

感應馬達

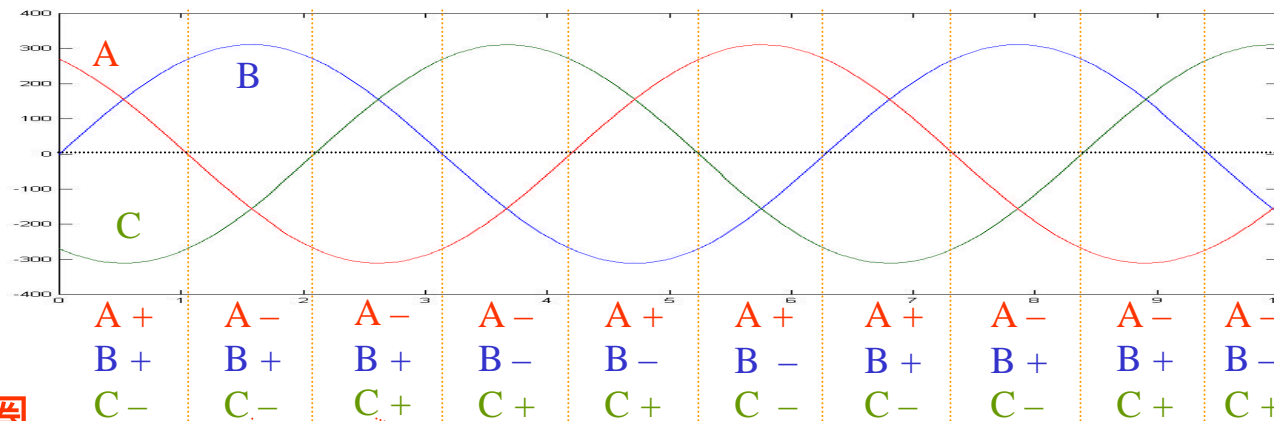
A.交直流馬達中若以**控制性能**考量，則以**直流馬達之控制特性較為優越**，但直流馬達具有電刷及整流子，故會有**火花及噪音**等問題，需要保養及維修，且在一些工廠中，馬達通常安裝在不易維修地方，而無法或困難做定期保養。

B.如果從考慮**系統可靠度**，則以**交流馬達較為優勢**，而交流馬達主要分為**同步馬達及感應馬達**兩種，而在同步馬達應用上則以**無刷馬達**為主，但由於無刷馬達之轉子為**永久磁鐵**，故高轉速運轉時，須考慮**磁鐵飛散**之可能，且在高速弱磁之能力有所限制，而永久磁鐵在長期使用後或高溫時，亦存在**磁力減弱**之可能，而交流感應馬達因無永久磁鐵，故無上述之缺點，所以目前在高速主軸應用上，仍以感應馬達為主。

C.感應馬達因轉子結構不同，可分為**繞線式及鼠籠式**兩種，目前以鼠籠式之應用較為廣泛，鼠籠式感應馬達與直流馬達比較，除了改善上述直流馬達的缺點外，尚有體積小、重量輕、低轉動慣量及價格較便宜等優點。然而鼠籠式感應馬達是非線性時變且耦合之系統，所以使得**它的控制比它激式直流馬達複雜許多**。

