....190
  - 5.4.2 定周波運転 .....192
  - 5.4.3 ダンパー回路 .....194
  - 5.4.4 加速と減速 .....196

**第6章 ステッピング・モータの閉ループ制御**

- 6.1 開ループ制御の限界と閉ループ制御の必要性 .....202
- 6.2 進み角 .....203
  - 6.2.1 進み角1ステップの場合 .....203
  - 6.2.2 進み角と静止トルク .....204
  - 6.2.3 高速運転には大きな進み角 .....204
  - 6.2.4 減速時の進み角 .....209
  - 6.2.5 2相励磁の場合 .....209
- 6.3 Fredriksenの方法 .....210

6.3.1	システム構成と基本的性質	210
6.3.2	進み角の制御および1相励磁位置検出	212
6.3.3	2相励磁位置検出の場合	214
6.3.4	速度プロフィール	217
6.4	電流制御付き閉ループ方式	218
6.4.1	システムとその特徴	218
6.4.2	速度形状指令	219
6.4.3	誤差検出部ならびに駆動回路段	220
6.4.4	運転性能	221
6.5	電流波形検出による閉ループ制御	222

## 第7章 ステッピング・モータの特性測定法

7.1	測定条件を決めることの重要性	225
7.2	静特性の測定	227
7.2.1	巻線抵抗	227
7.2.2	インダクタンス	227
7.2.3	角度変位対静止トルク特性	228
7.2.4	静止最大トルクあるいはホールディング・トルク	229
7.2.5	電流対静止最大トルク	230
7.3	動特性の測定	231
7.3.1	脱出トルク特性	231
7.3.2	起動特性	233
7.3.3	最大自起動トルク	236
7.3.4	最大スルーインング周波数	236
7.3.5	最大スターティング周波数	236
7.4	ステッピング・モータの角度精度	237
7.4.1	角度精度	237
7.4.2	ステップ角	237

7.4.3	静止角度誤差 .....	237
7.4.4	ステップ角度誤差 .....	239
7.4.5	測定例 .....	241
7.4.6	静止角度誤差とステップ角度誤差の関係について .....	245
7.5	回転運動状態の観測方法 .....	246
7.5.1	回転角度の観測 .....	247
7.5.2	回転速度による観測 .....	248

## 第8章 ステッピング・モータの応用

8.1	コンピュータ周辺端末器への応用 .....	249
8.1.1	シリアル・プリンタ .....	249
8.1.2	XY プロッタへの応用 .....	252
8.1.3	フロッピー・ディスク装置 .....	252
8.1.4	リニア形ステッピング・モータの応用 .....	255
8.2	数値制御への応用 .....	258
8.2.1	半自動配線機 .....	258
8.2.2	XY テーブル .....	259
8.2.3	紙テープ・リーダー .....	259
8.2.4	テープトレース・チェッカ .....	260
8.3	宇宙産業への応用 .....	261
8.3.1	惑星探査宇宙船の科学調査プラットフォームの位置決め .....	261
8.3.2	太陽エネルギー利用へのステッピング・モータの応用 .....	262
8.4	その他の応用 .....	262
8.4.1	ファクシミリへの応用 .....	263
8.4.2	スペクトロメータへの応用 .....	266
8.4.3	文字印刷盤 .....	268
8.4.4	D-A 変換器としての応用 .....	268
8.5.5	時計への応用 .....	268