

CONTENTS

Chapter

1

馬達是什麼？

1 馬達是「能轉動其他東西的機械」	2
2 沒有馬達就無法正常生活！	4
3 磁鐵之力=磁力	6
4 電流周圍會產生磁場	8
5 由電力與磁力構成的電磁力	10
6 為什麼馬達會旋轉？	12
7 馬達轉動時會發電	14
8 旋轉的力量，轉矩是什麼？	16
9 瞭解馬達的輸出與單位	18
10 馬達轉動的對象叫做負載	20
例題 11 風扇與馬達	23
11 瞭解馬達的種類	24
例題 12 磁化是什麼？	26

Chapter

2

馬達的基礎！DC馬達

12 馬達的結構與3種馬達	28
例題 13 智慧型手機所使用的極小DC馬達	31
13 為什麼DC馬達會旋轉？	32
例題 14 CD與馬達與角速度	35
14 電刷與整流子的運作	36
15 DC馬達的旋轉速度與電壓的關係	38
例題 15 馬達的控制與家電①空調	41
16 我們可以用各種曲線表示DC馬達的性能	42
17 使用永久磁鐵的馬達與使用電磁鐵的馬達	44

圖解 6 馬達的控制與家電②冰箱	47
18 控制DC馬達比較簡單嗎？	48
19 電樞反作用是什麼？	50
20 截波器控制是什麼？	52
21 DC馬達的缺點在電刷上嗎？	54

Chapter

3

克服缺點！無刷馬達

22 運用電子學知識改變電刷	58
23 為什麼無刷馬達會旋轉？	60
24 無刷馬達的旋轉速度有上限嗎？	62
25 無刷馬達的電流切換	64
圖解 7 麥迪生發電機	67
26 無刷馬達的優點	68
27 轉子使用的永久磁鐵會大幅影響馬達的性能	71
28 鐵芯並不是單純的線圈軸	74
圖解 8 使用電晶體作為開關	77
圖解 9 無人機與無刷馬達	78

Chapter

4

目前的主流！AC馬達

29 直流、交流、三相交流分別是什麼？	80
圖解 10 吸塵器馬達的超高速旋轉	83
30 磁場的旋轉	84
31 為什麼AC馬達會旋轉？	86
圖解 11 基礎建設與AC馬達	89
32 AC馬達的轉速與交流電的頻率	90
圖解 12 停電時也不能使用自來水	93
33 AC馬達的詳細分類	94

原理 13 馬達分類複習	97
34 單相也能旋轉的AC馬達原理	98
原理 14 電流戰爭	101
原理 18 電燈用或動力用	102

Chapter

5

進化後的AC馬達

35 磁鐵、電力電子學、電腦的進化	104
36 永磁同步馬達的出現	106
原理 16 電動車的種類與馬達	109
37 SPM與IPM的永久磁鐵位置不同	110
原理 17 油電混合車	113
38 IPM馬達所產生的磁阻轉矩	114
39 以逆變器控制感應馬達	116
原理 18 引擎車的馬達	119
40 逆變器如何控制馬達？	120
原理 19 電車的馬達與再生	123
41 以向量控制進行更精密的控制	124
原理 20 電力電子學	127

Chapter

6

更多馬達！各式各樣的馬達

42 步進馬達以脈衝驅動	130
原理 21 脈衝是什麼？	133
43 各式各樣的步進馬達	134
原理 22 為什麼電梯不會搖晃？	137
44 次世代的主流是磁阻馬達？	138
45 大轉矩的SR馬達	140
原理 23 電扶梯的速度控制	143

46	通用馬達為交流直流通用	144
	圖解 34 活躍於大廈與公寓的馬達	147
47	只靠線性馬達是浮不起來的	148
48	直接轉動負載的直驅馬達	150
49	由回饋控制的伺服馬達	152
50	小而便利的主軸馬達	154
51	低速卻有大轉矩！齒輪馬達	156
52	醫療機器中常使用的超音波馬達	158
53	活躍於微機械的靜電馬達	160
54	過去曾廣泛使用的各種馬達	162
	圖解 35 位置、速度、加速度	164