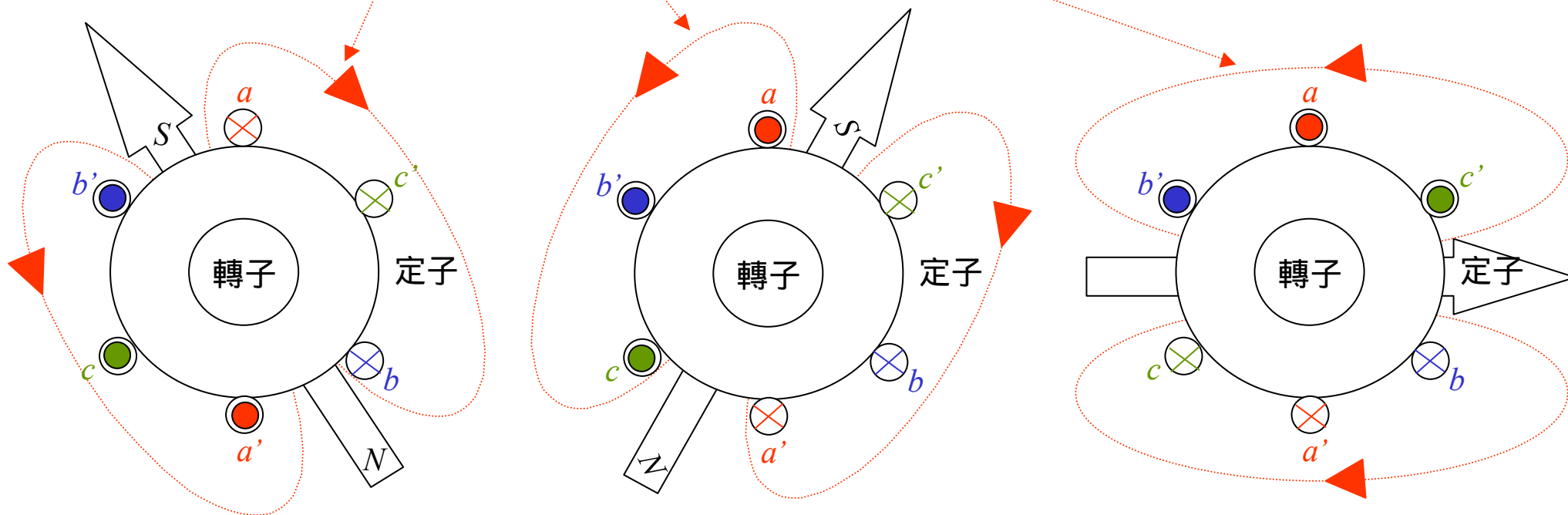
定子：電樞繞組
轉子：磁場繞組

三相平衡定子電源



空間中平衡三相線圈

● 流出紙面
