



低壓變頻器介紹

東元電機(股)公司

機電系統營銷事業部 產品發展處

行銷企劃課

楊志方 主任

- 馬達各種驅動方式優缺點說明
- 變頻器基本原理說明
- 變頻器節能原理說明
- 產業應用及案例

馬達各種驅動方式 優缺點說明

馬達驅動方式

常見馬達啟動方式有以下幾種：

- 全壓直接啟動：

- ✓ 優點：所需設備少，啟動方式簡單，成本低，啟動轉矩大。
- ✓ 缺點：啟動電流大，影響電源系統及馬達壽命，故大容量馬達不適用

- 自耦減壓啟動：

- ✓ 優點：起動轉矩較大，可以直接人工操作控制，也可以用交流接觸器自動控制，耐用，維護成本低
- ✓ 缺點：自耦變壓器箱價格較高

馬達驅動方式

- Y- Δ 啟動：
 - ✓ 優點：僅需啟動開關或交流接觸器等控制設備，就可以完成，價格較便宜。
 - ✓ 缺點：只能用於 Δ 連接的馬達，大容量馬達不能重載啟動。
- 軟啟動器(Soft Starter)啟動；
 - ✓ 優點：啟動電流小，適合所有的空載、輕載馬達負載使用。
 - ✓ 缺點：啟動轉矩小，不適用於重載啟動的大型馬達負載，價格稍高。

馬達驅動方式

- 變頻器(Inverter)啟動

- ✓ 優點：可以使馬達以較小的啟動電流, 獲得較大的啟動轉矩，即變頻器可以啟動重負載
- ✓ 缺點：價格最高，參數學習及操作熟悉需投入時間

變頻器具有調整電壓、調整頻率等基本功能，應用了現代的電控技術，雖然價格較高但性能優異，內部結構複雜，但使用簡單，不只用於啟動馬達，而且可以廣泛的應用到各個領域的變頻及節能領域。

隨著電控變頻技術的發展，成本的降低，變頻器一定會有更廣泛的應用。

變頻器基本原理說明

變頻器概論

- 變頻器的控制對象是三相感應馬達/三相永磁同步馬達，以控制輸出電壓及頻率方式，達到啟動及控速的目的。
- 變頻器可做緩衝啟動，高/低速，正/逆轉，煞車及其他高機能應用技術。
- 因耗能與馬達的轉速成二次方比(負載為固定轉矩)或三次方比(負載為遞減轉矩)，故轉速降低可達到節能效果。
- 變頻器可視為一種改變電壓改變頻率(VVVF)，用來驅動馬達的節能產品。
- 因此，只要馬達有需要“改變速度”或“節約能源”的需求，變頻器就是最佳的選擇。



變頻器電路原理

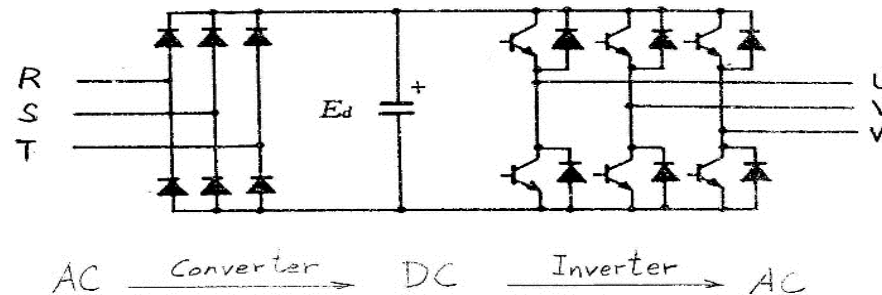
變頻器電路原理分為三個部分 (Diode整流/capacitor儲能/IGBT切換)，轉換過程是AC to DC to AC (學理上DC to AC 過程稱之為 inverter，台/中/日業者多以此稱呼變頻器，但歐/美則慣稱為Motor Drive)。

交流輸入
50/60Hz

低壓
100~120V
200~240V
380~480V
500~600V
575~690V

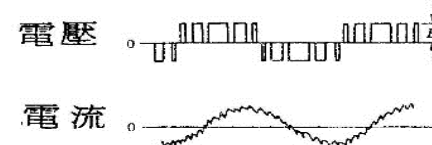
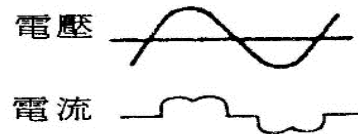
中高壓
2.2KV
3.3KV
6.6KV
11KV

直流儲能

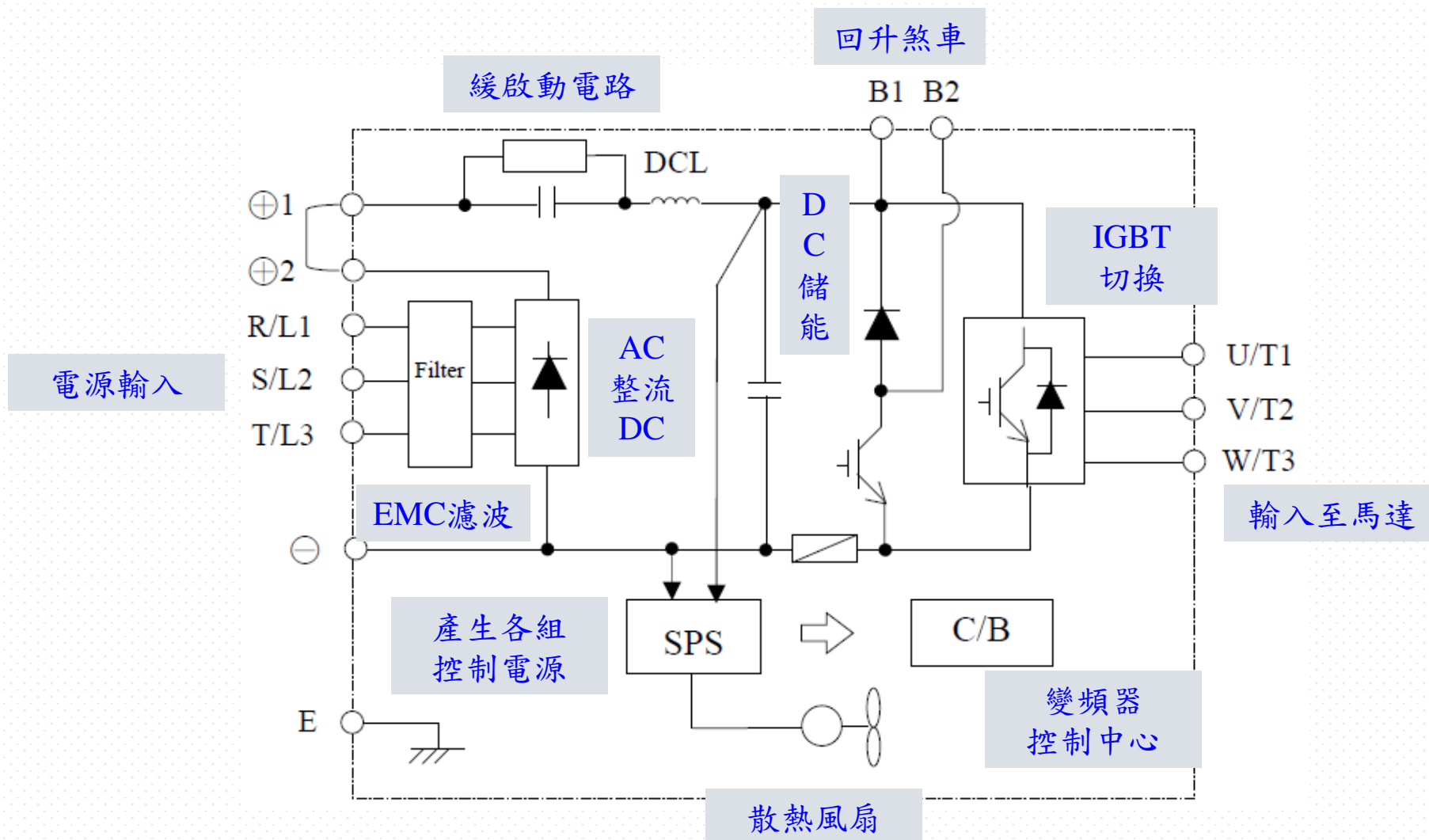


交流
輸出

任意不同頻率



變頻器主迴路架構



變頻器架構組件

- 按鍵面板：主要的控制及顯示介面
- 控制基板：變頻器大腦所在，有CPU/CPLD，以及通訊/類比/數位等外部控制端子
- 電源基板：產生控制電源，如3.3V/ 5V/ 12V/ 24V，並有驅動IC，接收CPU之六組驅動訊號來驅動IGBT晶體
- Diode、IGBT模組：AC→DC 及 DC→AC功率元件
- 主電容：轉換成DC的儲能元件
- 散熱片：將功率模組的熱散出
- 散熱風扇：協助散熱片散熱





變頻器簡易操作說明



類型	名稱	功能
顯示	主顯示區	顯示頻率、參數、以及電壓、電流、溫度及異常等
	LED 狀態顯示	FAULT ：當變頻器發生警告或故障訊息時，指示燈亮。 FWD ：當變頻器處於正轉狀態時，指示燈亮。 （停機時閃爍，運轉後則處於恆亮狀態） REV ：當變頻器處於反轉狀態時，指示燈亮。 （停機時閃爍，運轉後則處於恆亮狀態） SEQ ：當變頻器運轉命令來源設定為外控時，指示燈亮。 REF ：當變頻器頻率命令來源設定為外控時，指示燈亮。
按鍵 (8 個按鍵)	RUN 鍵	RUN 鍵：變頻器運轉。
	STOP 鍵	STOP 鍵：變頻器停止運轉。
	▲ 鍵	用於頻率與參數設定。
	▼ 鍵	用於頻率與參數設定。
	FWD/REV 鍵	設定馬達運轉方向切換鍵，FWD 顯示燈亮代表馬達正轉，REV 顯示燈亮代表馬達反轉。
	DSP/FUN 鍵	切換顯示介面，依據頻率畫面→功能選單→監控參數→頻率畫面循環。
	</RESET 鍵	“<”左移鍵：變更參數或參數值時使用。 RESET 鍵：檢出故障時，變為復歸鍵。
	READ/ENTER 鍵	切換進入功能和設定內部值，及修改參數設定寫入確認鍵功能。

變頻器控制馬達方式

1. V/F 控制：在改變電動機電源頻率的同時改變電動機電源的電壓，使電動機磁通保持一定，在較寬的調速範圍內，電動機的效率，功率因數不下降。因為是控制電壓(Voltage)與頻率(Frequency)之比，稱為V/F控制。

缺點：低速性能較差，轉速極低時，電磁轉矩無法克服較大的靜摩擦力，不能恰當的調整電動機的轉矩補償和適應負載轉矩的變化。

變頻器控制馬達方式

2. 向量控制：將異步電動機在三相坐標系下的定子交流電流 I_a 、 I_b 、 I_c 。通過三相-二相變換，等效成兩相靜止坐標系下的交流電流 I_{a1} 、 I_{b1} ，再通過按轉子磁場定向旋轉變換，等效成同步旋轉坐標系下的直流電流 I_{m1} 、 I_{t1} (I_{m1} 相當於直流電動機的激磁電流； I_{t1} 相當於直流電動機的電樞電流)，然後模仿直流電動機的控制方法，求得直流電動機的控制量，經過相應的坐標反變換，實現對馬達的控制。

3. 直接轉矩控制：將轉矩直接作為被控量來控制。轉矩控制的優越性在於：轉矩控制是控制定子磁通，在本質上並不需要轉速信息，控制上對除定子電阻外的所有電機參數都能控制良好；由於使用定子磁通能很容易估算出同步速度信息，因而能方便的實現開迴路控制。

變頻器控制馬達方式

- 另外還有轉差頻率控制方式，但較少應用在變頻器內。
- 永磁同步馬達(permanent-magnet synchronous motor) 啟動一定需要透過變頻器使用向量控制啟動，無法使用其他方式啟動。
- 如馬達有安裝編碼器(Encoder或Resolver)，變頻器可搭配安裝馬達迴授卡，讀取馬達之轉向及轉速，可使變頻器控制馬達更加精準。



變頻器迴授卡常見種類

產品說明 & 編碼器 / 解角器 輸入型式	輸出型式
開集極 (Open collector)速度迴授卡	開集極(Open collector)
線驅動(Line driver)速度回授卡	線驅動(Line driver)
線驅動(Line driver)速度回授卡	開集極(Open collector)
同步馬達線驅動(Line driver)速度回授卡	線驅動(Line driver)
速度迴授卡搭配TAMAGAWA 解角器	線驅動(Line driver)
速度迴授卡搭配Heidenhain ERN 1387 Sin-Cos增益型編碼器	線驅動(Line driver)
速度迴授卡搭配Heidenhain ERN 1387 Sin-Cos增益型編碼器	開集極(Open collector)
速度迴授卡搭配Heidenhain ECN 1313 8192 (13bits) 絕對型編碼器	線驅動(Line driver)
速度迴授卡搭配Heidenhain ECN 1313 8192 (13bits) 絕對型編碼器	開集極(Open collector)



變頻器控制參數群組種類

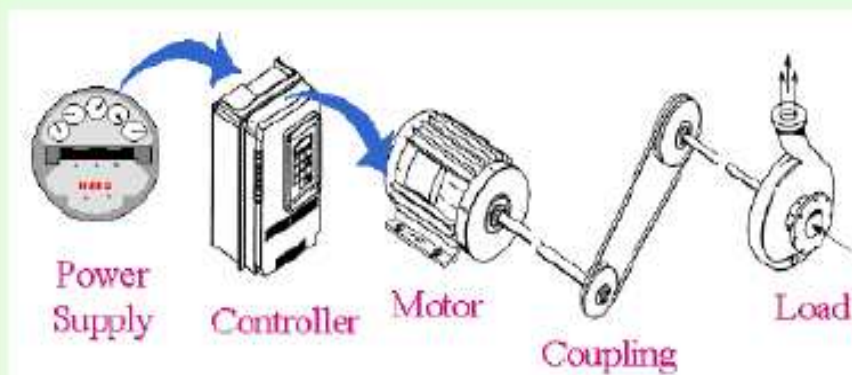
參數群組	名 稱	參數群組	名 稱
群組 00	基本功能群組	群組 13	維護功能群組
群組 01	V/F控制功能群組	群組 14	PLC設定群組
群組 02	IM 馬達參數群組	群組 15	PLC監控群組
群組 03	外部端子數位輸入輸出功能群組	群組 16	LCD機能群組
群組 04	外部端子類比輸入輸出功能群組	群組 17	IM馬達自動調校功能群組
群組 05	多段速功能群組	群組 18	滑差補償功能群組
群組 06	自動運轉功能群組	群組 19	保留
群組 07	運轉停止功能群組	群組 20	速度控制功能群組
群組 08	保護功能群組	群組 21	轉矩控制功能群組
群組 09	通訊功能群組	群組 22	PM馬達群組
群組 10	PID功能群組	群組 23	泵浦與HVAC群組
群組 11	輔助功能群組	群組 24	1對8泵浦卡相關機能群組
群組 12	監視功能群組		



變頻器節能原理說明

變頻器節能比例驚人

➤除選用高效率馬達，依據IEA的研究，改善馬達系統可提升用電效率**20%~25%**



資料來源：IEA Industrial motor systems energy efficiency towards a plan of action (Final version 7 July 2006)

	系統改善	節能比例
硬體改善	1.使用變速控制	10~50%
	2.換用高效率馬達	2~8%
軟體改善	1.傳動效率改善	2~10%
	2.系統維護調整與潤滑	1~5%
	3.適當規格匹配	1~3%
	4.電力品質改善	0.5~3%
	5.適當維修保養	0.5~2%

資料來源：歐盟Motor Challenge計畫

$Q(\text{風量、流量}) \propto N(\text{軸轉速})$

$H(\text{風壓、水壓}) \propto N^2(\text{軸轉速})^2$

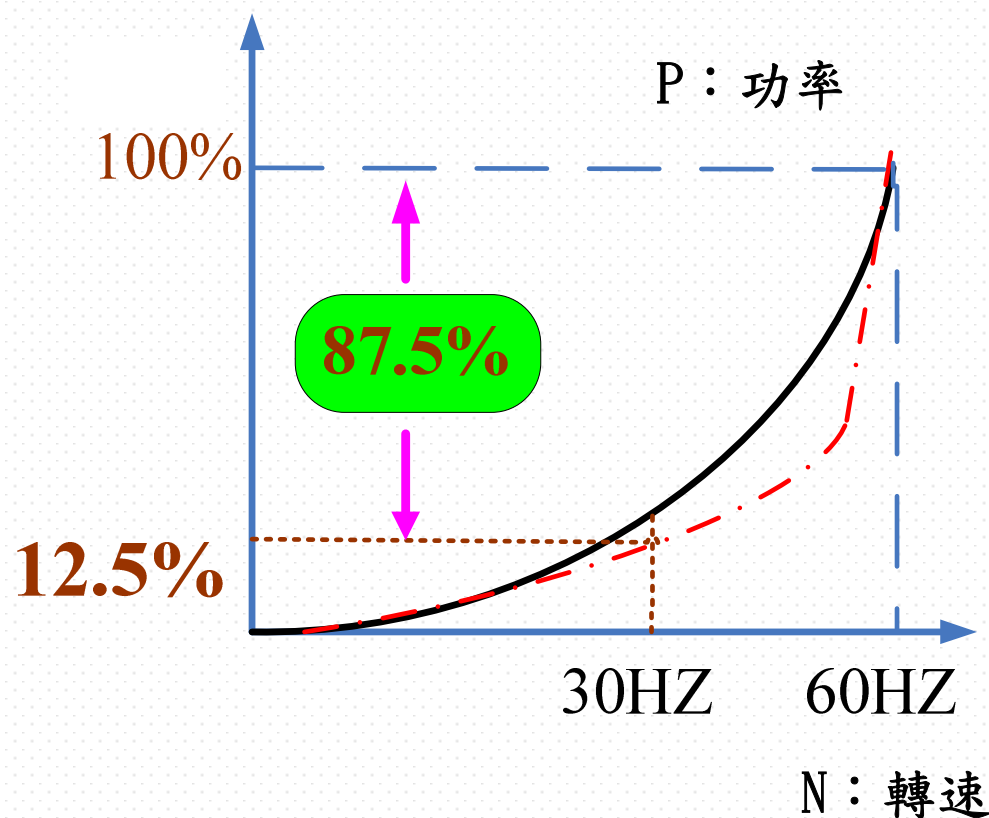
$T(\text{軸轉矩}) \propto N^2(\text{軸轉速})^2$

$P(\text{軸功率}) \propto N^3(\text{軸轉速})^3$



節能效果說明

- 當運轉速度降為30HZ時



$$P = T \times N$$

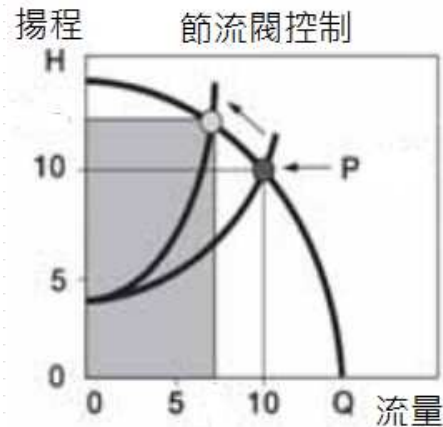
$$P = N^2 \times N$$

$$P = N^3$$

$$\begin{aligned} P &\text{ 正比於 } N^3 \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \\ &= \frac{1}{8} \\ &= 12.5\% \end{aligned}$$

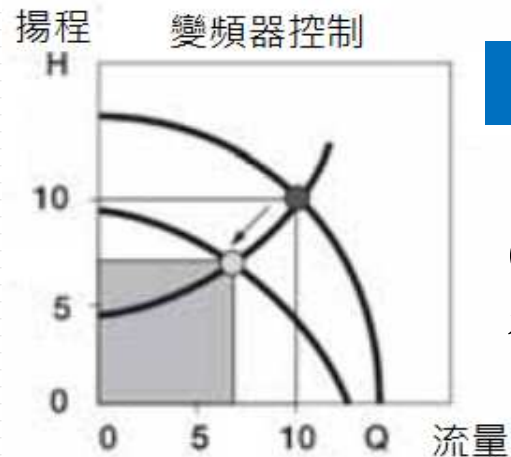
變頻器如何節能

風扇系統/水泵系統（主要耗能與轉速/流量成三次方正比關係）



節流閥控制

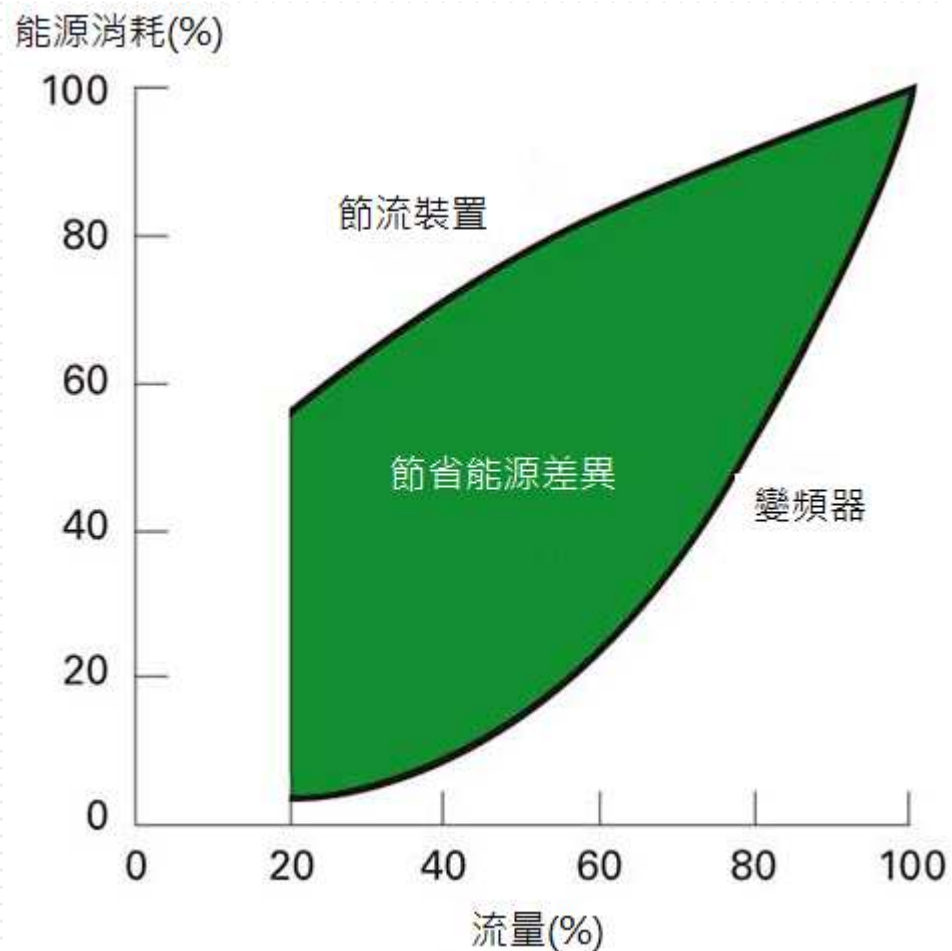
風扇系統與水泵系統多以控制節流閥動作之流動阻力來影響系統曲線，雖可獲得降低流量之效果，相對提升水泵之運轉揚程，耗能相對增加，無法獲得明顯節能效果



變頻器控制

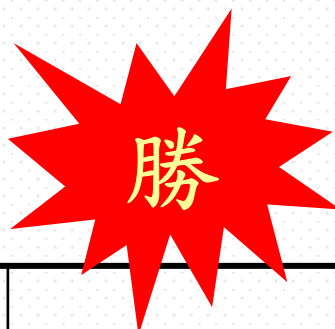
當水泵轉速降低，根據水泵特性，水泵耗能與轉速（或流量）成三次方正比關係。轉速（或流量）越慢，水泵耗能越低，可充分顯現節節能效果

變頻器如何節能



負載	節能效果
100%	0%
90%	27.1%
80%	48.8%
70%	65.7%
60%	78.4%

*實際節能效果以實際負載與馬達特性而有不同



冷卻塔/ 冰水主機	F510	A 牌變 頻器	B 牌變 頻器
150噸/ 100噸	63%	30%	40%
100噸/ 100噸	42%	19%	22%

節能應用實例

① 無熔絲開關
(變頻器用)

② 變壓器
(控制電源用)

③ 無熔絲開關
(台電用)

④ 電磁開關
(台電Y-△用)

⑤ 電抗
(改善電源品質)

⑥ 電源輸入端
(R.S.T)

⑦ 訊號線接線端
(PT-100)

⑧ 電磁開關
(變頻器用)

⑨ F510變頻器

⑩ 計時器
(Y-△啟動用)

⑪ 無熔絲開關
(控制線路用)

⑫ 計時器
(變頻器切換至
台電延時保護用)

⑬ 負載輸出
端子台(U.V.W)



有無加裝變頻器之測試比較

◎測試條件：

- ① 設備條件：冰水主機為100RT，冷卻塔為100RT，冷水設定32℃。
- ② 測試時間：102年6-8月上班時間(08:00~17:00)。
- ③ 測試方式：採用相同冷卻塔及冰水主機輪流測試，並進行記錄比對。

◎測試結果：

測試1：未搭配節能變頻控制系統測試					
運轉模式	溫度設定	運轉日期	運轉一天總計時數	運轉一天耗電度數(度)	每小時耗電度數(度/hr)
台電	—	102.06.10(一)	8:29	18.3	2.157
		102.06.11(二)	9:00	19.4	2.157
		102.06.13(四)	9:00	19.3	2.144
		102.06.14(五)	9:00	19.3	2.144
夏季(戶外溫度32-38℃)			總計時數	總耗電度數	平均電耗(度/hr)
			35hr29min	76.3	2.151

測試2：搭配節能變頻控制系統測試					
運轉模式	溫度設定	運轉日期	運轉一天總計時數	運轉一天耗電度數(度)	每小時耗電度數(度/hr)
變頻模式	32℃	102.08.05(一)	8:52	10.1	1.136
		102.08.06(二)	8:03	11.4	1.416
		102.08.07(三)	8:35	10.8	1.259
		102.08.08(四)	8:40	10.2	1.175
		102.08.09(五)	8:45	8.0	0.914
夏季(戶外溫度32-38℃)			總計時數	總耗電度數	平均電耗(度/hr)
			42hr55min	50.5	1.180



投資設備回收計算實例

馬力數	台電模式		變頻模式		台電、變頻 電費差異 (NT/元)	節能變頻 系統廠價 (NT/元)	設備回本 年限/年
	用電 度數(度)	電費 金額(元)	用電 度數(度)	電費 金額(元)			
7.5	14,502	\$58,008	7,976	\$31,904	26,104	\$71,603	2.7
10	19,336	\$77,344	10,635	\$42,540	34,804	\$71,666	2.1
15	29,004	\$116,016	15,952	\$63,808	52,208	\$106,429	2.0
20	38,673	\$154,692	21,270	\$85,080	69,612	\$129,030	1.9
25	48,341	\$193,364	26,587	\$106,348	87,016	\$130,964	1.5
30	58,009	\$232,036	31,905	\$127,620	104,416	\$154,275	1.5
40	77,345	\$309,380	42,540	\$170,160	139,220	\$195,199	1.4
50	96,682	\$386,728	53,175	\$212,700	174,028	\$200,705	1.2

產業應用及案例

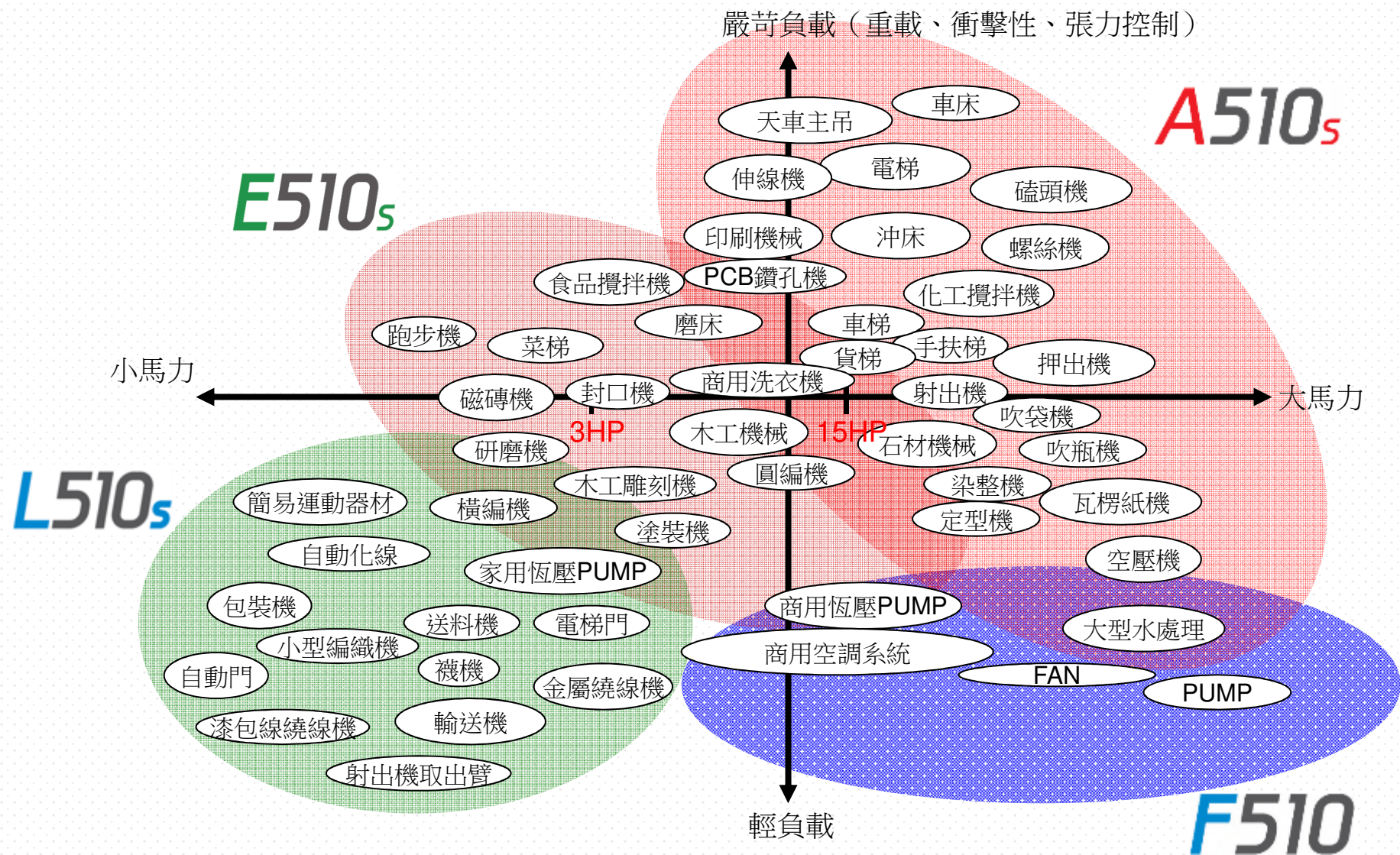
變頻器應用分類及定位

應用分類

新世代510變頻器

重載 泛用型	天車、電梯	   	A510s • 200V 1-150HP • 400V 1-425HP • 575V 1~10HP • 690V 15~270HP
中重載 泛用型	沖床、車床、押出機、射出成型機、 吹袋機、染整機、定型機		
輕中載 HVAC型	風機、水泵、汙水處理、冷卻水塔、 樓宇自動化、大型水處理、HVAC		F510 • 200V 1-175HP • 400V 1-800HP • IP55 400V 1-100HP
輕中載 泛用變速型	木工機械、紡織機、食品加工機、繞 線機、簡易金屬加工機、搬運設備、 簡易工具機床		E510s • 200V 0.5-40HP • 400V 1-75HP • IP66 0.5~25HP
輕載 簡易變速型	輸送帶、食品包裝機、泵浦、風車、 紡織機、一般變速需求		L510s • 100V 0.25-1HP • 200V 0.25-10HP • 400V 1-15HP

產品產業應用



變頻器選型注意事項

- 根據負載特性的不同來選擇變頻器，建議變頻器額定電流為馬達額定滿載電流的1.25倍(輕負載)(與馬達同級)~1.5倍(中重載)(大馬達一級)~2.0倍(重載)(大馬達兩級)。
- 選擇變頻器時應以實際馬達電流值作為變頻器選擇的依據。
- 若負載長期低速運轉，由於馬達發熱量較高，風扇冷卻能力降低，因此必須採用變頻馬達或加大減速比的方式。

變頻器選型注意事項

- 對於一些特殊的應用場合，如高環境溫度、高開關載波頻率、高海拔高度等，此時會引起變頻器的降額定，變頻器需加大一級選擇。
- 變頻器安裝地點必須符合環境的要求，若環境潮濕或粉塵較多，建議選用較高保護等級的變頻器，以避免容易故障或縮短變頻器使用壽命。
- 變頻器與驅動馬達之間的距離一般不超過50米，若馬達線距離更長，則電壓突波則會更大，將造成對馬達絕緣破壞，此時需降低載波頻率或增加輸出電抗器或輸出側濾波器等選配件，以避免損壞馬達。

天車(垂直軸)

試車說明

變頻器型號	A510-2010-H3
控制模式	V/F + 自動轉矩補償
馬達規格	5HP
吊車規格	2.8噸
段速控制	60Hz, 6Hz, 4Hz

應用需求

低速高啟動轉矩 / 調機簡易

- 低速高啟動轉矩：200%/0.5Hz (SLV Mode), 150%/3Hz (V/F Mode)
- 獨特的Autotuning技術(靜態+動態)
- 優異的TN曲線特性
- 零伺服機能(Zero Servo)

低馬達噪音驅動

- 高載波設計 + Soft-PWM調變技術



衝擊電流防止 / 高過載耐量 / 高可靠度

- 32Bit MCU高速運算
- ASIC毫秒級(us)硬體保護
- 150%/60sec, 200%/2sec過載能力
- 閉迴路控制模式(SV, V/F+PG)
- JN5-PG-0, JN5-PG-L

沖床(單軸/雙軸/曲軸)

試車說明

變頻器型號	A510-4020-H3(4050/4075)
控制模式	SLV + 智慧型過壓防止
馬達規格	380V 50Hz 20Hp 4P 1470rpm 28A (同級)
沖床規格	SNS-160 單臂, 氮氣彈簧
沖床行程	25 ~ 44.7mm (30 ~ 55rpm / 26 ~ 50Hz)

應用需求

能量回生不跳機(OVP) / 調機簡易 / 低掉速(Slow Rate)

- 低速高啟動轉矩：200%/0.5Hz (SLV Mode)
- 獨特的Autotuning技術(可帶飛輪動態Tuning)
- 智慧型過壓防止技術(節能)

耐環境油污 / 盤外安裝 / 機台耐震動

- 保護等級達IP20/NEMA1(2040/4060以下)
- 全系列PCB板塗層處理
- 通過IEC60068-2-6震動標準, 最大加速：1.2G (12m/s²)