Chapter

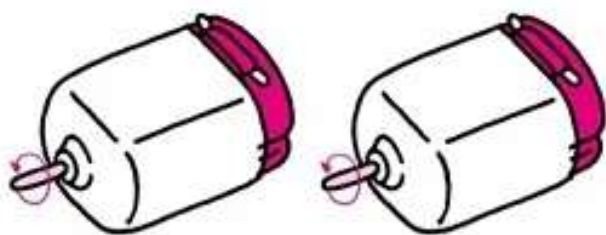
7

有助於挑選馬達的知識

55	試著將馬達直接接上電源	166
56	如何判斷馬達的性能？	169
57	轉矩與電流成正比，轉速與電壓成正比	172
58	馬達要如何節能？	174
59	用截波器改變直流電的電流與電壓	176
60	用逆變器控制馬達的轉速	179
61	為什麼可以用逆變器產生交流電？	182
	圖解 36 工廠中到處都是馬達	185
62	瞭解逆變器裝置的運作機制	186
63	瞭解回饋控制的運作機制	188
64	制動器上的馬達	191
65	啟動馬達的技術	194
	圖解 37 馬達的測定	197
INDEX		198

11

瞭解馬達的種類



馬達大致上可以分成AC馬達與DC馬達，如第25頁的表所示。這是以轉動馬達的電源種類進行的分類。表中除了AC（交流電）與DC（直流電）之外，還有使用專用電源的馬達。使用這類馬達時，需以專用控制器（驅動器）控制。

之所以會用電源種類為馬達分類，是因為在電力電子學^{※4}出現以前，交流電與直流電之間的轉換相當困難。直流電指的是電流方向固定的電力，交流電則是電流方向週期性改變的電力。以前我們很難將一種電轉換成另一種電，現在在電力電子學的發展下，已

※4 使用半導體控制電力的技術。包括我們周圍的家電在內，如新幹線、電動車等交通工具，都會用到相關技術（圖解科學 11）。

▼ 馬達的分類

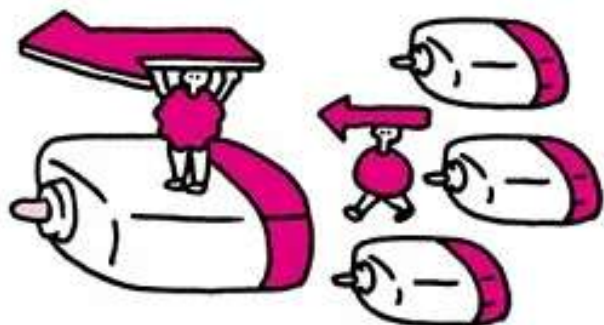
電源種類	馬達形式	具體名稱
DC (直流電) Chapter 2	永久磁體形式	永久磁體DC馬達
	電動形式	電動DC馬達
	自動形式	永電精細DC馬達 微型精細DC馬達 雙繞組DC馬達
AC (交流電) Chapter 3	同步馬達	繞組型同步馬達
		表面型永磁同步馬達 (SPM)
		內藏型永磁同步馬達 (IPM)
	磁阻馬達	
	感應馬達	鼠籠型感應馬達 繞組型感應馬達
單相AC馬達	單相感應馬達 單相同步馬達	
專用電源 (驅動器)		無刷馬達 Chapter 4
		步進馬達 Chapter 5
		SR馬達 Chapter 6

可用電池等直流電源驅動AC馬達，也可用交流電源驅動DC馬達（圖解科學 1）。而且透過運用電力電子學也可自由控制馬達。

綜上所述，現在除非是直接接上電源，不然幾乎不太需要考慮使用的是「AC馬達還是DC馬達」。不過，若要詳細討論馬達的性能或性質，還是有必要將馬達的輸入電源分成AC與DC。本書會先介紹結構較簡單的DC馬達（Chapter 2、Chapter 3），然後再介紹AC馬達與其他馬達（Chapter 4以後）。

41

以向量控制進行更精密的控制

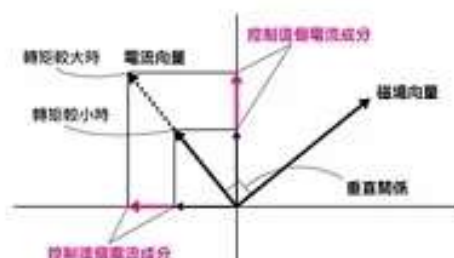


使用變壓器，再加上**向量控制**，可以更精準地控制AC馬達。向量控制的原理很難用簡單的方式說明，這裡讓我們試著不使用數學式來說明什麼是向量控制。

向量控制是將AC馬達內部的旋轉磁場與三相交流電想成是**向量**。理論上，當馬達中的磁場與電流垂直時，產生的轉矩最大。而向量控制就是**控制電流的向量與旋轉磁場的向量，使兩者垂直**。