 × 流入紙面



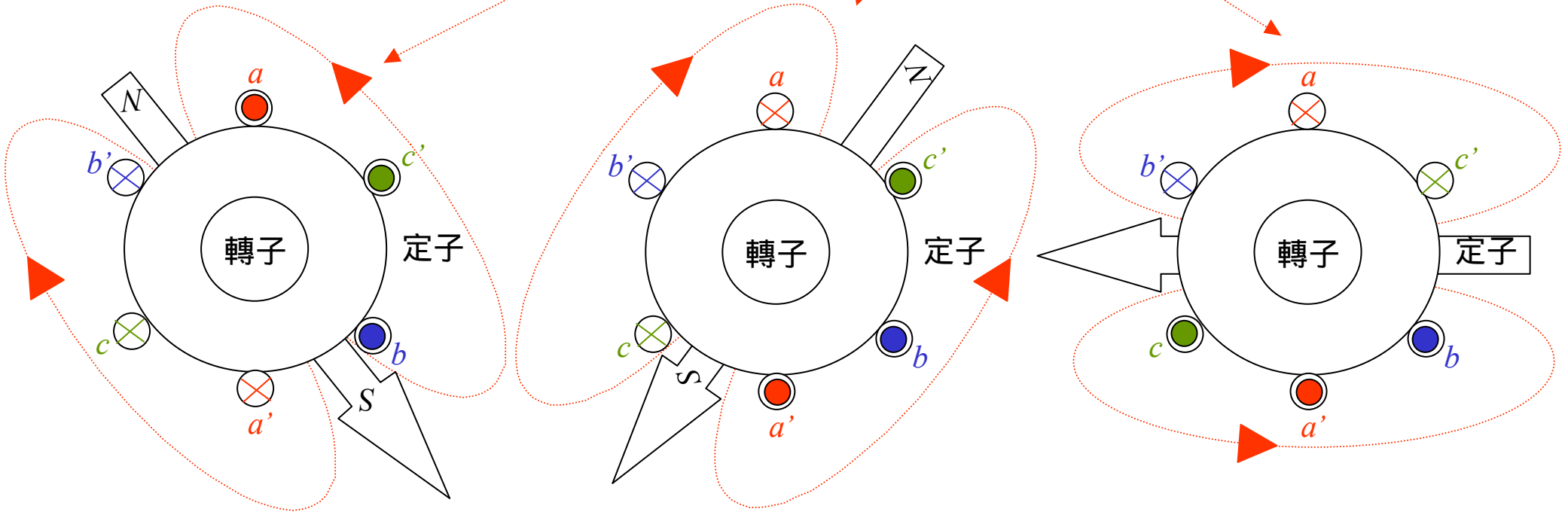
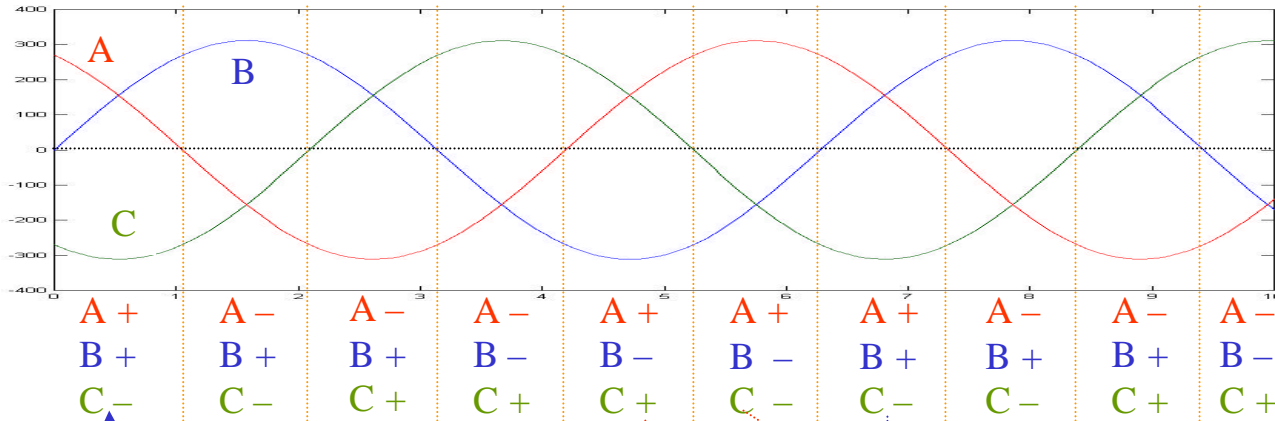
結論

