

定位系統

附錄A: 馬達選配

開始選配馬達

以下內容將說明如何根據速度、行程、負載等需求來選擇合適的馬達。進行選配工作的基本流程如以下三點：

- 決定運動規劃及設定運動參數
- 最大推力與連續推力的計算
- 選擇合適的馬達

使用符號

- X: 行程 (mm)
- T: 移動時間 (sec)
- a: 加速度 (mm/s²)
- V: 速度 (mm/s)
- ML: 負載 (kg)
- g: 重力加速度 (mm/s²)
- Fp: 瞬間推力 (N)
- Fc: 連續推力 (N)
- Fa: 動定子間吸引力(適用於LMS, LMF 系列) (N)
- Fi: 慣性力 (N)
- Kf: 推力常數 (N/Arms)
- Ip: 瞬間電流 (Arms)
- Ie: 等效電流 (Arms)
- Ic: 連續電流 (Arms)
- V0: 啟動速度 (mm/s)

STEP 1 決定運動速度規劃與運動參數

為能正確地決定出適合使用者需求的馬達, 選用前必須了解下列運動公式的計算。

運動公式

常用的基本運動學方程式描述如下：

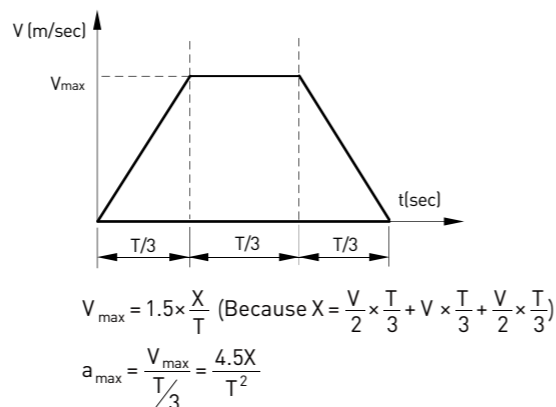
$$X = V_0T + \frac{1}{2}aT^2$$

其中V是速度, a是加速度, T是移動時間而X是移動距離。使用者可以選擇這四個變數(V, a, T與X)中的任兩個變數當設計值, 剩下的兩個變數可以由上述公式計算得到。

速度規劃

1. 1/3-1/3-1/3梯形軌跡(Trapezoid profile)

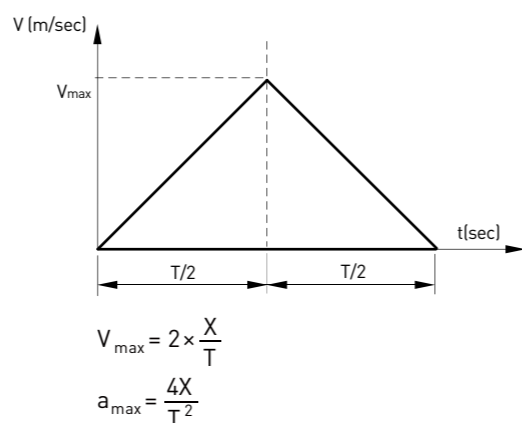
若已先給定行程(X)與移動時間(T), 則可以採用最常用也有效率的速度規劃方式, 也就是1/3-1/3-1/3梯形軌跡的點對點運動規劃方式, 因其可以提供一種最佳化運動方式同時只需要最少功率。其規劃方式為將加速段、等速段、減速段分成三等分階段, 其速度曲線如下：



在此用的參數定義同於運動公式裡的描述

2. 1/2-1/2 三角形軌跡(Triangle profile)

若已先給定X與T, 另一種常採用的運動規劃方式亦即1/2-1/2 三角形軌跡。其規劃方式分成加速段與減速段兩個部份。其速度曲線如下：



第一種運動規劃(Trapezoid profile)所計算出的加速度會大於第二種運動規劃(Triangle profile), 因此採用第一種規劃通常需要較大推力馬達。而第二種規劃的結果會選擇較小的馬達, 可是因為其最大速度(Vmax)會比相對較大, 所以需要確認DC bus是否足夠。

3. 常用公式

	1/3 -1/3-1/3 Trapezoid profile	Triangle profile
V	$1.5 \times \frac{X}{T}$	$2 \times \frac{X}{T}$, or $\sqrt{a \times X}$
a	$\frac{4.5X}{T^2}$	$\frac{4X}{T^2}$
t	$\frac{X}{V_{max}} + \frac{V_{max}}{a}$ (if $\frac{X}{V_{max}} \geq \frac{V_{max}}{a}$)	

