第三章

馬達轉矩方程式

簡介

馬達設計中，其中一個重要參數為轉矩參數。如何產生更大的轉矩，在馬達設計中屬於一個重大的課題。圖3-1所示為一單相馬達的轉矩 VS. θ 圖。

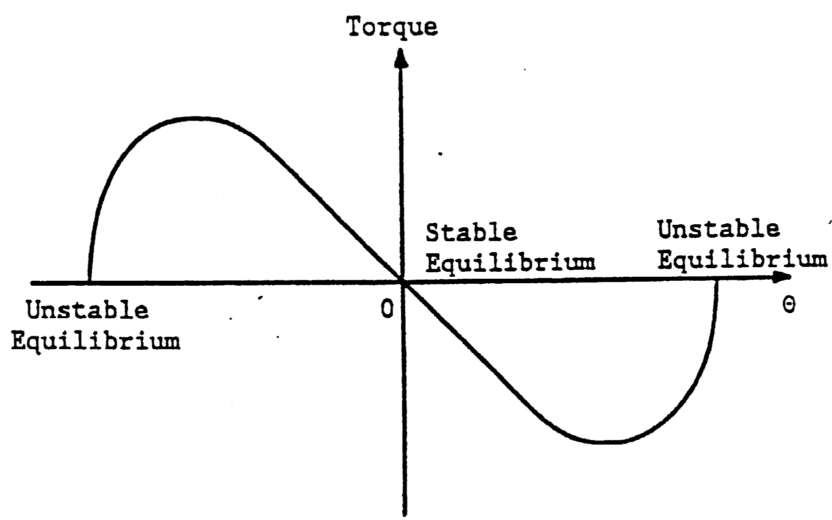


Figure 3-1. A typical static torque-position curve.

馬達方塊流程圖

一N相的馬達，其方塊流程圖如圖3-2所示。

馬達通常纏繞N相的線圈在定子上，而轉子則並沒有任何的線圈繞組。轉子可由強磁性材料所構成，如永久磁鐵，其實際的例子如永磁式步進馬達。

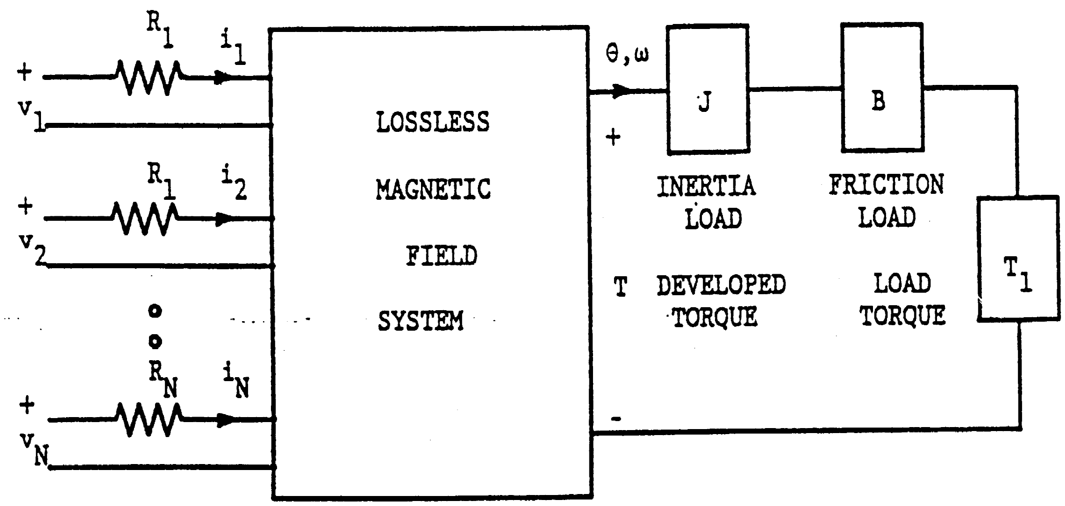


Figure 3-2. Block diagram representation of the inputs and outputs of an N-phase motor.

馬達動態方程式

馬達 i 相之電壓方程式

$$V_i = R_i i_i(t) + \frac{d\lambda_i(t)}{dt}$$

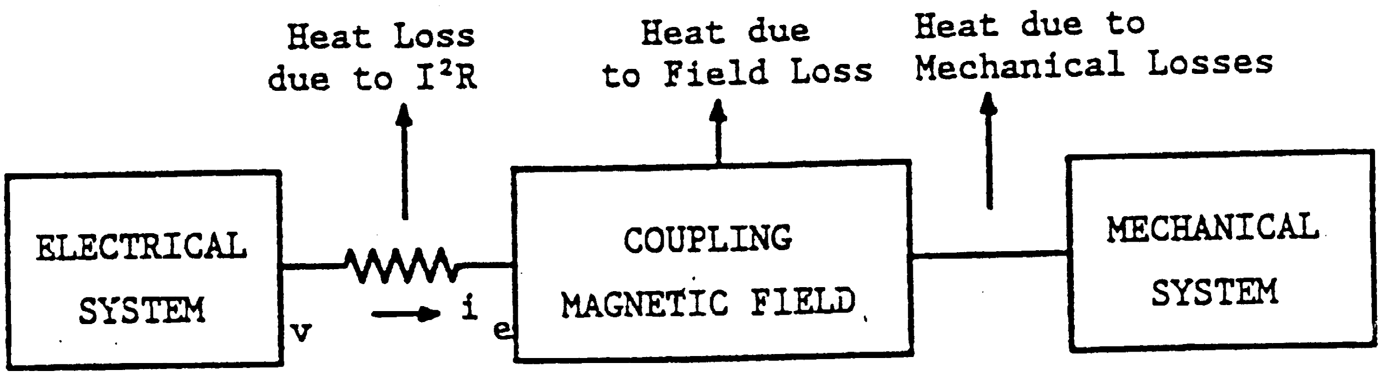
其中 磁通鏈 $\lambda_i(t)$ 為相電流、轉子位移 θ 、及轉子內永久磁鐵之磁動勢等的函數。