三相平衡定子電源加於
空間中平衡三相線圈

產生單方向旋轉磁場

切割轉子線圈產生感應電壓

轉子側短路產生感應電流--作功

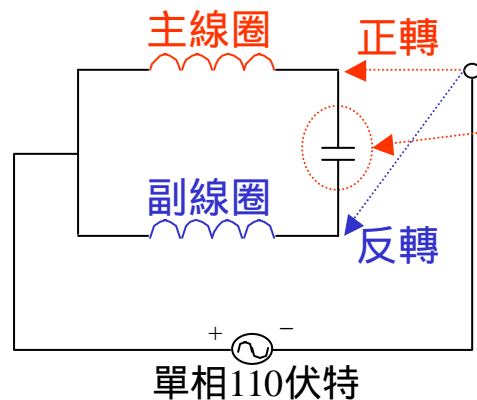
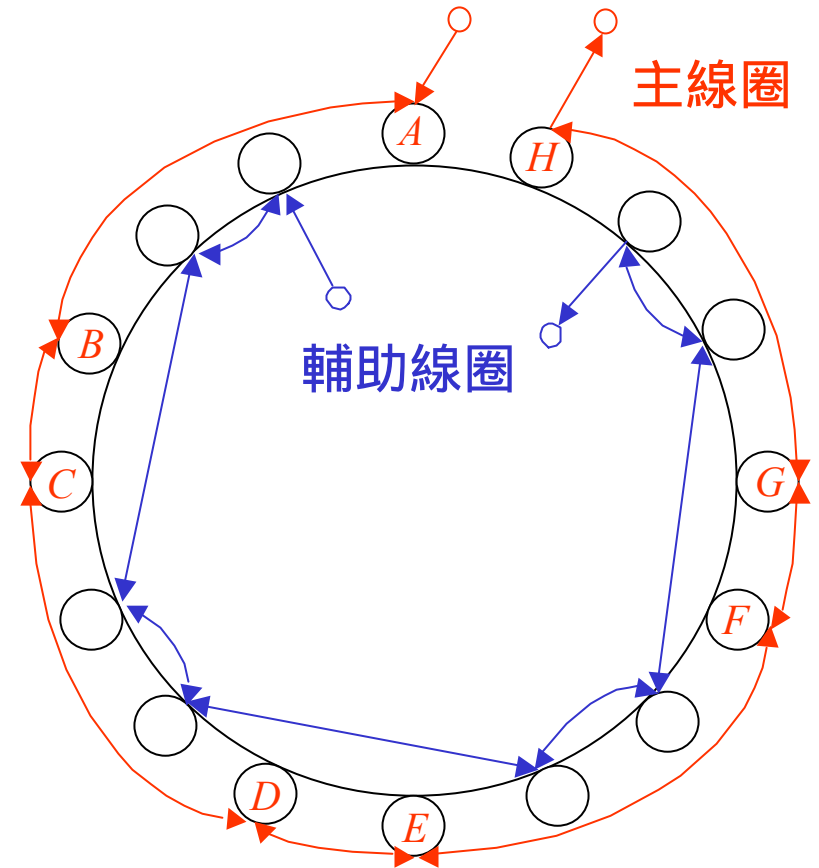
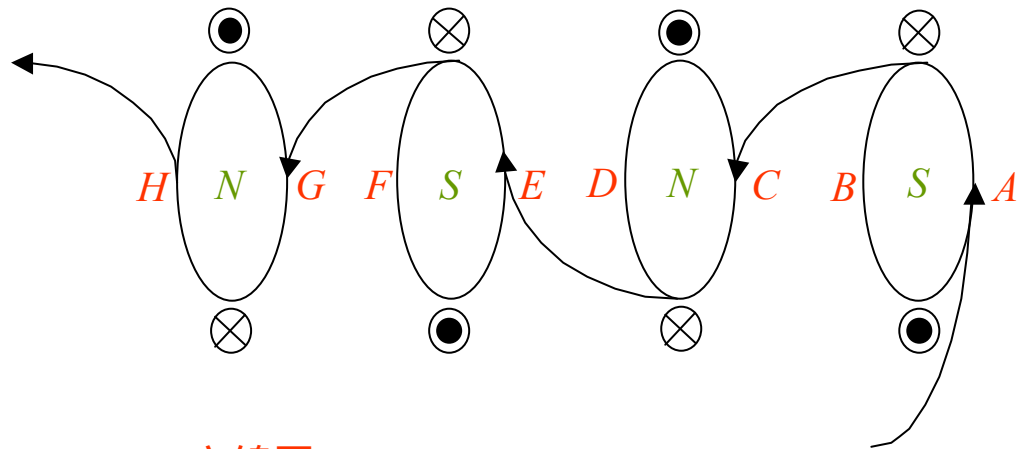