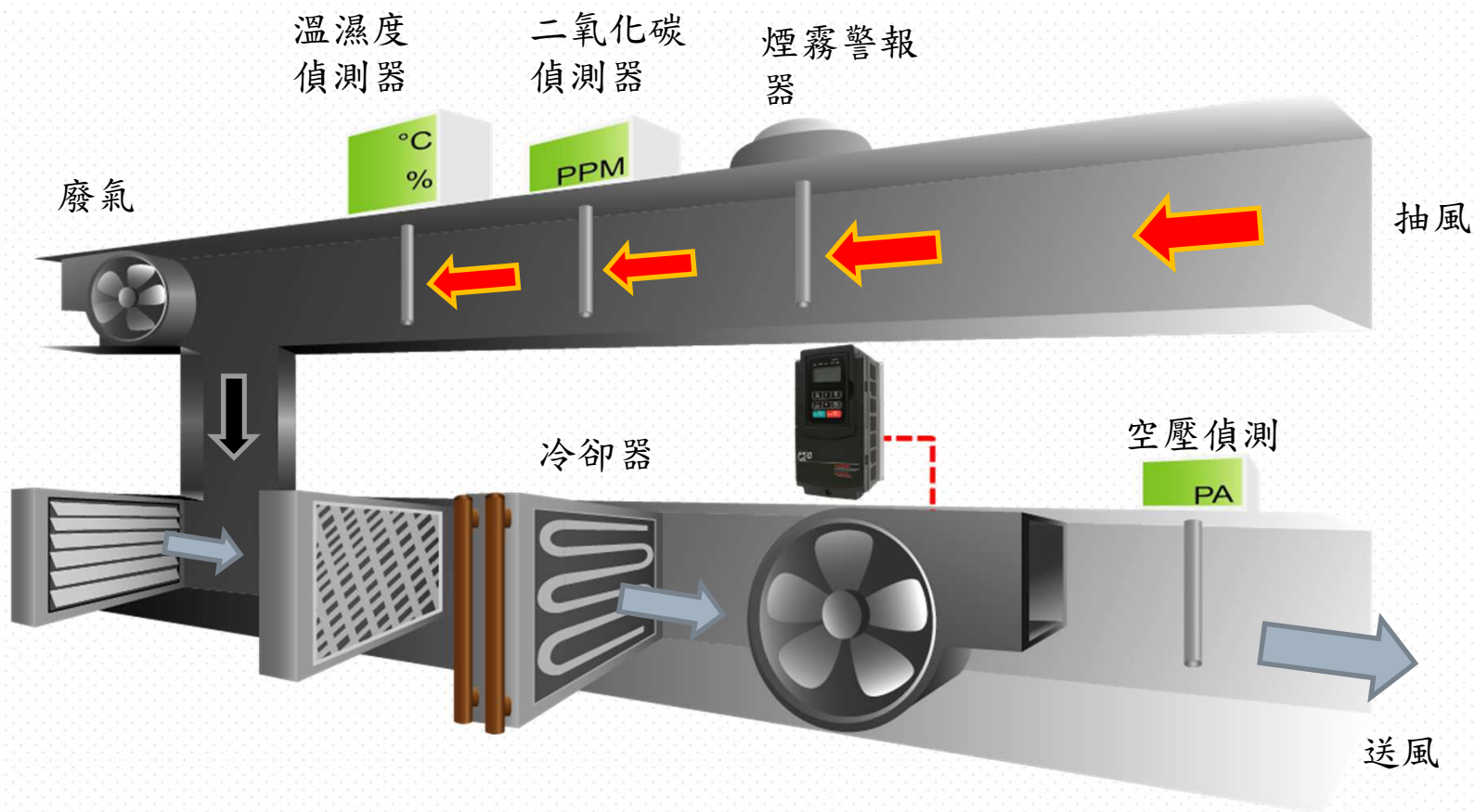
衝擊電流防止 / 高過載耐量 / 高可靠度

- 32Bit MCU高速運算
- ASIC毫秒級(us)硬體保護
- 150%/60sec, 200%/2sec過載能力

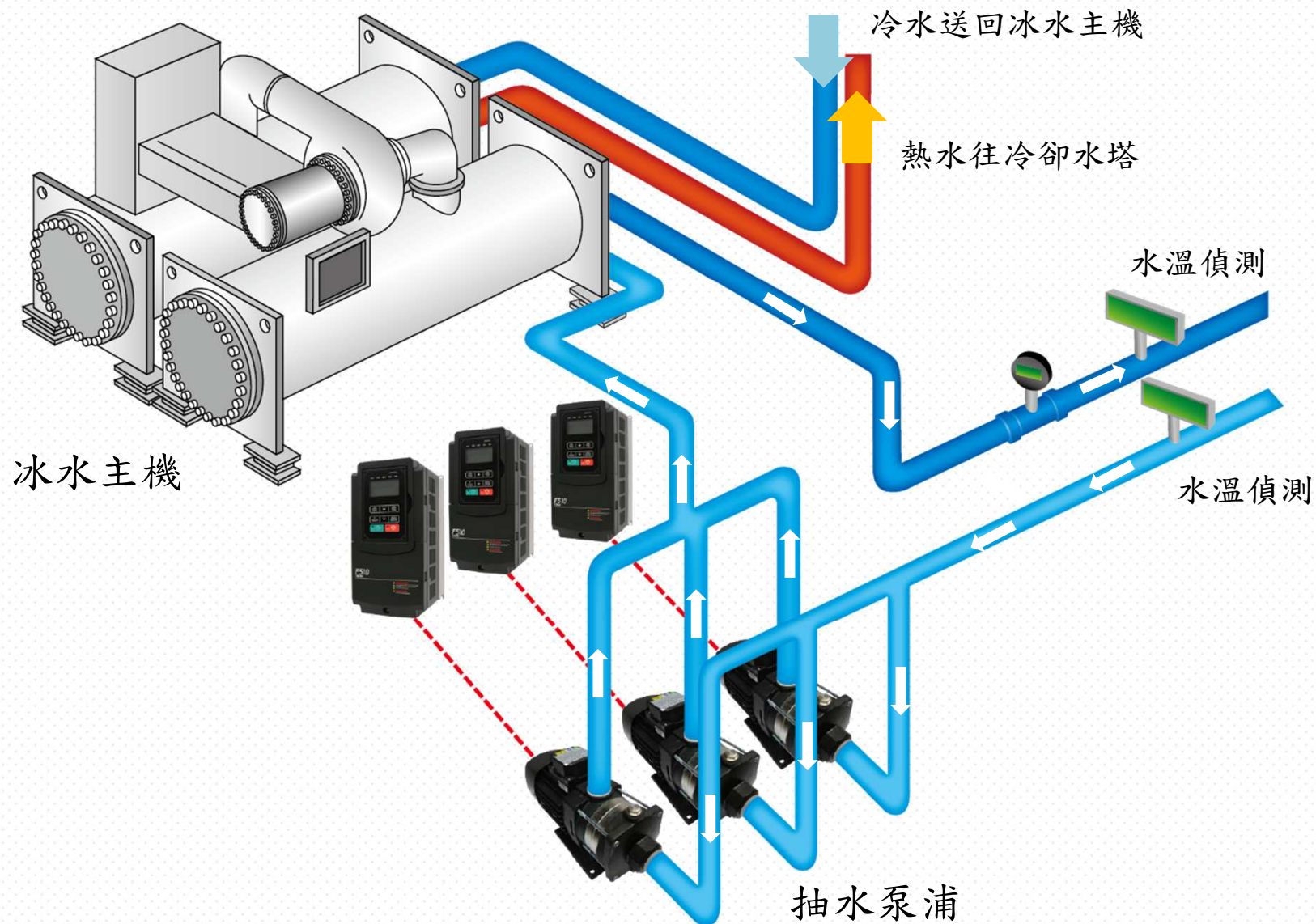
低馬達噪音驅動

- 高載波設計 + Soft-PWM調變技術

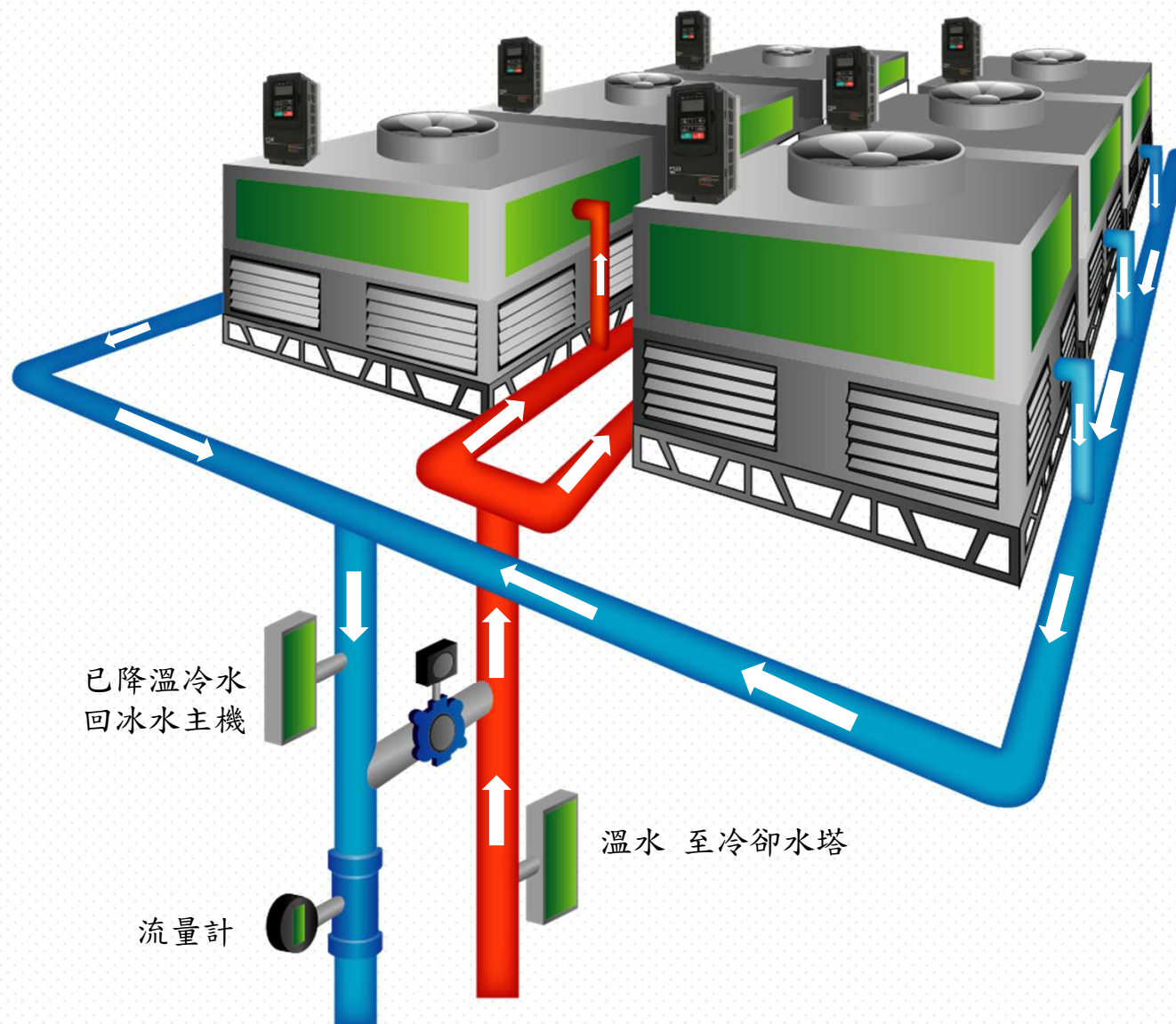
送風排氣系統



冰水主機系統



冷卻水塔系統





廠房空調與集塵系統案例影片



廠房空調與集塵系統3D模擬

變頻器應用案例影片

A510(s) 應用集錦



布料染整業應用實況



變頻器搭配永磁同步馬達應用影片





**Thanks for Participating
&
Enjoy the Training!!**

中壓變頻器應用技術

東元電機(股)公司

機電系統營銷事業部

系統產品專案小組

張家瑞 資深工程師

一. 中壓變頻器基本認識

1> 容量範圍及基本結構

2> 變頻器驅動馬達的基本原理

3> 產業應用

• 緩衝啟動 • 風水力機節能應用 • 工業自動化

二. 中壓變頻器對電力系統及馬達的影響

三. 中壓變頻器架構及特點

1> 中壓變頻器架構

2> 中壓變頻器輸出入電氣特性

3> 客製化需求

4> cell by-pass處理方式

5> 一對多，同步投切應用

6> HMI觸控面板操作及訊息顯示

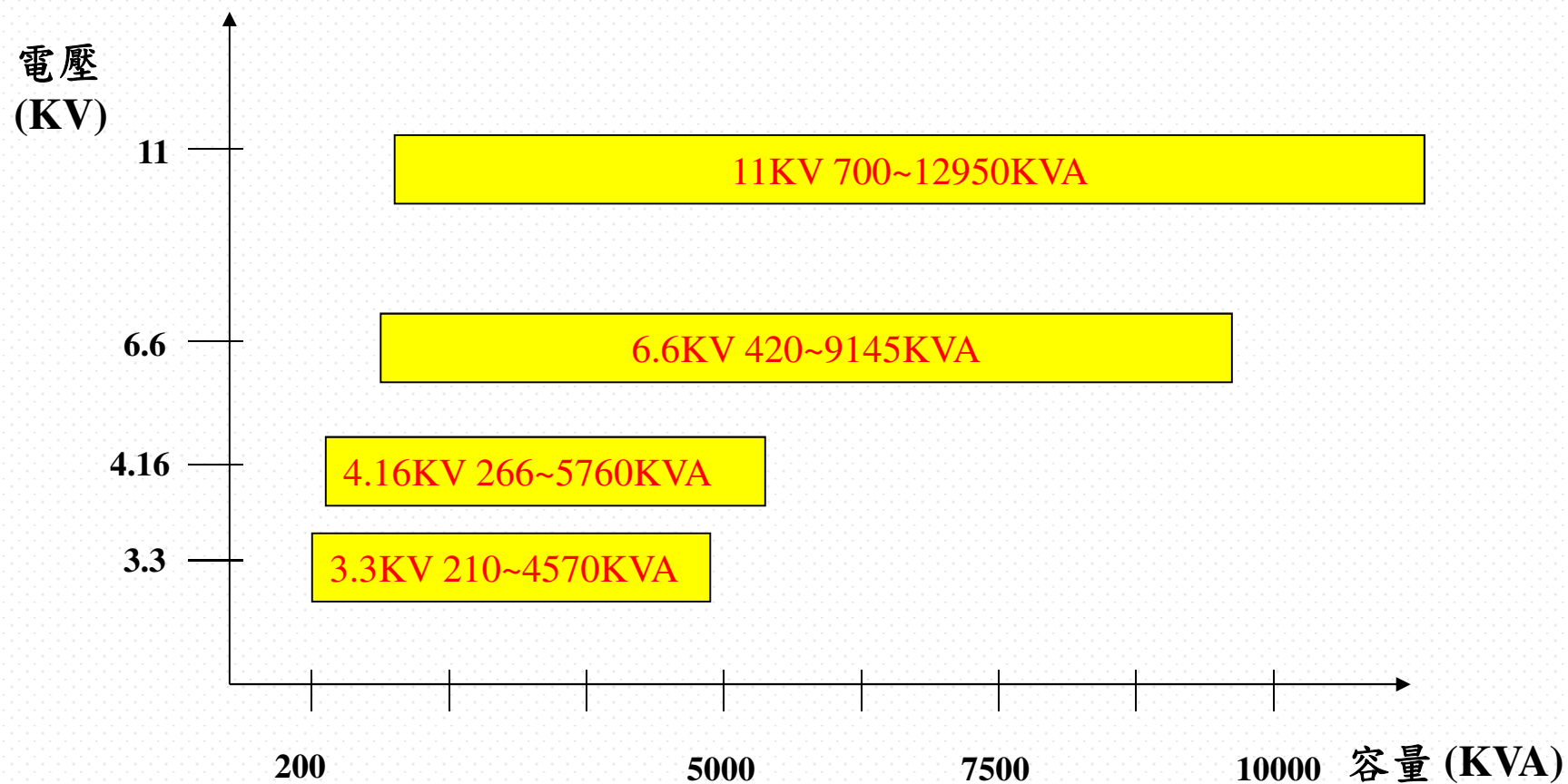
一. 中壓變頻器基本認識





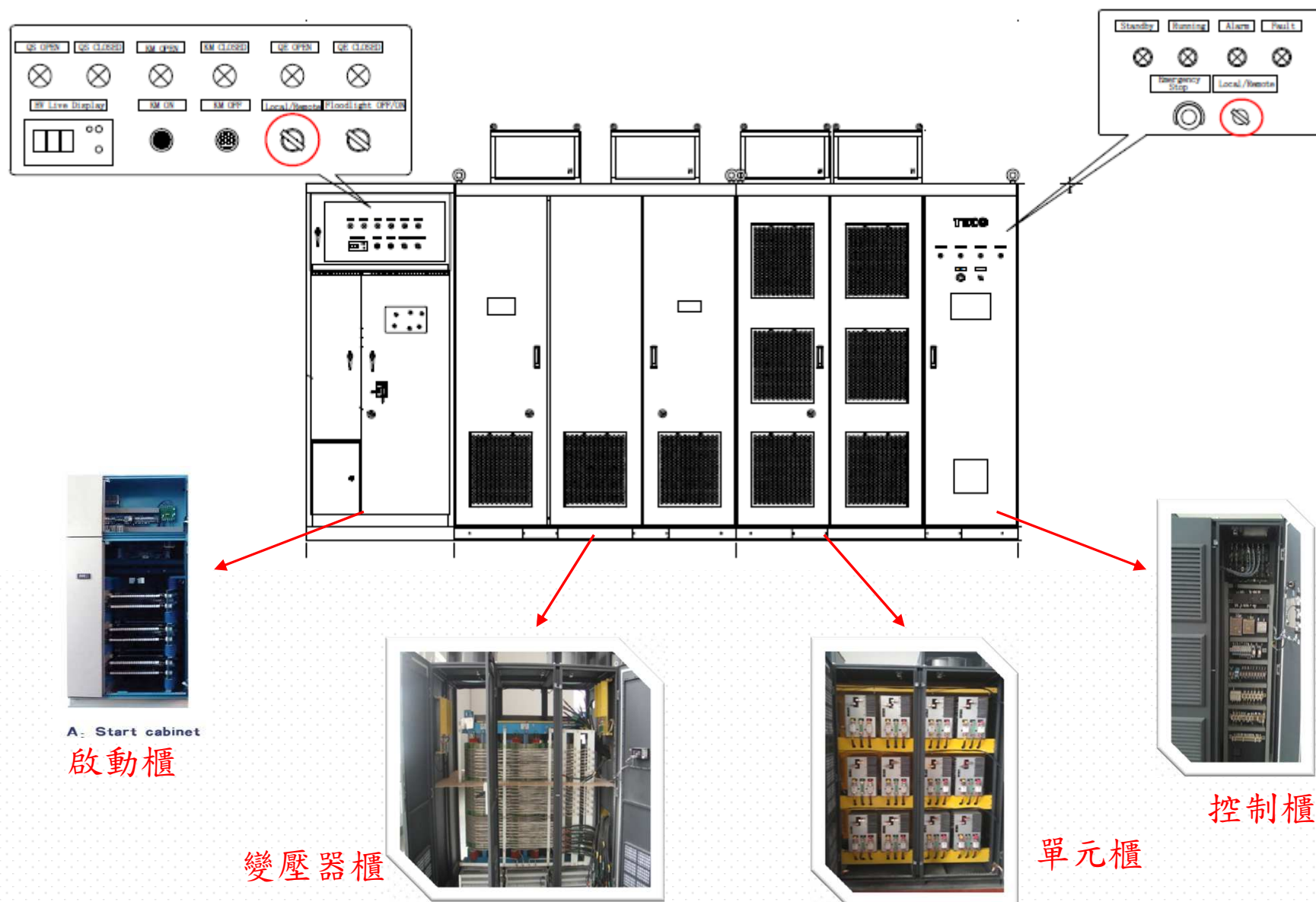
中壓變頻器容量範圍

一般中壓變頻器容量範圍



輸出電流: 25A ~ 800A

中壓變頻器的構件（多重串聯架構）





變頻器的驅動原理

- 變頻器是變電壓變頻率(VVVF)電氣輸出的電源供應器。
- 變頻率是改變馬達轉速，變電壓以提供馬達足夠扭力。
- 可驅動感應馬達或同步馬達，提供變速及高扭力特性。
- 須考慮變頻器對電力系統及馬達的影響

感應馬達在定磁通($E/f = K \Phi$)條件下，馬達T-N曲線的最大扭力是保持固定(如右圖所示)。

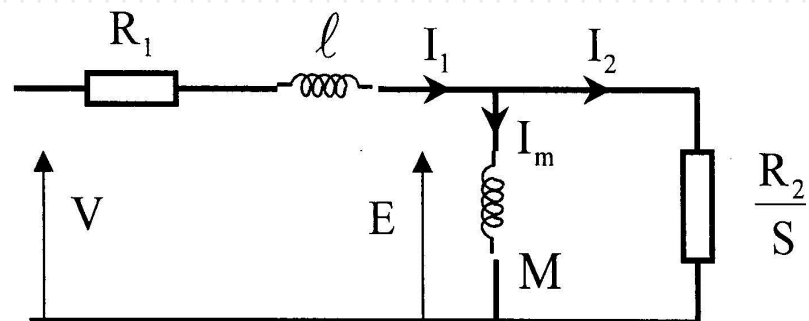
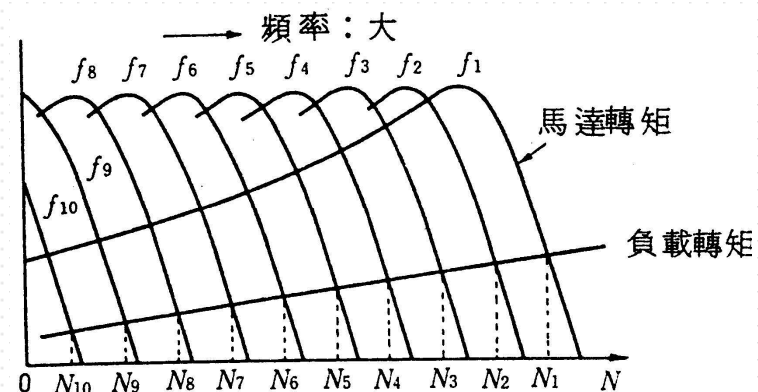
改變輸出頻率即改變馬達轉速 N

$$N = \frac{120 f}{P} (1 - S)$$

感應馬達靜態等效電路如右圖

磁場 Φ $E/f = K \Phi$

(一般額定轉速下 $\Phi = \text{Const.}$)

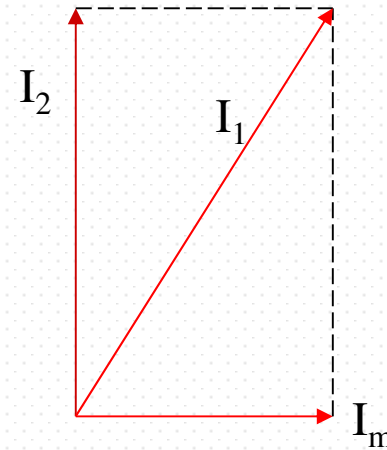


控制輸入電壓會有一次側壓降問題： $V - E = \Delta V = I_1 (R_1 + j\omega l)$

控制電流即控制扭力提供低速高扭力

及高響應特性： $T = K \Phi I_2$,

$$\Phi = M I_m$$



驅動同步馬達

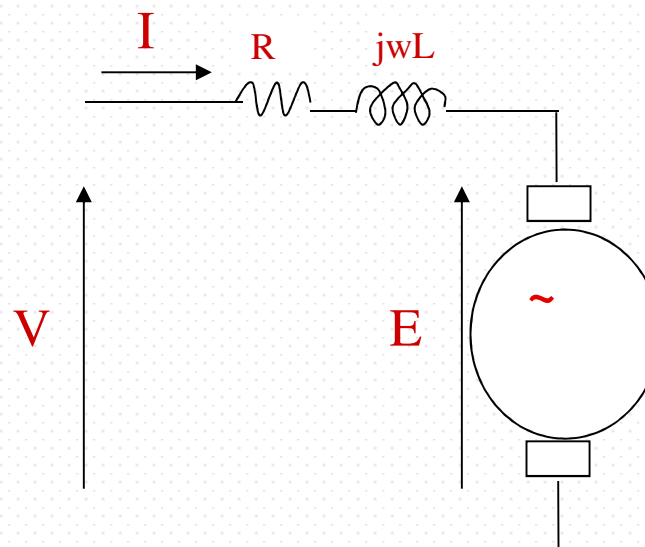
同步馬達磁通獨立提供，馬達旋轉會產生反電動勢 E 。磁場固定的條件下，
扭力與電流 I 成正比關係。 $E/f = K\Phi$ $T = K\Phi I$

改變輸出頻率即改變馬達轉速 N

$$N = \frac{120 f}{P}$$

同步馬達靜態的等效電路圖如右
輸入電壓 V 需高於反電動勢 E
才能驅動馬達

$$V - E = \Delta V = I (R + j\omega L)$$



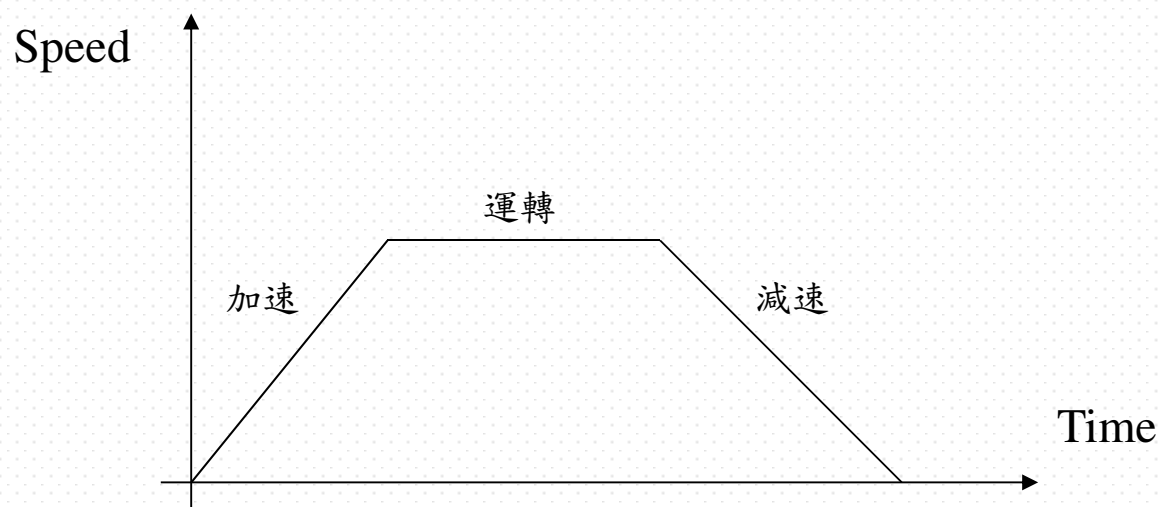


產業應用：緩衝啟動

緩衝啟動的方式：一次電抗，緩衝啟動器，繞線式感應馬達二次電阻，變頻器等等。感應馬達直接啟動時啟動電流會到額定電流6~8倍。

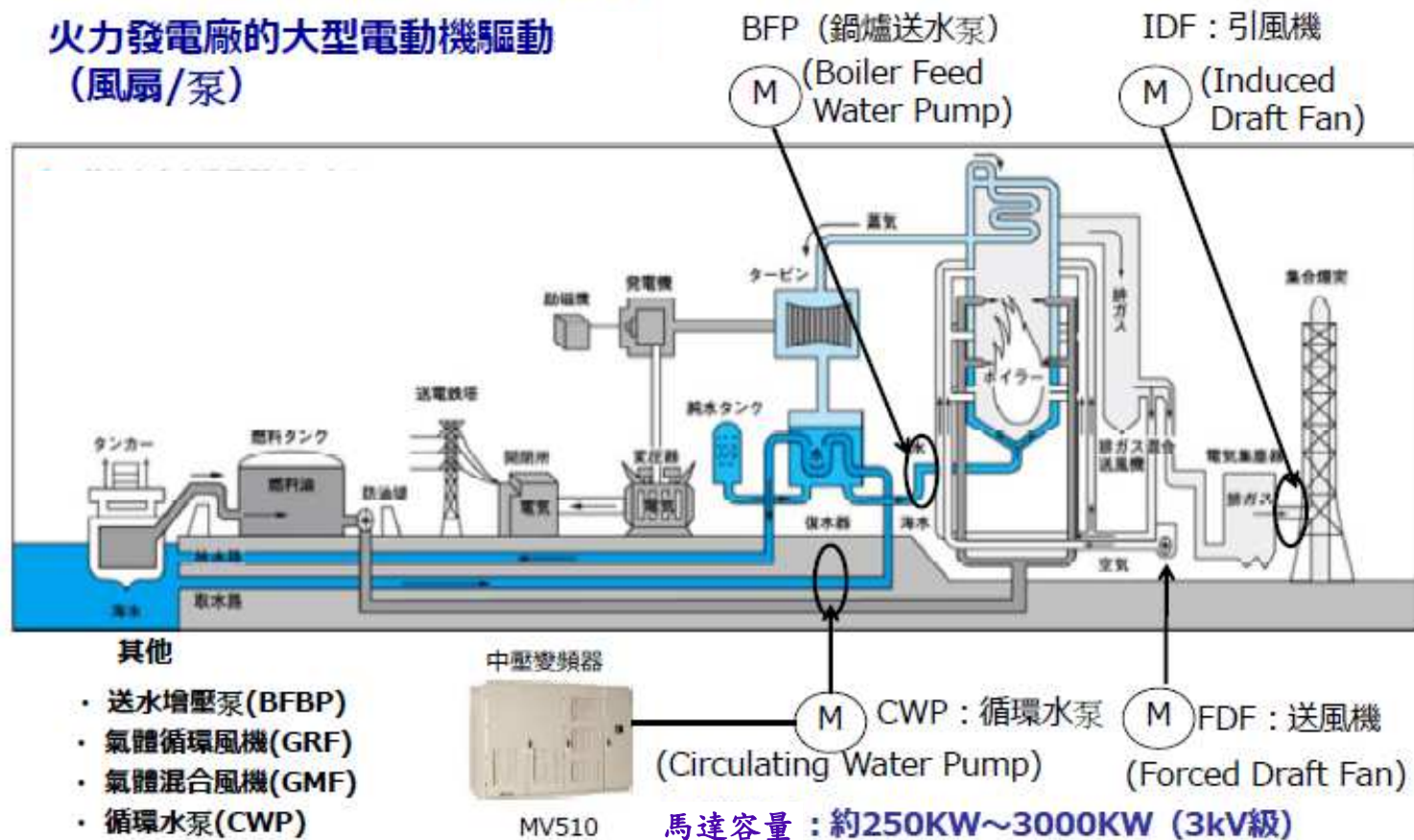
可使用一次電抗或緩衝啟動器啟動感應馬達但啟動電流是額定的3~4倍。也可採用繞線式感應馬達，做二次電阻啟動(啟動電流是額定2~3倍)，但同樣啟動次數會受到限制。

使用中壓變頻器啟動，啟動電流僅額定電流左右，所以可以頻繁啟動不受限制。



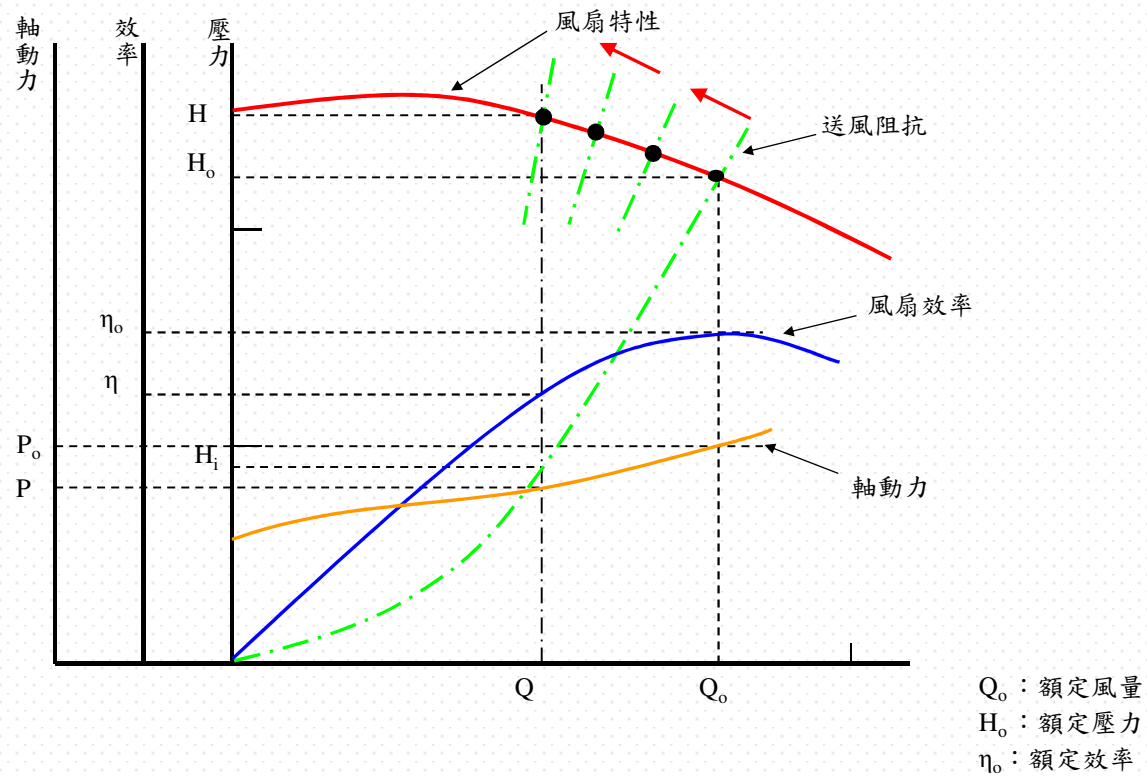
產業應用：風水力機節能應用

Fan, Pump 等風水力機械在產業界應用非常廣泛



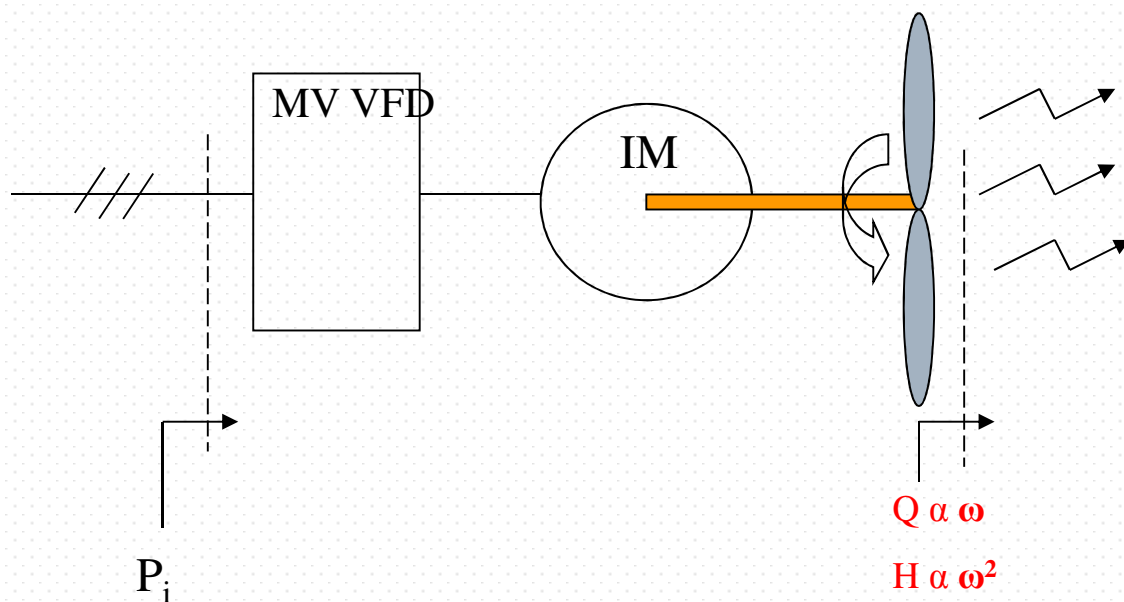
以檔板控制風量的特性曲線

控制風水力機的流量，早期的做法是在馬達全速運轉下採用檔板控制流量，流量雖減小但風壓增加，風扇效率變差造成能量損耗。



以變頻器控制轉速的特性說明

改用變頻器驅動馬達轉速，直接控制流量。



$$Q \propto \omega$$

$$H \propto \omega^2$$

$$P_o \propto \omega^3$$

輸出風量功率是馬達轉速

立方成正比！

$$P_i = \frac{\left(\frac{Q}{Q_o}\right)^3}{\eta_o \eta_m \eta_i} \times Q_o H_o$$

Q_o ：額定風量

H_o ：額定風壓

η_o ：風扇效率

η_m ：馬達效率

η_f ：變頻器效率

於集塵器用風扇的節能效果

① 擋板控制時

風量50%時的風壓, $H_d = 1.03 + 0.56 \times 0.5 - 0.59 \times 0.5^2 = 1.16$

所需功率 $P_D = \frac{QH}{6120 \eta_f \eta_m} = \frac{0.5 \times 1.16}{6120 \times 0.6 \times 0.9} \times 5000 \times 500 = 438 \text{ kW}$
 $\eta_m = 0.9$ 電動機的效率

② 變頻器控制時

風量50%時的風壓, $H_i = 0.5^2 = 0.25$

所需功率 $P_i = \frac{QH}{6120 \eta_f \eta_m \eta_i} = \frac{0.5 \times 0.25}{6120 \times 0.7 \times 0.9 \times 0.95} \times 5000 \times 500 = 85.3 \text{ kW}$
 $\eta_i = 0.95$ 變頻器的效率

③ 節約電力

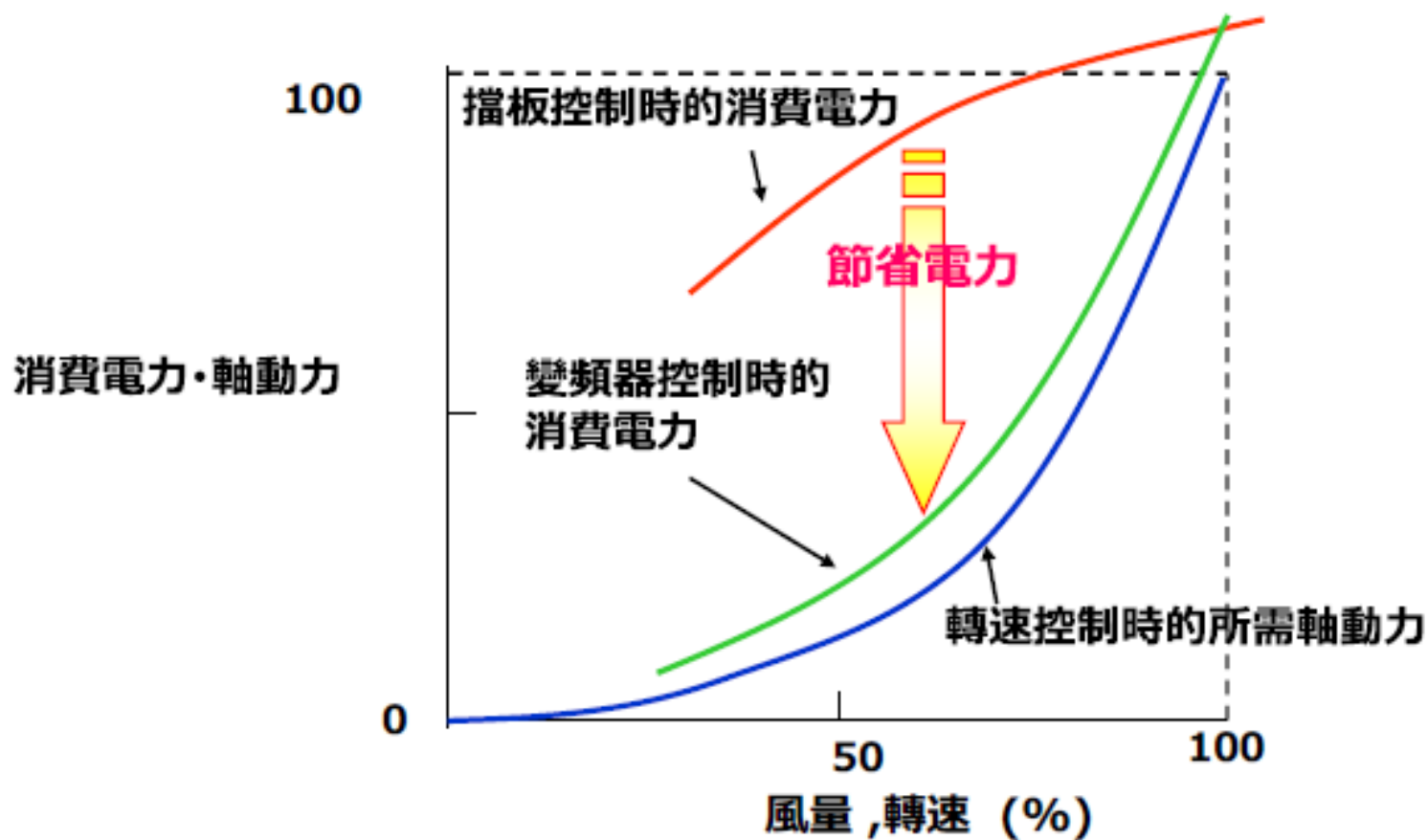
$$P_s = P_d - P_i = 352 \text{ kW}$$

以台灣電費 3元台幣/KWh的電費單價、年運轉8000小時來計算、可節約電費是

$$352 \times 3 \times 8000 = 844.8 \text{ 萬元。}$$

註: 電動機 560KW 額定風壓 500 mmAq 額定風量 5000 m³/Min

集塵器用風扇的運行方式和節能量



遞減轉矩負載：如風水力機負載(如風扇,幫浦等流體負荷)。轉矩是隨轉速遞增而倍增。控制轉速用在節能的效果非常明顯。

定轉矩負載：一般的機械負載。轉矩大小與轉速無關。負載會比較重甚至要求低轉速高扭力,甚至高響應的特性。用在押出機,輸送帶,旋窯,攪拌機,工作機械等等工業自動化設備。



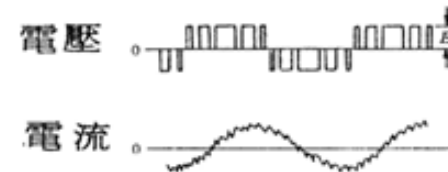
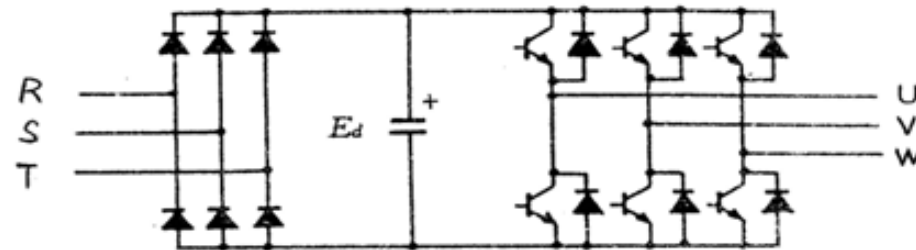
二. 中壓變頻器對電力系統及馬達的影響



中壓變頻器對電力系統及馬達的影響

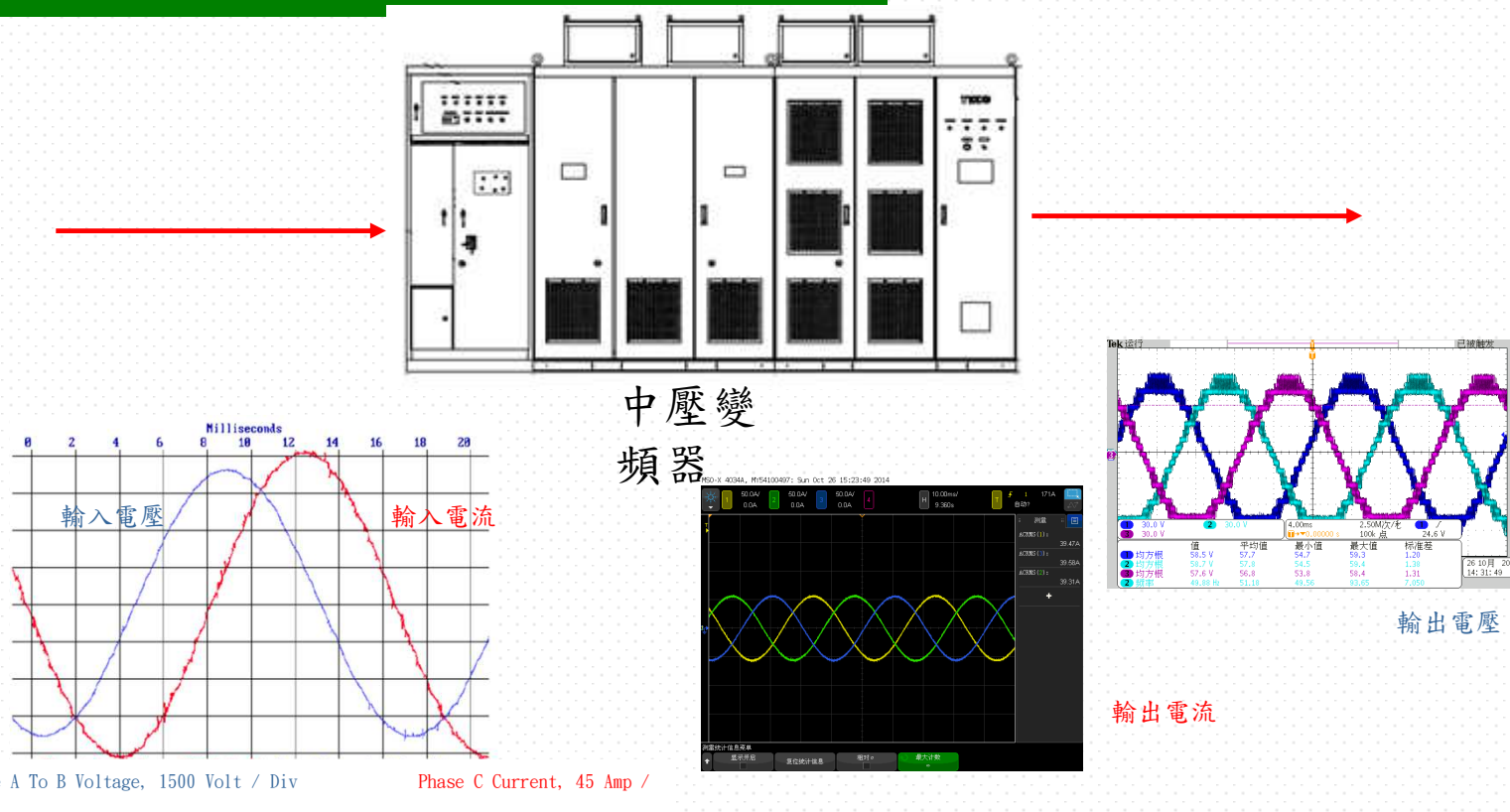
低壓變頻器對電力系統及馬達的影響有一些詬病

主回路架構



- 輸入電流諧波很大
加輸入電抗 滿載THD在43%左右
- 輸入功因 加輸入電抗滿載為0.9
- 輸入電壓 dv/dt 值 馬達線長下對定子線圈絕緣的破壞
- 低載波情況下 輸出電流波形失真
馬達溫度提昇

中壓變頻器輸出入波形



- 輸入電流諧波滿載THD<5%
- 6.6KV級以上滿載THD<2%
- 輸入功因 0.94 ~0.97 滿載功因 0.97

- 多電平電壓 dv/dt 值小 對馬達絕緣不造成破壞
- 輸出電壓波形已似正弦波 輸出電流波形不失真



中壓變頻器優異特性

中壓變頻器優異特性：

- 對風水力機省能的效果特別明顯。
- 啟動電流很小，可頻繁啟動。
- 輸入電流的諧波很小可符合 IEEE519規範要求。
- 輸入功因很大，所以輸入電流變小。
- 多電平多階疊波技術，有效降低 dv/dt 值對馬達絕緣破壞，可適用於舊馬達設備。
- 輸出電流已是完美的正弦波波形，有效降低馬達溫昇。