永久磁鐵的磁動勢可等效為

$$F_F = N_F i_F \quad (Ampere-turns)$$

永久磁鐵之磁動勢可由一等效電流源 i_F 流經具有 N_F 匝的線圈來表示

轉矩方程式



馬達為電磁能轉換裝置，內部能量可分四種：
1.輸入的電能　2.儲存在轉子與定子內的能量
3.熱損失　　　4.輸出機械能

1.項為 2. 3. 4.項之和。

馬達的能量轉換可以下式表示：

$$\boxed{dW_e = dW_f + dW_m}$$

其中 $dW_e = ei * dt$ 為扣除掉熱損失 i^2R 後之淨微小輸入電能；

dW_f：儲存在磁場再加上磁場損失的總能量，而 dW_m 包含機械損失之機械能。

電壓方程式 $V_i = R_i i_i(t) + \frac{d\lambda_i(t)}{dt}$ 左右兩邊乘以 $i(t)$

$$\Longrightarrow V * i(t) = Ri^2(t) + i(t)\frac{d\lambda(t)}{dt}$$

$$\Longrightarrow dW_e = i(t) * d\lambda(t)$$

又 $\lambda(t) = N\phi(t)$ N 為有效匝數

$$\Longrightarrow dW_e = Ni(t) * d\phi(t) = Fd\phi(t)$$

其中 $F = Ni(t) = mmf$

如果轉子被箝制不轉動時，即 $dW_m = 0$；則

$$dW_f = dW_e = Fd\phi(t) = i(t)d\lambda(t)$$

其中磁動勢 F 為磁通量 $\phi(t)$ 的函數；且電流 $i(t)$ 也與磁通鏈 $\lambda(t)$ 有關。

一典型air-iron是氣隙及鐵心磁路結構，其磁通量與磁動勢的磁滯曲線如圖3-4所示。在鐵磁性的材料中，磁滯曲線通常為非線性的。如果渦流及磁滯現象為不可忽略的話，則磁滯曲線將不會呈一單一值。

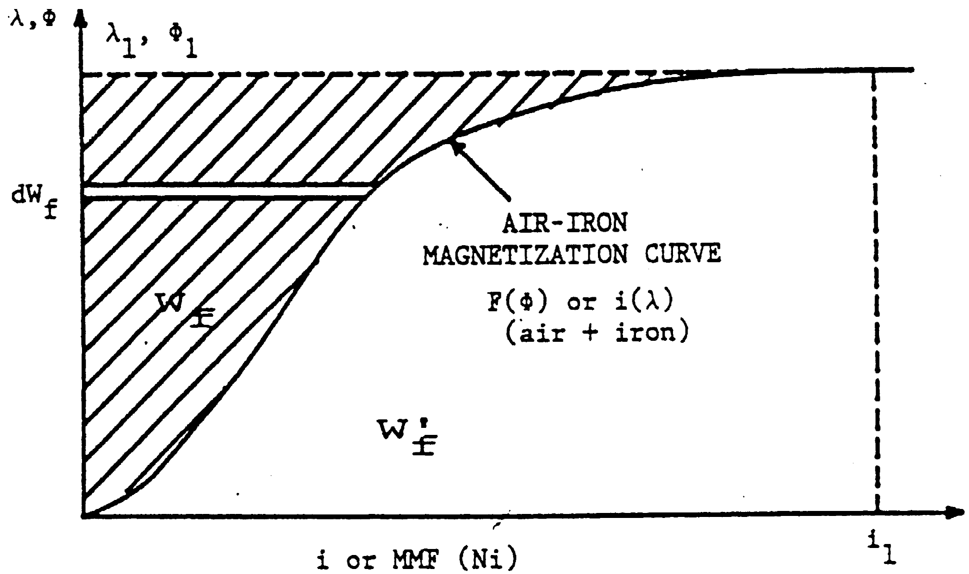


Figure 3-4. Total energy stored in the magnetic field.

$$dW_f = dW_e = Fd\phi(t) = i(t)d\lambda(t)$$

左右積分後可得

$$W_f = \int_0^{\phi 1} F(\phi)d\phi = \int_0^{\lambda 1} i(\lambda)d\lambda$$

其中 $\lambda_1 = N\phi_1$

如磁路同時包含了空氣和鐵心路徑的話，則可將其分開個別考慮處理，令i_g為氣隙中提供磁動勢降所需的總電流，而i_e表示鐵心中提供磁動勢降所需的電流；則

$$i = i_g + i_e$$

磁滯曲線可分成兩部分