問題：若為單相感應馬達，如何產生單方向旋轉磁場(例如電風扇或傳統家電馬達)？

解答：加上輔助(副)線圈

例題：單相四極感應馬達

$$4 * 2 (\text{主線圈}) + 4 * 2 (\text{輔助線圈}) = 16 (\text{槽})$$



產生電氣角錯開90度之訊號以獲得單方向旋轉磁場

註解：正反轉控制等於將主副線圈對調，因此單相感應馬達單方向等速運動中，主副線圈特性大致相同，但若需控制其速度，則主副線圈需再加以設計

轉子磁場
同步速度

$$\omega = 120 \frac{f_e}{P}$$

電氣(定子)頻率 馬達極數

機械角頻率

單位：radian/per second

$$\omega_e = 2 f_e$$

電氣角 機械角

$$\omega_e = \frac{P}{2} \omega_m \Rightarrow \omega_e = \frac{P}{2} \left(\frac{\omega_m \times 60}{2} \right) \times \frac{2}{60} \Rightarrow \omega = 120 f_e / P$$

$$e = \frac{P}{2} m$$

四極機

電氣角頻率

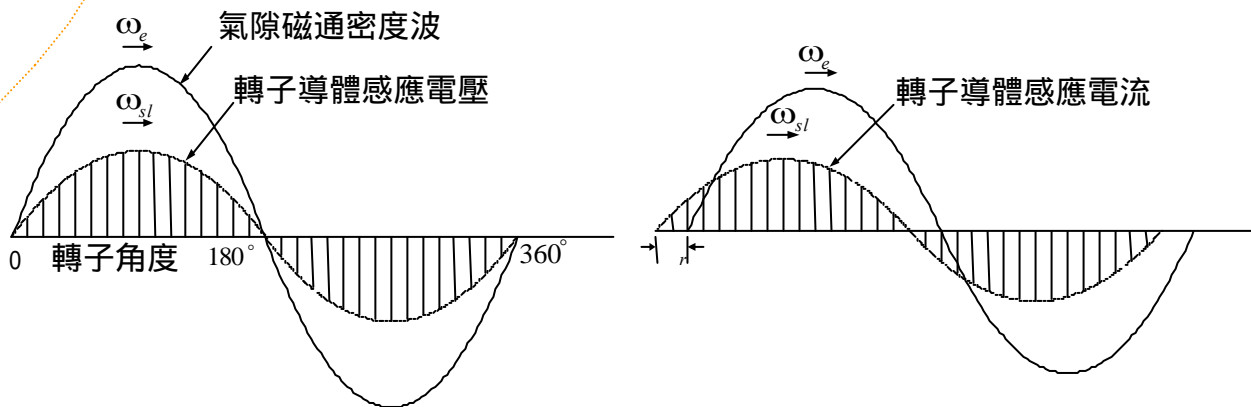
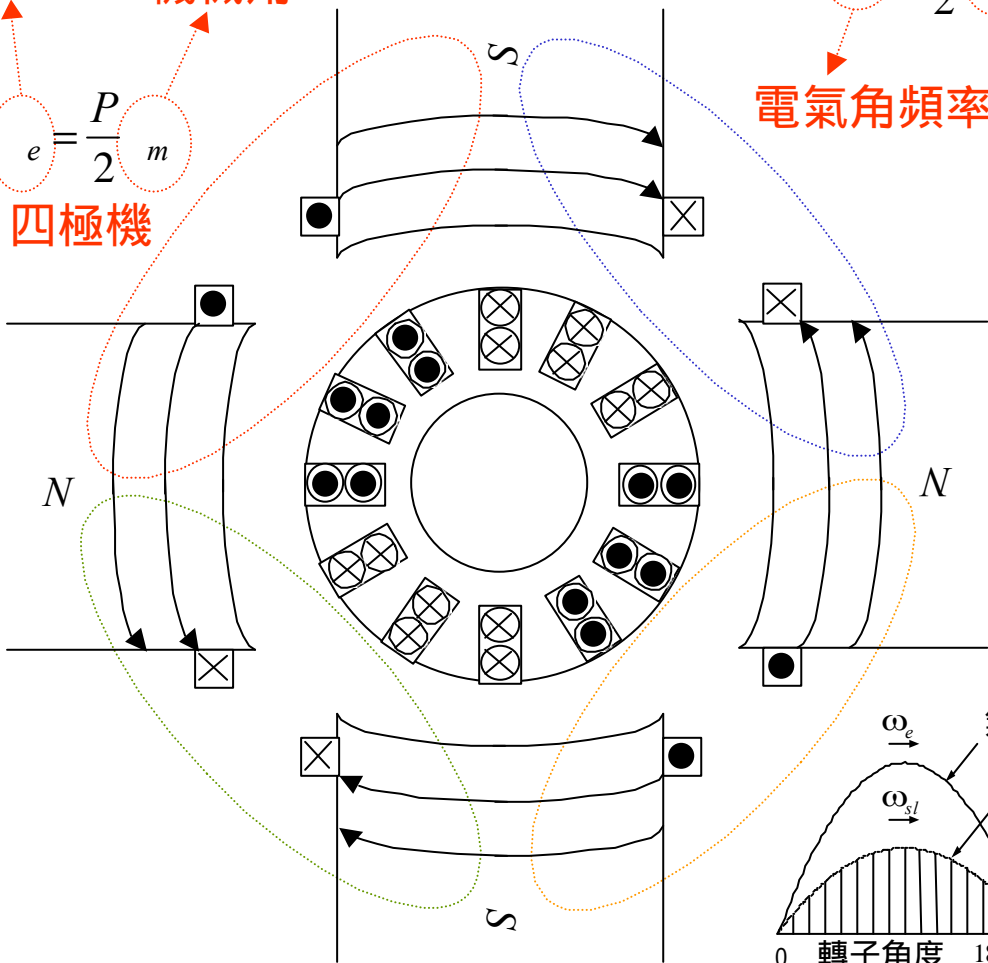
轉子磁場同步速度 w

單位：revolution/per minute

同步轉速下，轉子不會有任何之感應電壓，因此轉矩亦不會產生。然而在其它速度，轉差頻率 w_{sl} 可表示成 $(w_e - w_r)$ ，且其每單位轉差率 S 表示成

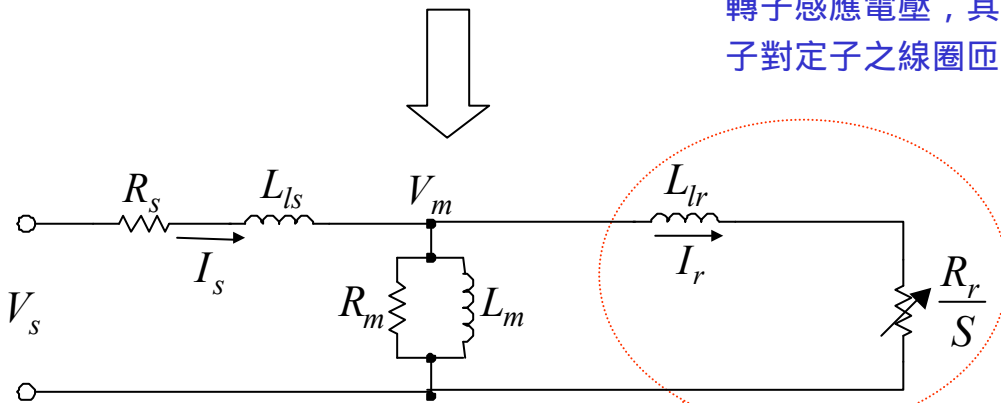
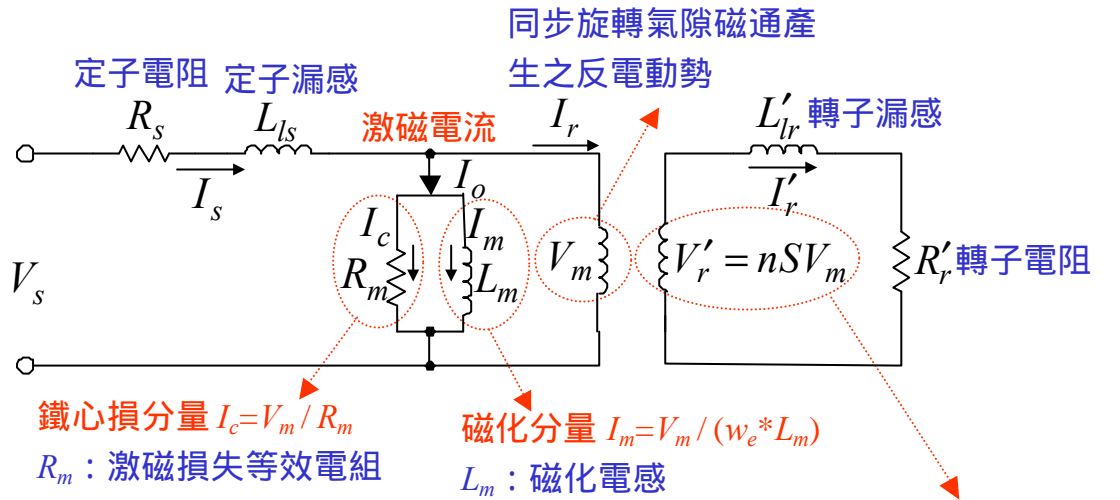
$$S = \frac{\omega_e - \omega_r}{\omega_e} = \frac{\omega_{sl}}{\omega_e}$$