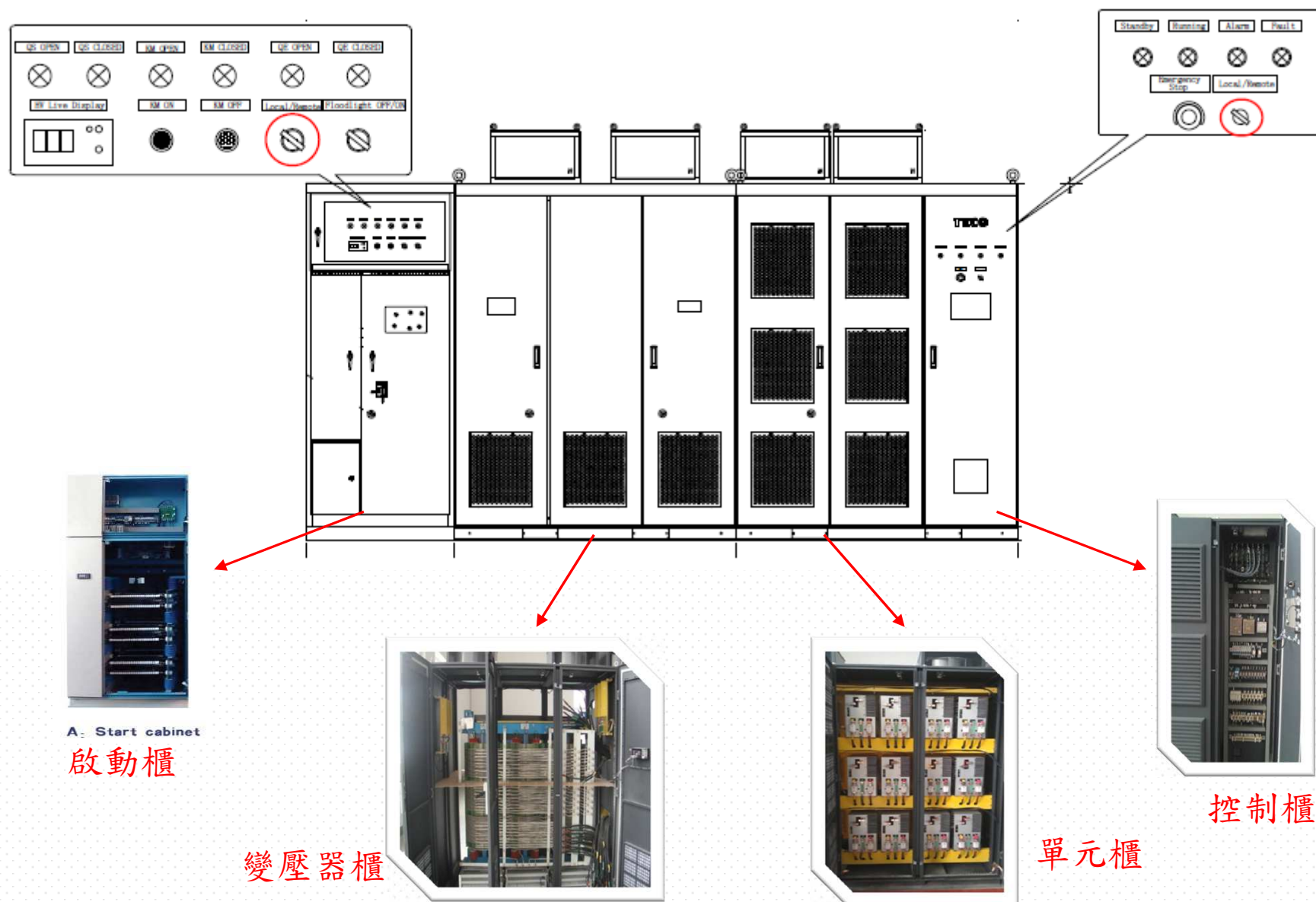
三. 中壓變頻器架構及特點





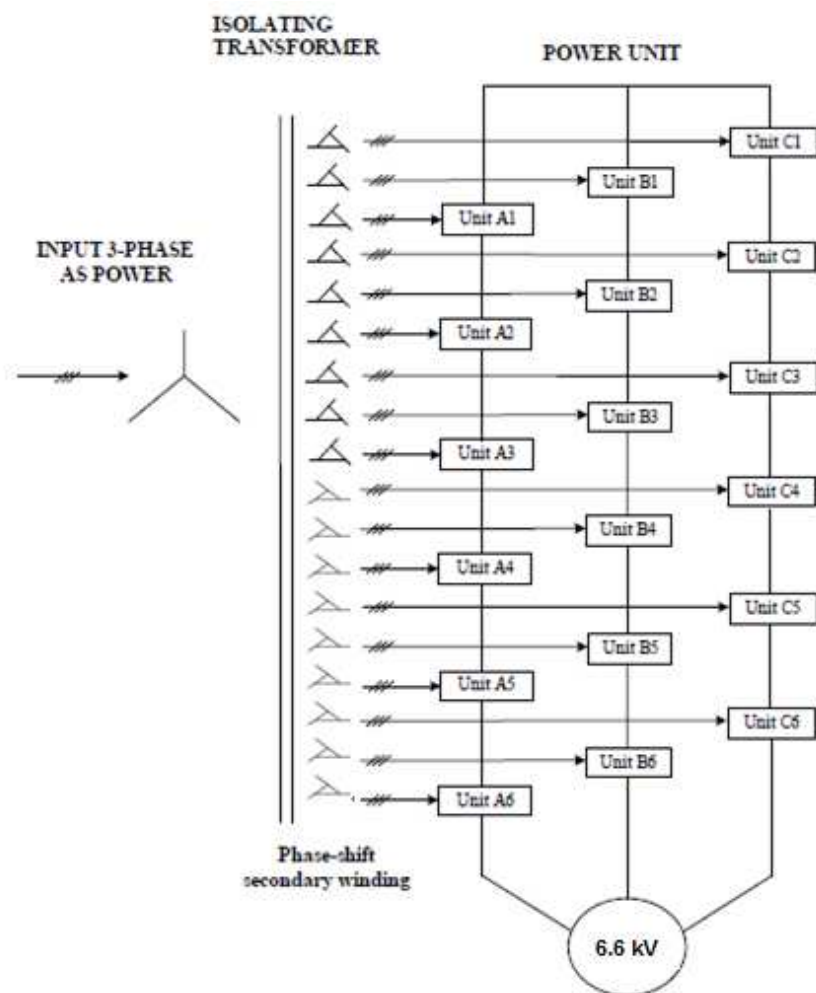
(10KV 1700KVA 中壓變頻器)

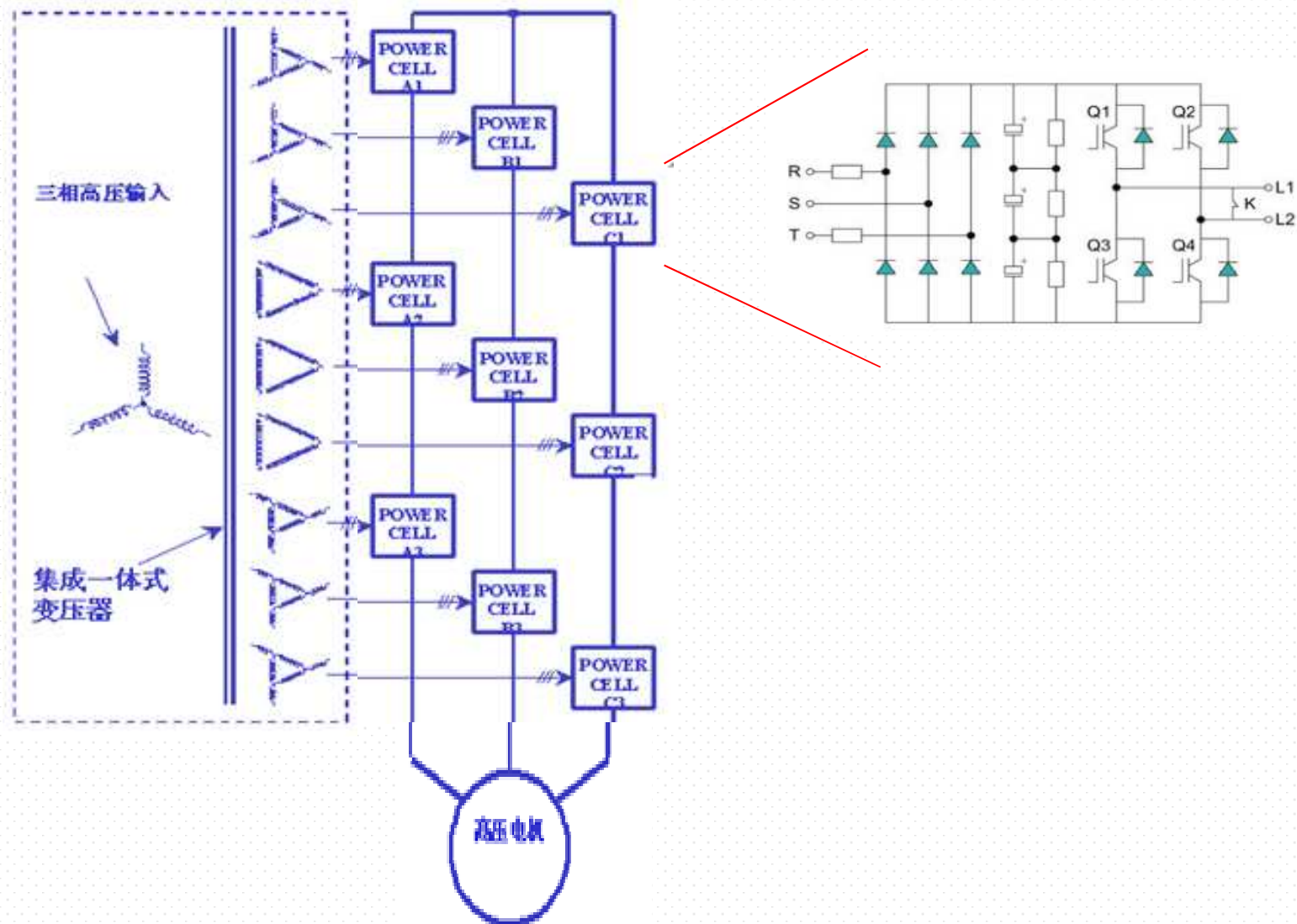
中壓變頻器的構件（多重串聯架構）



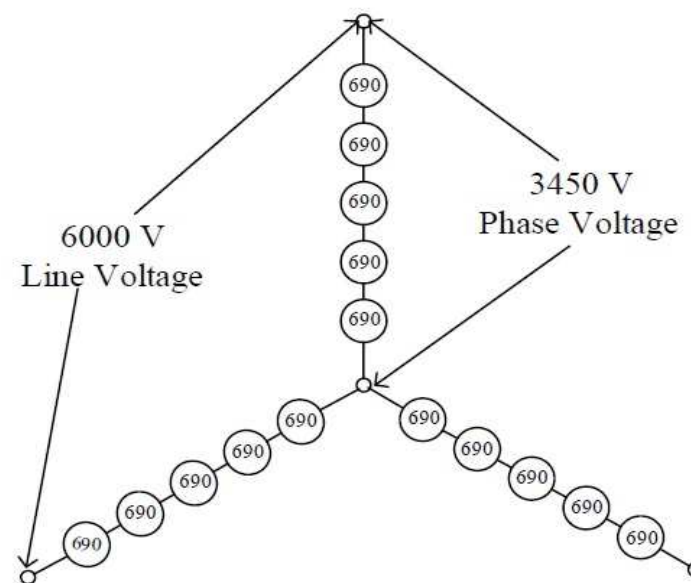
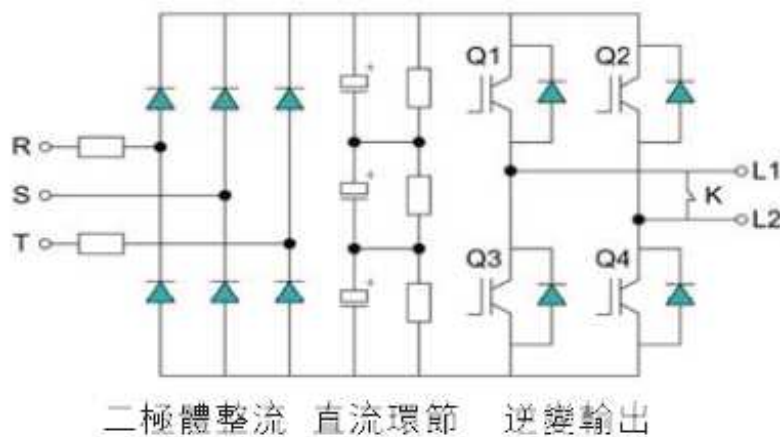
H 橋多重串聯型的中壓變

IGBT電力電子元件耐壓
較低，主回路架構採降壓
再串連升壓方式





每個 power cell 輸入電壓為
690Vac經整流後PN bus電壓為
970Vdc左右輸出PWM電壓波形
最 大輸出電壓為690Vac



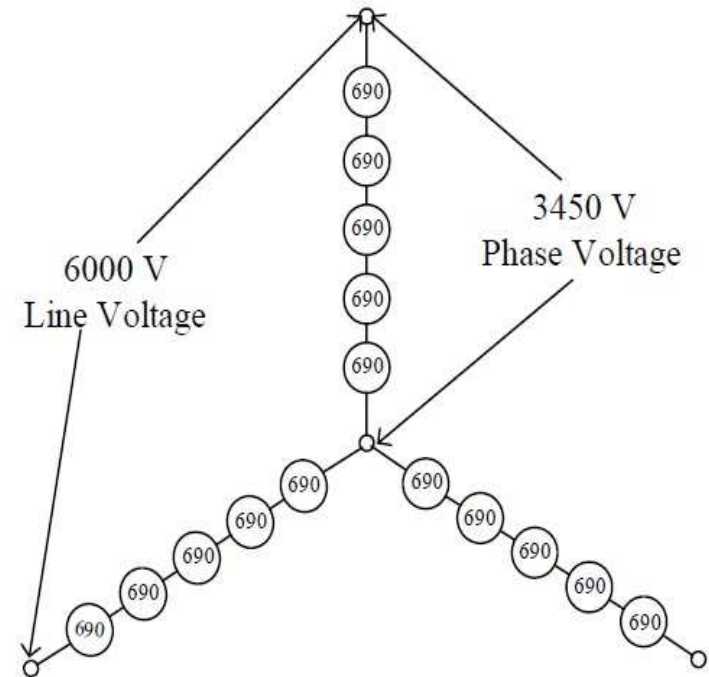
6kV VFD 5 Power Cells per
Phase Out Voltage

$$690 \text{ Vac} \times 5 = 3450 \text{ Vac}$$

Line to Line Voltage :

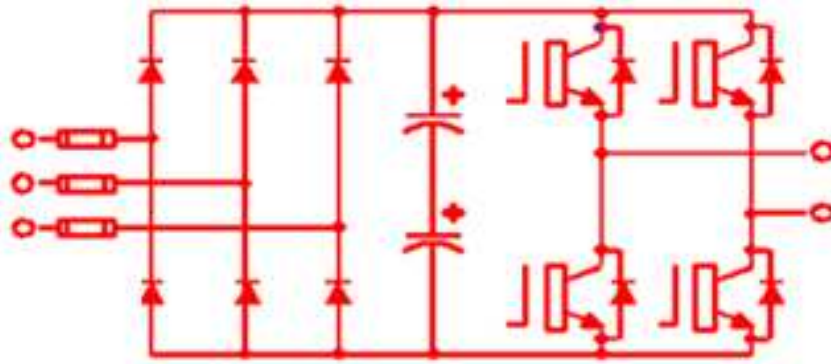
$$3450 \times (\sqrt{3}) = 5975 \text{ Vac}$$

Voltage (kV)	Rectifier (Pulse)	Power Cell (Unit)
2.3	18	9 (3/phase)
3.3	18	9 (3/phase)
4.16	24	12 (4/phase)
6	30	15 (5/phase)
6.6	36	18 (6/phase)
10	48	24 (8/phase)
11	54	27 (9/phase)

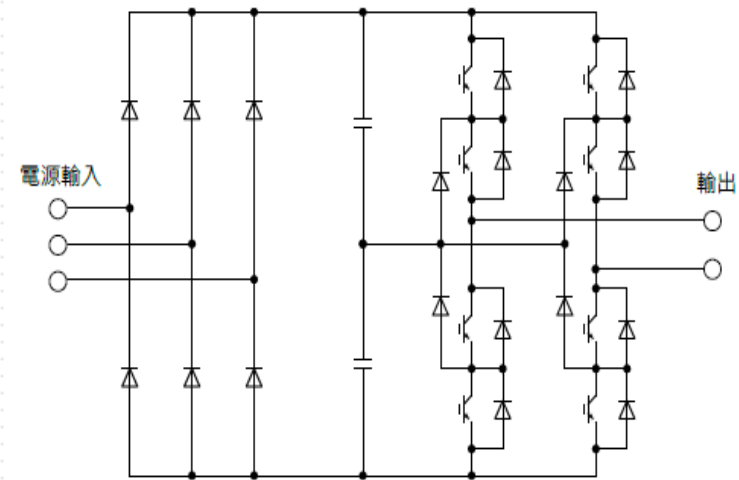


6kV VFD 5 Power Cells per phase cascade

2 level & 3 level power cell 差異



2 level power cell

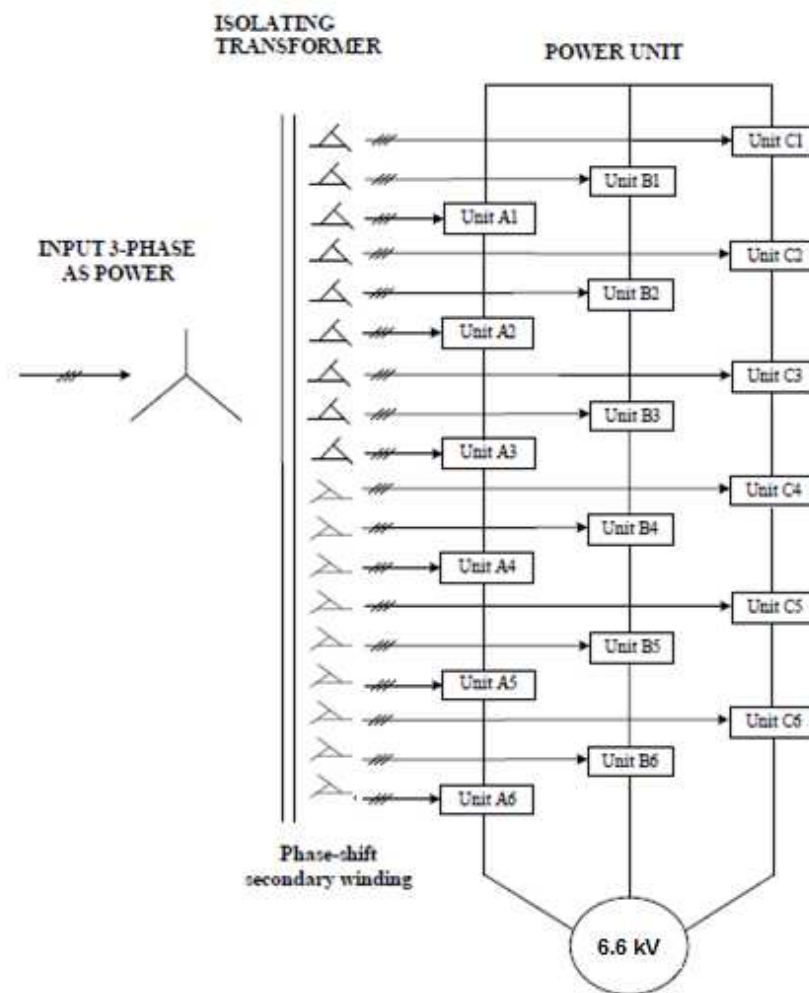


3 level power cell

使用移相變壓器針對每相串接的 n 個 power cells 做電壓移相，依相上每個 power cells 做 $60^\circ/n$ 角度遞延，達到 $6n$ 相脈波效果。

例： $n = 6$ $60^\circ / 6 = 10^\circ$

取 $5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, -5^\circ, -15^\circ, -25^\circ$ 6 個角度
(相互對稱)



輸入電流波形因對稱所以無偶次諧波，三相平衡則無三次倍數諧波。理論上：

12脈衝整流：11次以下諧波可抵銷

18脈衝整流：17次以下諧波可抵銷

24脈衝整流：23次以下諧波可抵銷

30脈衝整流：29次以下諧波可抵銷

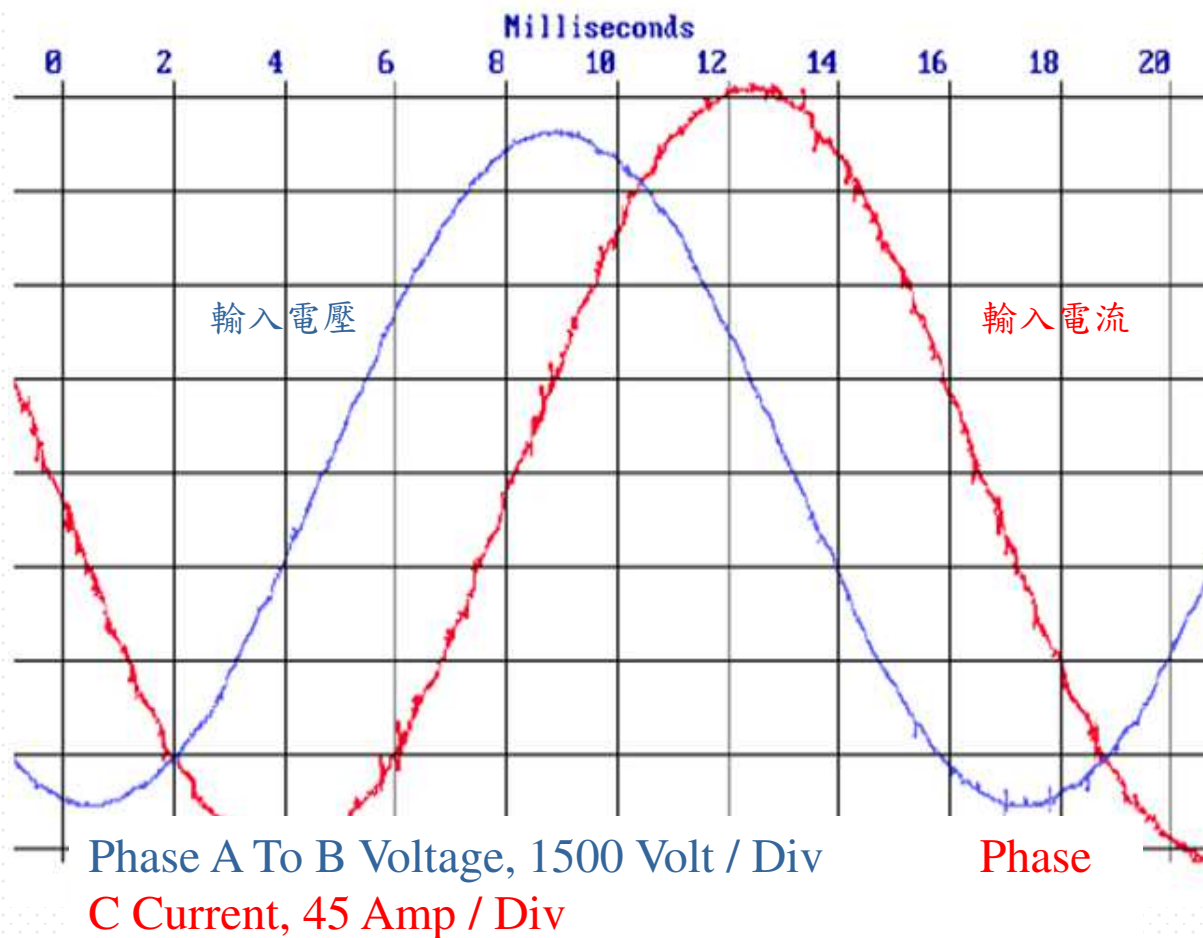
36脈衝整流：35次以下諧波可抵銷

6n相脈波 n越大THD越小(n最小為3) $THD < 5\%$ 可符合IEEE519要求

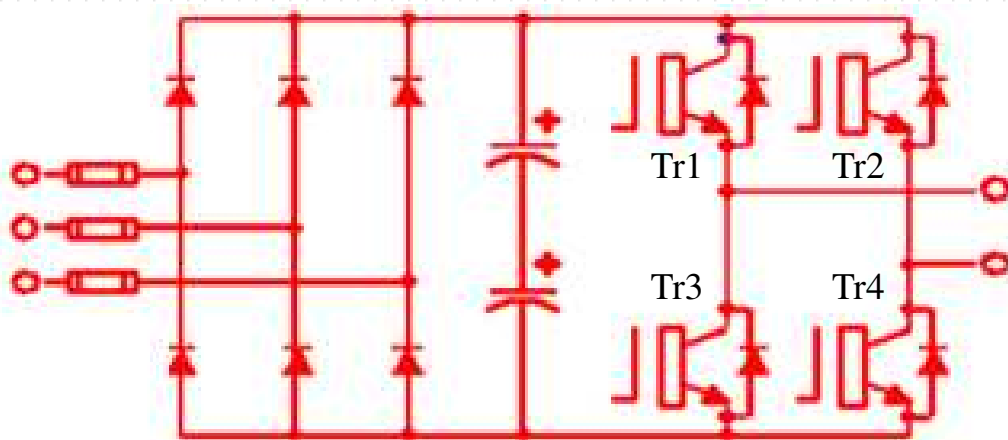


輸入電流波形

4.16KV 滿載時輸入波形



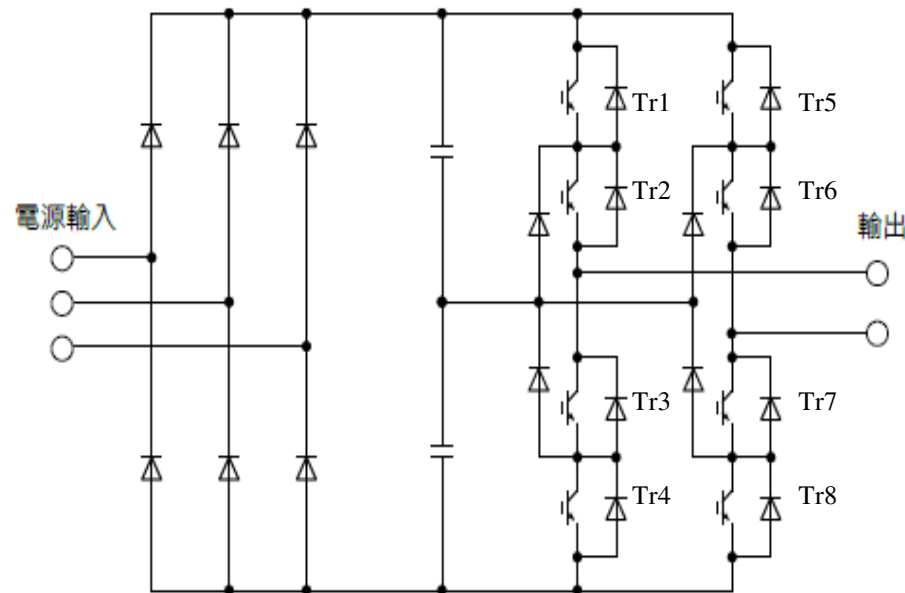
2 level power cell有三種態勢 V_{PN} , 0 , $-V_{PN}$ ，所以每相有 n 個power cells
其相電壓可構成 $2n+1$ 階似正弦波電壓，相跟相間所構成的線電壓則有
 $2(2n+1)-1$ 階正弦波電壓



2 Level power cell

Tr 1 , Tr 4 : on $\rightarrow$ “ V_{PN} ”
Tr 1 , Tr 2 或 Tr 3 , Tr 4 :on $\rightarrow$ “0”
Tr 2 , Tr 3 : on $\rightarrow$ “ $-V_{PN}$ ”

3 Level power cell有5個電平分別 1 , $\frac{1}{2}$, 0 , $-\frac{1}{2}$, -1



Tr 1 , Tr 2 , Tr7 , Tr8 : on $\rightarrow$ “1”
 Tr 2 , Tr 3 , Tr7 , Tr8
 Tr 1 , Tr 2 , Tr6 , Tr7 : on $\rightarrow$ “ $\frac{1}{2}$ ”
 Tr 1 , Tr 2 , Tr5 , Tr6
 Tr 3 , Tr 4 , Tr7 , Tr8
 Tr 2 , Tr 3 , Tr6 , Tr7 : on $\rightarrow$ “0”
 Tr 3 , Tr 4 , Tr6 , Tr7
 Tr 2 , Tr 3 , Tr5 , Tr6 : on $\rightarrow$ “ $-\frac{1}{2}$ ”
 Tr 3 , Tr 4 , Tr5 , Tr6 : on $\rightarrow$ “-1”

3組2 level 功率單元電壓輸出波形加疊，形成多電平電壓輸出：

相電壓輸出波形

Power cell

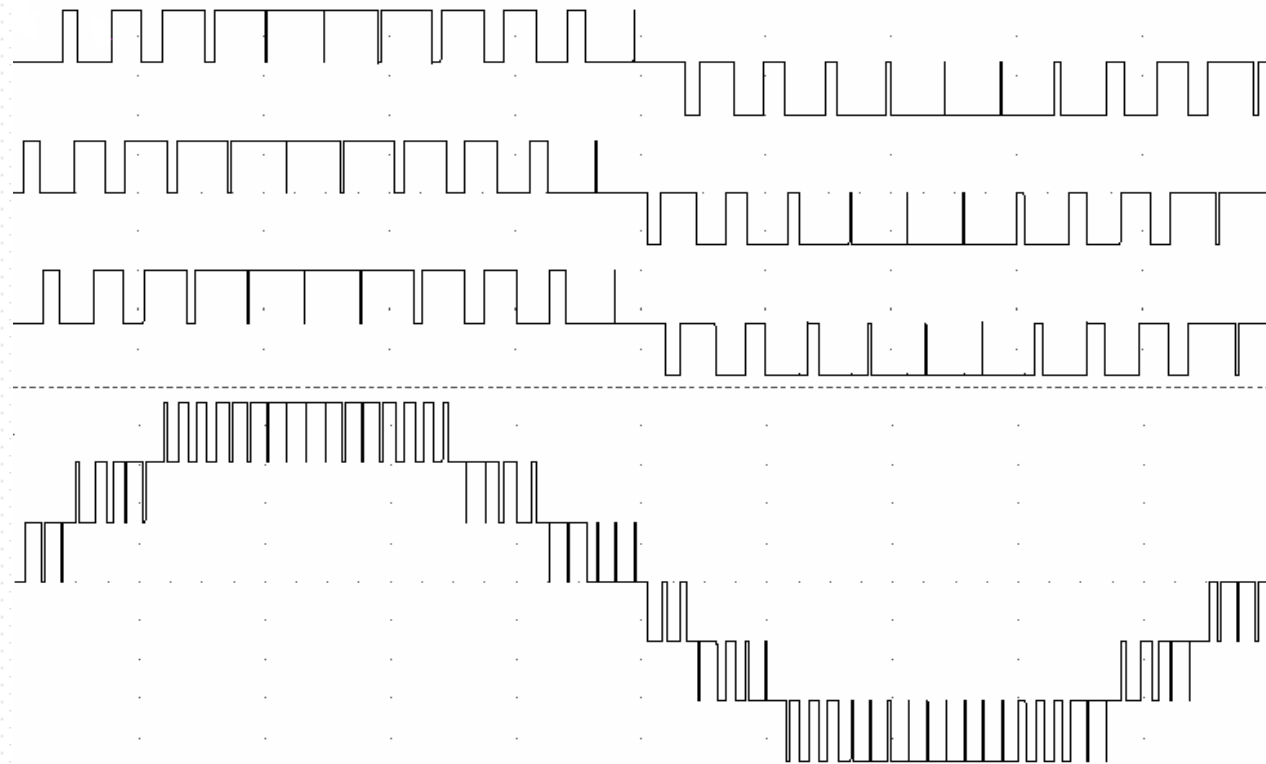
$N = 3$

階數數計算

$2 \times N + 1 = 7$

Phase

$13 / V_{L-L}$



多電平的輸出電壓波形與 dv/dt 關係

多電平的輸出電壓波形與 dv/dt 關係

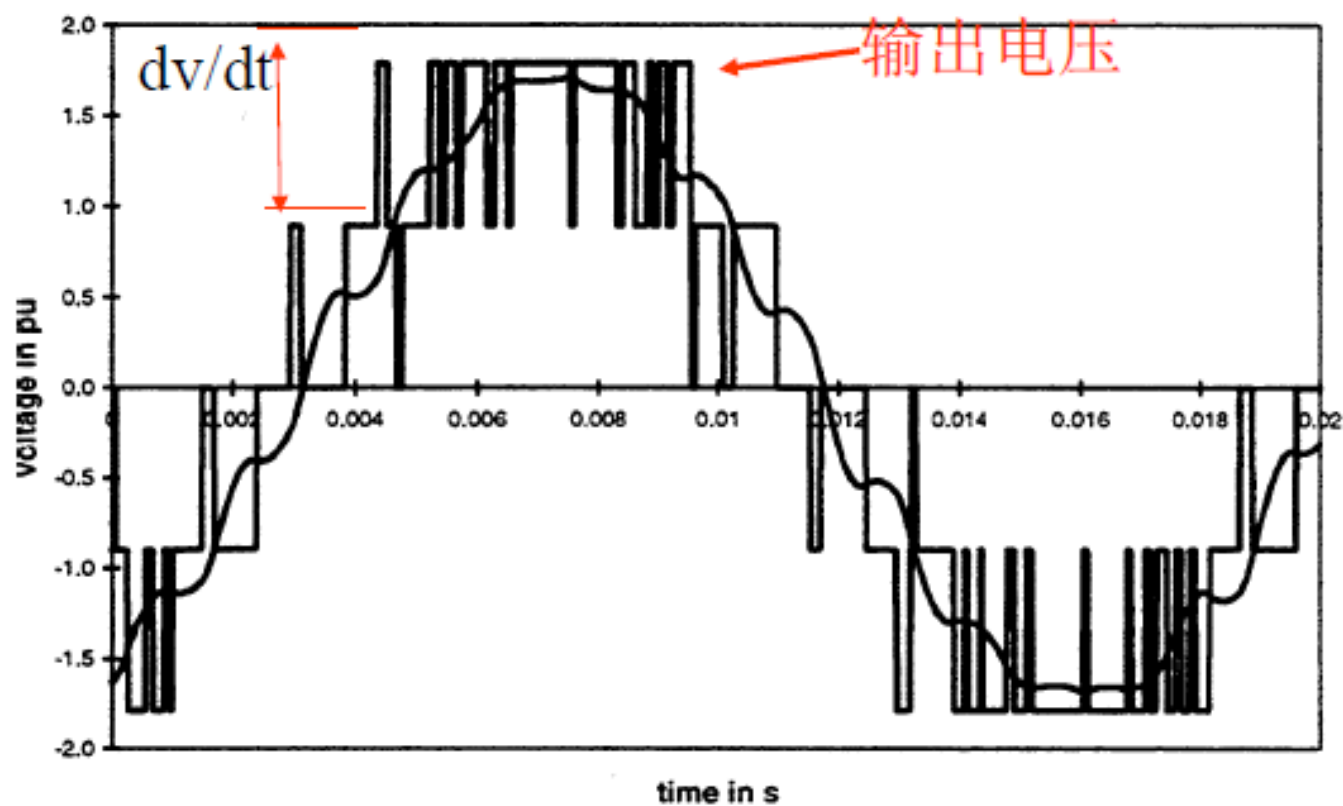
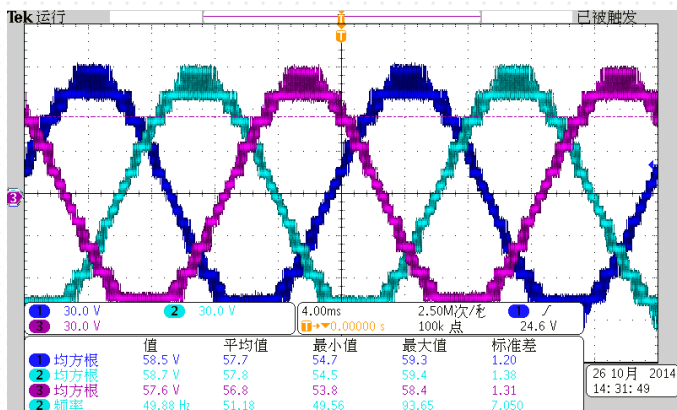
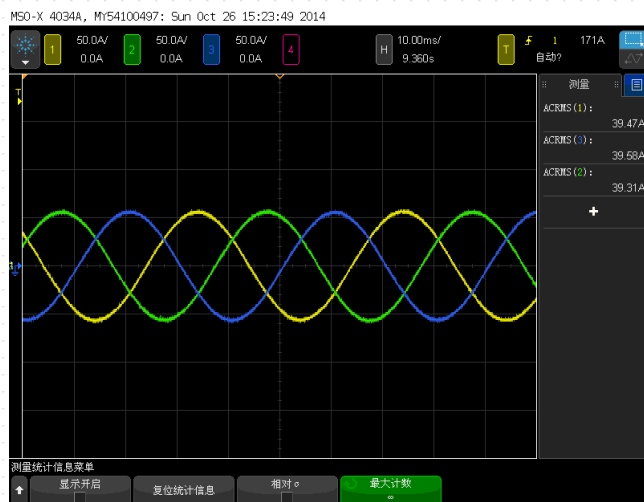


Fig. 3. Inverter voltage (leading) and motor voltage in pu



輸出線電壓波形



輸出電流波形

- 輸出電壓有較小 dv/dt 和諧波
- 不需要輸出濾波器
- 可直接使用現有馬達
- 沒有馬達線長度限制
- 延長馬達較長使用壽命

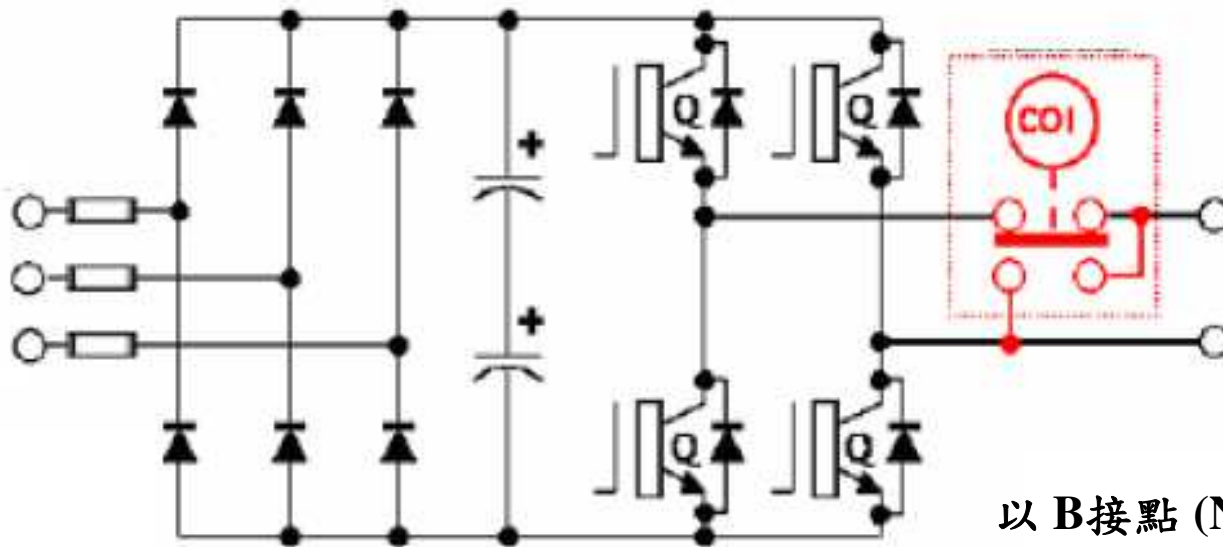


客製化需求

可依客戶規範需求配合做
改造如IP等級, RTD檢測, 風
壓檢測, 電源變壓 (例: 電源
13.8KV 馬達6.6KV), 週邊電
盤設備等等需求。



運轉中若某個功率單元發生故障，可採 cell by-pass處理方式，讓生產線不停機下持續運轉。



以 B接點 (NC) 電磁開關
為短路元件

Cell by-pass有3種處理方式:

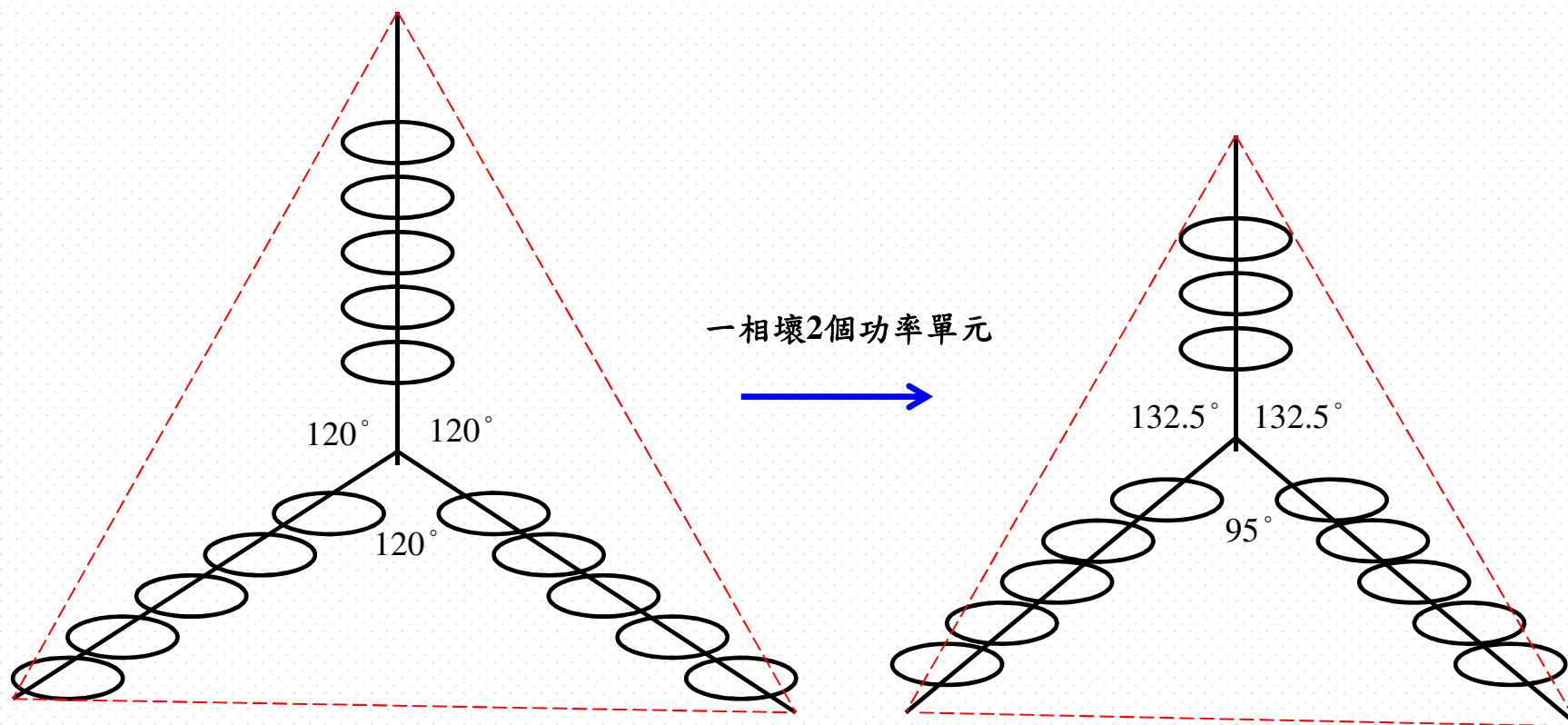
- 1> 各相對應短路 ---- 缺點: 明顯壓降須降載使用
- 2> 改變夾角 ---- 缺點: 中性點偏移
- 3> 注入三次諧波提高 15% 電壓