向量長度為電流或是磁場的大小，向量方向則為交流電的相位（**圖 38**）。轉矩與電流大小成正比，因此電流向量的長度可表示轉矩。當我們為了改變轉矩而改變電流時，電流向量的長度也會跟著改變。

此時，為了使電流向量保持相同的方向，便會將電流向量分為x軸與y軸2個分量，並分別控制這2個分量。這樣就能保持電流向量與旋轉磁場向量的垂直關係。



▲ 向量控制

簡單來說，馬達電流為正弦波，而我們控制的是**正弦波的振幅（大小）與相位**。向量含有長度與方向，向量的長度相當於正弦波的振幅，向量的方向則相當於正弦波的相位。

想要控制向量，需要的是可以檢測出轉子旋轉角度的感應器，以及可精準檢出交流電流波形的感應器。再藉由這些訊號控制供應馬達的電流。向量控制可用於感應馬達，也可用於同步馬達。特別是永磁同步馬達本來就需要轉子的旋轉角度感應器（**圖 38**），所以幾乎所有永磁同步馬達都會採用向量控制。

即使以逆變器對感應馬達進行V/f控制，當負載不同時，轉差也不一樣，所以只能大致控制轉速在一定範圍內（**圖 39**）。不過如果改用向量控制，就可以精準控制感應馬達的轉矩與轉速。

向量控制可以對包括同步馬達、感應馬達在內的AC馬達進行多種控制，例如「**保持正確轉速**」、「**平滑地改變轉速**」、「**避免旋轉時的轉速波動**」等等。

向量控制會用到馬達的某些個別特性，所以實際上並不是在馬

達上追加逆變器，而是依照馬達的特性設計對應的逆變器。這種系統稱作**馬達驅動系統**。



第 20 章 電力電子學

這裡要說明的是前面提過許多次的**電力電子學**。電力電子學顧名思義，就是控制電力的電子學。與一般電子學相比，電力電子學處理的電壓較高、電流較大。

一般電子學處理的是電訊號，即訊號持續時間或大小變化。我們的周圍有著各式各樣的訊號，除了電訊號之外，還有聲音、光等等。一般電子學處理的是電訊號，用於計算、通訊，或是將訊號顯示在畫面上。

另一方面，電力電子學的用途是**改變電力的形狀**。所謂改變電力的形狀，指的是將直流電轉變成交流電、改變頻率或電壓等等。改變電力的形狀也稱作**電力轉換**。電力轉換可以分成數種，如下圖所示。

將交流電轉變成直流電稱作**整流**，改變直流電的電壓或電流稱作**直流轉換**，將交流電轉變成另一種交流電稱作**交流轉換**。而將直流電轉變成交流電則稱作**逆變**。



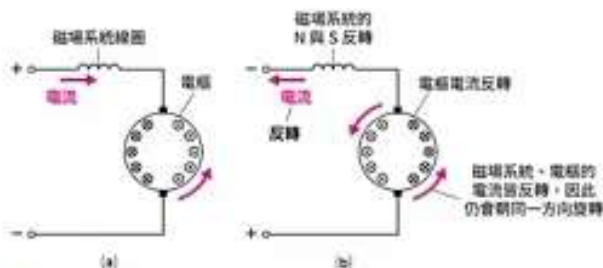
▲ 電力轉換

46

通用馬達為
交流直流通用

通用馬達可以用交流電驅動，也能用直流電驅動，屬於交直流兩用馬達。這是相當少見的馬達，屬於**串激馬達**，也叫做**交流整流子馬達**。通用馬達的磁場系統線圈與電樞線圈為串聯連接，結構與串聯繞組形式(圖10-11)的DC馬達相同。

本節會說明通用馬達的原理。請各位回想前面的內容，我們曾提過**交流電的電流方向會在正負之間變化**(圖10-10)。在第145頁的圖(a)中，上方端子為正電壓，此時的電流方向以前頭表示。另一方面，在圖(b)中，交流電的正負電壓相反，電流流動方向也會反過來。



▲ 通用馬達的原理

通用馬達的磁場系統為電磁鐵，因此電流方向可決定哪邊是N極哪邊是S極。也就是說，當電流方向相反時，磁場系統的N極、S極也會反轉。通過電樞線圈的電流也會在電刷與整流子的作用之下，隨著交流電的變化而反轉方向。