轉子上感應出轉差頻率電壓，符合轉子短路時所產生的轉差頻率電流。



感應馬達單相等效電路

等效電路分析



$$I_r = nI'_r = \frac{n^2 S V_m}{R'_r + j\omega_{sl} L'_{lr}} = \frac{V_m}{\left(\frac{R'_r}{n^2}\right) \times \frac{1}{S} + j \frac{\omega_{sl}}{S} \times \left(\frac{L'_{lr}}{n^2}\right)}$$

1. 阻抗轉移與匝數平方成正比

2. 滑差頻率 $S = \omega_{sl} / \omega_e$

$$\Rightarrow I_r = \frac{V_m}{(R_r/S) + j\omega_e L_{lr}}$$

輸入功率	$P_{in} = 3V_s I_s \cos$
定子銅損	$P_{ls} = 3I_s^2 R_s$
鐵心損	$P_{lc} = 3V_m^2 / R_m$
氣隙總功率 (同步瓦)	$P_g = 3I_r^2 R_r / S$
轉子銅損	$P_{lr} = 3I_r^2 R_r$
輸出功率	$P_o = P_g - P_{lr} = 3I_r^2 R_r (1 - S) / S$

輸出功率 P_o 為轉矩 T_e 和機械轉速 ω_m 的乘積，可以表示成

$$T_e = P_o / \omega_m = 3I_r^2 R_r [(1 - S) / S] / \omega_m$$

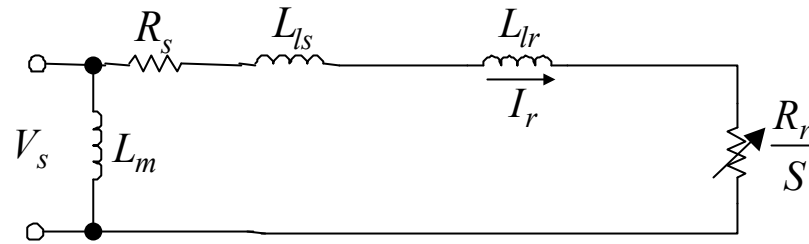
$$= 3(P/2) I_r^2 R_r / (S\omega_e)$$

$$\omega_m = (2/P)\omega_r$$

$$T_e = P_g (P/2) / \omega_e$$

藉由氣隙功率和定子頻率可得到轉矩

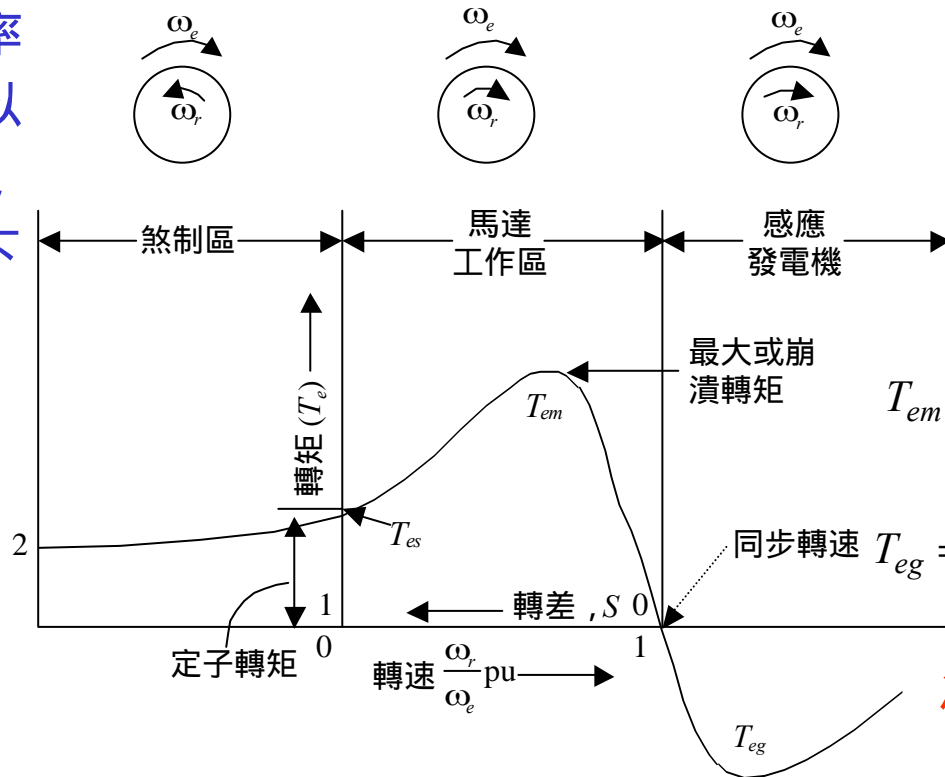
忽略鐵損電阻 R_m 且磁化電感 L_m 轉換至輸入端($|R_s + j\omega_e L_{ls}| \ll \omega_e L_m$)，則等效電路圖如下



電流 I_r 可解得

$$I_r = \frac{V_s}{\sqrt{(R_s + R_r/S)^2 + \omega_e^2 (L_{ls} + L_{lr})^2}} \xrightarrow{\text{代入}} T_e = 3(P/2) I_r^2 R_r / (S \omega_e) \Rightarrow T_e = 3 \left(\frac{P}{2}\right) \frac{R_r}{S \omega_e} \frac{V_s^2}{(R_s + R_r/S)^2 + \omega_e^2 (L_{ls} + L_{lr})^2}$$

當馬達由定電壓和定頻率的電源供給時，轉矩可以利用轉差率 S 計算出來，轉矩對轉速的曲線圖如下



對轉差率微分並令其為零

$$S_m = \pm \frac{R_r}{\sqrt{R_s^2 + \omega_e^2 (L_{ls} + L_{lr})^2}}$$

$$T_{em} = \frac{3 P}{4 \omega_e} \frac{V_s^2}{\sqrt{R_s^2 + \omega_e^2 (L_{ls} + L_{lr})^2} + R_s}$$

$$T_{eg} = -\frac{3 P}{4 \omega_e} \frac{V_s^2}{\sqrt{R_s^2 + \omega_e^2 (L_{ls} + L_{lr})^2} - R_s}$$

忽略定子電阻，則 $|T_{em}| = |T_{eg}|$

更進一步簡化等效電路，可以忽略定子變數 R_s 和 L_{ls}

低轉差區，假定 $R_r^2 \gg \omega_{sl}^2 L_{lr}^2$

$$T_e = 3\left(\frac{P}{2}\right) \frac{R_r}{S\omega_e (R_s + R_r/S)^2 + \omega_e^2 (L_{ls} + L_{lr})^2} V_s^2 \Rightarrow T_e = 3\left(\frac{P}{2}\right) \left(\frac{V_s}{\omega_e}\right)^2 \frac{\omega_{sl} R_r}{R_r^2 + \omega_{sl}^2 L_{lr}^2}$$

$$\Rightarrow T_e = 3\left(\frac{P}{2}\right) \frac{1}{R_r} \left(\frac{V_s}{\omega_e}\right)^2 \times \omega_{sl}$$