Cell by-pass 方法一：各相對應短路

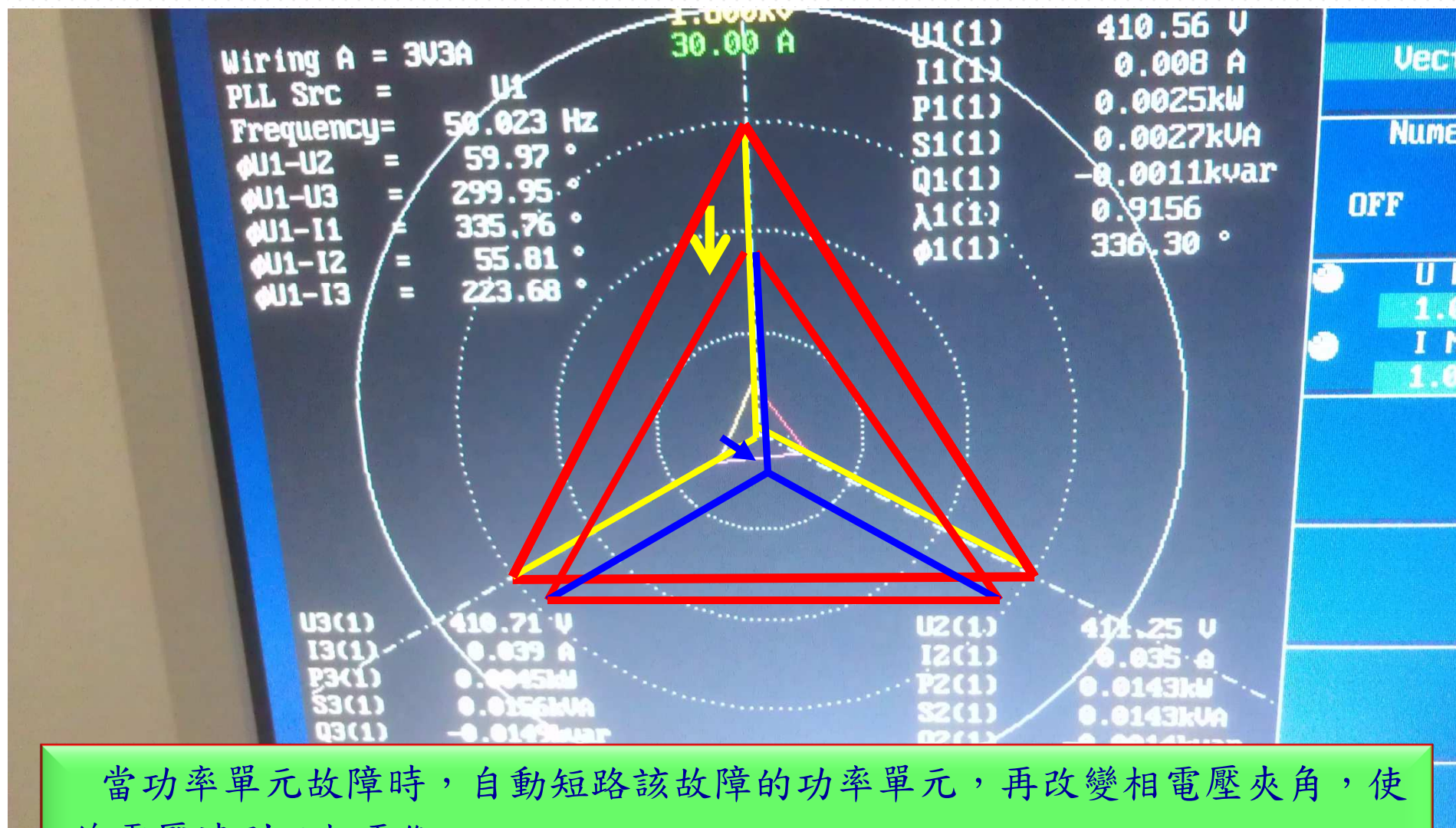


當功率單元故障時，會自動短路故障的功率單元外，其他兩相各短路一個功率單元達到三相平衡。

Cell by-pass 方法二：改變夾角



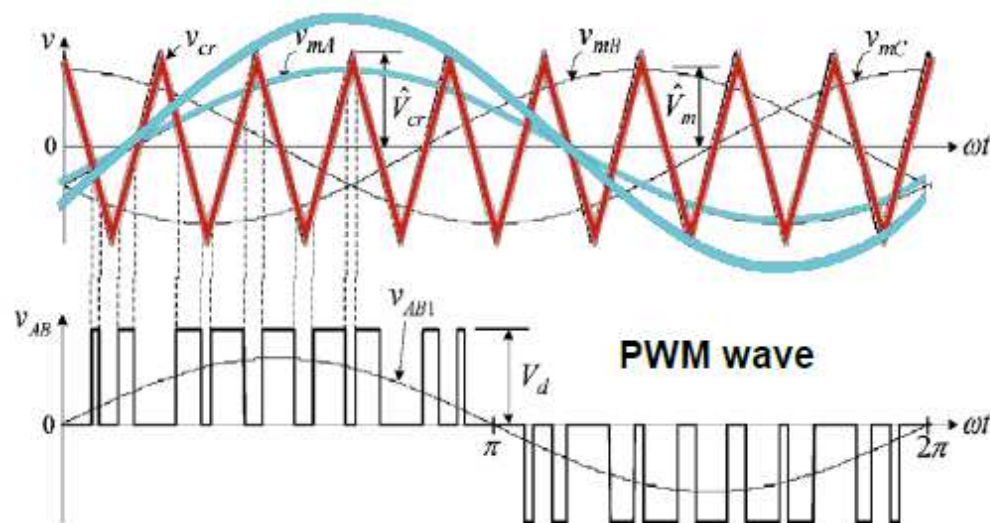
一相壞2個功率單元 線電壓僅降至85%



當功率單元故障時，自動短路該故障的功率單元，再改變相電壓夾角，使線電壓達到三相平衡。

iDB Cell by-pass 方法三：注入三次諧波

PULSE WIDTH MODULATION + 3RD HARMONIC INJECTION



$$m_a = \frac{\hat{V}_m}{\hat{V}_{cr}}$$

>1 – Overmodulation

↑ High THD

↑ High Output Voltage

≤ 1

↓ Lower THD

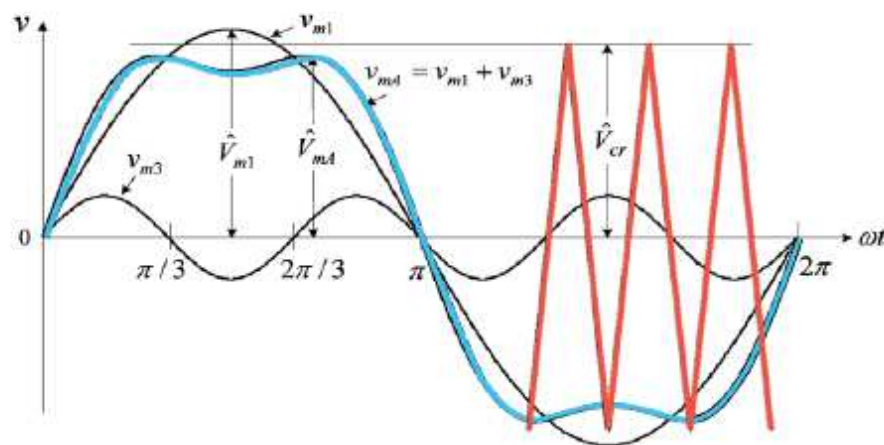
↓ Reduced Output Voltage

3RD HARMONIC INJECTION

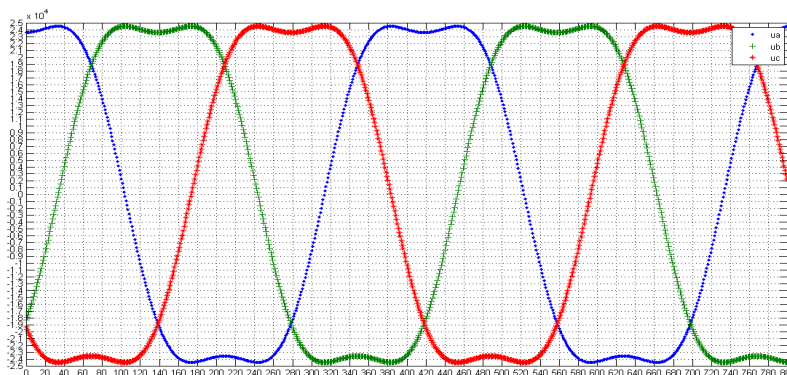
↓ Lower THD

↑ High Output Voltage

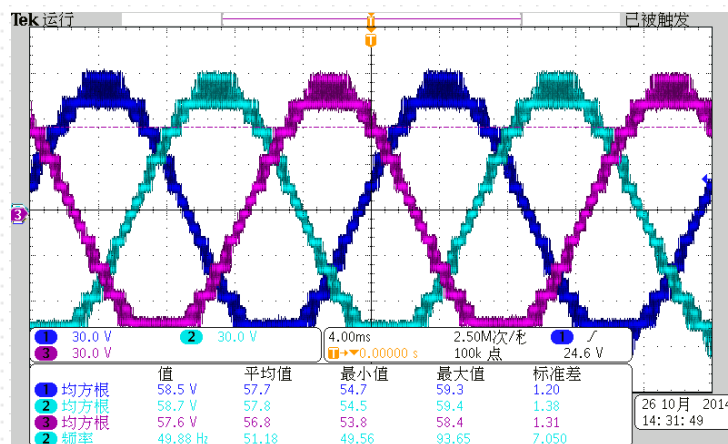
↑ Compensation of faulty cells voltage (15.5% boost)



/ POWER ELECTRONICS /



注入三次諧波後
三相輸出的相電壓波形



三相輸出的線電壓波形
(抵銷掉三次諧波)

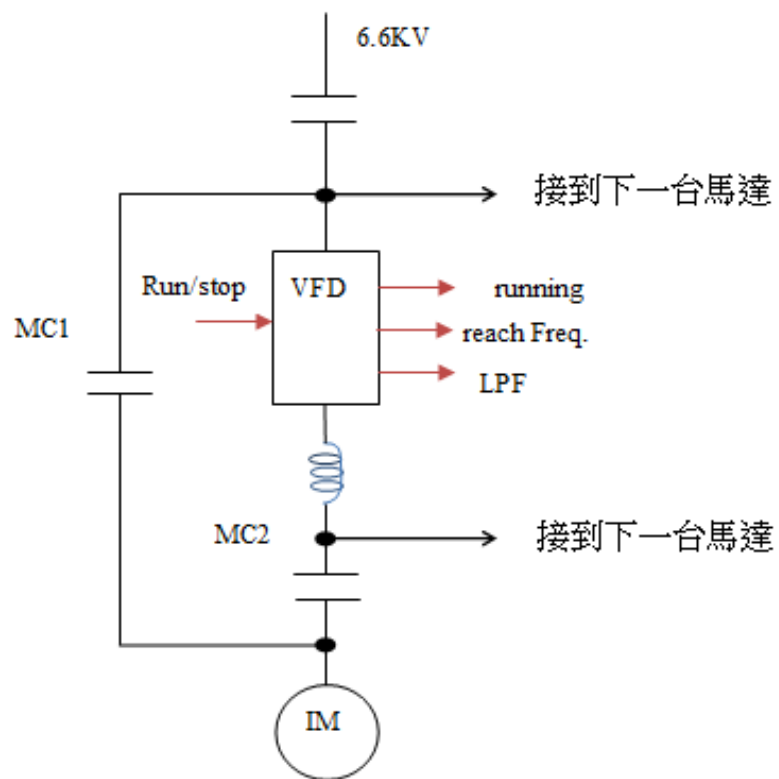


當功率單元故障時，會自動短路故障的功率單元，並提升同相輸出電壓15%，來達到三相平衡。

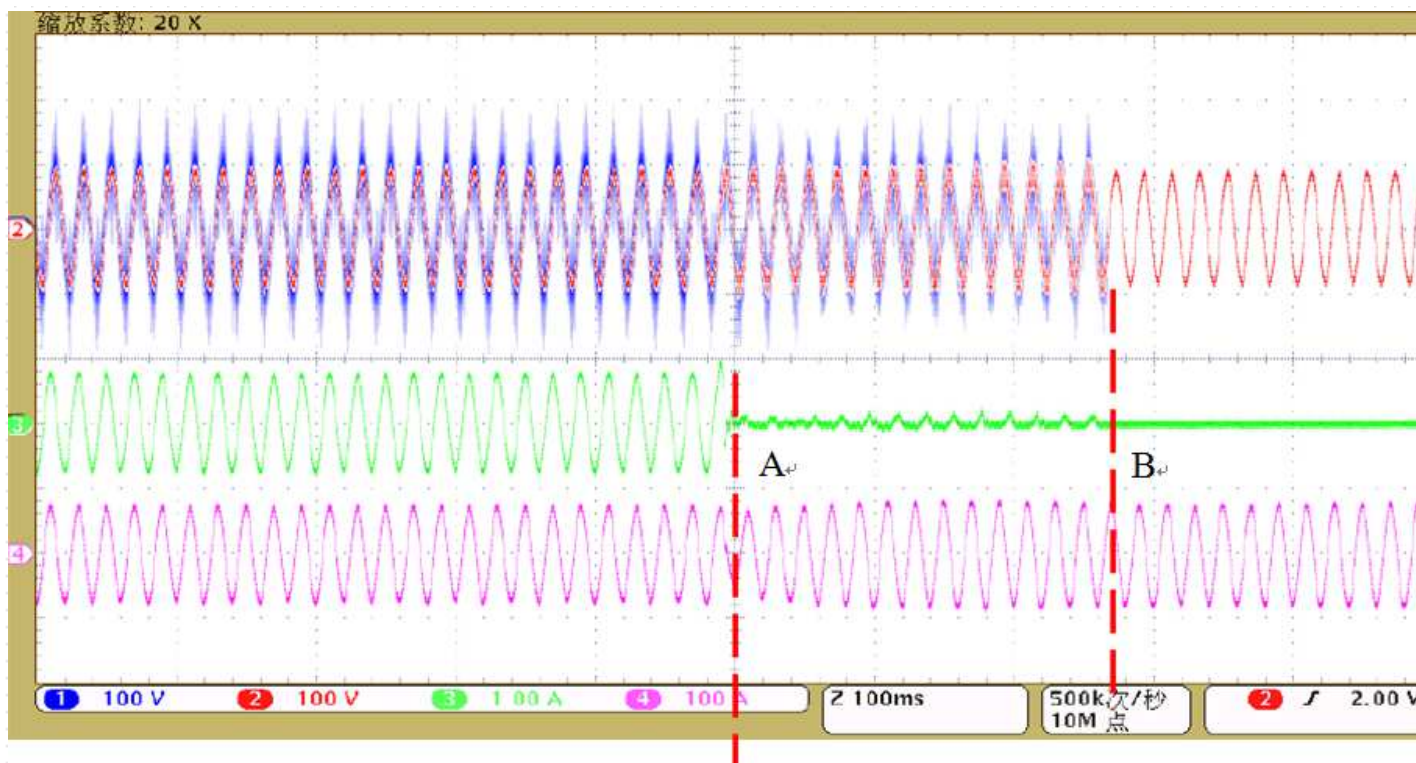


一對多, 同步投切應用

同步投切：by-pass 過程中，變頻器輸出電壓與商用電源的電壓大小，頻率，角度接近一致再切換，降低切換過程造成的電流湧浪。



變頻器轉到市電過程的電流變化



藍線: 變頻器輸出電壓 紅線: 市電電壓 綠線: 變頻器輸出電流 粉紅線: 電動機電流

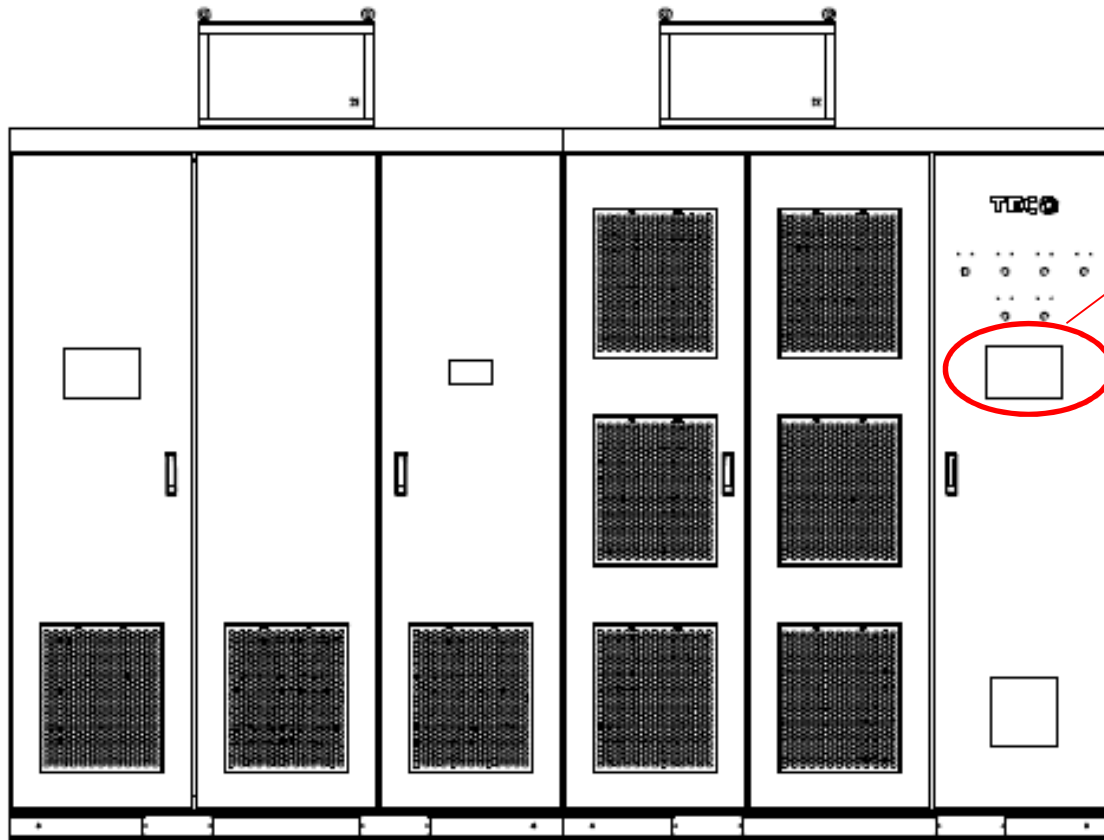
A點: MC1 投入

B點: MC2 切離

A點, B點間: MC1, MC2 皆 ON



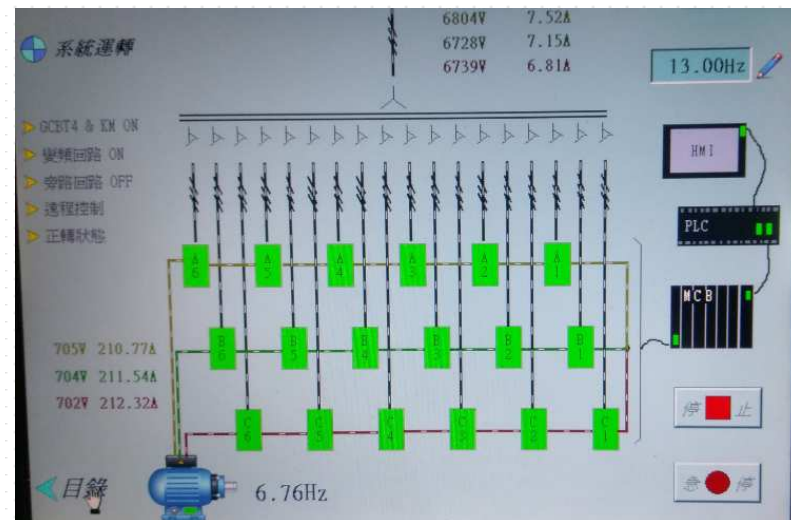
HMI觸控面板



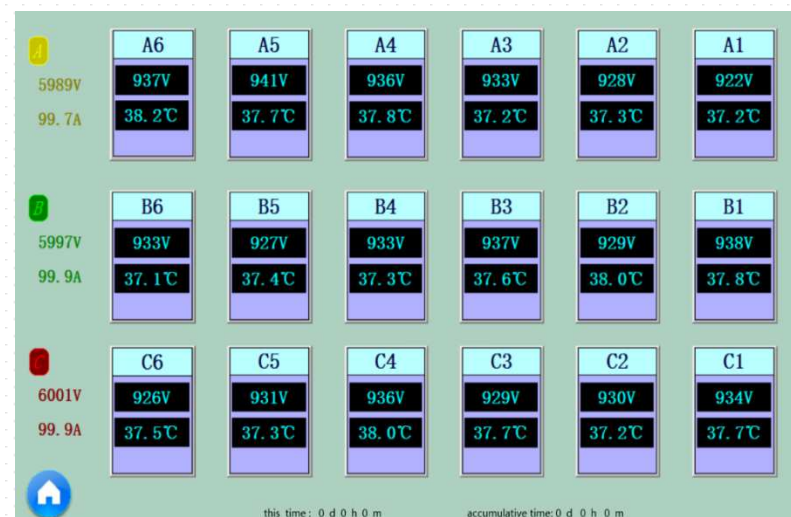
控制櫃門上的 HMI
觸控式的操作面板

iDB HMI觸控面板操作及訊息顯示

- 大尺寸觸控面板，可中英文顯示
- 顯示輸出入電壓及電流值
- 頻率設定及啟動停止操作
- 功率單元運作狀態



- 顯示各功率單元溫度及直流電壓
- 顯示三相輸出的電壓, 電流
- 顯示變壓器三相線圈溫度



- 查詢過去警告,故障及操作記錄,可記錄上百筆歷史資料包含事件發生之時間日期

	序號	代碼	報文	故障發生	故障結束
高壓操作	21	FX17	輸出嚴重過流	2017-07-26 09:58:01	2017-07-26 10:05:26
	22	FX34	DSP故障封鎖	2017-07-26 09:52:31	2017-07-26 09:56:23
狀態設定	23	FX17	輸出嚴重過流	2017-07-26 09:52:31	2017-07-26 09:56:23
	24	FX01	超載報警	2017-07-26 09:52:29	2017-07-26 09:52:30
用戶參數	25	FX34	DSP故障封鎖	2017-07-26 09:43:25	2017-07-26 09:47:16
	26	FX17	輸出嚴重過流	2017-07-26 09:43:25	2017-07-26 09:47:16
系統參數	27	FX34	DSP故障封鎖	2017-07-26 09:38:46	2017-07-26 09:42:56
	28	FX17	輸出嚴重過流	2017-07-26 09:38:46	2017-07-26 09:42:56
即時報警	29	FX34	DSP故障封鎖	2017-07-26 09:33:37	2017-07-26 09:37:38
	30	FX17	輸出嚴重過流	2017-07-26 09:33:37	2017-07-26 09:37:38
歷史報警	31	FX01	超載報警	2017-07-26 09:33:36	2017-07-26 09:33:37
	32	FX01	超載報警	2017-07-25 22:16:19	2017-07-25 22:16:21
密碼設置	33	FX01	超載報警	2017-07-25 22:15:59	2017-07-25 22:16:01
	34	FX01	超載報警	2017-07-25 22:15:42	2017-07-25 22:15:43
用戶退出	35	FX34	DSP故障封鎖	2017-07-25 22:11:06	2017-07-25 22:15:15
	36	FX17	輸出嚴重過流	2017-07-25 22:11:06	2017-07-25 22:15:15
	37	FX01	超載報警	2017-07-25 17:56:08	2017-07-25 17:56:09
	38	FX01	超載報警	2017-07-25 17:55:58	2017-07-25 17:55:59
	39	FX34	DSP故障封鎖	2017-07-25 17:51:07	2017-07-25 17:55:21
	40	FX17	輸出嚴重過流	2017-07-25 17:51:07	2017-07-25 17:55:21

- 參數設定有權限限制,一般操作員是不允許更改參數

操作	給定頻率	4222.00	DSP報警字	0x0
設定	調製度	1447	DSP故障字	0x0
參數	母線電壓和	6710	系統命令字1	0x1
參數	保護用U _i	16711	系統命令字2	0x8
時報警	保護用I _o	14555	FPGA命令字	0x6001
史報警	飛車用I _q	-5329	FPGA資訊字	0x4
碼設置	最大母線電壓	387	DSP狀態字1	0xB9
用戶退出	最小母線電壓	360	DSP狀態字2	0x200
	輸出Vo	1859	工作設定字	0x0



Look forward to your cooperation

GREEN TECHNOLOGY WITH LOVE





高效率馬達及變頻節能 應用案例說明

東元電機(股)公司

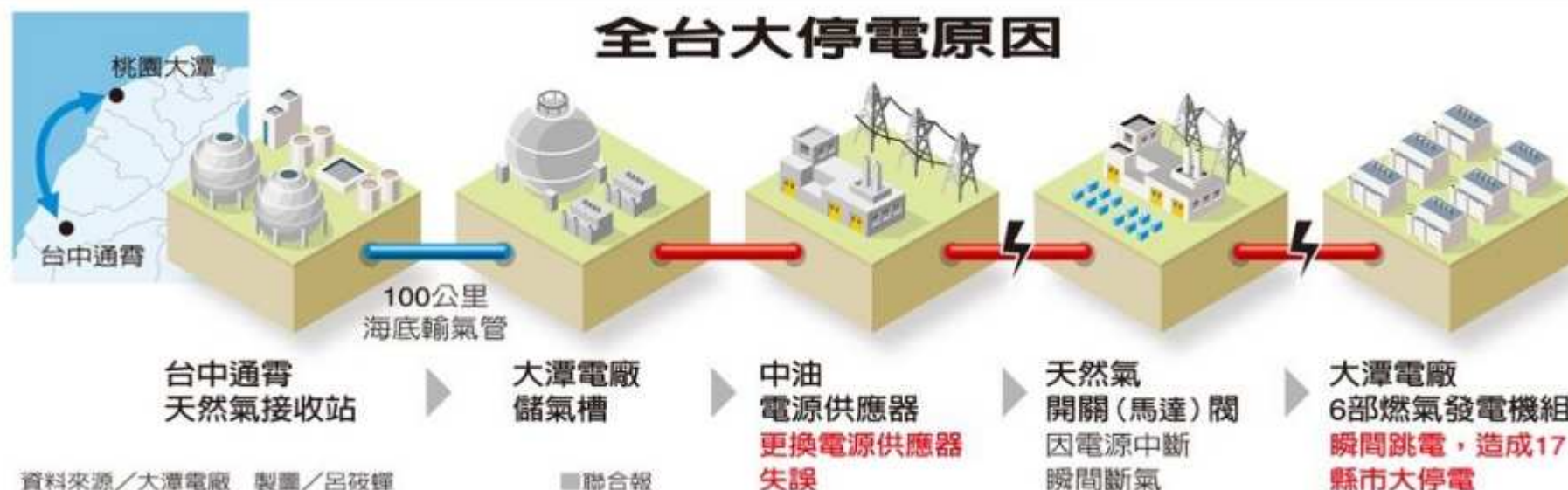
機電系統營銷事業部 產品發展處

應用技術課

許孟原 經理

2018.04.27

為什麼高效率馬達這麼重要？



[記者林筑涵 / 台北報導] 昨日因中油天然氣供應中斷，導致台電大潭電廠無燃料可用而跳脫，電力系統為確保供需平衡，避免更大規模停電，隨即啟動「低頻卸載」，造成下午全台部分地區出現停電狀況；後因電力依然不足，台電宣布執行相隔18年後的緊急分區輪流停電，**815事件停電戶數達838萬戶。**



6%不僅低於政府規定台電必須做到的安全水準15%，也低於全球平均區間的10~30%。



電力需求趨勢：台灣、日本、韓國



經濟發展

→ 對電力的高度需求

→ 大量的能源需求對環境的影響？

溫室效應：能源需求與排碳關係

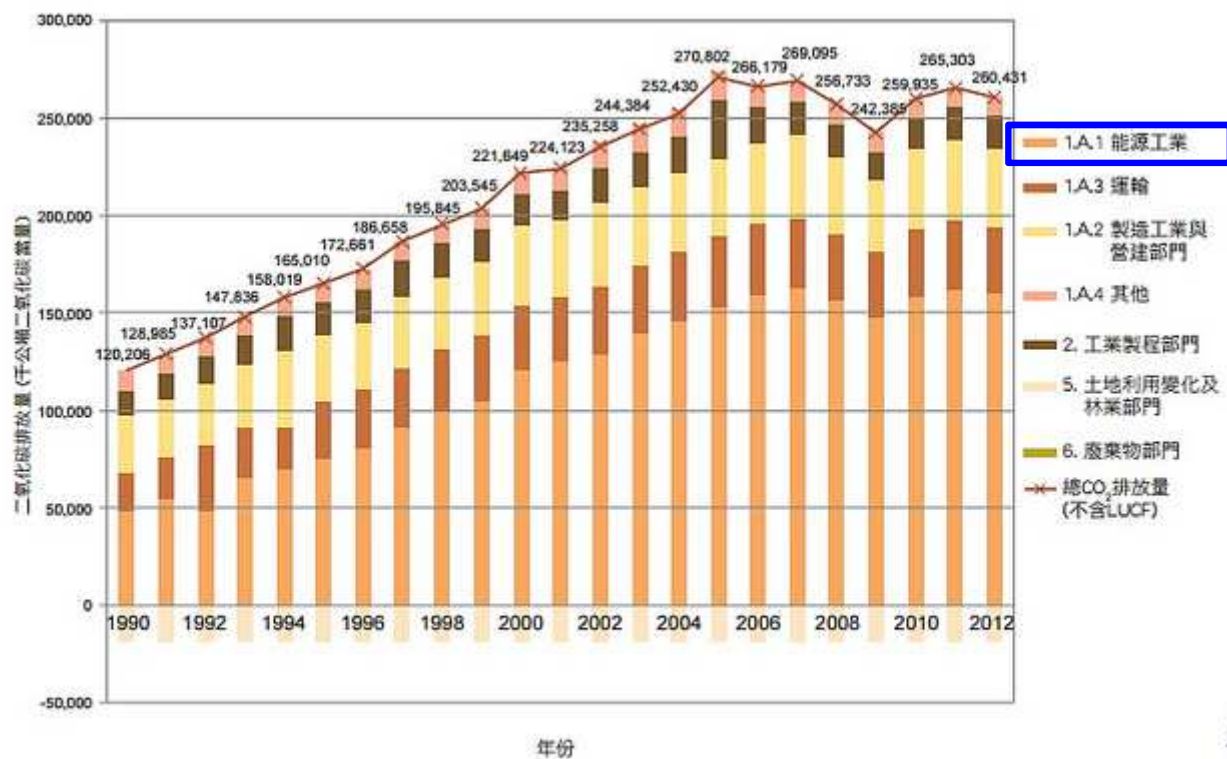


圖 2.2.1 臺灣 2001 至 2012 年二氧化碳排放量趨勢



主要溫室氣體對全球升溫的貢獻百分比

截至2050年預估能源需求：

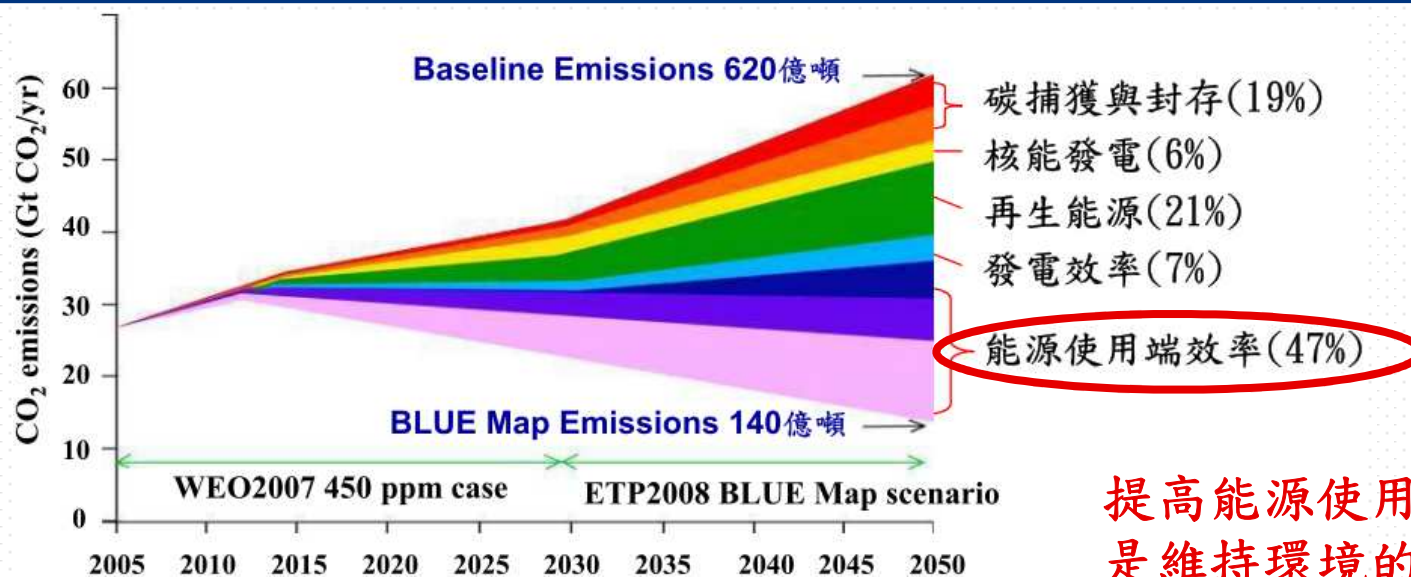
現狀 $\times 2$

來源：國際能源總署 IEA 2008

2050碳排放量目標：

vs. 現狀 $\div 2$

來源：聯合國跨政府氣候變遷專家小組
IPCC 2007

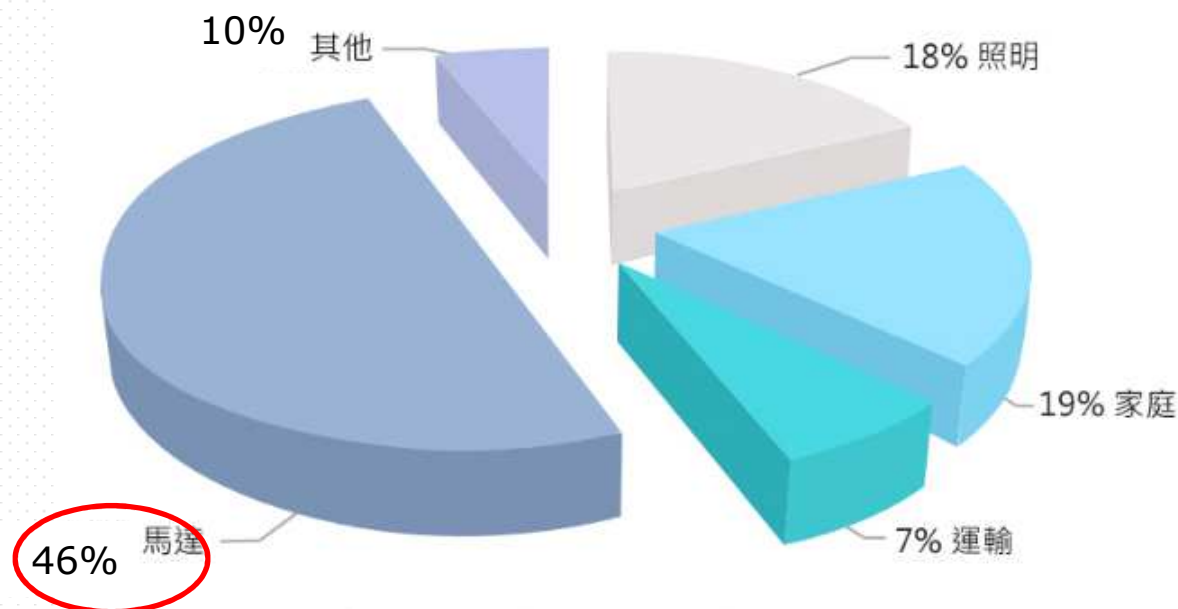


提高能源使用端的效率
是維持環境的重要關鍵

iDB 能源消耗狀況

- 馬達用電佔約全球的46%，其中工業用馬達佔46%總體馬達能源消耗的87%
- 因此，各國陸續開始實施馬達最低能效標準(MEPS)政策
 - ✓ 馬達節能 & 馬達動力系統節能

IEA國際能源總署全球的用電分配統計

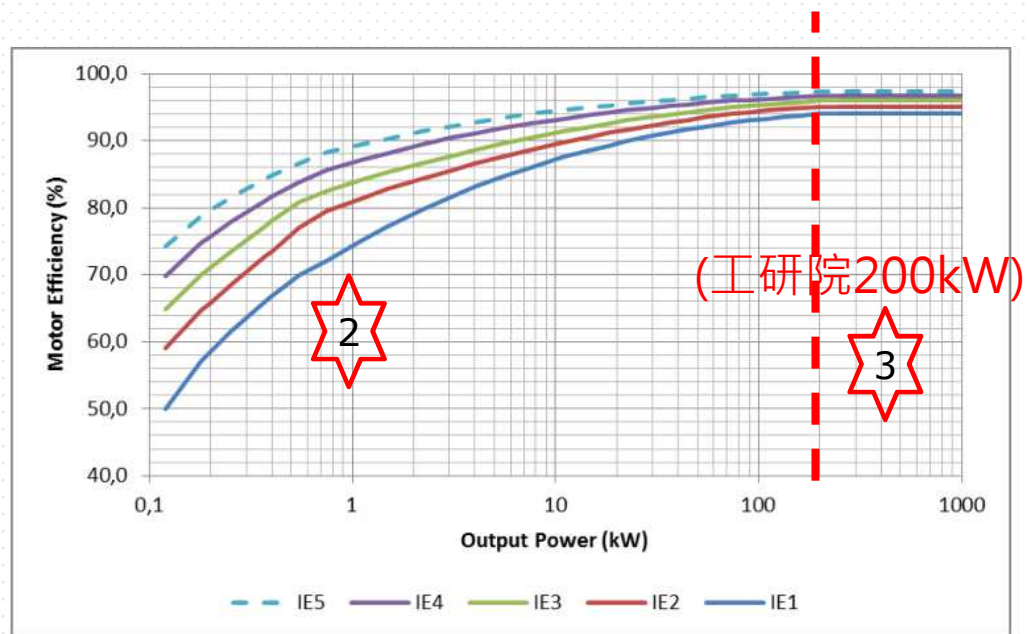


大陸用電分配統計：馬達佔70% (工廠較多)
歐美用電分配統計：馬達佔60%以上

IDB 方案一 · 馬達能效標準

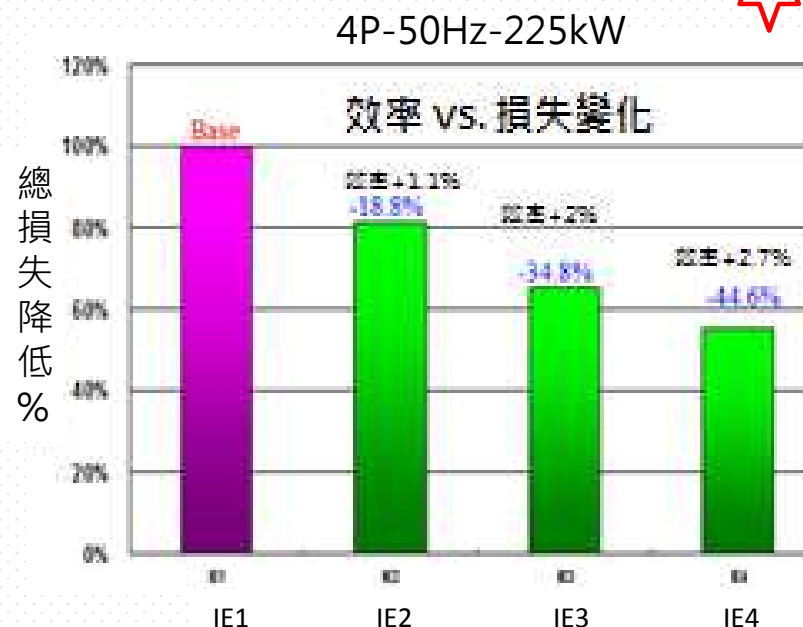
MEPS, Minimum Energy Performance Standards

- 馬達單體效率 → 依循各國最低能效標準(MEPS)



能效等級(IE1~IE5)

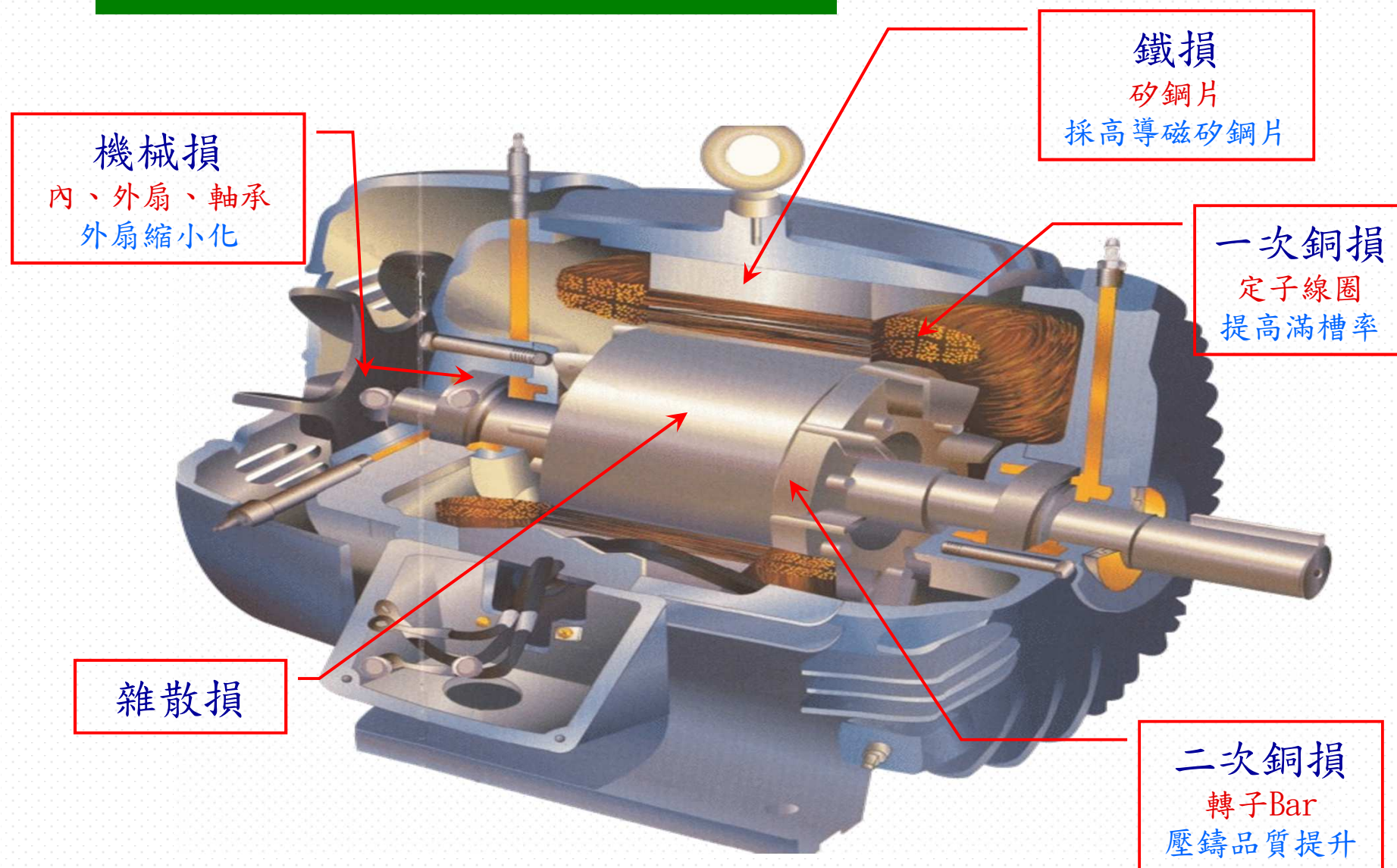
4 Poles / 50Hz



能效 vs. 損失改善%

- 1 效率等級：IE4>IE3>IE2>IE1
- 可透過了解五大損失原理 → 設計方向調整

電機設計方向：感應馬達各部位損失





損失的分類與改善對策

區分	設計	材料	製造
機械損	外扇小型化 提高外扇效率 軸承採低黏度潤滑油		控制加工公差
鐵損	增加鐵心積厚 降低磁通密度 鐵心基本設計	高級電磁鋼板 較薄電磁鋼板	改善沖片模具
一次銅損	導體線徑增加 提高功率因數	高導電率銅線	提高佔積率
二次銅損	增加轉子導體面積	高導電率材質	轉子優良壓鑄作業
雜散損	轉子斜槽 槽對數最佳化		轉子加工精度