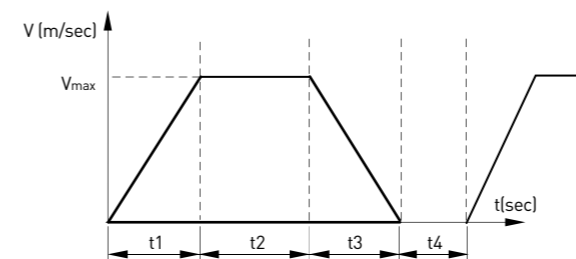
STEP 2 瞬間推力與等效推力計算

瞬間推力的計算可以由下式

$$F_p = M_L \times a_{max} + (M_L \times g + F_a) \times \mu = F_i + F_f$$

其中Fi是慣性力, 而Ff是摩擦力, 且μ是摩擦係數。在大部分的使用案例, 運動方式是週期性的點對點運動。假設一週期性運動, 其中t4為運動完的停留時間, 因此該週期運動的等效推力計算如下式：

$$F_e = \sqrt{\frac{(F_i + F_f)^2 t_1 + F_f^2 t_2 + (F_i - F_f)^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$



對應的瞬間電流Ip與等效電流Ie可由馬達推力常數代入下式計算得知。

$$I_p = \frac{F_p}{K_f}$$

$$I_e = \frac{F_e}{K_f}$$

STEP 3 由瞬間推力需求選擇馬達並確認驅動電流

透過HIWIN型錄的馬達規格表, 使用者可以由瞬間推力需求選擇適合的馬達, 之後使用者可以計算確認運動規劃後所需供應電流是否有在規格限制內。

$$I_p = \frac{F_p}{K_f} < I_p \text{ (查選用馬達規格表)}$$

$$I_e = \frac{F_e}{K_f} < I_c \text{ (查選用馬達規格表)}$$

使用者需要考量等效電流與連續電流的比值, 通常規劃後其比值(Ie/Ic)建議設計在0.7以內較安全。

線性馬達選用範例

舉例來說, 假設總負載有5公斤(移動機構1公斤與客戶負載4公斤), 摩擦係數μ為0.01, 行程500 mm, 移動時間為400 ms及停留時間為350 ms。

定位系統

一開始，我們可以計算這四項變數(Vmax、amax、Fp與Fe)，在此例選擇第一種運動規劃方式，而馬達選擇LMC系列，推力計算結果如下：

$$V_{\max} = 1.5 \times \frac{X}{T} = 1.5 \times \frac{0.5}{0.4} = 1.875 \text{ (m/sec)}$$

$$a_{\max} = \frac{4.5 \times X}{T^2} = \frac{4.5 \times 0.5}{[0.4]^2} = 14.06 \text{ (m/sec}^2\text{)}$$

$$F_p = M_L \times a_{\max} + (M_L \times g + F_a) \times \mu$$

$$= 5 \times 14.06 + 5 \times 9.81 \times 0.01 = 70.3 + 0.49 = 70.79 \text{ (N)}$$

$$F_e = \sqrt{\frac{[(70.3 + 0.49)^2 + 0.49^2 + (70.3 - 0.49)^2] \times 0.1333}{0.4 + 0.35}}$$

$$= 41.92 \text{ (N)}$$

在此例所得結果，可以選擇瞬間推力有187N且連續推力有62N的LMCA6 (p.46)，其推力常數為33.8 N/A(rms)，驅動電流就可以隨之得到：

$$I_p = \frac{F_p}{K_f} = \frac{70.79}{33.8} = 2.09 \text{ (Arms)} < 5.4 \text{ (Arms)}$$

$$I_p = \frac{F_e}{K_f} = \frac{41.92}{33.8} = 1.24 \text{ (Arms)} < 1.8 \text{ (Arms)}$$