對轉差頻率微分並令其為零

$\Rightarrow T_{em}\omega_e^2$ 為定值

$$\omega_{slm} = R_r / L_{lr}$$

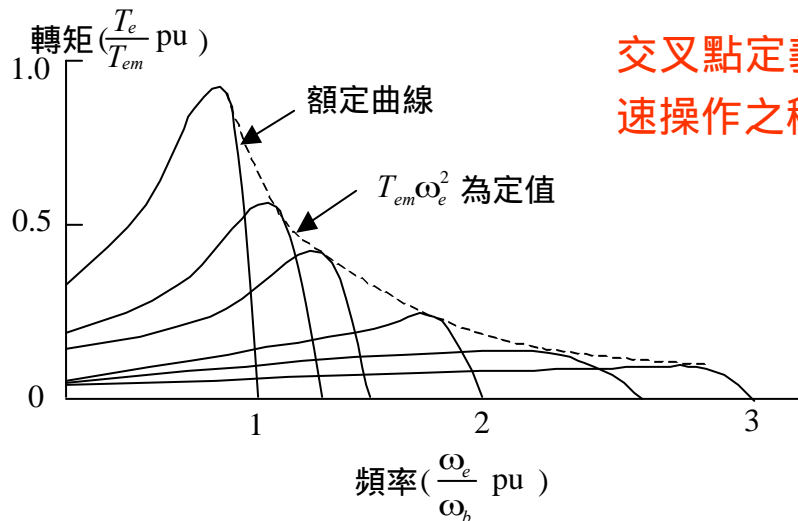
$$T_e = 3\left(\frac{P}{2}\right) \frac{V_s^2 \omega_{slm} R_r}{R_r^2 + \omega_{slm}^2 L_{lr}^2}$$

最大轉矩

$$T_e = 3\left(\frac{P}{2}\right) \left(\frac{V_s}{\omega_e}\right)^2 \frac{\omega_{slm} R_r}{R_r^2 + \omega_{slm}^2 L_{lr}^2}$$

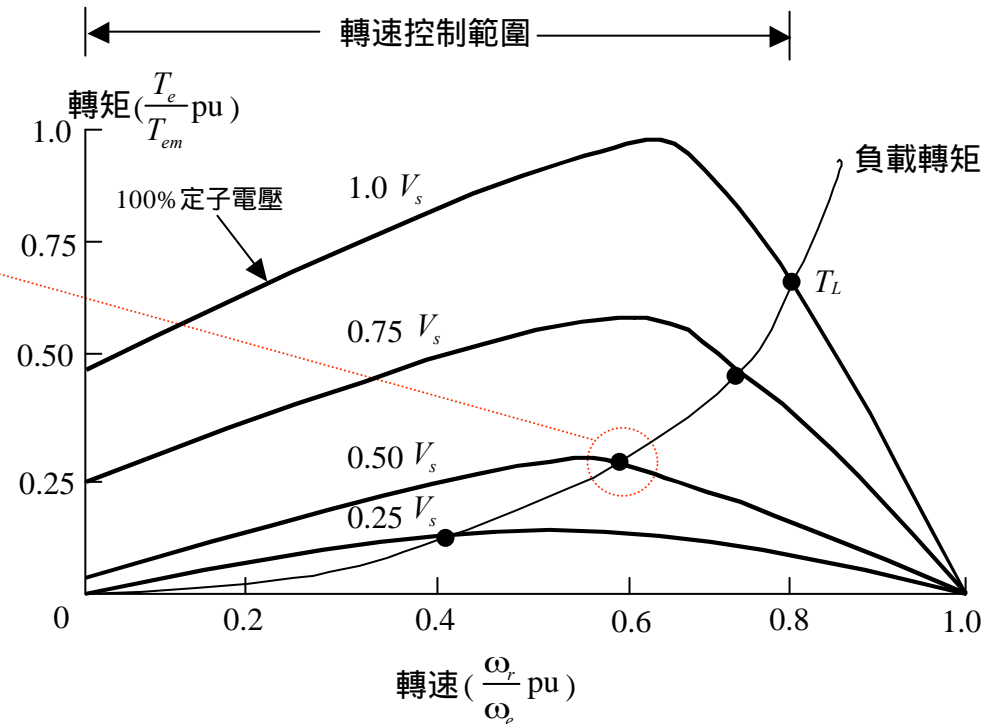
利用可變的定子電壓和固定頻率對於鼠籠式感應馬達的速度控制是簡單而且經濟的方法。

可變頻率下之轉矩對轉速曲線圖



交叉點定義為可變速度操作之穩定點

可變定子電壓下之轉矩對轉速曲線圖



如果額定電壓降低頻率，氣隙磁通(V_s/w_e)將會飽和而引起太大的定子電流，因此為了維持定值的氣隙磁通，基頻下的區域藉由定子電壓換算所得，下圖所示為轉矩對速度的曲線圖，在此電壓/頻率維持固定值。

最大轉矩除了在低頻區外，大致保持其效能。因為低頻區時，定子阻抗壓降會造成氣隙磁通的減少，因此在低頻區須額外增加電壓來補償定子壓降，以便產生最大轉矩。

為了能更進一步的調整速度，工業上的交流驅動系統皆採用可變電壓和可變頻率之電源供應器。