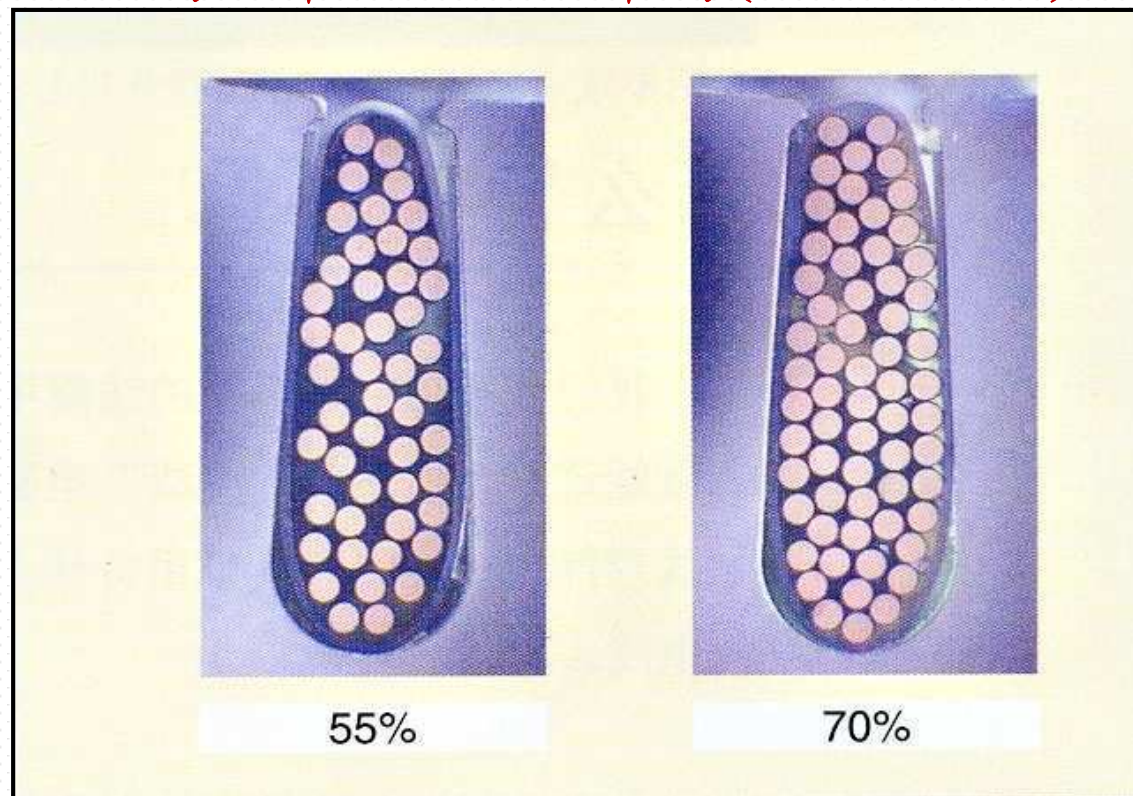
為了降低損失

→增加材料用量或等級，提升效率→導致成本提高



佔積率比較 Slot Packing Factor

高效率比一般效率高(120%~150%)



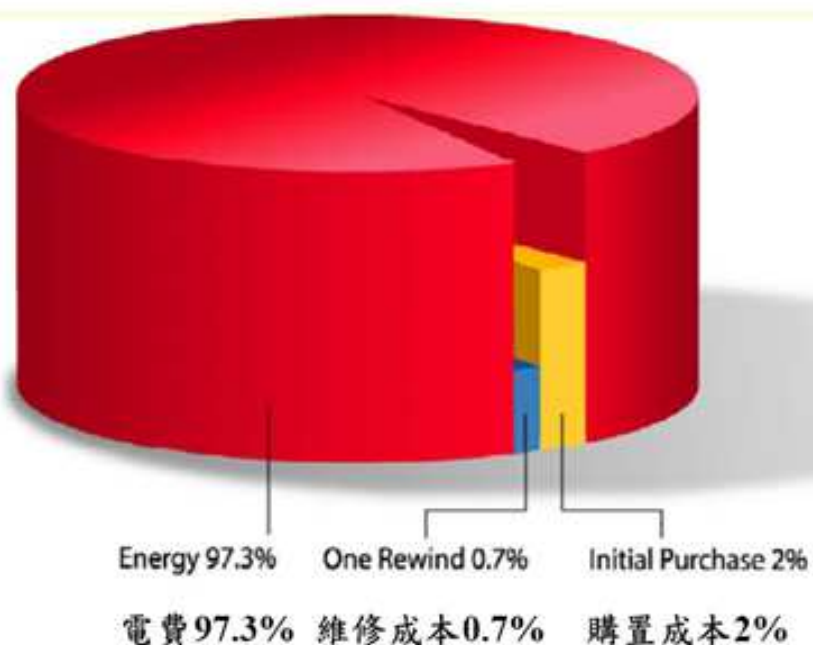
一般效率

高效率

槽內的利用率提高

→除了增加材料用量之外&增加了作業困難度(成本↑)

馬達生命週期成本分析



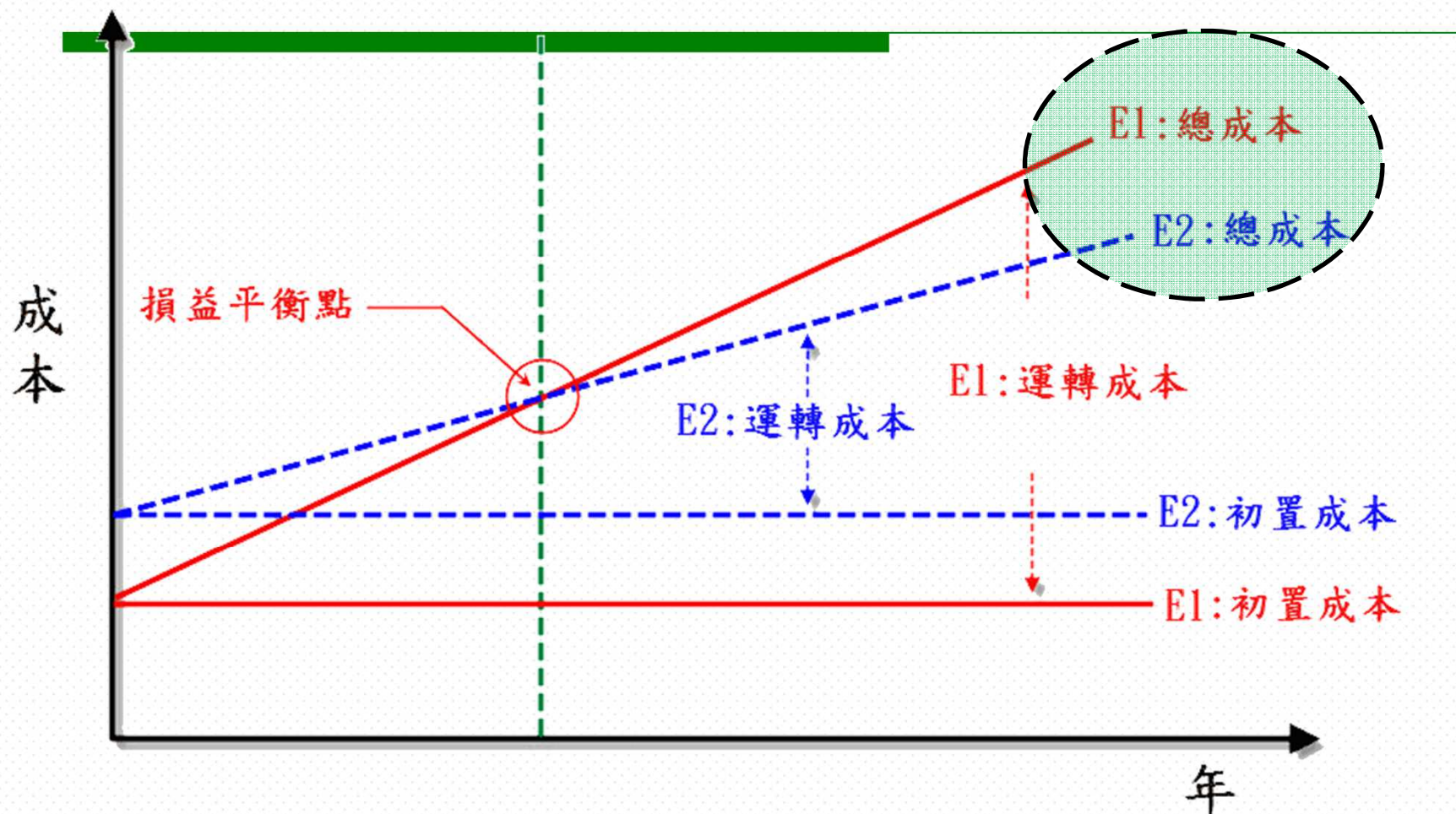
資料來源：Baldor Electric

1. 工業用馬達使用壽命可長達**20**年以上
2. 馬達使用成本：**電費**占**生命週期97%**，購置費用僅占**2%**

$$\text{耗用電能} = \frac{(\text{馬達負載}) \times (\text{操作時數})}{(\text{馬達操作點效率})}$$

- 大致上分為購置成本與使用成本，其佔比約 2:97
- 要節省電費 → **更換高效率馬達產品是選項之一**

節能說明：高效率馬達成本模式(IE1 vs. IE2)



- 馬達生命週期成本： $IE4 < IE3 < IE2 < IE1$
- 不同效率等級的購置成本差異，其回收年限約2~3年以內

iDB 各國MEPS能效推行時間(目前推展到IE3)

MEPS, Minimum Energy Performance Standards

Motors

各國IE3效率推行時間：

美國：2011/1 ; 加拿大：2012/1

日本：2015/4 ; 韓國：2015.10

台灣/中國：2016/Q3

歐洲：2015/1_7.5kW↑、2017/1_7.5kW↓

Industrial Motors, Minimum Energy Efficiency Legislation Worldwide

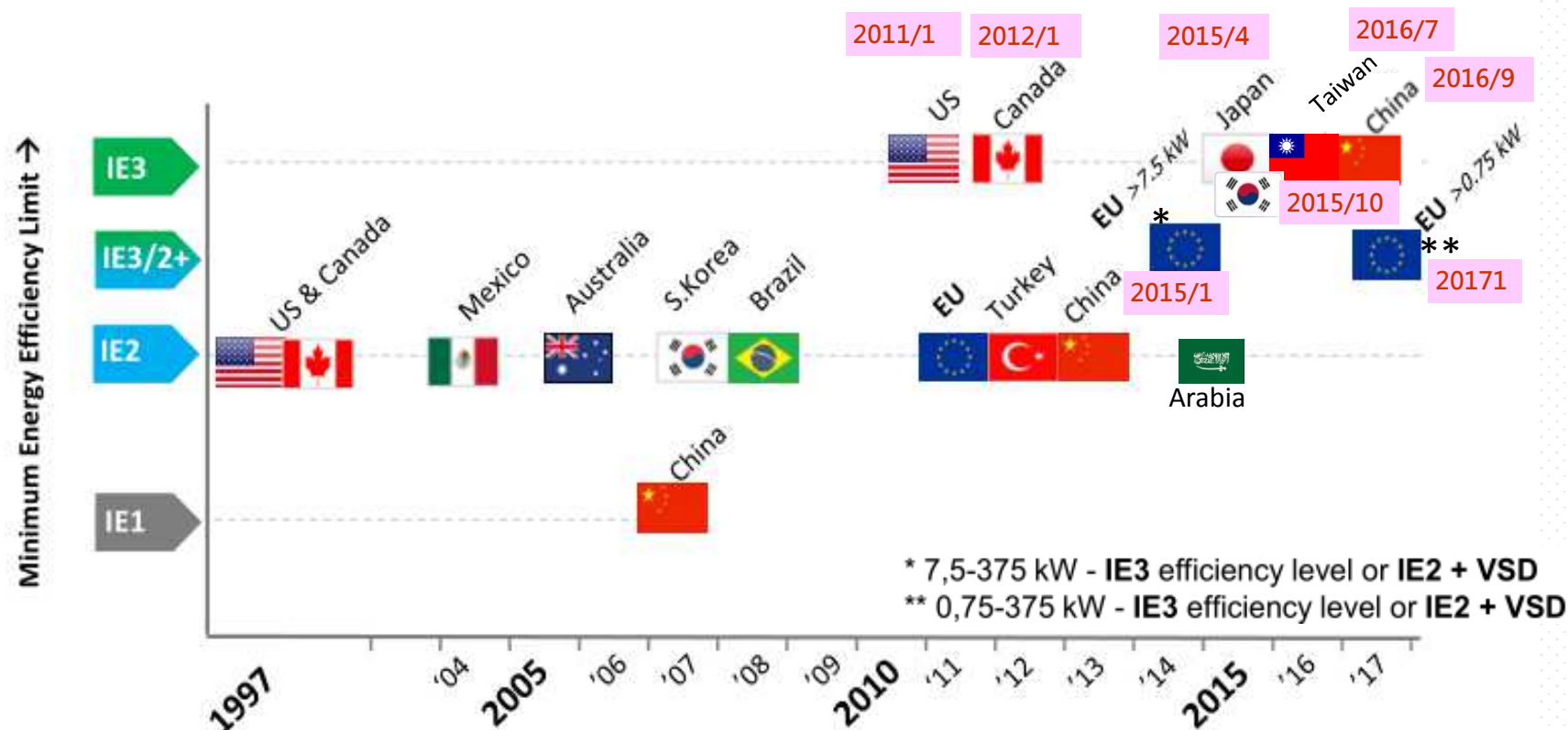


Table 4 – Nominal efficiency limits (%) for 60 Hz IE1

P_N kW	Number of poles/synchronous speed min^{-1}			
	2/3600	4/1800	6/1200	8/900
0,12	57,5	62,0	48,0	36,0
0,18	62,0	66,0	52,5	40,0
0,25	64,0	68,0	57,5	50,5
0,37	70,0	70,0	62,0	57,5
0,55	72,0	74,0	66,0	59,5
0,75	74,0	77,0	72,0	64,0
1,1	78,5	79,0	75,0	73,5
1,5	81,0	81,5	77,0	77,0
2,2	81,5	83,0	78,5	78,0
3,7	84,5	85,0	83,5	80,0
5,5	86,0	87,0	85,0	84,0
7,5	87,5	87,5	86,0	85,0
11	87,5	88,5	89,0	87,5
15	88,5	89,5	89,5	88,5
18,5	89,5	90,5	90,2	88,5
22	89,5	91,0	91,0	90,2
30	90,2	91,7	91,7	90,2
37	91,5	92,4	91,7	91,0
45	91,7	93,0	91,7	91,0
55	92,4	93,0	92,1	91,5
75	93,0	93,2	93,0	92,0
90	93,0	93,2	93,0	92,5
110	93,0	93,5	94,1	92,5
150 up to 1 000	94,1	94,5	94,1	92,5

Table 10 – Nominal efficiency limits (%) for 60 Hz IE4

P_N kW	Number of poles / synchronous speed min ⁻¹			
	2/3600	4/1800	6/1200	8/900
0,12	66,0	70,0	68,0	64,0
0,18	70,0	74,0	72,0	68,0
0,25	74,0	77,0	75,5	72,0
0,37	77,0	81,5	78,5	75,5
0,55	80,0	84,0	82,5	77,0
0,75	82,5	85,5	84,0	78,5
1,1	85,5	87,5	88,5	81,5
1,5	86,5	88,5	89,5	85,5
2,2	88,5	91,0	90,2	87,5
3,7	89,5	91,0	90,2	88,5
5,5	90,2	92,4	91,7	88,5
7,5	91,7	92,4	92,4	91,0
11	92,4	93,6	93,0	91,0
15	92,4	94,1	93,0	91,7
18,5	93,0	94,5	94,1	91,7
22	93,0	94,5	94,1	93,0
30	93,6	95,0	95,0	93,0
37	94,1	95,4	95,0	93,6
45	94,5	95,4	95,4	93,6
55	94,5	95,8	95,4	94,5
75	95,0	96,2	95,8	94,5
90	95,4	96,2	95,8	95,0
110	95,4	96,2	96,2	95,0
150	95,8	96,5	96,2	95,4



超高效率變頻永磁馬達：運轉費用節省

馬達功率	6P_60HZ			
	IE1	IE2	IE3	IE4
11kW	89.0	90.2	91.7	93.0
15kW	89.5	90.2	91.7	93.0
18.5kW	90.2	91.7	93.0	94.1

購買超效率馬達

IE1→IE4

節省12.08k

IE4 效率
93.0%

節省3.810k

IE3 效率
91.7%

節省4.532k

IE2 效率
90.2%

節省3.738k

IE1效率
89.0%

馬達:6P-60Hz-11kW，
每年運轉8000小時，
電價為2.84NTD/度。
仟瓦(KW) · 小時 = 1 度

$$\text{kW} \times (100/\text{E1} - 100/\text{E2}) \times \text{每年運轉時數} \times (\text{電價}/\text{度})$$



超高效率變頻永磁馬達：回收年限

電價：2.84NTD/度；年使用(小時)：8,000.

6P-60Hz **11kW**

$\text{kW} \times (100/E1 - 100/E2) \times \text{每年運轉時數} \times (\text{電價}/\text{度})$

IE4風水利專用機

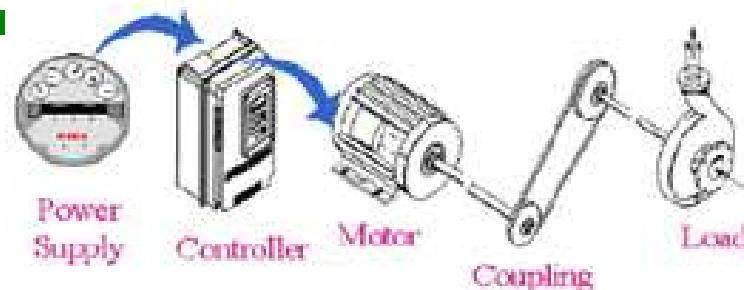
變頻永磁馬達售價略高 IE3變頻馬達

馬達 出力	馬達效率等級 (nominal value)		入力 (kw)	度/年	電費 (元/年)	回收效益年限			
11kW (15HP)	IE1 AEEF (\$18,990)	89.0	12.3596	98,877	280,811	Base	--	--	--
	IE2 AEHM (\$22,070)	90.2	12.1951	97,561	277,073	-3,738 0.82年	Base	--	--
	IE3 AEHF (\$25,374)	91.7	11.9956	95,965	272,541	-8,270 0.77年	-4,532 0.73年	Base	--
	IE4 (永磁式) DVEN (\$28,665)	93.0	11.8280	94,624	268,731	-12,080 0.80年	-8,342 0.79年	-3,810 0.86年	Base

購買價差，回收年限<1年
售價比同為IE4的感應馬達便宜

iDB 方案二 馬達動力系統節能潛力

- 依據 IEA 的研究：
改善馬達系統可提升電效率20~25%



其影響的因素為：

1. 馬達本身的效率
2. 被帶動旋轉機械的效率
3. 動力傳動系統的效率
4. 系統的匹配設計
5. 系統的控制操作
6. 系統管理與維修
7. 供應電源的品質

系統改善方式	節能比例
1. 使用變速控制	10~50%
2. 更換高效率馬達	2~8%
3. 傳動效率改善	2~10%
4. 校統維護調整與潤滑	1~5%
5. 馬達規格匹配適當	1~3%
6. 電力品質改善	0.5~3%
7. 馬達維修保養適當	0.5~2%



風水力機械系統曲線

- 風水力機械功率與轉速關係

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

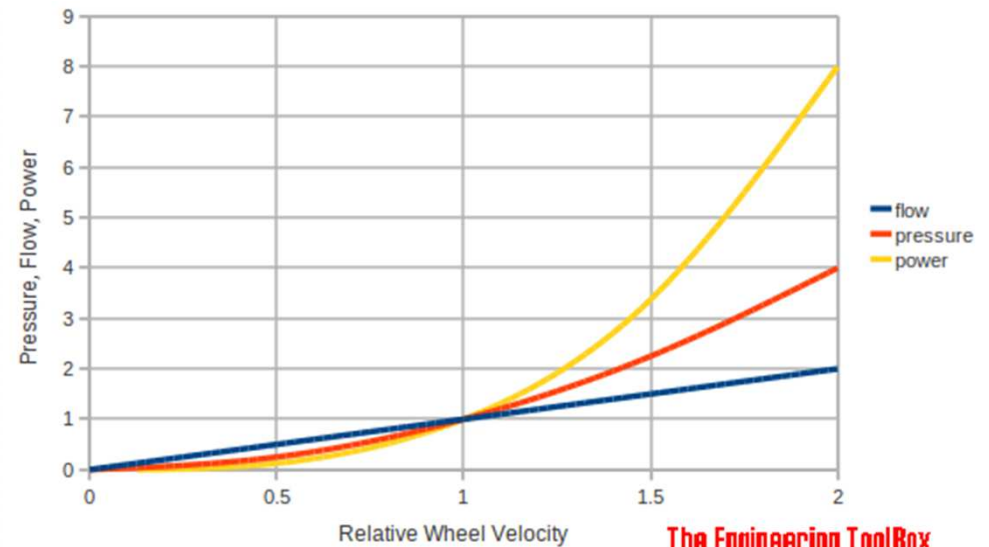
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3$$

$Q = \text{Flowrate}$

$N = \text{Speed}$

$H = \text{Head}$

$P = \text{Power}$



The Engineering ToolBox

Copyright 1999-2000

iDB 功率相關參數關係式

- 公式
- 風扇

$$P_{aks} = \frac{K_p \cdot \rho \cdot q_v \cdot \Delta p \cdot 10}{1,2 \cdot \eta_{fan} \cdot \eta_{transmission}}$$

- 泵浦

$$P_p = \frac{\rho \cdot q_v \cdot H_{nom} \cdot g}{3600 \cdot \eta_{pump} \eta_{transmission}}$$

ρ : Density

q_v : Flowrate

Δp : Pressure

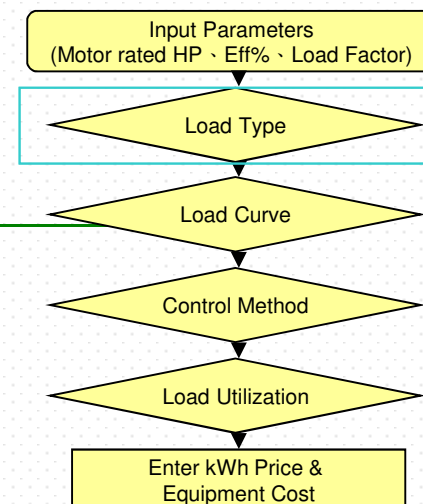
H_{nom} : Head

g : Gravitational Factor

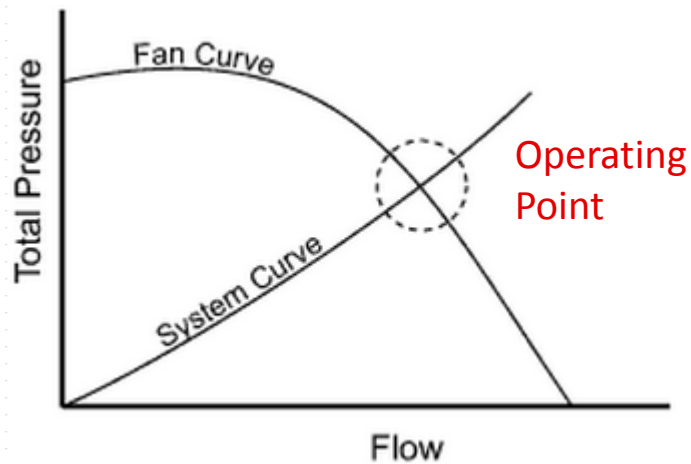
η_{fan} : Fan Efficiency

η_{pump} : Pump Efficiency

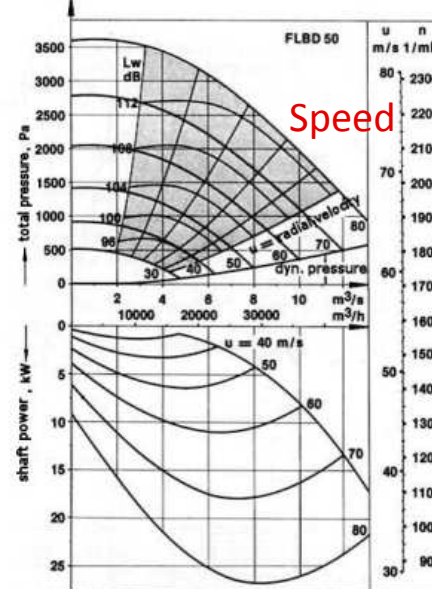
$\eta_{transmission}$: Transmission Efficiency



- 風扇曲線有功率,壓力,流量,轉速
- 系統曲線與風扇曲線交會為操作點



Y : Pressure

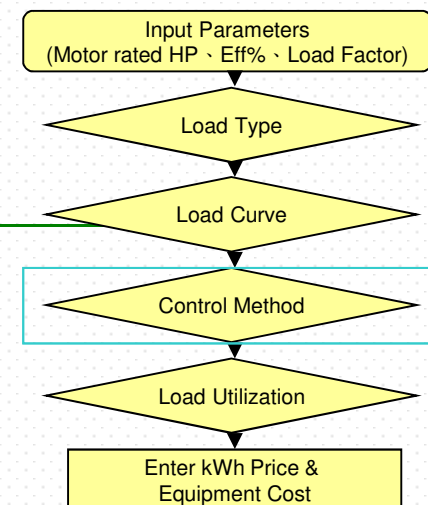


X : Flow rate

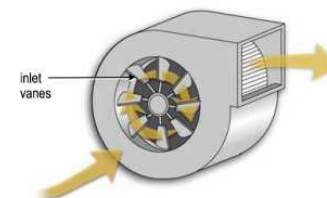
Required Power

系統效率：控制方式

- 後端阻抗
- 前端阻抗
- 變頻器
- 渦流馬達



Inlet Vanes



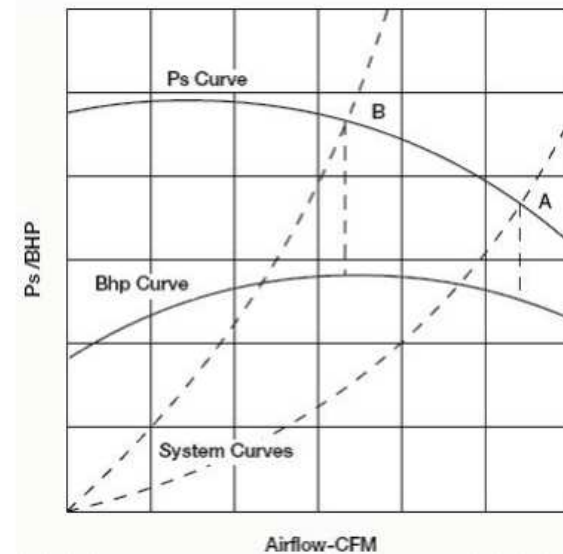


風扇控制方式-後端阻抗

- 風量變化，藉由調整後端的阻抗
- 便宜，簡單
- 增加阻力來改變風量
- 增加噪音

$$P = q_v \downarrow * \Delta p \uparrow$$

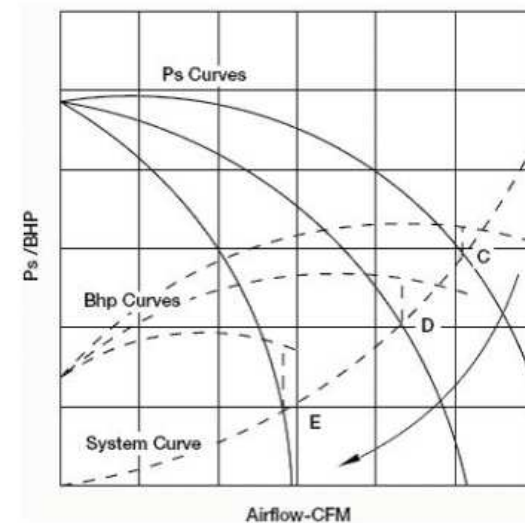
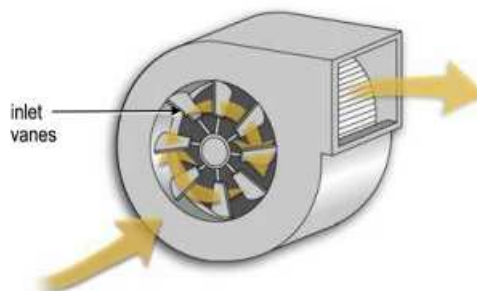
Energy Savings are little



- 直接在風扇的前側加裝一個可改變入風量的裝置
- 此作法相對後端阻抗，有較小的損失及效率

$$P = q_v * \Delta p$$

Inlet Vanes





風扇控制方式-變頻器

- 依風量需求，直接改變風扇的轉速
- 此依需求風量進行轉速調整的方式，功率曲線相似於風水利機的系統曲線

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3$$

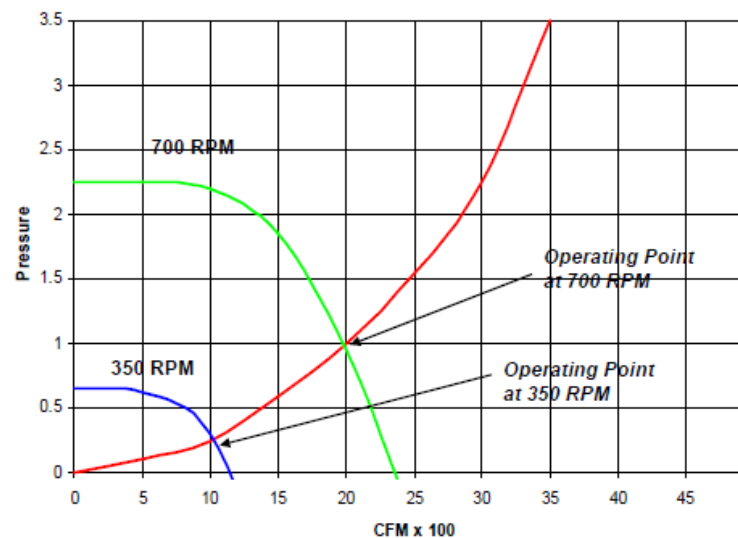
$Q = \text{Flowrate}$

$N = \text{Speed}$

$H = \text{Head}$

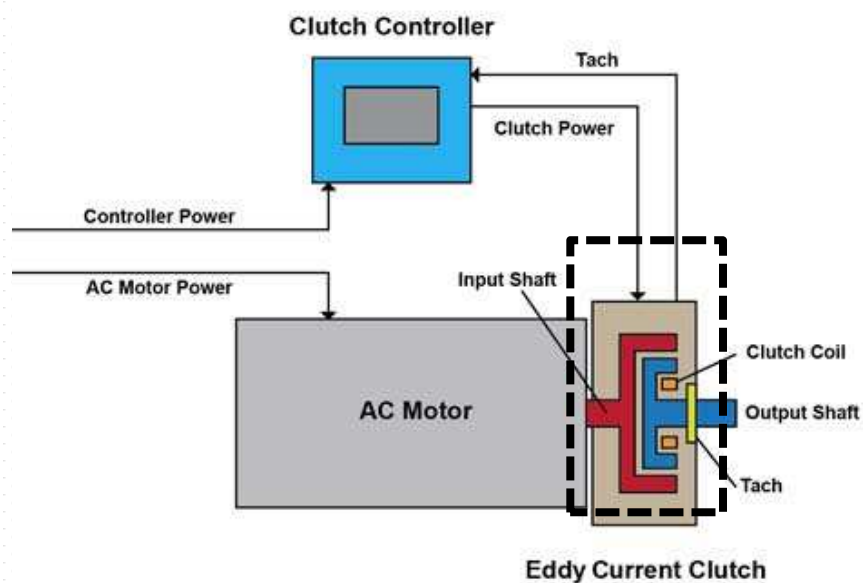
$P = \text{Power}$

功率與轉速之關係式



iDB 風扇控制方式－渦流馬達

- 馬達需外加一個渦流裝置
- 此裝置有兩個旋轉部，外側與馬達連接，內側與負載連接
- 此裝置須外加電源，依使用需求控制內側的轉速

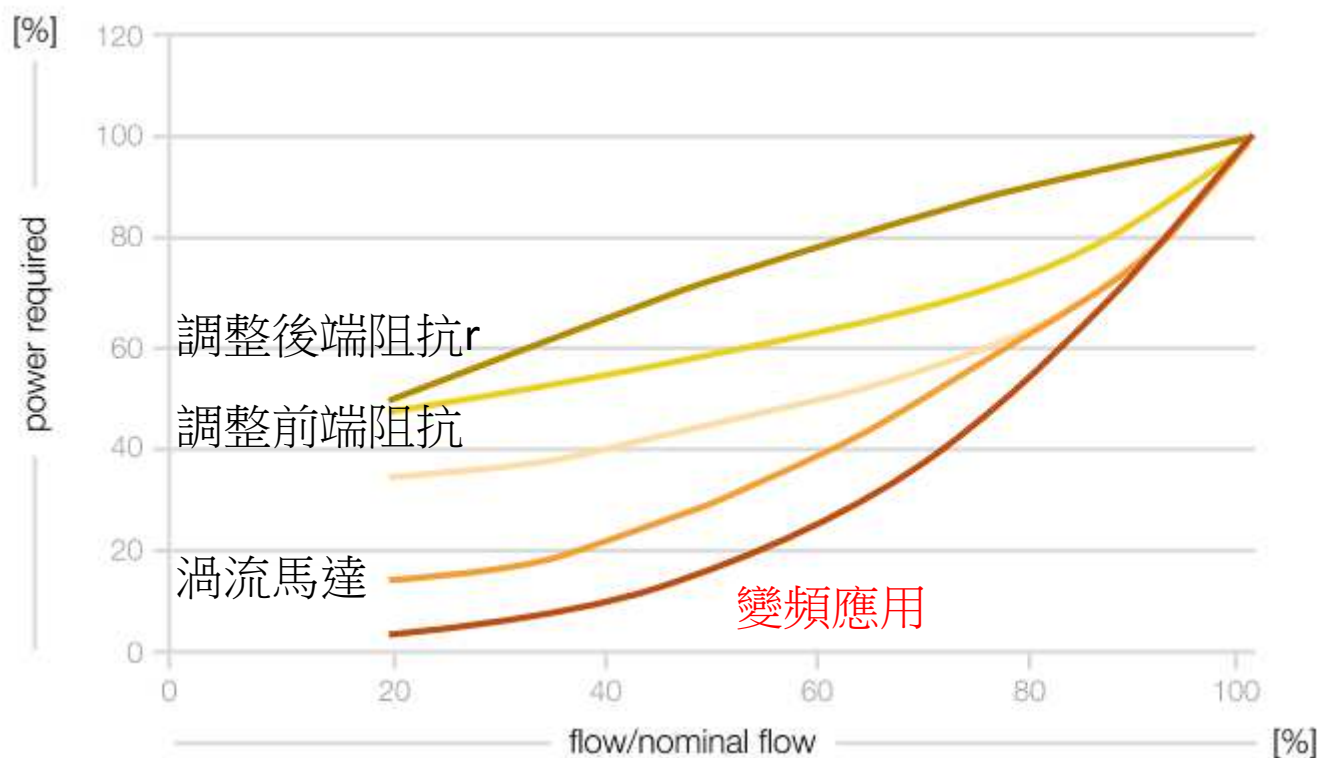


Source : Dynamatic®





風扇：各種控制方式節能比較



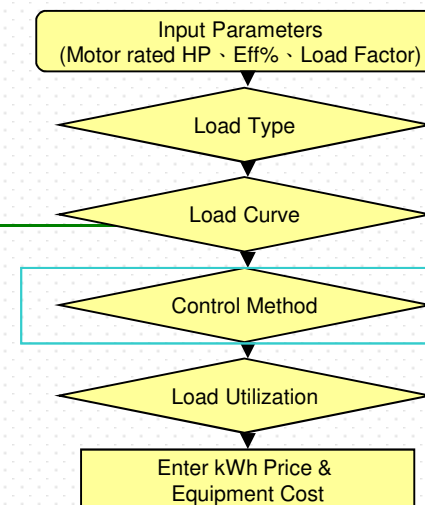
節能排行：變頻應用 > 渦流馬達 > 調整前端阻抗 > 調整後端阻抗



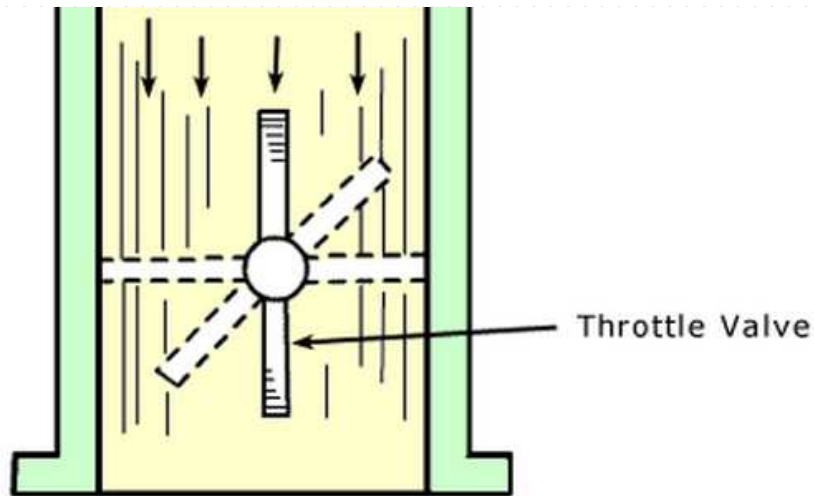
泵浦控制方式

系統效率：控制方式

- 轉矩控制
- 閥門控制
- 變頻器控制
- 渦流馬達

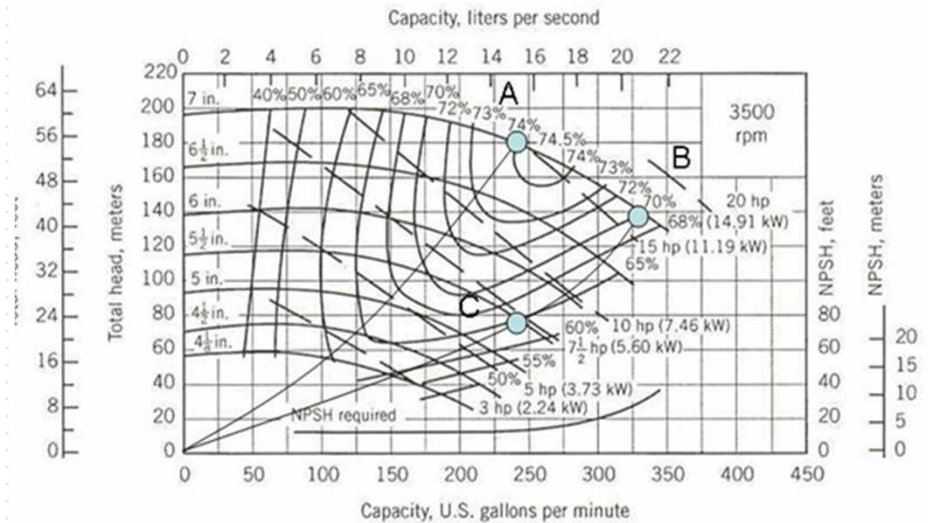


- 閥門控制方式類似出口處外加風門控制



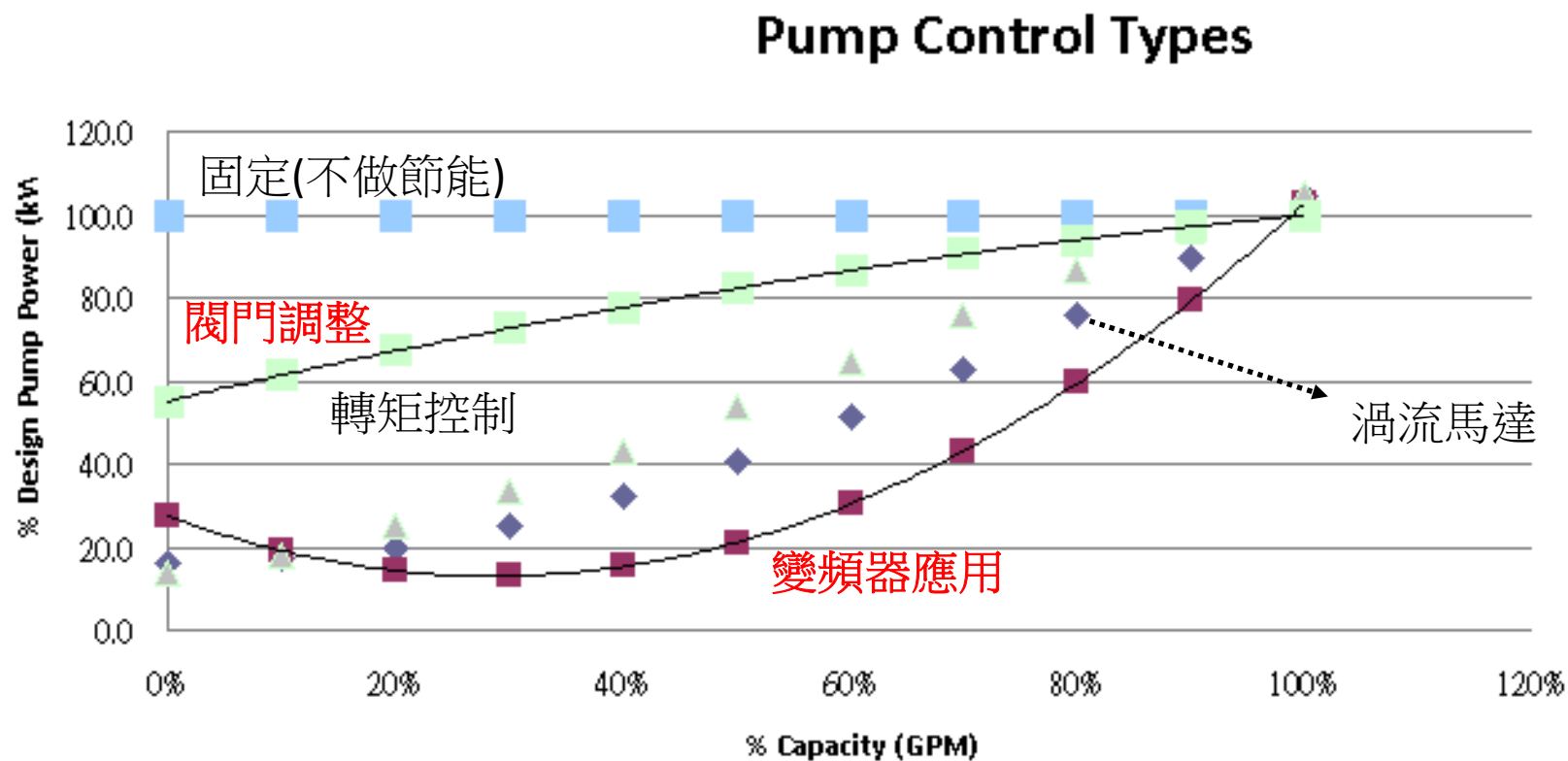
Throttle Valve regulates flow of fuel mixture. Shown in wide open, half open and closed positions.