$$\frac{I_e}{I_c} = \frac{1.24}{1.8} \times 100\% = 68.89\% < 70\%$$

最後由電流計算結果，選擇LMCA6可以符合此例的使用需求。

附錄B: 回生電阻選配

1. 蒐集必需資訊

計算回生電阻選用規格的功率及阻值時需根據驅動器及馬達規格資訊。針對線性馬達或轉矩馬達的應用，通常需要蒐集以下資訊：

- 運動規劃的細節，包括加速度及速度
- 驅動器型號及規格
- 提供給驅動器的線電壓
- 馬達的轉矩/推力常數
- 馬達的線間電阻

關於轉矩馬達的應用，需要蒐集下列額外的資訊

- 負載慣性矩
 - 馬達慣性矩
- 關於轉矩馬達的應用，需要蒐集下列額外的資訊
- 移動質量

2. 觀察一運動週期中減速段的運動特性

在每一段運動週期的減速過程中，推算下列參數

- 減速段運動開始的速度
- 減速段運動結束的速度
- 整段減速運動的動作時間

3. 計算每一段減速的回生能量

計算回生能量可由下列公式算得：
轉矩馬達：

$$E_{\text{dec}} = \frac{1}{2} J_t (\omega_1^2 - \omega_2^2)$$

E_{dec} (joules): 減速段的回生能量

J_t (kg m²): 馬達轉軸上的負載慣性矩加上馬達慣性矩

ω_1 (radians /sec): 減速段的起始轉速

ω_2 (radians /sec): 減速段的結束轉速

I_e : 等效電流 (Arms)

線性馬達：

$$E_{\text{dec}} = \frac{1}{2} M_t (V_1^2 - V_2^2)$$

E_{dec} (joules): 減速段的回生能量

M_t (kg): 移動質量

V_1 (meters /sec): 減速段的起始速度

V_2 (meters /sec): 減速段的結束速度

4. 推算由馬達消耗掉的能量總量

計算因為電流流過馬達線圈的電阻時，消耗的總能量。
可由下列公式計算

$$P_{\text{motor}} = \frac{3}{4} R_{\text{winding}} \left(\frac{F}{K_f}\right)^2$$

P_{motor} (watts): 馬達線圈消耗功率

R_{winding} (ohm): 馬達線間電阻

F: 馬達減速所需施力

(Nm) 轉矩馬達類應用

(N) 線性馬達類應用

K_f : 馬達推力常數

(Nm/Amp) 轉矩馬達類應用

(N/Amp) 線性馬達類應用

$E_{\text{motor}} = P_{\text{motor}} T_{\text{decel}}$

E_{motor} (joules): 馬達消耗能量

T_{decel} (seconds): 減速時間

5. 推算回灌給驅動器的能量

計算每一段減速過程中回灌至驅動器的能量，可由下列公式計算

$E_{\text{returned}} = E_{\text{dec}} - E_{\text{motor}}$

E_{returned} (joules): 從馬達回灌至驅動器的能量

E_{dec} (joules): 因減速而產生的回生能量

E_{motor} (joules): 馬達消耗能量

6. 判斷回生能量是否超過驅動器容量

比較馬達回灌至驅動器的能量與驅動器吸收容量之大小。以下公式用來推算驅動器可以吸收的能量多寡。

$$W_{\text{capacity}} = \frac{1}{2} C (V_{\text{regen}}^2 - (1.414 V_{\text{mains}})^2)$$

W_{capacity} (joules): DC匯流排電容可以吸收的能量值

C (farads): DC匯流排電容

V_{regen} (volts): 回生迴路的啓動電壓

V_{mains} (volts): 驅動器的主電壓源(AC)

7. 計算每一減速段需消散的能量

在減速段回生能量超過驅動器的容量時，要使用以下公式計算回生電阻需要消耗的能量

$E_{\text{regen}} = E_{\text{returned}} - E_{\text{amp}}$

E_{regen} (joules): 回生電阻需要消耗的能量

E_{returned} (joules): 從馬達回灌至驅動器的能量

E_{amp} (joules): 驅動可器吸收的能量

8. 計算當減速段的回生能量超過驅動器容量時的脈衝功率

在每一減速段有需要由回生電阻消散能量時，要由下列公式計算回生電阻損耗能量的脈衝功率

$P_{\text{pulse}} = E_{\text{regen}} / T_{\text{decel}}$

P_{pulse} (watts): 脈衝功率

E_{regen} (joules): 回生電阻需要消耗的能量

T_{decel} (seconds): 減速時間

9. 計算適合的電阻值

用前一步驟算出的最大脈衝功率值，計算匹配此功率的回生電阻阻值，可由下列公式計算得之

$R = V_{\text{regen}}^2 / P_{\text{pulse max}}$

R(ohms): 電阻

$P_{\text{pulse max}}$: 最大脈衝功率

V_{regen} : 回生迴路的啓動電壓

選規格品時，只要選擇小於計算得的電阻值，唯該選擇阻值需大於驅動器廠商規範的回生電阻最小值。

10. 回生電阻選用範例

收集需要資訊

LM ROBOTS型號: LMXL1L-S37L-1200-G200

驅動器: 800-1513A

DC bus電容: 1760μF

回生迴路啓動電壓: 390V

驅動器規範回生電阻最小值: 15ohms

移動質量: 86Kg (包含客戶外加負載74 Kg)