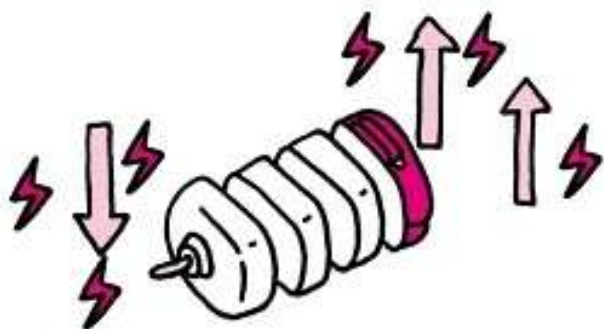
換句話說，磁場與電流都會因交流電的方向變化而一起反轉，所以轉矩會一直保持相同方向。因此即使交流電的方向改變，馬達仍會朝著相同方向旋轉。

之所以設計出通用交流電的通用馬達，是為了提升AC馬達的轉速。一般的AC馬達中，轉速最高的是二極AC馬達，但AC馬達的轉速受限於電源頻率(圖10-10)，因此轉速有其上限。

日本的電源頻率可粗分為2種，分別是東日本的50Hz以及西日本的60Hz，所以AC馬達在東日本的轉速上限為 3000min^{-1} ，在西日本為 3600min^{-1} 。如果希望AC馬達有更快的轉速，則需要其他增速用的零件。



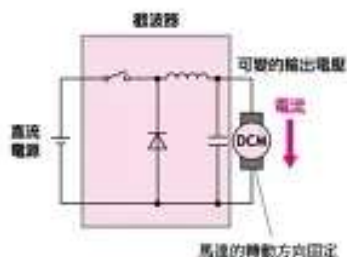
59

用載波器改變
直流電的電流與電壓

載波器是一種電力電子電路，可改變直流電的電壓。載波器的輸入與輸出都是直流電，可以用來控制DC馬達。

載波器是透過反覆切換開關的ON與OFF來載斷電壓。載波器的英文chopper就是切斷的意思。載波期可藉由ON時間與OFF時間的比例調整輸出電壓。載波器可以分成降低電壓的**降壓載波器**，以及提升電壓的**升壓載波器**。馬達的控制常會用到降壓載波器。

以載波器控制電壓時，電流也會隨之改變。輸入載波器的直流電力為**電壓×電流**。載波器不會改變電力，所以當我們用載波器把電壓降至原本的1/2時，輸出電流會變成輸入電流的**2倍**。實際上

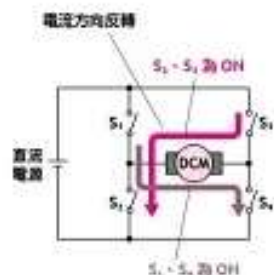


▲ 用載波器控制DC馬達



載波器輸出電流的大小，是由電壓改變時的馬達運作狀態決定。

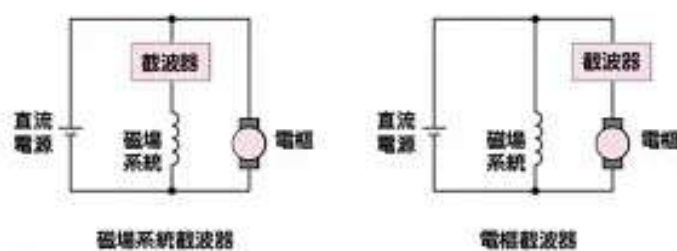
用一般載波器調節永磁DC馬達的電壓時，可以控制馬達的轉速與轉矩。但這種方式無法改變馬達的轉動方向。如果要改變馬達的轉動方向，需要能夠改變電流方向的載波器。

此時會用到有4個開關的H橋電路載波器。H橋的4個開關用兩一組，同組開關會同時ON、同時OFF。如下方的圖所示， S_1 與 S_4 一組，這組開關ON與OFF時，可以發揮載波器的功能。此時 S_2 與 S_3 保持OFF，馬達的電流方向為往右。相反的，如果變動的是 S_2 與 S_3 這組開關，馬達的電流方向為往左，轉動方向也會反過來。



▲ 以H橋電路反轉電流方向的載波器

並聯繞組形式與雙繞組形式的DC馬達（ ⑰），磁場系統與電樞（ ⑰）使用不同電路。因此當我們想控制馬達運作時，可於2個電路之間擇一設置截波器，或者2個電路皆設置截波器。



▲ 磁場系統截波器與電樞截波器