secondchancegarage





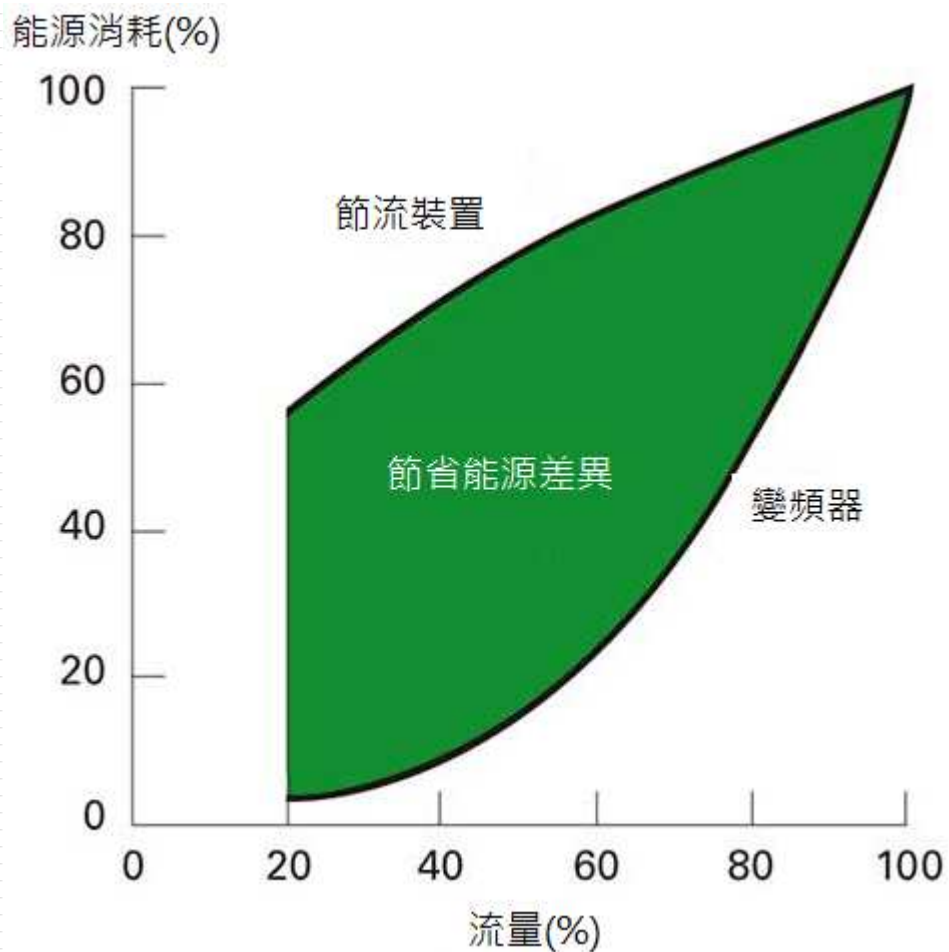
泵浦：各種控制方式節能比較



節能排行：變頻器應用 > 渦流馬達 > 轉矩控制 > 閥門調整 > 不做節能



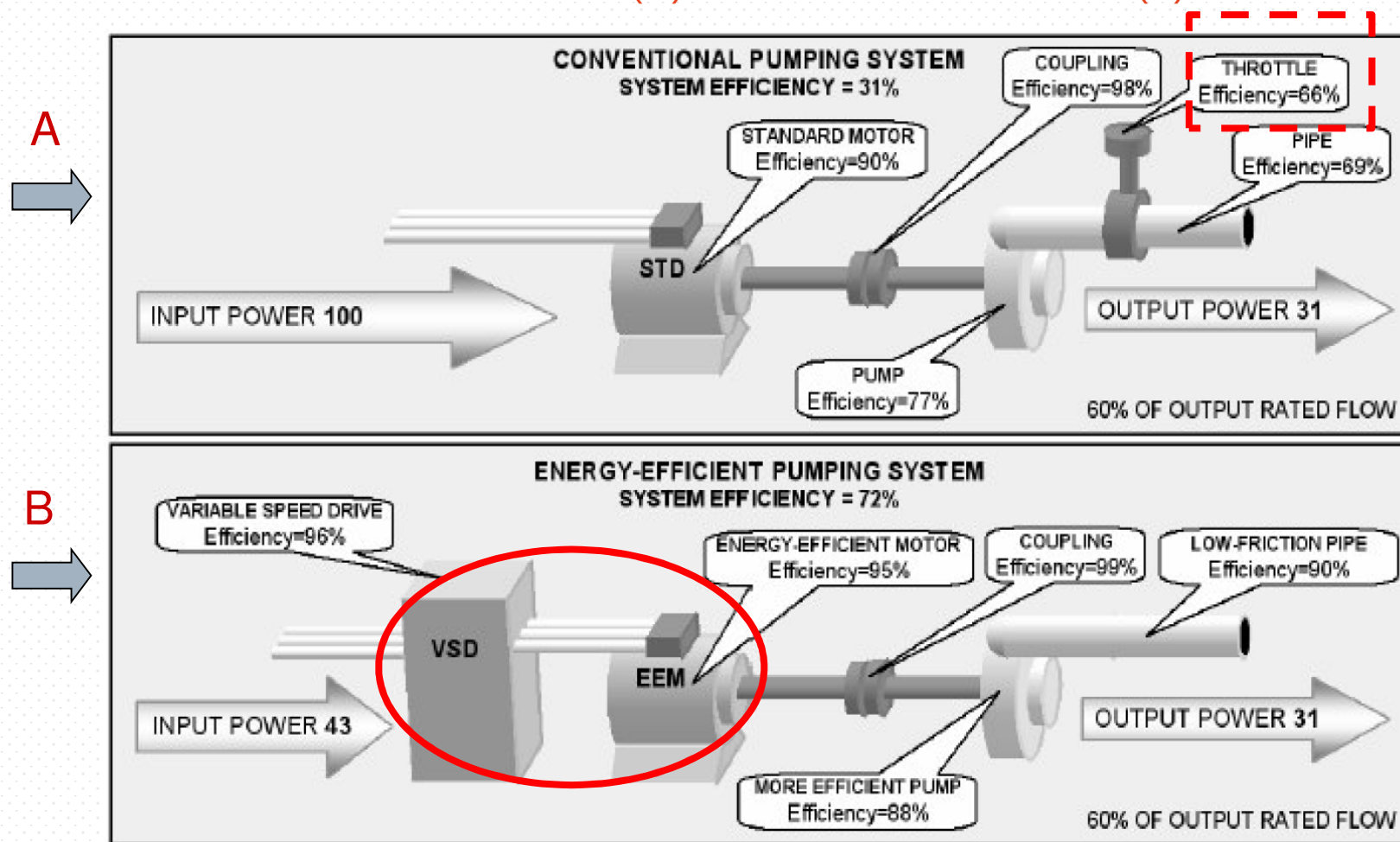
Fan/Pump轉速與耗能之關聯



負載	節能效果
100%	0%
90%	27.1%
80%	48.8%
70%	65.7%
60%	78.4%

*實際節能效果以實際負載與馬達特性而有不同

傳統泵浦系統(A)--> 高效率節能泵浦系統(B)



節能：31%→72% (A→B)

- 各國MEPS能效政策，也開始推行系統能效，如泵浦、風扇、壓縮機等產業。



MEPS overview

11

中國
美國
歐洲

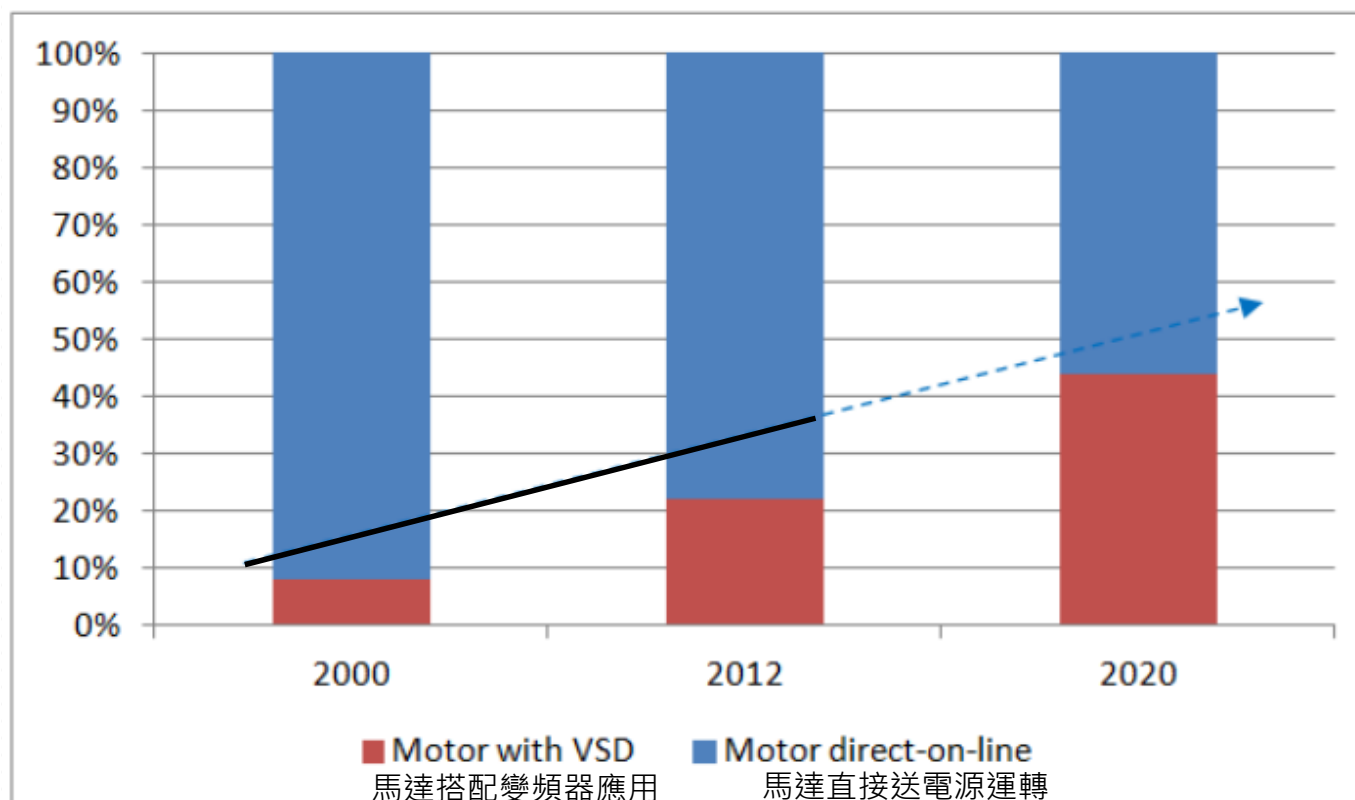
Region (ranked by electricity use of motor systems)	MEPS: yes / no *				Electricity use **)
	Motors	Pumps	Fans	Compressors	
China	y	y	y	y	28.3 %
USA	y	y	(y)	(y)	15.6 %
EU28 ***)	y	y	y	(y)	15.0 %
India	n	n	n	n	5.0 %
Japan	y	n	n	n	4.4 %
Russia	n	n	n	n	4.1 %
Korea	y	n	y+	n	2.7 %
Brazil	y	n	n	n	2.5 %
Canada	y	(y)	n	n	2.3 %
Mexico	y	y	n	n	1.4 %
South Africa	n	n	n	n	1.2 %
Saudi Arabia	y	n	n	n	1.0 %
Australia	y	(y*)	(y)	n	1.0 %
New Zealand	y	n	n	n	0.2 %
Electricity use (%) ****)	76 %	60 %	43 %	28 %	85 %

加拿大
墨西哥

澳洲

iDB I+M市場發展及預測

- I+M應用需求，2012年相對2000年成長已倍增
- I+M應用佔比，2012年約為總體馬達的22%，預估2020年成長到45%



來源：CEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics)

IE3為現狀能效推行主流

IE4、IE5屬未來的潮流



未來的高效率潮流：

- ✓ 馬達搭配變頻應用為主流
- ✓ 超高效率馬達朝變頻永磁式馬達發展

永磁馬達優點

效率高

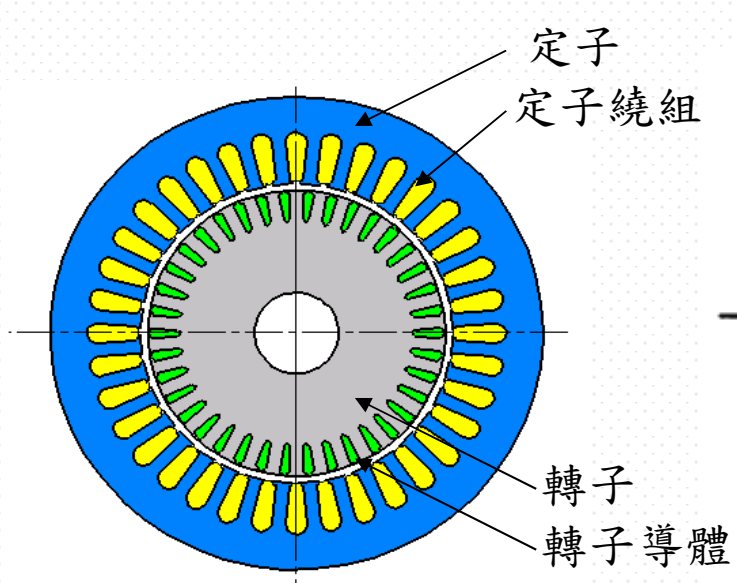
體積小重量輕

同步轉速

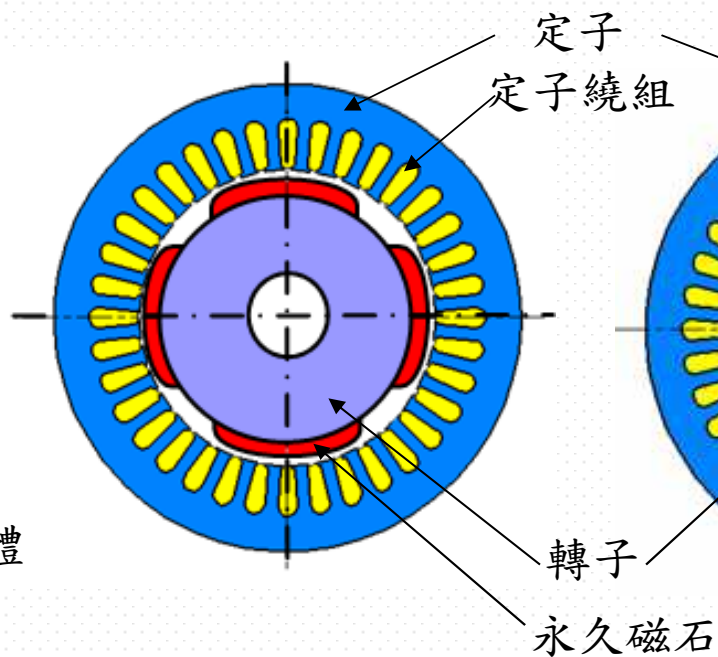
TN曲線範圍大

註：與感應馬達比

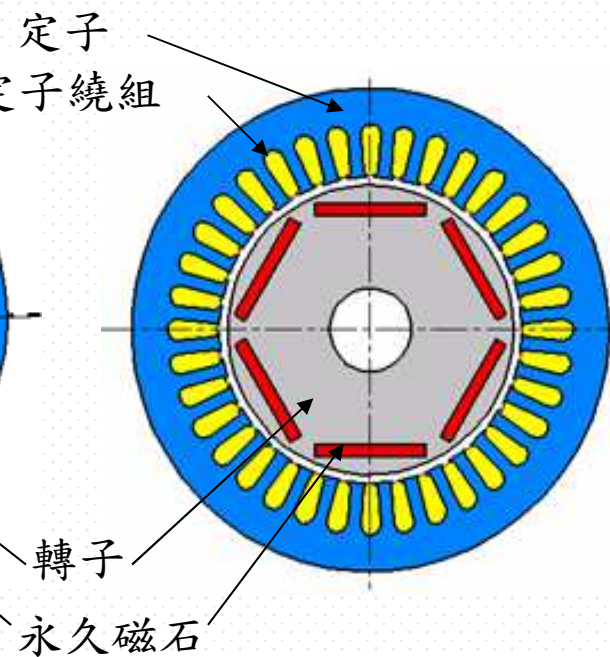
轉子磁極由磁鐵構成



(a) 感應馬達



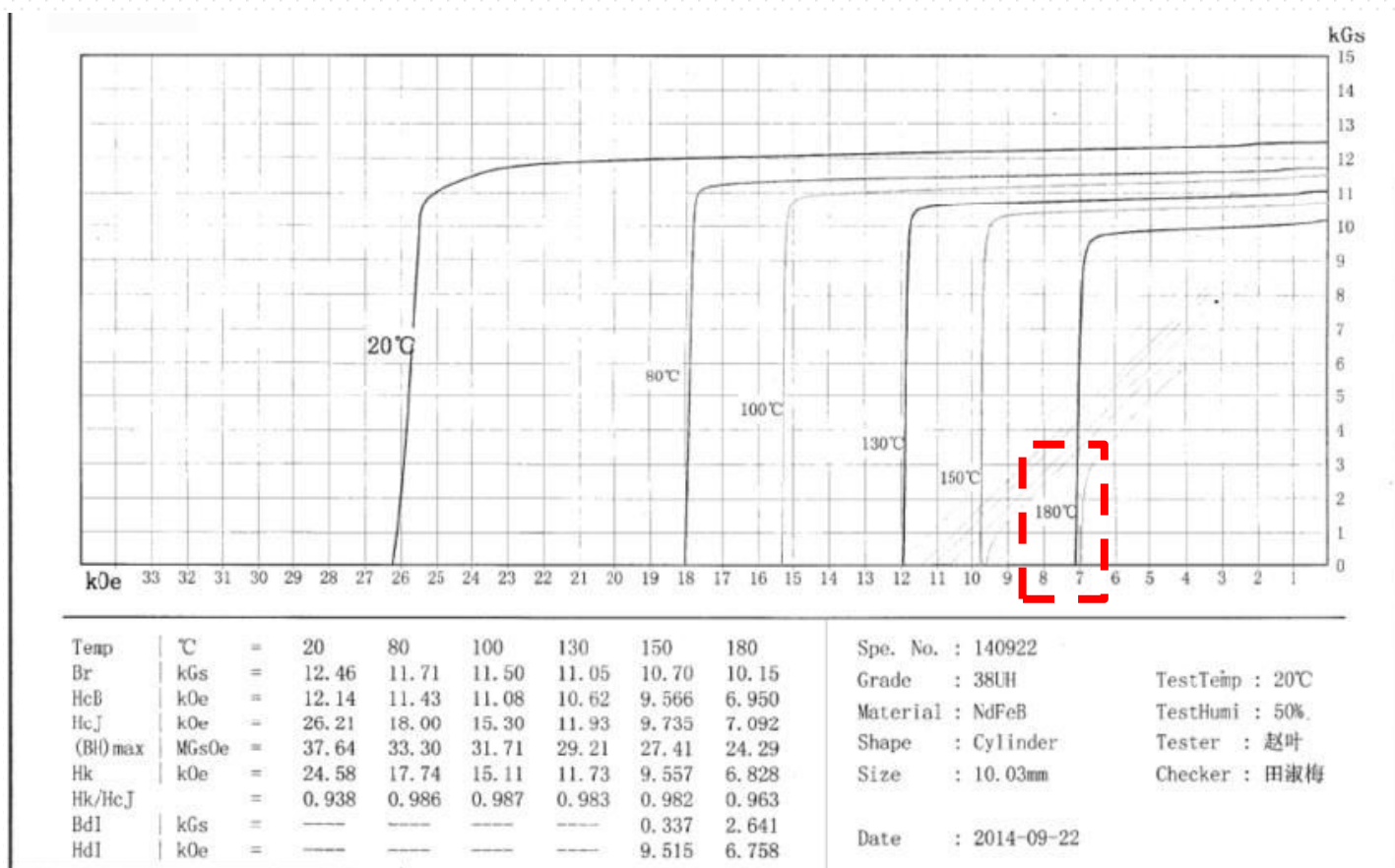
(b) SPM馬達



(c) IPM馬達

磁鐵性能

- 磁鐵材質：工業用高效率馬達常用磁鐵為釹鐵硼材質
- 退磁溫度：180度
- 保護設定：130度





變頻永磁馬達特點：重量、體積

永磁馬達優點

效率高

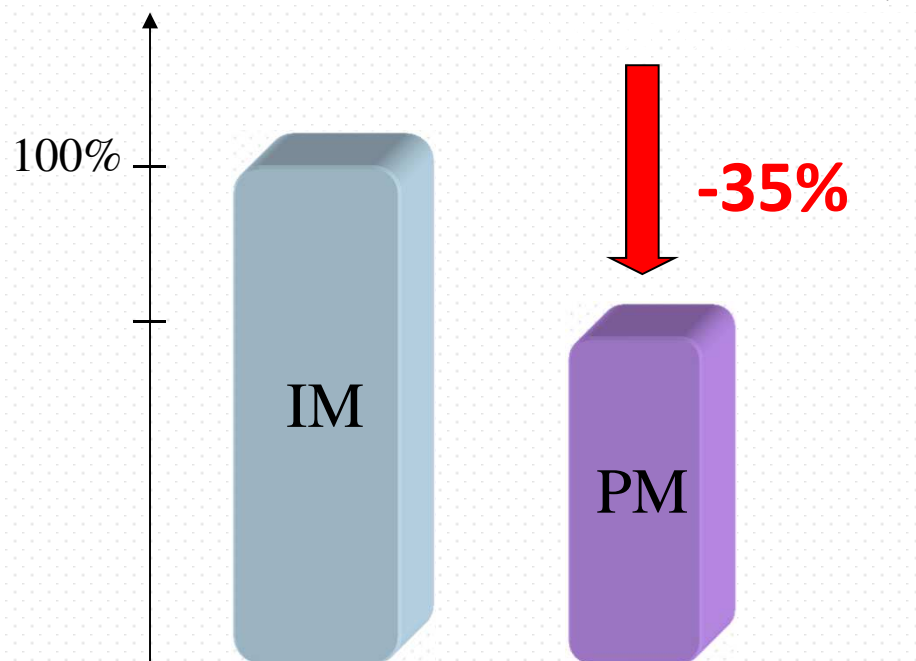
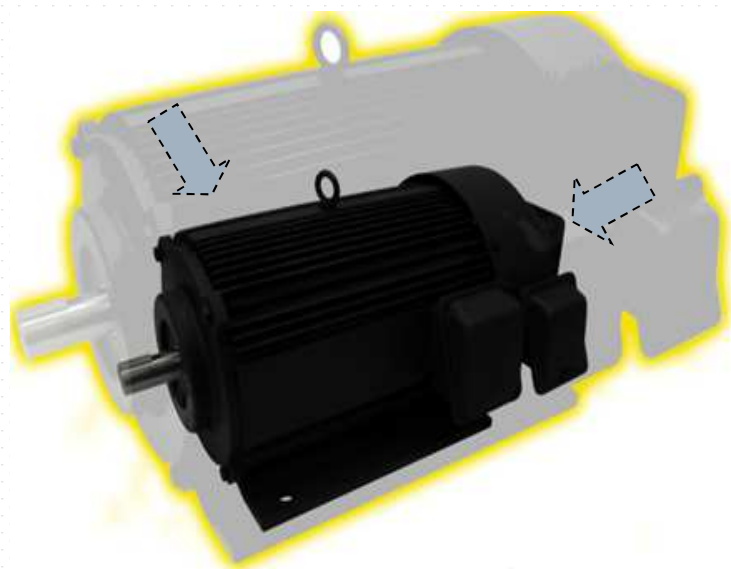
體積小重量輕

同步轉速

TN曲線範圍大

註：與感應馬達比

(重量、體積)



- 可降低1~2框號
- 重量與體積可降低35%以上

變頻永磁馬達特點：效率(1)

馬達各項損失

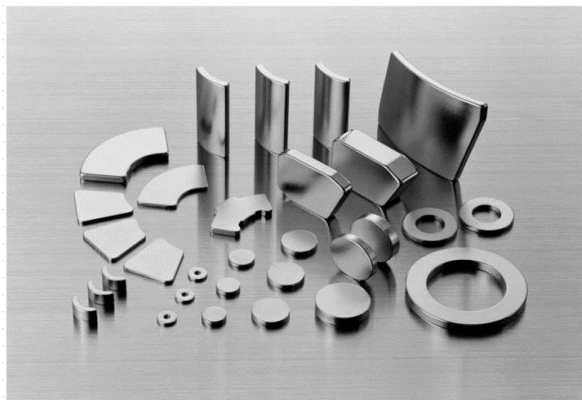


定子銅損

轉子銅損

鐵損

雜散損



使用稀土磁石

感應馬達_轉子



永磁馬達優點

效率高

體積小重量輕

同步轉速

TN曲線範圍大

註：與感應馬達比

定子銅損

鐵損

雜散損

變頻永磁馬達特點：效率(2)

在相同的變頻器應用條件下，
比較機種：15 kW，250~3500 rpm

永磁馬達優點

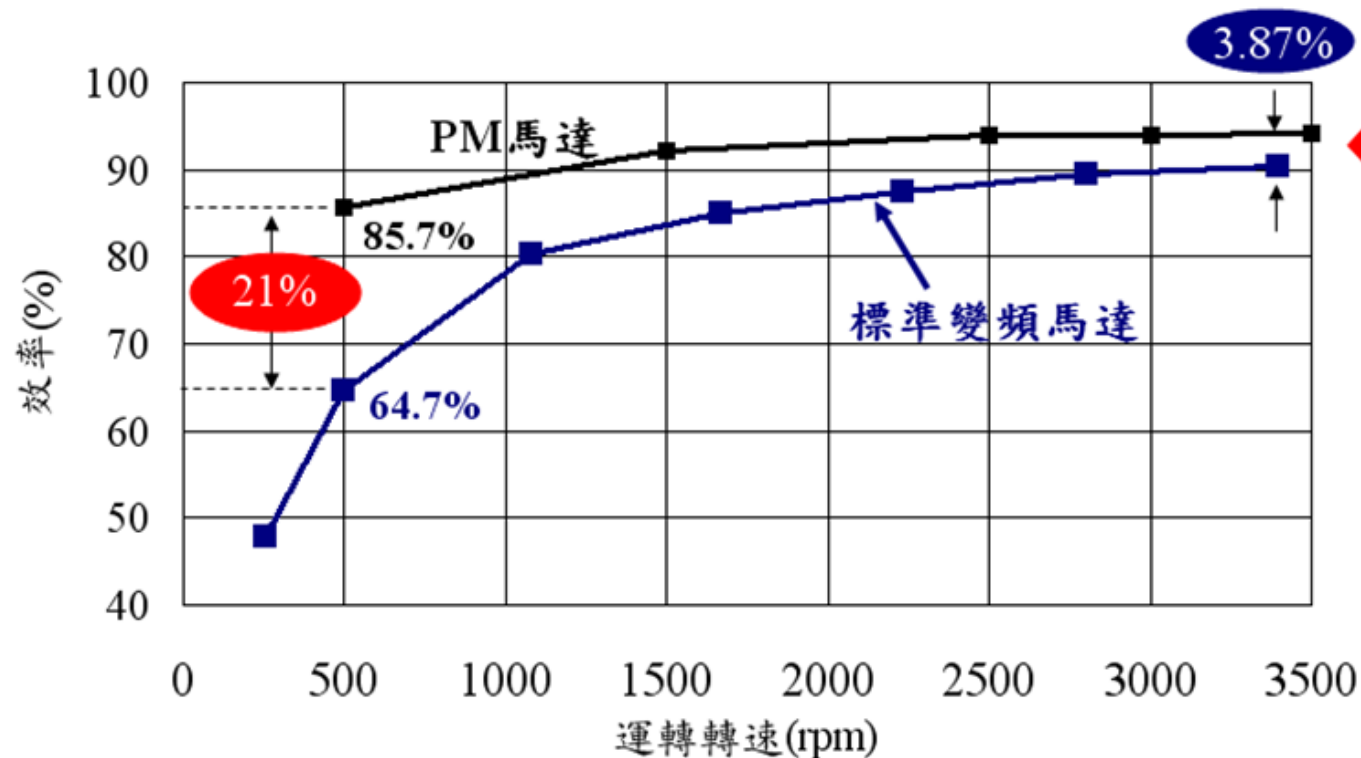
效率高

體積小重量輕

同步轉速

TN曲線範圍大

註：與感應馬達比



◆變頻永磁馬達低速運轉節能效益>>感應馬達(IE3)



變頻永磁馬達特點：同步轉速

永磁馬達優點

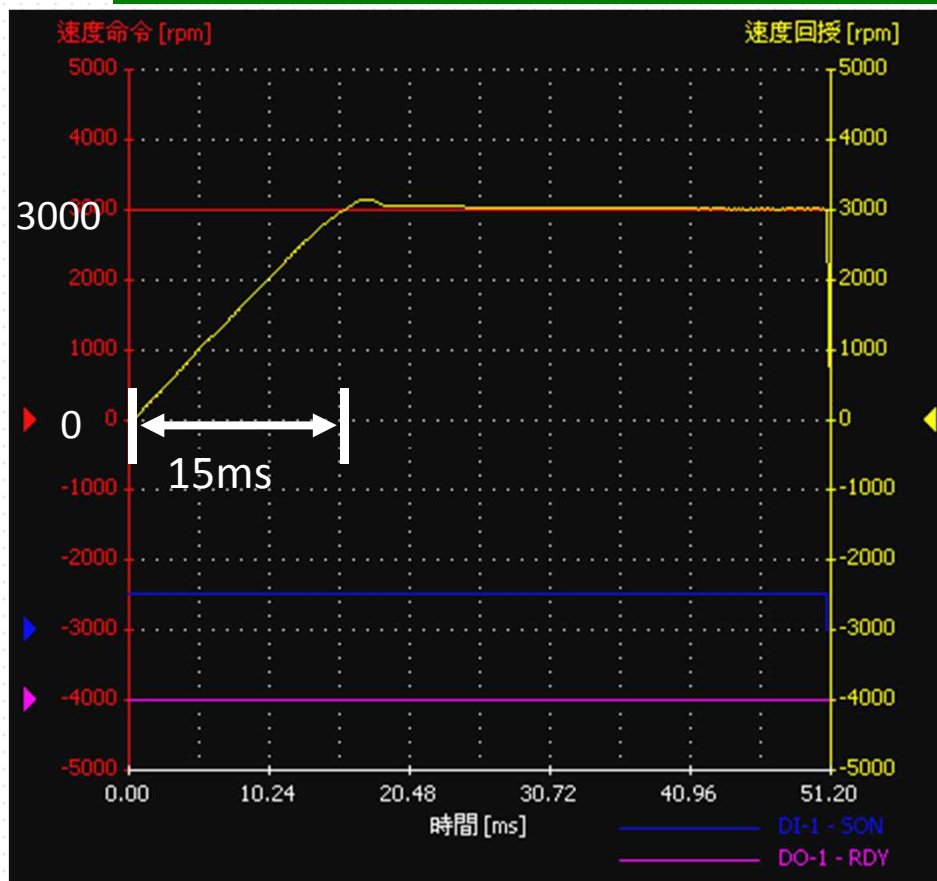
效率高

體積小重量輕

同步轉速，誤差小

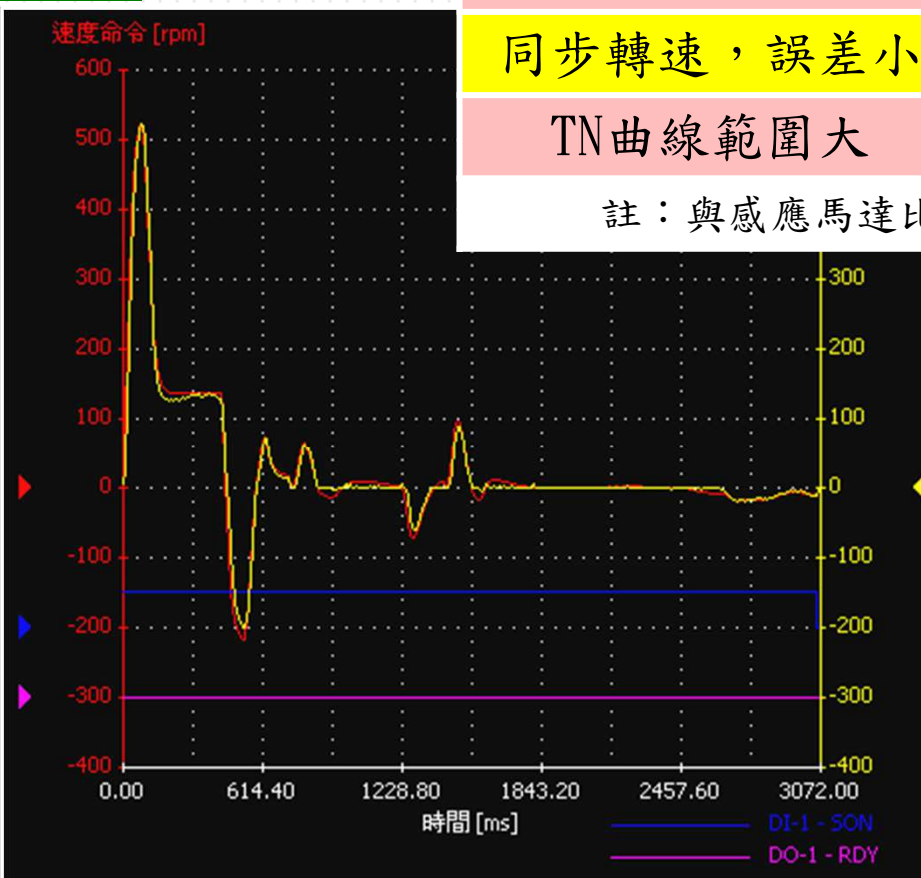
TN曲線範圍大

註：與感應馬達比



速度響應快

7.5kW 永磁伺服馬達單體測試，從靜止狀態加速至3000 rpm，僅需約15ms



速度誤差小

5.5kW 永磁伺服馬達應用在射出成型機，馬達緊隨著命令運轉，誤差很小

iDB 超高效率(IE4)變頻馬達產品介紹：永磁式馬達

IE4風水力機專用(永磁)、價格便宜=IE3變頻馬達

系列	DVLF (強冷)	DVEN (自冷)
IE4_永磁馬達		
輸出功率	2.2~75 kW	0.75~22 kW
轉子型式	SPM (永磁馬達)	IPM (永磁馬達)
額定轉速	1000rpm 1500rpm 2000rpm	1200rpm 1800rpm 3600rpm
框號	112, 132, 160	80~180
IP 等級	IP55	IP55
安裝方式	IM B35 (IM 2001)	IM B3 (IM 1001)
冷卻方式	強冷(單相220 V, IC416)	自冷(自帶扇, IC411)
過載特性	200%/10秒	120%/60秒
回授	Resolver, Encoder	無



東元變頻永磁馬達系列機種

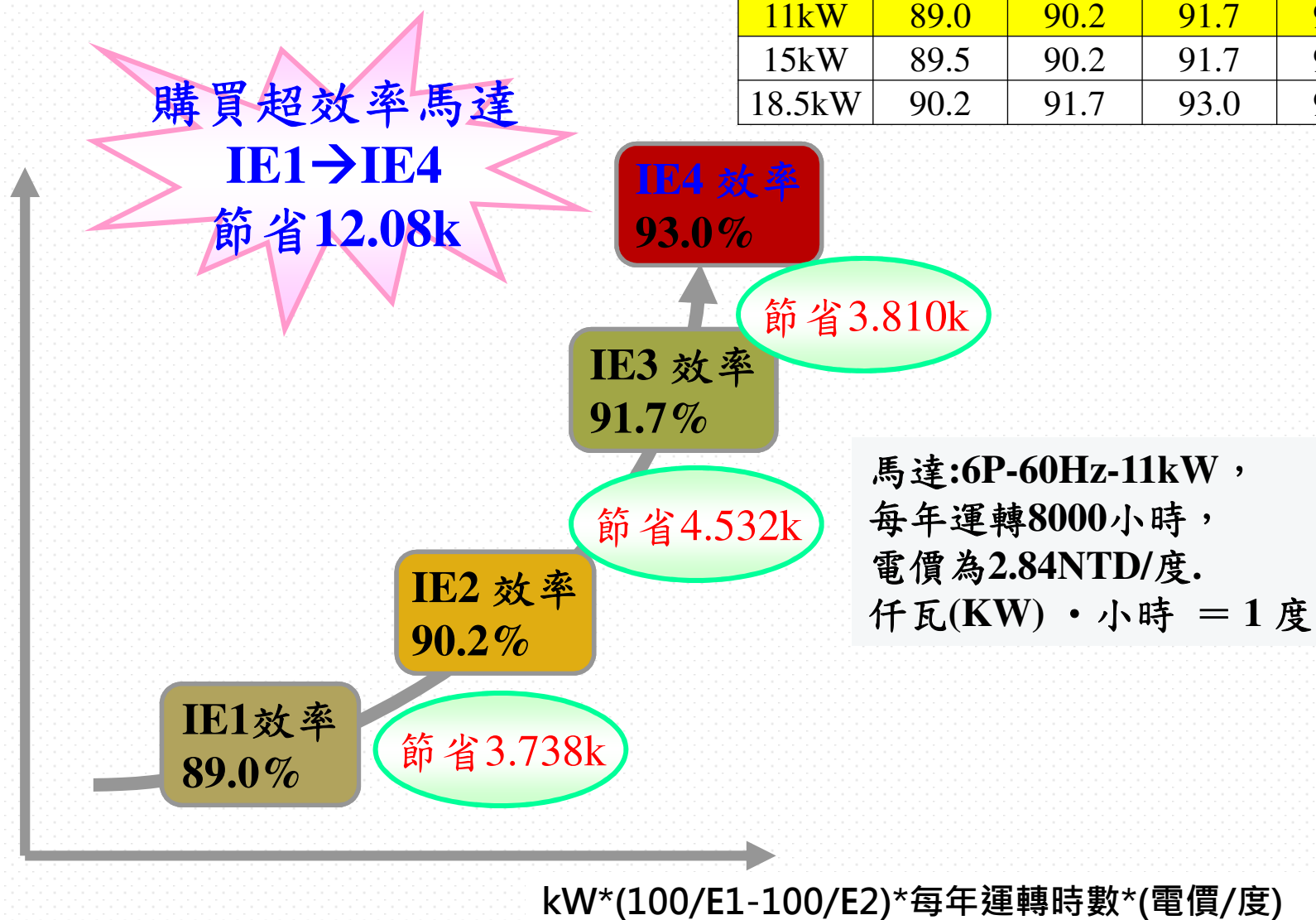
系列 轉速 kW	DVLF 系列 (強冷式)			DVEN 系列 (自冷式)			
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	1200 rpm	1800 rpm	3600 rpm	
0.75	---	---	---	90L	80M	80M	
1.5	---	---	---	112M	90L	90L	
2.2	F112	---	---		100L		
3.7		F112	---	132S	112M	112M	
5.5			F112	F112	132M	132S	132S
7.5					160M	132M	
11	F132				F132	160L	160M
15		180MC				160L	
18.5		F132	F132	180LC		180MC	160L
22							180MA
30					---		
37	F160			F160		---	
45			---				
55							
			F160				2-1-1

應用範圍 & 範例

型式 變頻永磁馬達	DVLF(強冷式)	DVEN(自冷式)
應用範圍	1. 快速響應 2. 定位控制 3. 張力控制 4. 低速高轉矩 5. 定轉矩應用	1. 變轉矩應用，主要風水力機應用
應用範例	 裁紙機  磨床機  伸線機  射出機 (全電)	 鼓風機  空壓機  水泵

iDB 超高效率變頻永磁馬達：運轉費用節省

馬達功率	6P_60HZ			
	IE1	IE2	IE3	IE4
11kW	89.0	90.2	91.7	93.0
15kW	89.5	90.2	91.7	93.0
18.5kW	90.2	91.7	93.0	94.1





超高效率變頻永磁馬達：回收年限

電價：2.84NTD/度；年使用(小時)：8,000.

6P-60Hz-11kW

$\text{kW} \times (100/\text{E1} - 100/\text{E2}) \times \text{每年運轉時數} \times (\text{電價}/\text{度})$

IE4風水利專用機

變頻永磁馬達售價略高 IE3變頻馬達

馬達 出力	馬達效率等級 (nominal value)		入力 (kw)	度/年	電費 (元/年)	電費價差(元/年) 回收效益年限			
11kW (15HP)	IE1 AEEF (\$18,990)	89.0	12.3596	98,877	280,811	Base	--	--	--
	IE2 AEHM (\$22,070)	90.2	12.1951	97,561	277,073	-3,738 0.82年	Base	--	--
	IE3 AEHF (\$25,374)	91.7	11.9956	95,965	272,541	-8,270 0.77年	-4,532 0.73年	Base	--
	IE4 (永磁式) DVEN (\$28,665)	93.0	11.8280	94,624	268,731	-12,080 0.80年	-8,342 0.79年	-3,810 0.86年	Base
	IE4 (感應) AEHH4E (\$33,579)	93.0	11.8280	94,624	268,731	-12,080 1.21年	-8,342 1.38年	-3,810 2.15年	--

購買價差，回收年限<1年
售價比同為IE4的感應馬達便宜

iDB 超高效率變頻永磁馬達：回收年限

電價：2.84NTD/度；年使用(小時)：8,000.

6P-60Hz-15kW

$\text{kW} \times (100/E1 - 100/E2) \times \text{每年運轉時數} \times (\text{電價}/\text{度})$

IE4風水利專用機

變頻永磁馬達售價略高 IE3變頻馬達

馬達 出力	馬達效率等級 (nominal value)		入力 (kw)	度/年	電費 (元/年)	電費價差(元/年) 回收效益年限			
15kW (20HP)	IE1 AEEF (\$25,920)	89.5	16.7598	134,078	380,782	Base	--	--	--
	IE2 AEHM (\$30,142)	90.2	16.6297	133,038	377,827	-2,955 1.43年	Base	--	--
	IE3 AEHF (\$34,662)	91.7	16.3577	130,862	371,647	-9,135 0.96年	-6,180 0.73年	Base	--
	IE4 (永磁式) DVEN (\$37,881)	93.0	16.1290	129,032	366,452	-14,330 0.83年	-11,375 0.68年	-5,195 0.62年	Base
	IE4 (感應) AEHH4E (\$39,281)	93.0	16.1290	129,032	366,452	-14,330 0.93年	-11,375 0.8年	-5,195 0.89年	--

購買超高效率馬達
差價回收年限 < 1年



超高效率變頻永磁馬達：回收年限

電價：2.84NTD/度；年使用(小時)：8,000.

6P-60Hz-18.5kW

$\text{kW} \times (100/\text{E1} - 100/\text{E2}) \times \text{每年運轉時數} \times (\text{電價}/\text{度})$

IE4風水利專用機

變頻永磁馬達售價≡略高 IE3變頻馬達

馬達 出力	馬達效率等級 (nominal value)		入力 (kw)	度/年	電費 (元/年)	電費價差(元/年) 回收效益年限			
18.5kW (25HP)	IE1 AEEF (\$36,198)	90.2	20.5100	164,080	465,987	Base	--	--	--
	IE2 AEHM (\$42,101)	91.7	20.1745	161,396	458,365	-7,622 0.77年	Base	--	--
	IE3 AEHF (\$48,414)	93.0	19.8925	159,140	451,958	-14,029 0.87年	-6,407 0.99年	Base	--
	IE4 (永磁式) DVEN (\$53,726)	94.1	19.6599	157,279	446,674	-19,313 0.91年	-11,691 0.99年	-5,284 1.01年	Base
	IE4 (感應) AEHH4E (\$58,071)	94.1	19.6599	157,279	446,674	-19,313 1.13年	-11,691 1.37年	-5,284 1.83年	--

購買超高效率馬達
差價回收年限 < 1年



遠東紡織現場實地測試節能效果





永磁馬達應用節能案例－風力機械(自冷)

使用情況：每天運轉時間24小時

使用馬達 (22kW)	運 轉 (kWh)	單月耗電量 (26天)	電費單價 \$/kWh	單月電費 \$
感應馬達	20.42	12,742	3.02 元	38,481 元
永磁馬達	18.74	11,694		35,315 元
單月節省電費				-3,166元
年節省電費				-37,992 元



節能9%



永磁馬達節能案例 - 水泵機械(自冷)

使用情況：每天平均運轉時間12小時

使用馬達 (37 kW)	運 轉 (kWh)	單月耗電量 (26天)	電費單價 \$/kWh	單月電費 \$
感應馬達	408	10,608	3.02 元	32036 元
永磁馬達	363.12	9,441		28,512 元
單月節省電費				-3,524元
年節省電費				-42,288 元

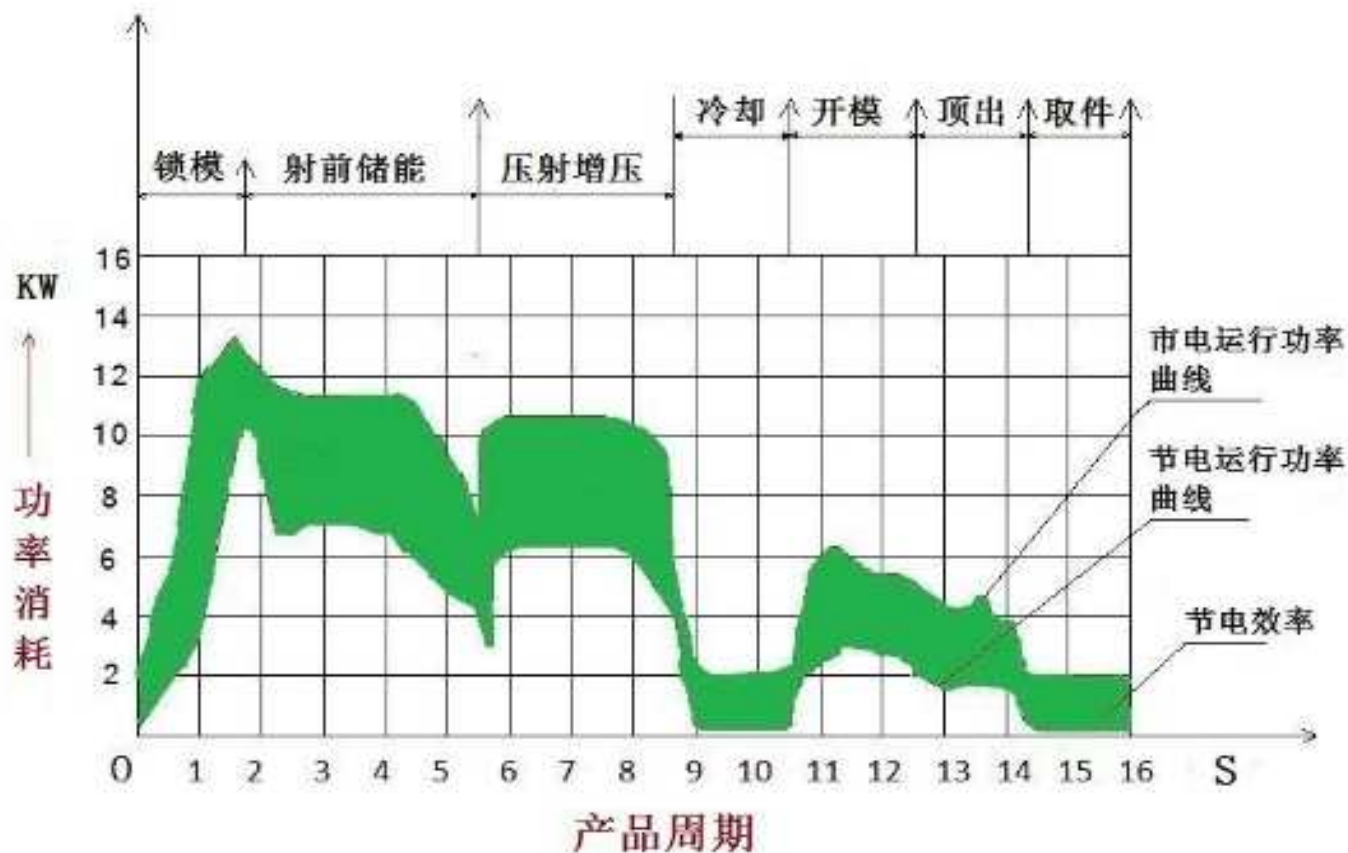


節能11%



節能概念－壓鑄機械(強冷 DVLF)

- 若以50 或 60HZ高速運轉，油泵的供油量基本上是不變的，且遠高於壓鑄行程所需的油量，多出來的油量將會透過溢流閥回到油箱，這樣就是巨大的能量浪費
- 節能方案：可透過調整電機的速度，提供各行程合適的油量，達到節能



使用情況：每天平均工作時間12小時

使用馬達 (22 kW)	運作時平均耗電 (kWh)	單月耗電量 (26天)	電費單價 \$/kWh	單月電費 \$
感應馬達	12.85	4,009.2	3.02 元	12,107 元
永磁馬達	8.11	2,530.3		7641.5 元
單月節省電費				-4,465元
年節省電費				-53,585 元



感應馬達



永磁馬達

節能37%

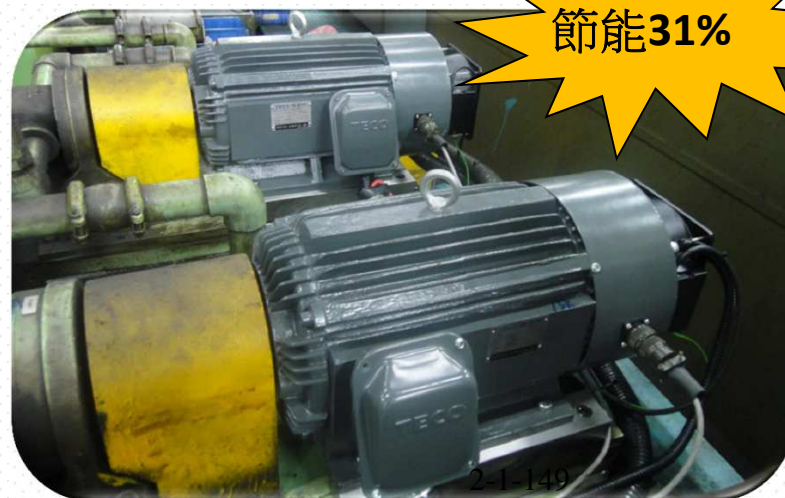
永磁馬達節能案例 – 磨床機械

使用情況：在一天16小時中,運轉時間12小時,待機4小時

使用馬達 (15、18.5 kW)	待機 (kWh)	運轉 (kWh)	單月耗電量 (26天)	電費單價 \$/kWh	單月電費 \$
感應馬達	6.47	25.59	8,656	3.02 元	26,142 元
永磁馬達	0.62	18.94	5,973		180,38 元
單月節省電費					-8,104 元
年節省電費					-97,248 元



149



節能31%

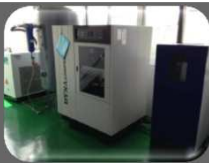
2-1-149

2-1-149

iDB 永磁馬達應用實績(1)

定義：設備採用變頻器操作條件下
節能：單純為馬達變更前後電表節能數值

應用實績(變頻節能)

產業應用	圖示	馬達型式	馬達功率	使用條件	每月電費\$ (以3.02元計算)	單月比較
射出吹瓶機		感應馬達	15 kW	運轉16小時	18,845	BASE
		PM馬達			5,431	-71%
壓鑄機		感應馬達	22 kW	運轉12小時	12,107	BASE
		PM馬達			7,641	-37%
磨床機械		感應馬達	15 kW & 18.5 kW	運轉16小時	26,142	BASE
		PM馬達			18,038	-31%
空壓機 (復盛)		感應馬達	37 kW	運轉16小時	49,983	BASE
		PM馬達			41,791	-16%
水泵		感應馬達	37 kW	運轉16小時	49,983	BASE
		PM馬達			44,660	-11%

iDB 永磁馬達應用實績 – 高效應用

※ 鼓風機：DVLF系列



※ 水泵：DVLF系列



※ 空壓機：DVLS系列



iDB 永磁馬達應用實績 – 高效應用

※ 電動船：DVLf系列

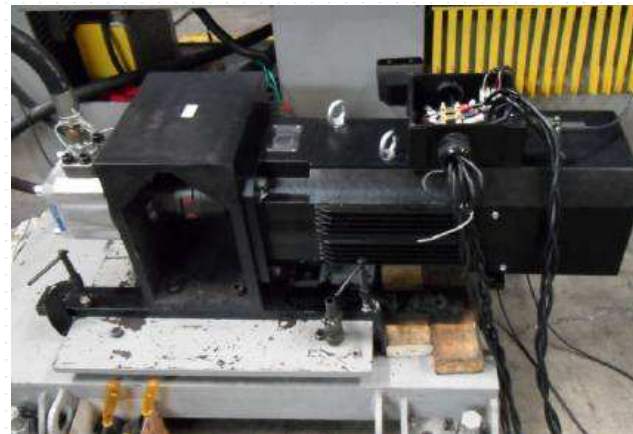


iDB 永磁馬達應用實績 – 高精度與高響應

※ 全電式射出機：DVL F系列



※ 油電式射出機：DVL F系列



iDB 永磁馬達實績 – 高精度與高響應

※ 伸線機：DVLf系列



※ 裁紙機：DVLf系列



iDB 永磁馬達實績 – 高精度與高響應

※ 沖床：DVLf系列



※ 吹袋機：DVLf系列



iDB 變頻永磁同步馬達驅動器選用應用實績

TECO



A510S



F510



YASKAWA

A1000



C2000



ACS800、ACS880



FC302



9400



Thanks

Thanks

Thanks

Thanks

Thanks

Thanks



物聯網技術於機電設備之應用

東訊(股)公司

智慧機電專案經理

吳毓麟 經理



全智慧機電設備健康管理平台

**All Smart
Machine Health managing (MHm) Platform**

全智慧型機電設備健康管理平台 (Machine Health managing, MHm)

以**特別設計**的感知器，安裝在任何已運轉的工業機電設備上，取得運轉數據，由搭配之物聯網關 (IoT Gateway) 接入移動網絡 (Mobile Internet)，進而連接到遠端智慧手機。

加上具備強大管理功能的大型軟體，與豐富好用的手機 App，構成

「全智慧型機電設備健康管理平台」。

□ 結構三元件：

1. 各種類特別設計的感知器
2. 物聯網 網關 (IoT Gateway)
3. 平台軟體
 - a. 伺服器為基礎大型管理軟體
 - b. 多選，好用之手機App

應用架構圖



□ 高科技含量

1. 特別設計的感知器使用微機電技術 (MEMS, Micro Electro Mechanical System)

- 無校正
- 小體積
- 可移動放置

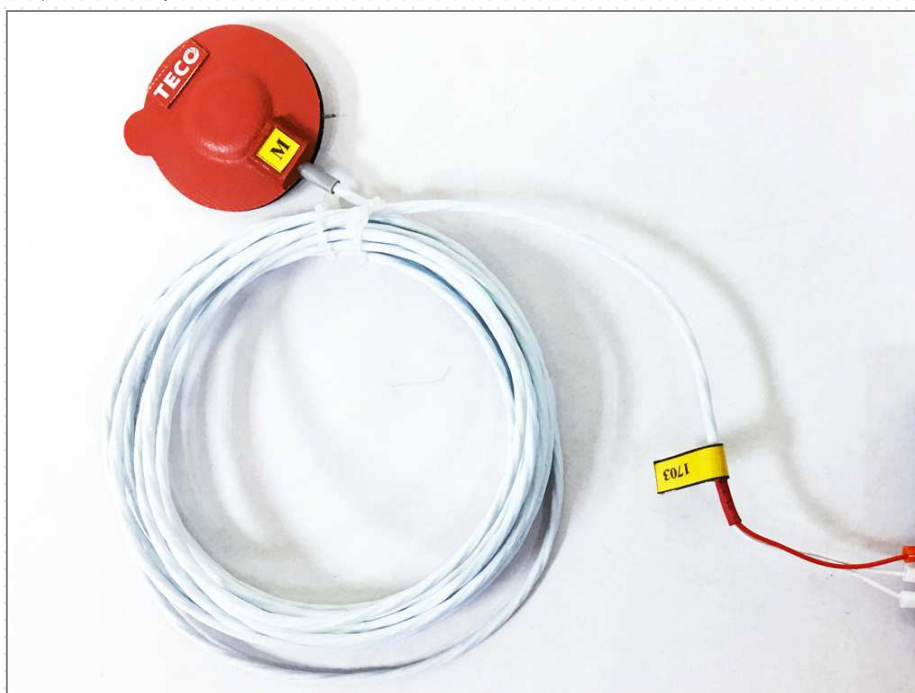
2. 進階式物聯網技術 (Advanced IoT)

- a) 物聯網關具有交換機功能，可提供多物件、多用者 同時介接
- b) 私有雲 (Private Cloud)
- c) 私網穿透 (NAT Traversal)

溫度感測元件

生產力4.0等級

黏貼式



磁吸式



智慧型振動規

生產力4.0等級

鎖螺式



磁吸式



黏貼式



智慧三用電錶

生產力4.0等級



智慧網關

生產力4.0等級

AG-300



AG-300U



可監控，管理之項目為：

- 電流 I
- 電壓 V
- 用電
- 振動 V_{BR}
- 溫度 T (重要部位)
- 其他機電狀況
 - 轉速，扭力



電流



溫度



振動



功率



用電記錄



開關狀態

管理方式：遠距，即時，互動

本平臺設計採用物聯網(IoT) 技術，提供兩大特點功能：

- 時時相連 (Always Connect)
- 即時推播 (Push Notification)

這兩項功能可以使手機在執行遠距，監測，通報，告警，診斷及遙控等作業時，能有即時，雙向，互動之效果。傳統SCADA系統或Web-based線上系統無法執行推播，也不能時時相連，不能符合即時互動之操作方式，相較之下，本平臺有明顯優勢。

強大機電健康管理(MHm)功能

1. 即時運轉值通報

隨選式 (on-demand) 或預設時 (pre-set time)

2. 運轉值趨勢通報

3. 遠端告警

維運管理之關鍵在於告警，本平臺有四種告警，全方位守護機電設備

- ① 超標告警
- ② 驟變告警
- ③ 趨勢預警
- ④ 定時提醒

.....強大機電健康管理(MHm)功能

4. 遠端關機 (Option)

緊急告警時，本台提供「保密式遠端關機」功能，以免造成設備嚴重損壞，導致停工。

5. 常態能耗偏標示警

迅速檢修，控制能源浪費

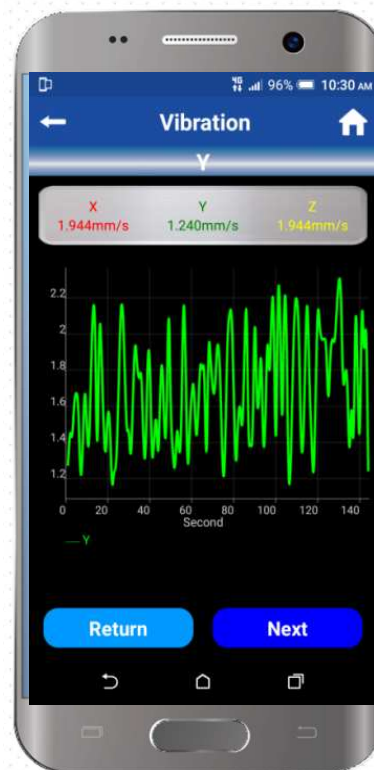
6.



市場首創

系統與手機即時，互動不良診斷，交叉比對，趨勢檢查，產生診斷檢修建議。

APP 手機顯示畫面



MHm 軟體顯示畫面 (server-based)



TECO Group Industry 4.0
Machine Health managing system

admin

[忘記密碼](#)

確定

MHm 軟體顯示畫面 (server-based)

TECO Group Industry 4.0

Machine Health managing System

admin 登出

正常運作 : 47

告警 : 4

停機 : 0

預警 : 1

輸入編號

運轉資訊

即時運轉資訊

告警資訊

運轉趨勢

管理

保養通知

故障次數排名

日用電量報表

月用電量報表

設定

設備設定

帳號設定

指定通報

系統資訊

系統資訊

IE4 132

IE4 132

IE4 132

IE4 132

HVS 007

HVS 007

HVS 007

HVS 007

IE4 132

IE4 132

IE4 132

IE4 132

HVS 007

HVS 007

HVS 007

HVS 007

IE4 132

IE4 132

IE4 132

IE4 132

HVS 007

HVS 007

HVS 007

HVS 007

IE4 132

IE4 132

IE4 132

IE4 132

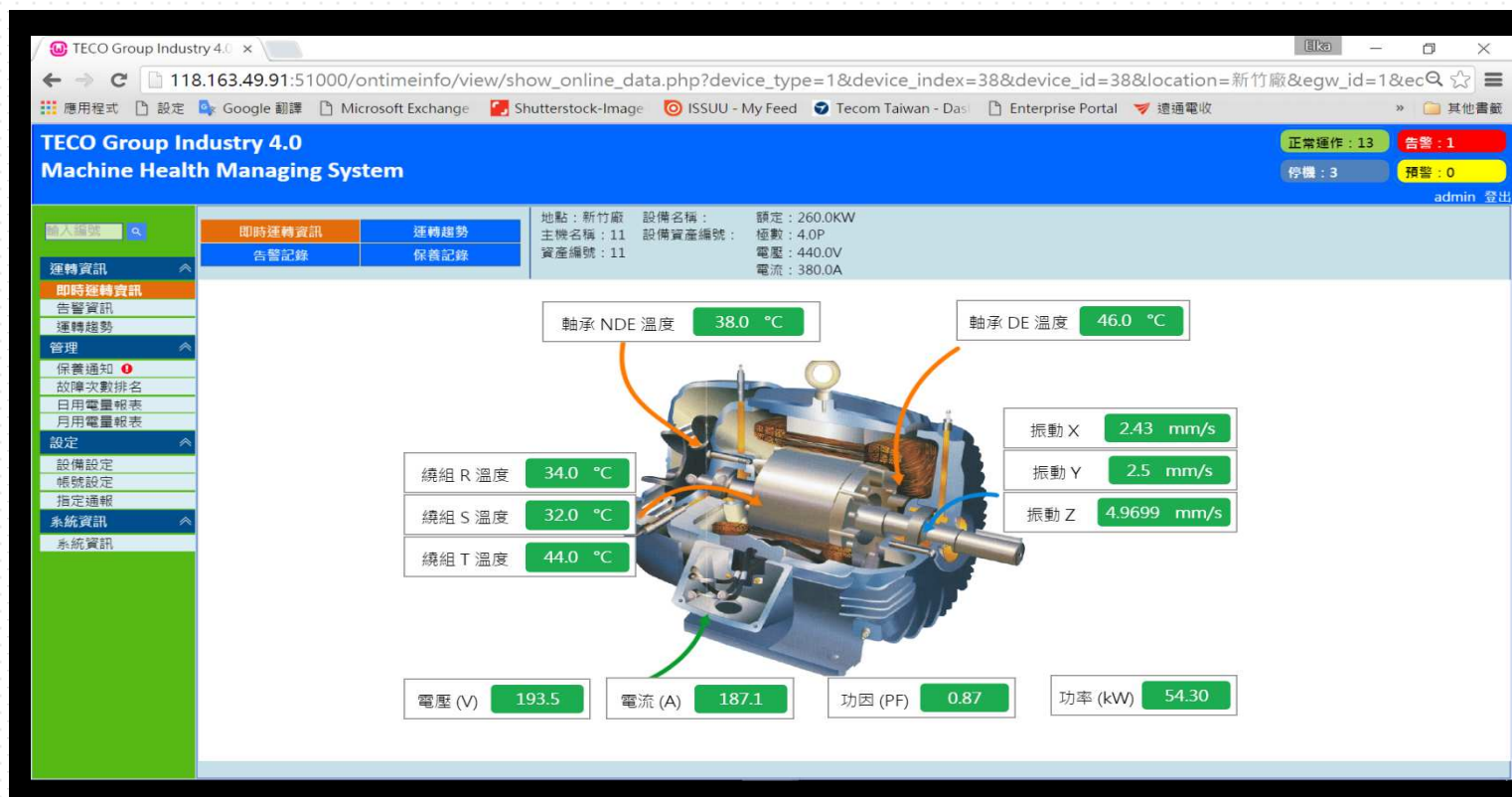
HVS 007

HVS 007

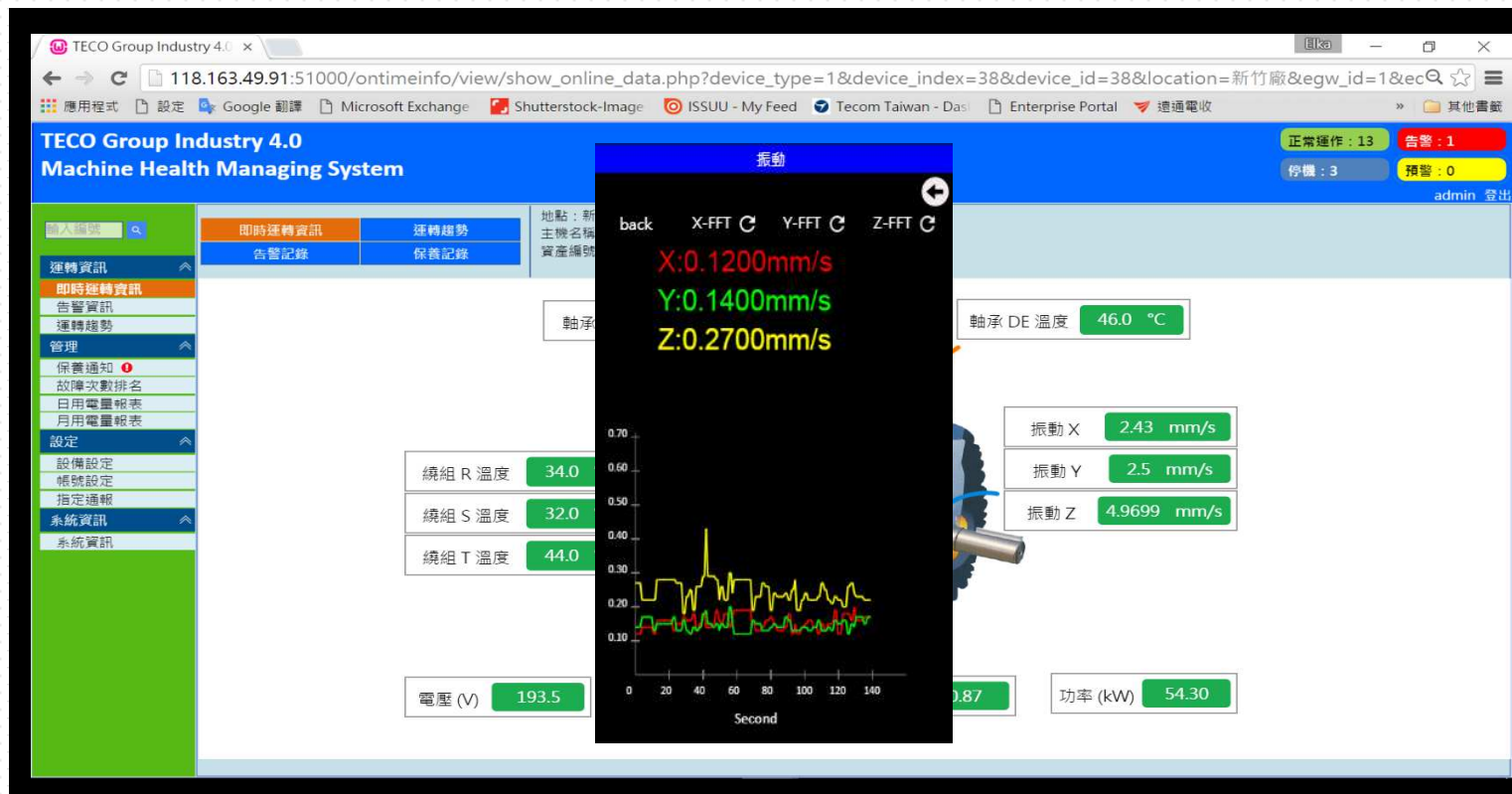
HVS 007

HVS 007

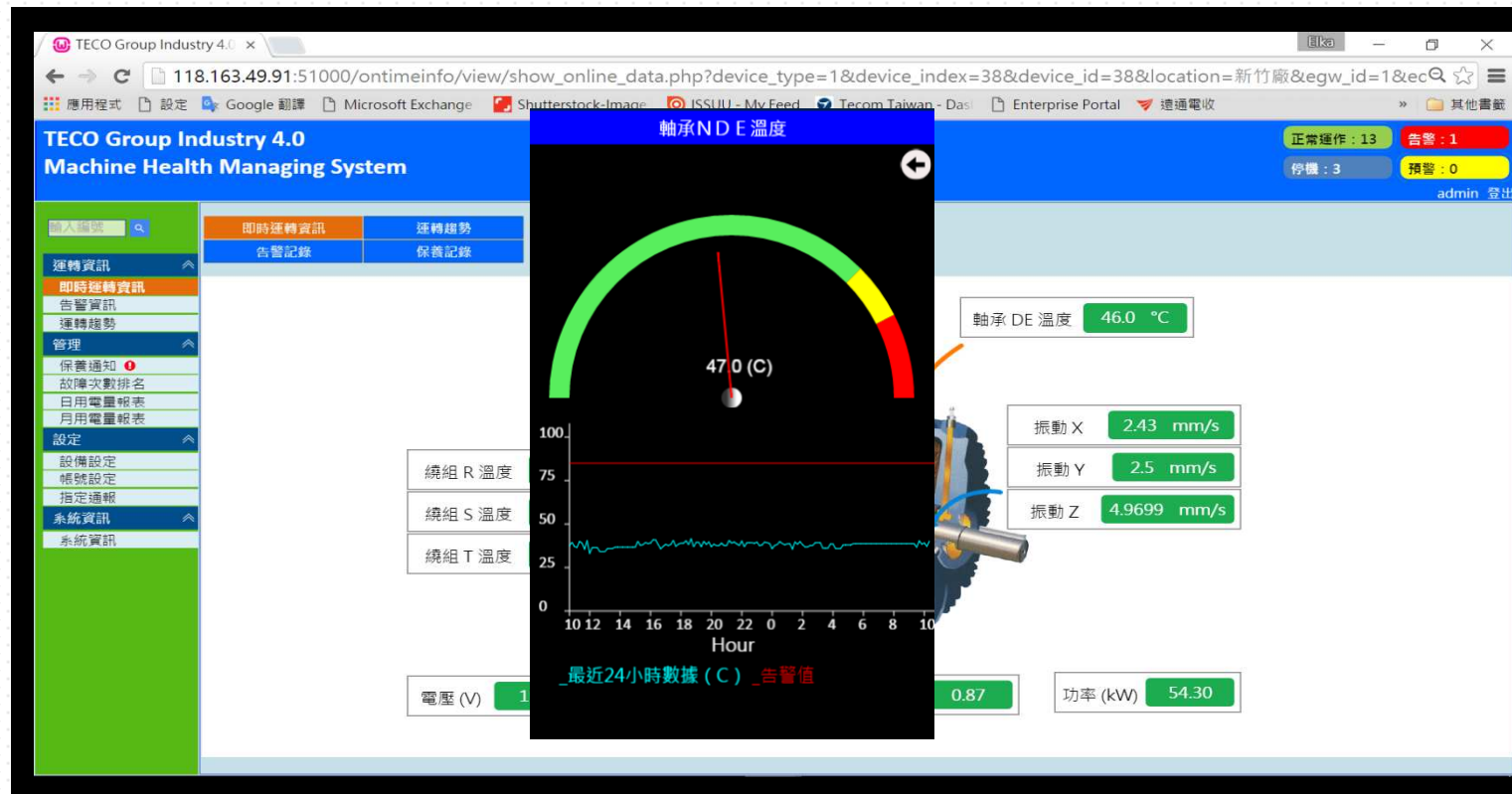
MHm 軟體顯示畫面 (server-based)



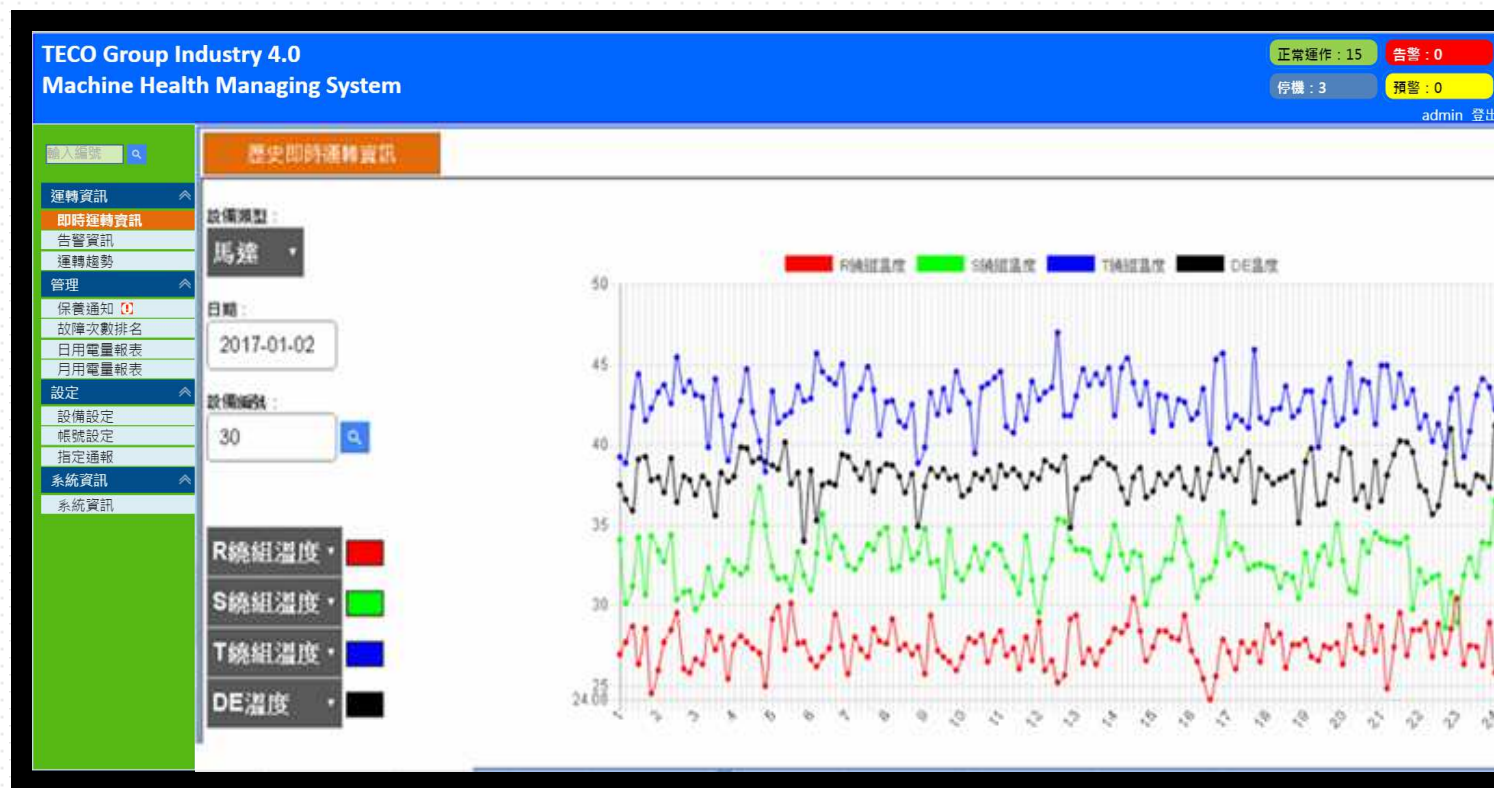
MHm 軟體顯示畫面 (server-based)



MHm 軟體顯示畫面 (server-based)



MHm 軟體顯示畫面 (server-based)



業主效益

- 1.機電設備出勤狀況最佳化
- 2.生產力最大化
- 3.意外停線最小化
- 4.能耗最少

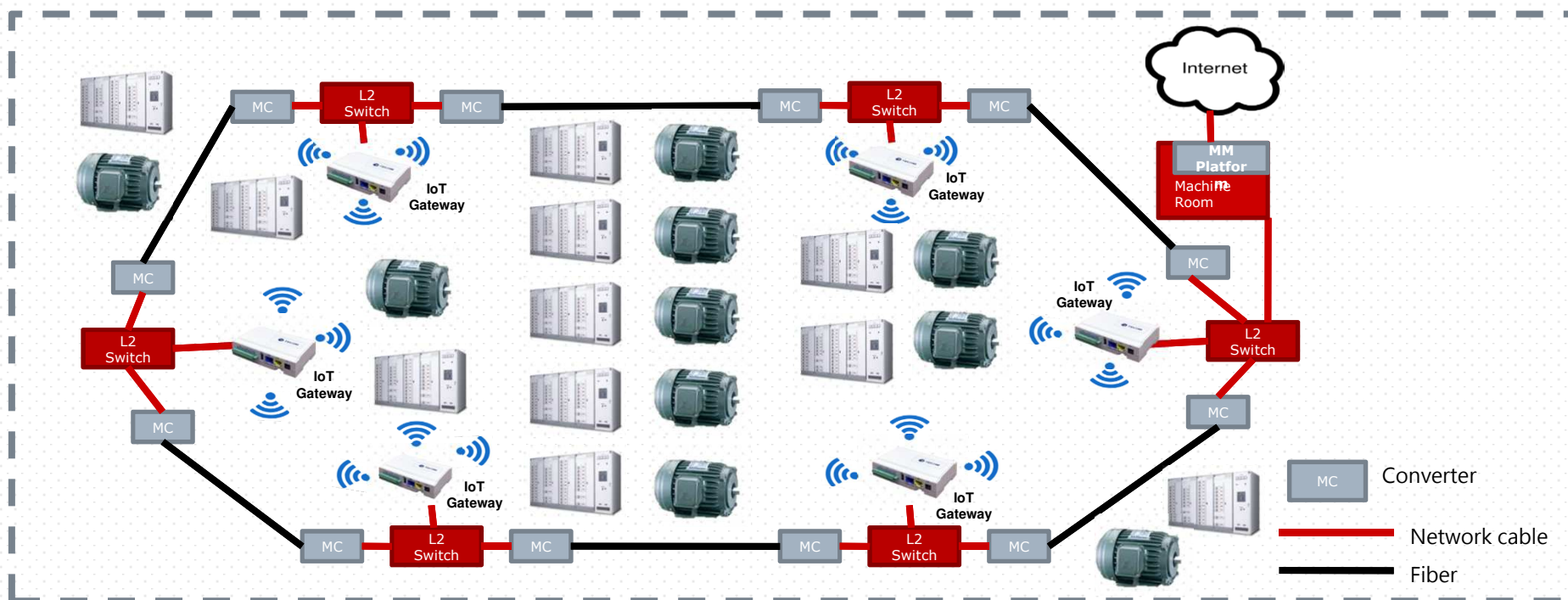
更重要的是

MHm 平台 能夠提供移動維保
(MM : Mobile Maintenance) 作業，
為業主帶來更多生產成本之節減。

Hybrid- infrastructure

Fiber Cable + WiFi (Hybrid - infrastructure)

Industry 4.0



全智慧型 攜帶式
振動診斷儀



手提式診斷儀

生產力4.0等級



手提式診斷儀包含：

生產力4.0等級

振動一體規 x 2



物聯網 (IoT) WiFi 網關 x 1



行動電源 (充電寶) x 1



多元化智慧手機APP (iOS, Android)

Plug and Play (隨插即用)

1. 所有電源皆由行動電源 (充電寶) 提供：無需電源線
2. 互動診斷作業均由 WiFi 方式提供：無需網路線

3. 量測準備時間極短，簡單安裝，即可使用。



振動診斷儀兩大效益

1. 大幅提高振動維保作業之效率。
2. 可取得完整首啟(First Commissioning) 運轉數據，不但對未來修護是重要基準，而且提供給製造商產品用作大數據分析的資訊。

振動診斷儀可提供之診斷內容

1. 軸承異常
2. 轉子不平衡
3. 不對心
4. 基礎異常或軟腳
5. 零件鬆動



馬達介紹及應用

東元電機(股)公司

機電系統營銷事業部 產品發展處

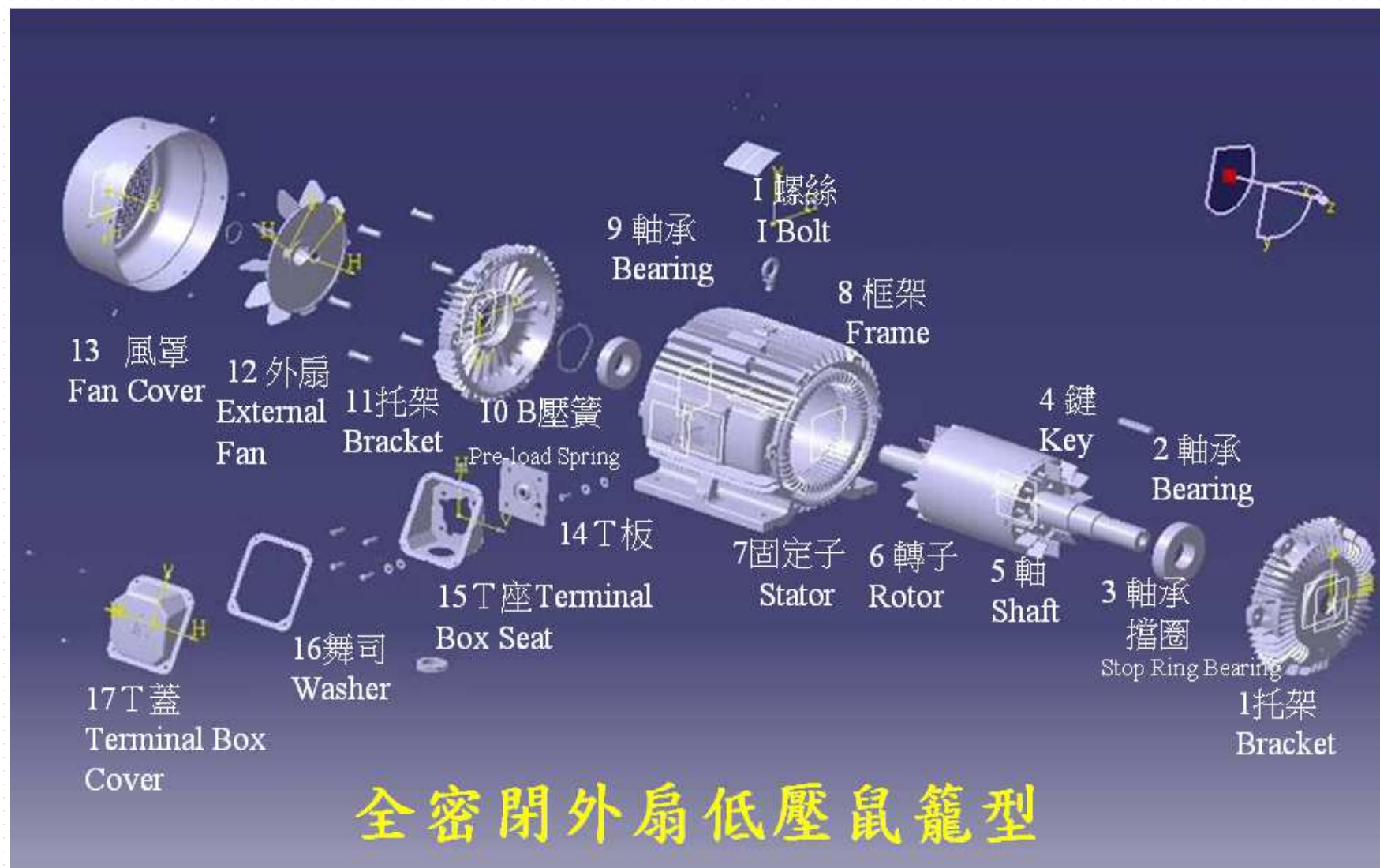
應用技術課

許孟原 經理

2018.04.27

- 馬達生產流程介紹
- 感應馬達介紹
- 單相馬達
- 直流馬達
- 同步馬達
- 下午場：高效率馬達及節能應用 (IE3感應式, IE4永磁式)

IDB 中小型鑄鐵馬達結構圖



iDB 鑄造流程



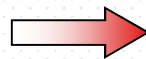
銑鐵



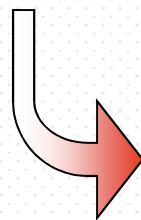
矽鋼屑



熔解



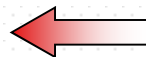
造模



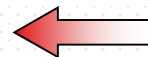
澆注



噴砂

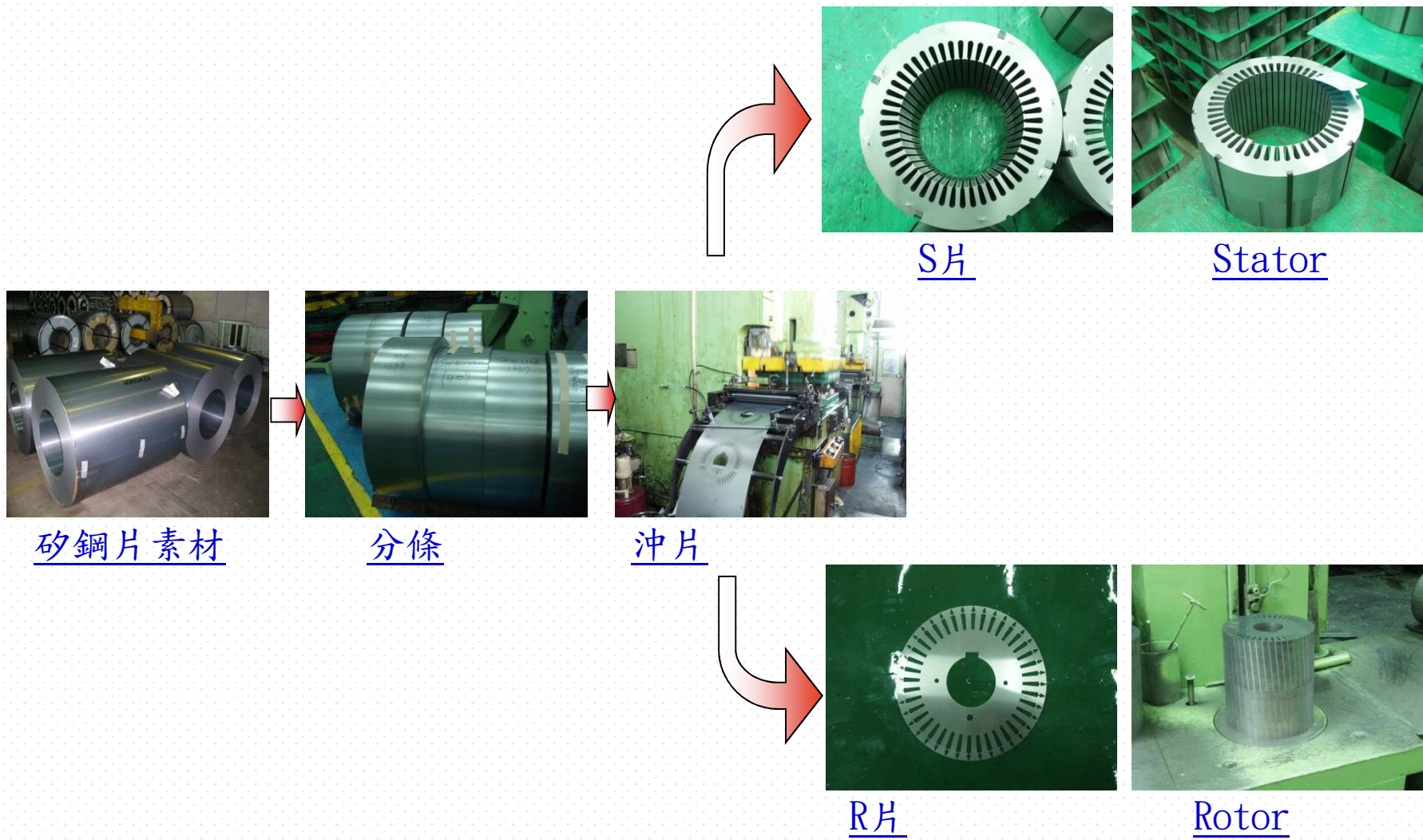


研磨



底漆

iDB S/R鐵心加工流程



iDB 電工入結線流程



定子



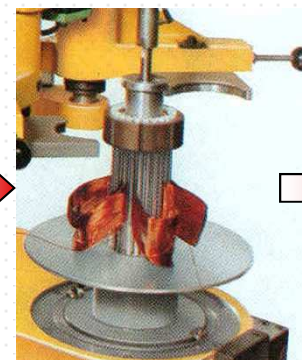
穿絕緣紙



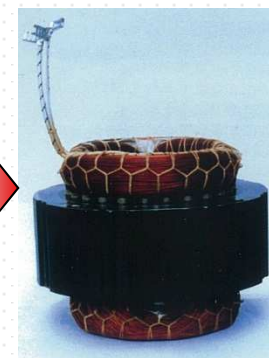
漆包線



捲線



入線



結線

iDB 軸/轉子機加工流程



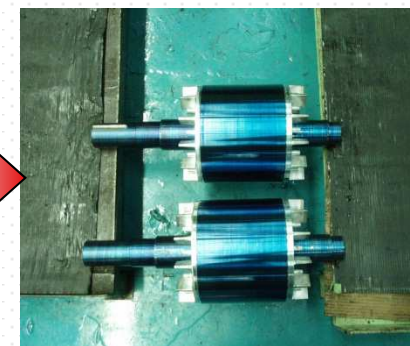
Rotor



鋁壓鑄



轉子半成品



轉子組立



棒鋼



裁切



加工



研磨

iDB 馬達組裝流程



定子入框架



定子入框架



放入轉子



放入轉子



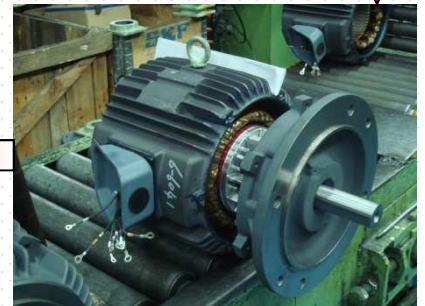
噴漆



成品檢驗



鎖托架



鎖托架

■馬達生產流程介紹

■感應馬達介紹

■單相馬達

■直流馬達

■同步馬達

■下午場：高效率馬達(IE3感應式,IE4永磁式)

產品分類(鑄鐵/鋼板)

- 鑄鐵馬達(Global)



- 鋼板馬達(Crown)



雖用鑄鐵與鋼板來劃分，但形式上仍有冷卻方式區別

□ 結構：

定部、轉部

□ 定部 (Stator)：

定子鐵心、定子線圈、
框架、托架、軸承蓋...



定子



轉子：銅棒與鑄鋁

□ 轉部 (Rotor)：

轉子鐵心、轉子線圈(導體)、
軸、軸承...



鐵板殼感應機

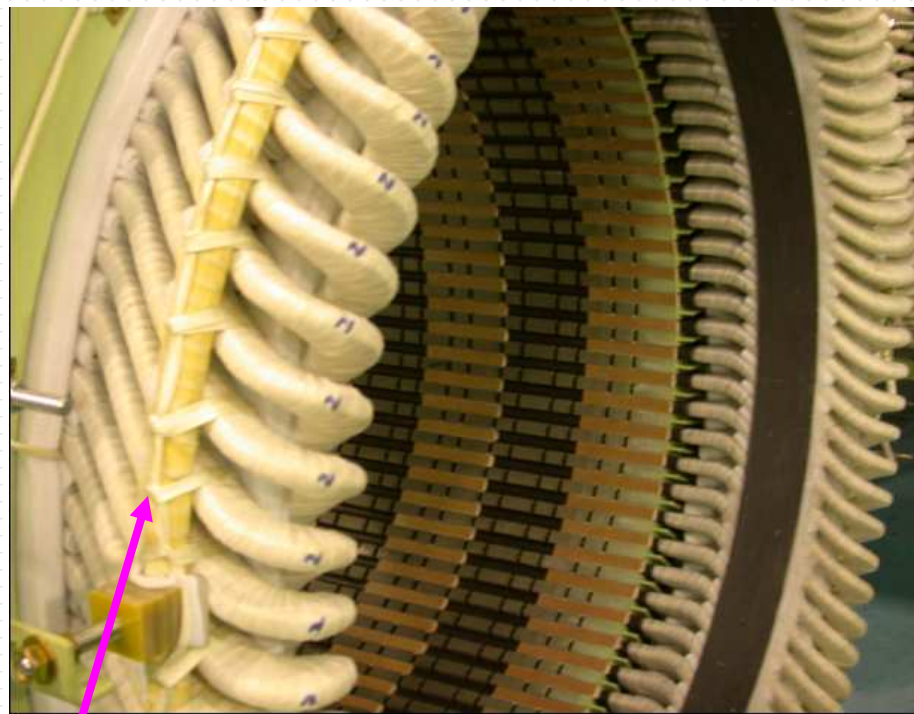


鑄鐵殼感應機

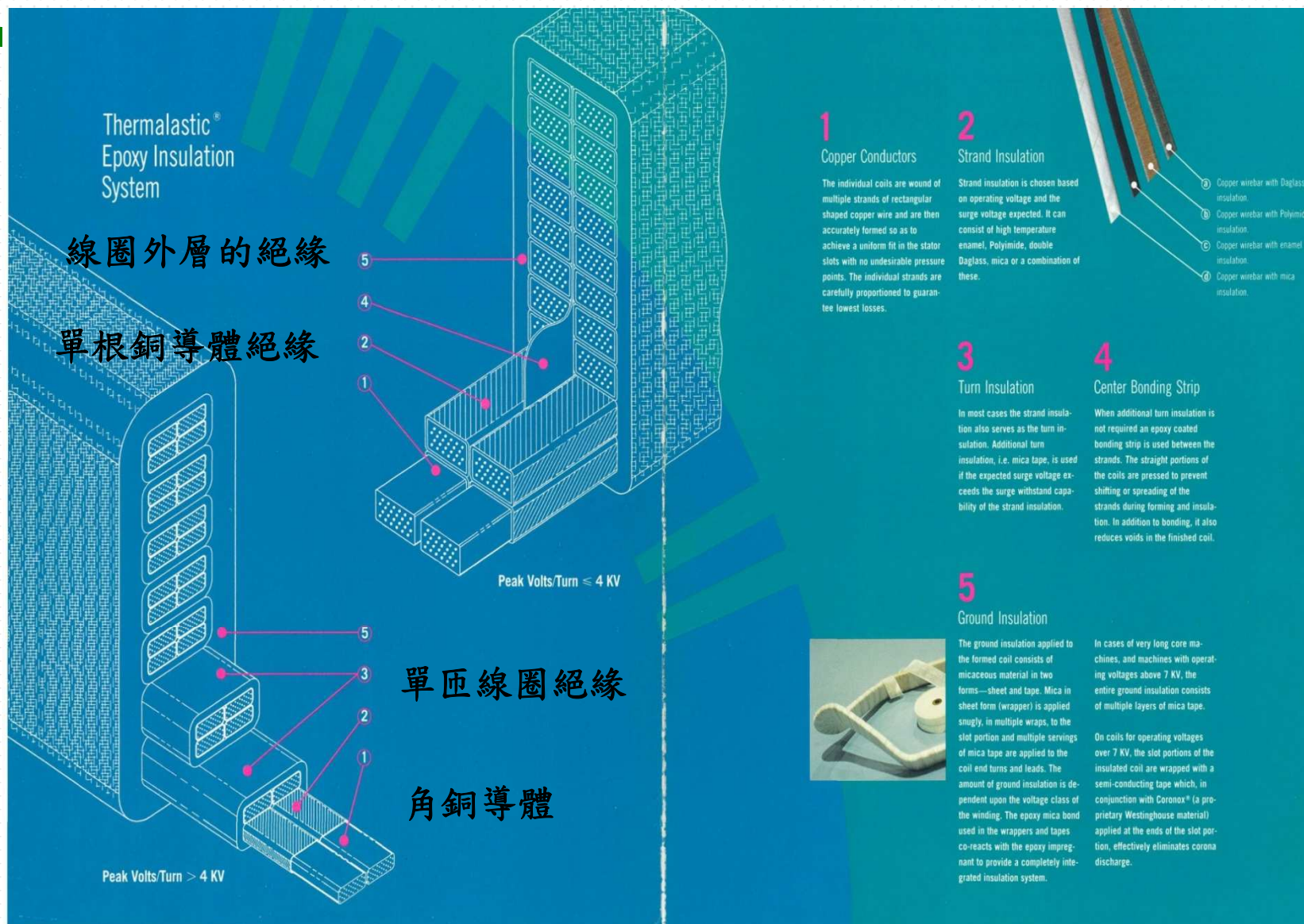
中高壓馬達：定子線圈



角銅線＋包絕緣(雲母)
→概念同漆包線膜



中壓2300V以上
補強環





感應電機基本介紹：絕緣系統-2/3



6

Coil Connections

All connections are made with silver brazing alloy.

For operating voltages above 3 KV or when a sealed system is required, "U" shaped connections are used. These and the group connections are insulated with multiple layers of Dacron and mica tape as well as an outer binder tape, all of which overlap the stator coil lead insulation. These connections are sealed and provide maximum resistance to moisture ingress.

For operating voltages of 3 KV or less and when a sealed system is not specified, stub type series coil-to-coil connections are standard. These connections are insulated with glass-acrylic tubing.



7

Bracing System

To resist the forces imposed on the stator winding by full-voltage starting, bus transfers, short circuits, etc., it is necessary that the end windings be adequately braced and supported by a system that is carefully conceived and well designed to completely eliminate any detrimental winding movement.

The Westinghouse Motor Company bracing system is custom designed to suit the machine size and application requirements. For most high speed designs, the bracing system consists of mica insulated metal support rings which are lashed to and support the winding end-turns. For larger machines or more critical applications, the support rings are supported by insulated brackets attached to the stator end plates. For some smaller or slower speed designs, a glass fiber support ring is used. In every case, polyester felt is installed between the rings and coils for cushion and support.



Polyester felt pads are installed between the coils. They conform to the coil surface and during VPI are rigidized and bonded to the coil end turns. This locks the end turns together so that the position of each coil is maintained by the support rings and the coils adjacent to it.

8

VPI—Post Impregnation

The vacuum pressure impregnation takes place after the stator has been wound, wedged, connected and the bracing system installed. VPI is the process developed by Westinghouse over 25 years ago for application of the solventless epoxy that gives the premium Thermalastic® Epoxy system its unmatched quality.

Epoxy resins are ideal as impregnants because, in their cured solid state, they are extremely tough with excellent resistance to both moisture and practically all types of chemical contaminants encountered in normal motor application environments. They are solventless and thermosetting,

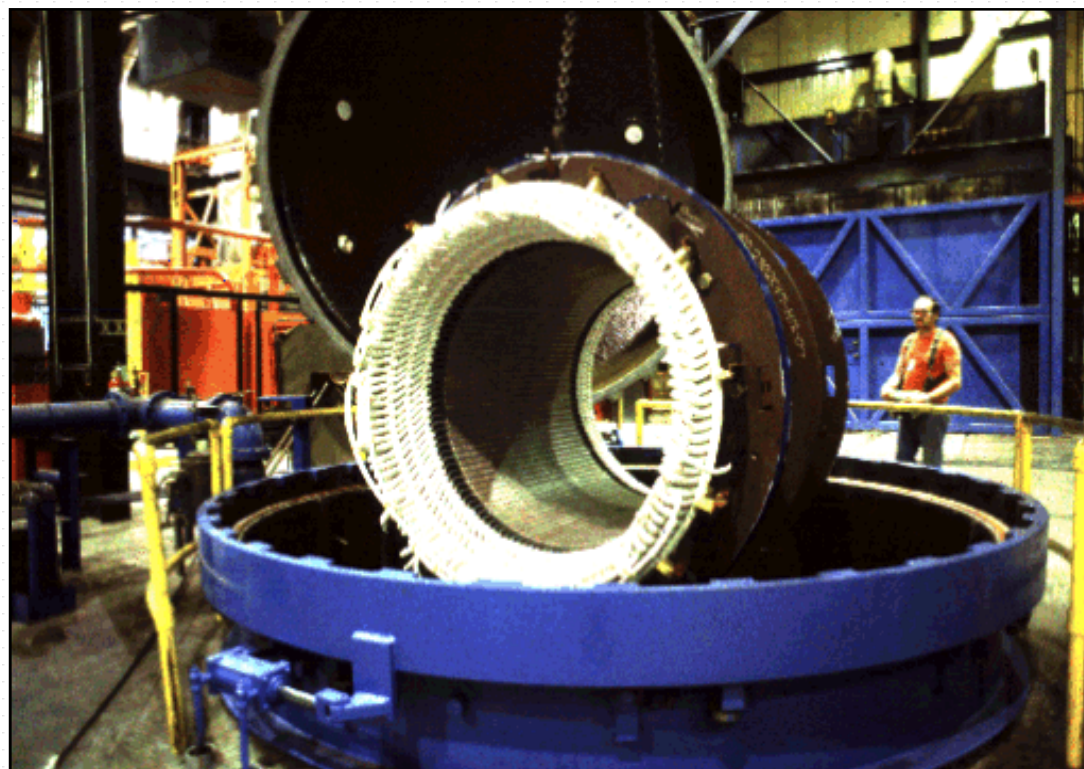
which is to say they are composed of 100% solids with no solvents that must be driven off as they are polymerized.

The VPI process is a cycle of high vacuum followed by positive pressure to introduce epoxy resin into all components of the wound stator. The stator is preheated prior to VPI to drive off any moisture that might be present and baked afterwards to cure the resin. This entire cycle is repeated for double protection. After cooling the stator is coated with a highly durable solvent-type epoxy varnish producing a tough, smooth, dirt-resistant surface for easy cleaning.



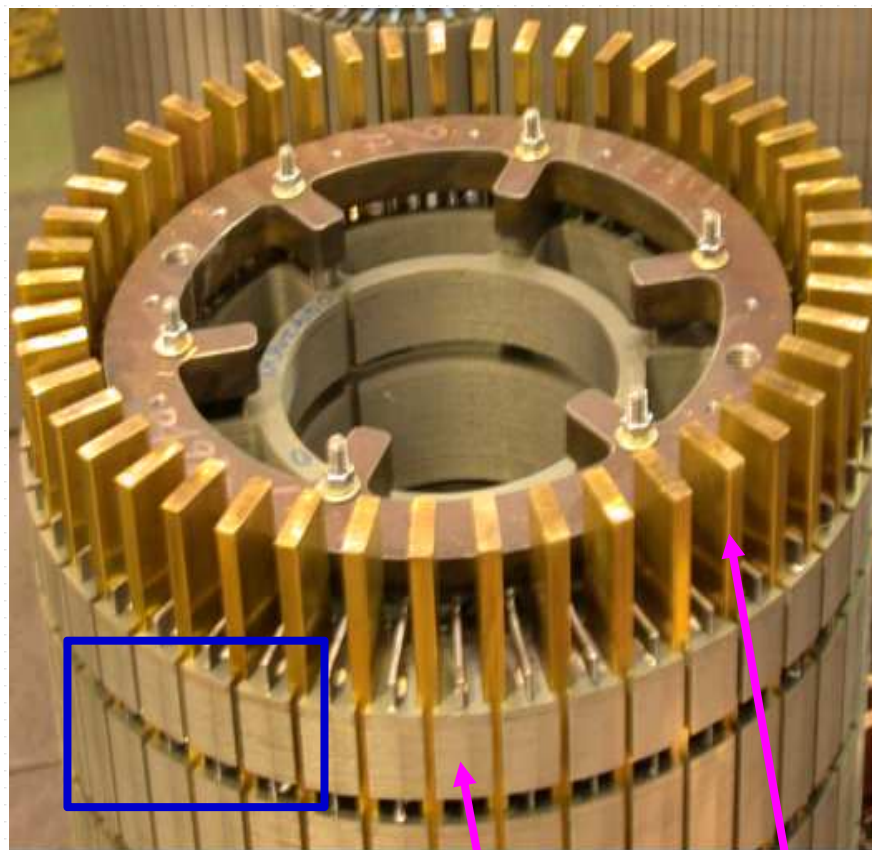
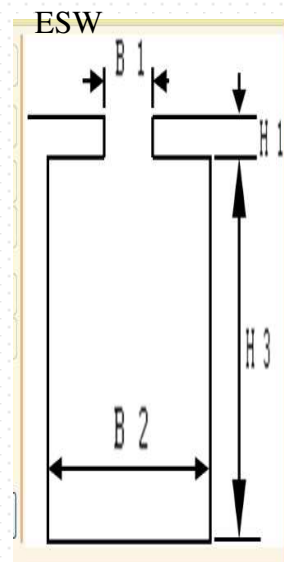
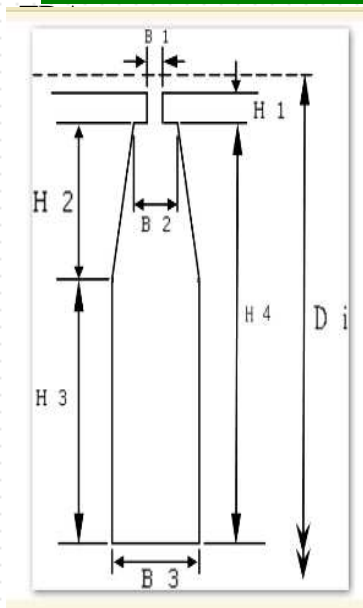
感應電機基本介紹：絕緣系統-3/3

- 線圈真空含浸
- 目的：增強絕緣強度&固定



銅棒轉子：

常見應用於大型電機、高效率馬達



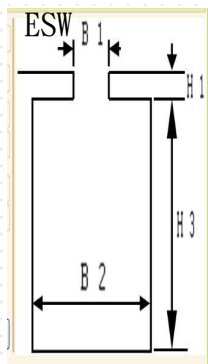
風孔：

通常大型馬達才有，目的提高散熱，縮小體積

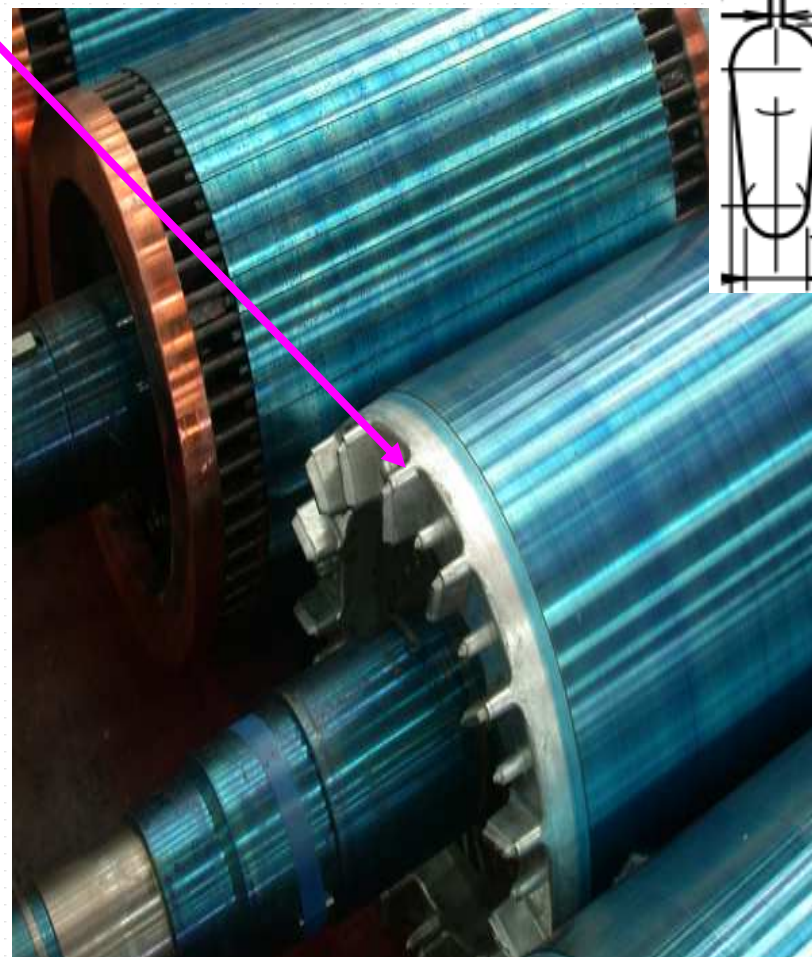
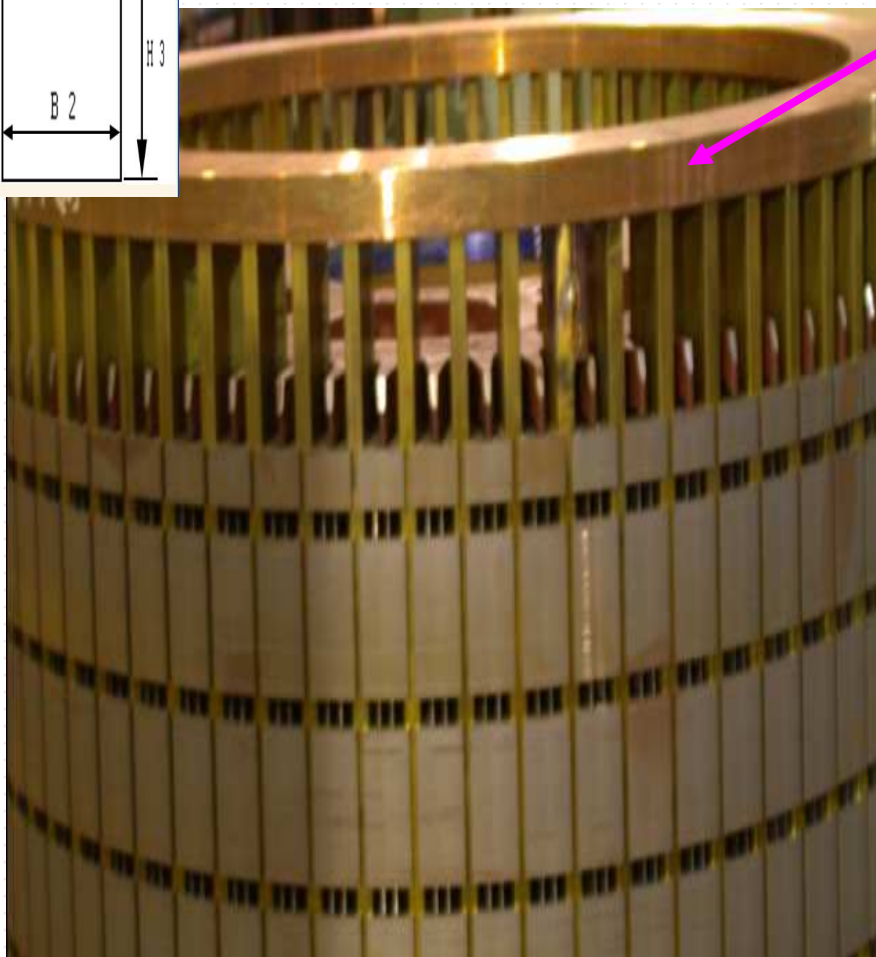
鐵心

銅棒

鼠籠式感應馬達：轉子



端環功能：迴路導通





■ 台電核能發電廠
台灣
冷卻水幫浦
2,250HP; 276RPM

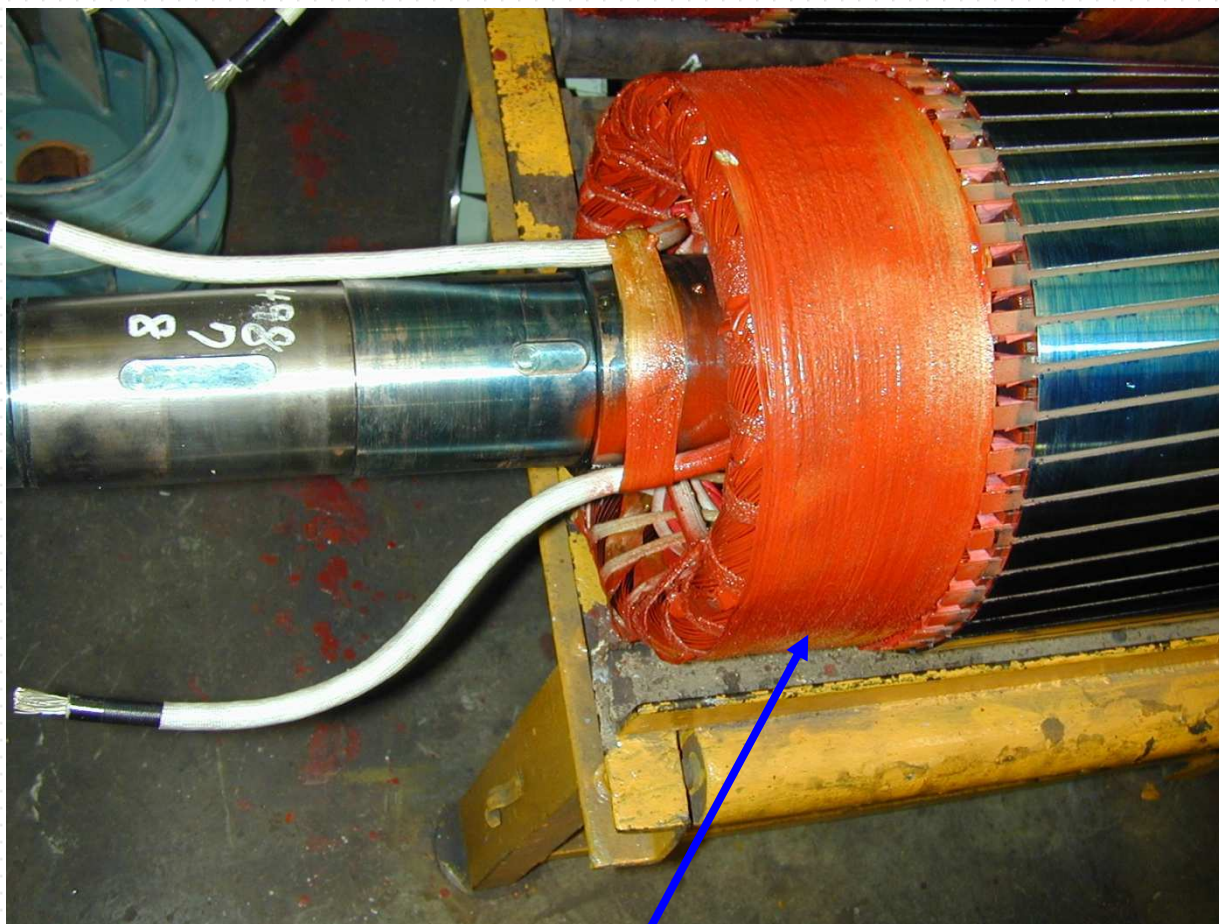


■ 林口電廠
台灣
鍋爐給水幫浦
ODP 2P; 7,000HP



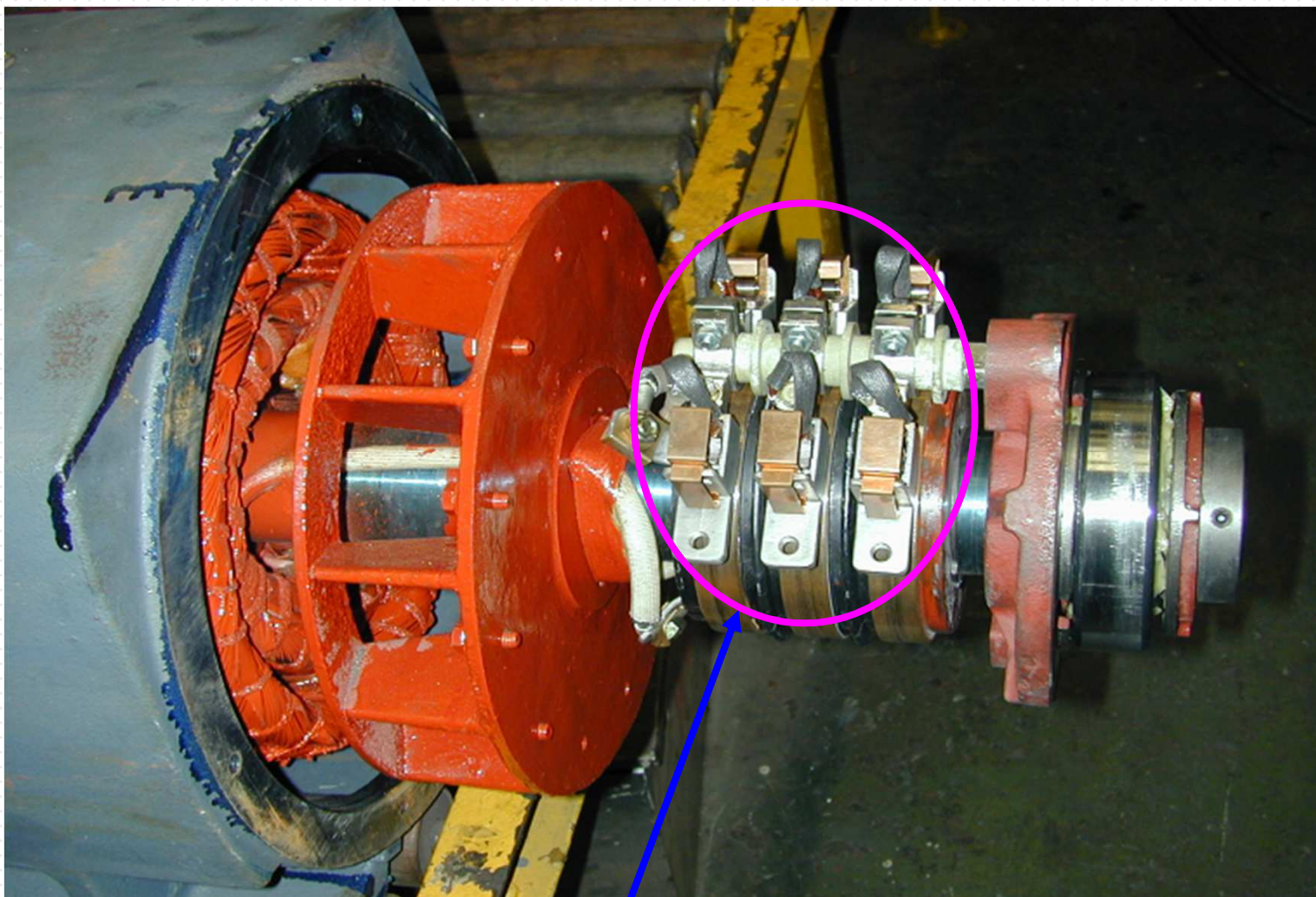
■ 應用於海水及淡水供應系統

繞線式感應馬達：轉子



轉子繞組

繞線式感應馬達：滑環組



滑環、電刷部組



繞線式轉子感應電動機適用於以下情況

1. 掛負載起動時
2. 負載慣量很大, 或需**起動轉矩很大**時
3. 電力容量不足, 需限制起動電流又不能降低起動轉矩時
4. 負載需做小範圍之速度控制時
5. 起動、停止次數頻繁時



澳洲磨礦機

■馬達生產流程介紹

■感應馬達介紹

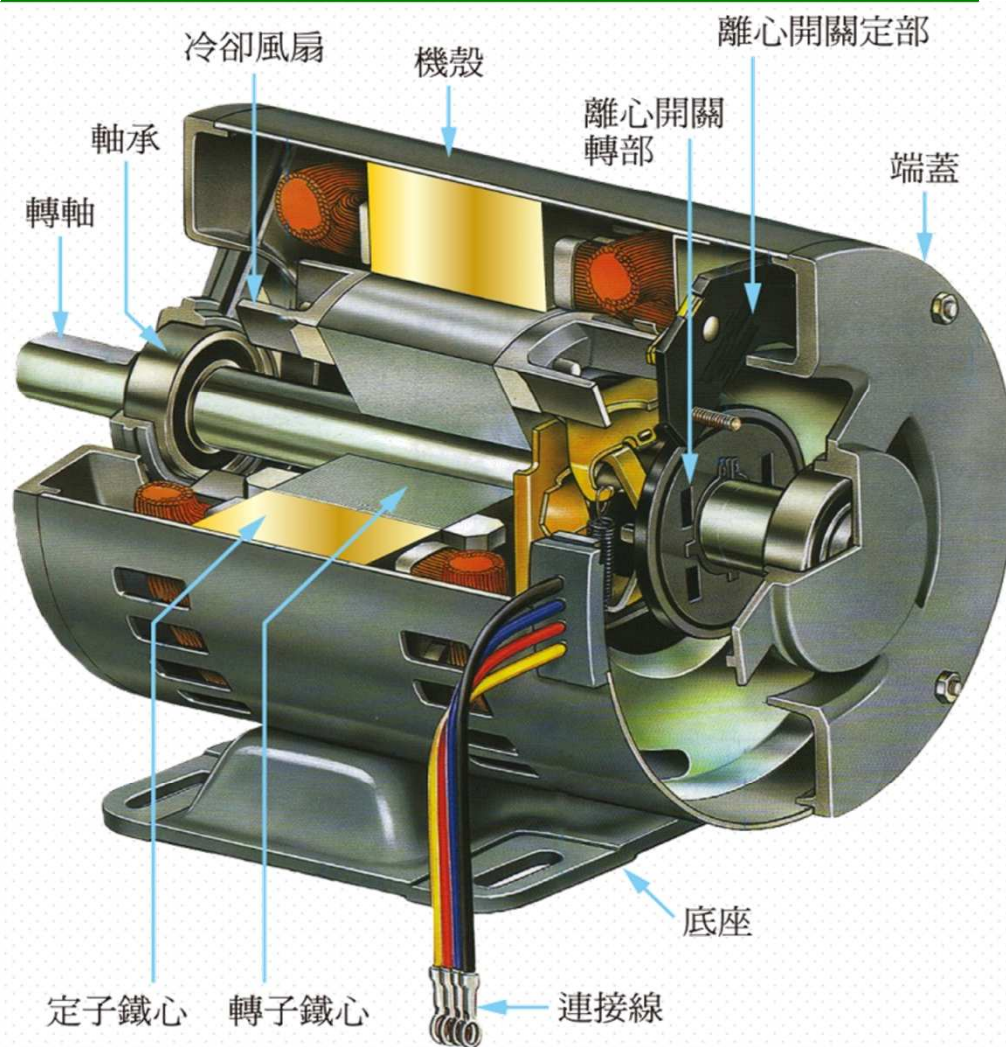
■單相馬達

■直流馬達

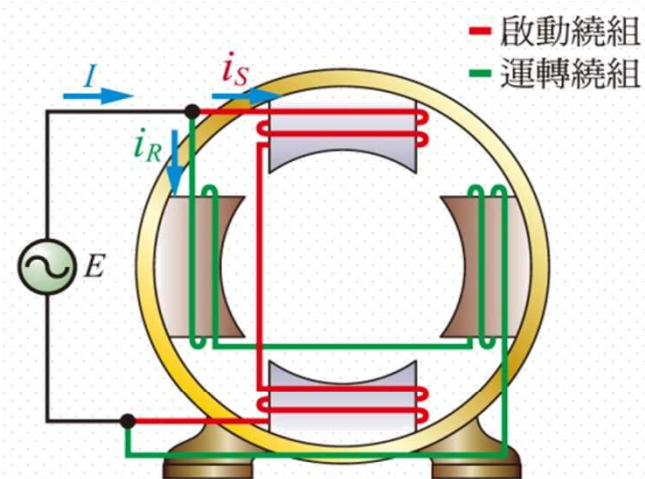
■同步馬達

■下午場：高效率馬達與節能應用(IE3感應式,IE4永磁式)

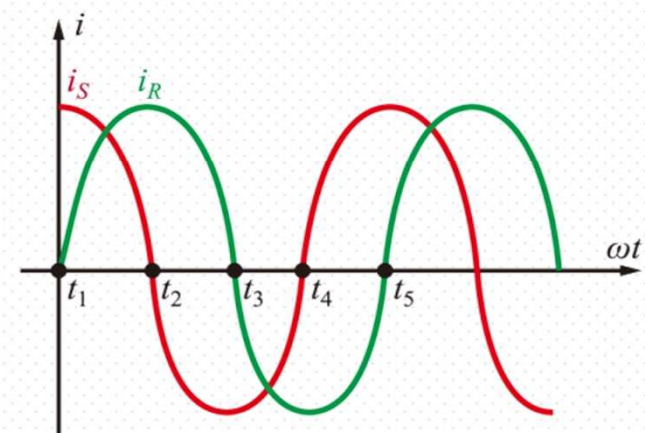
單相感應電動機的構造



(a) 單相感應電動機的構造



(b) 運轉繞組與啟動繞組的配置位置



(c) 運轉繞組與啟動繞組的電流波形 (理想狀況)

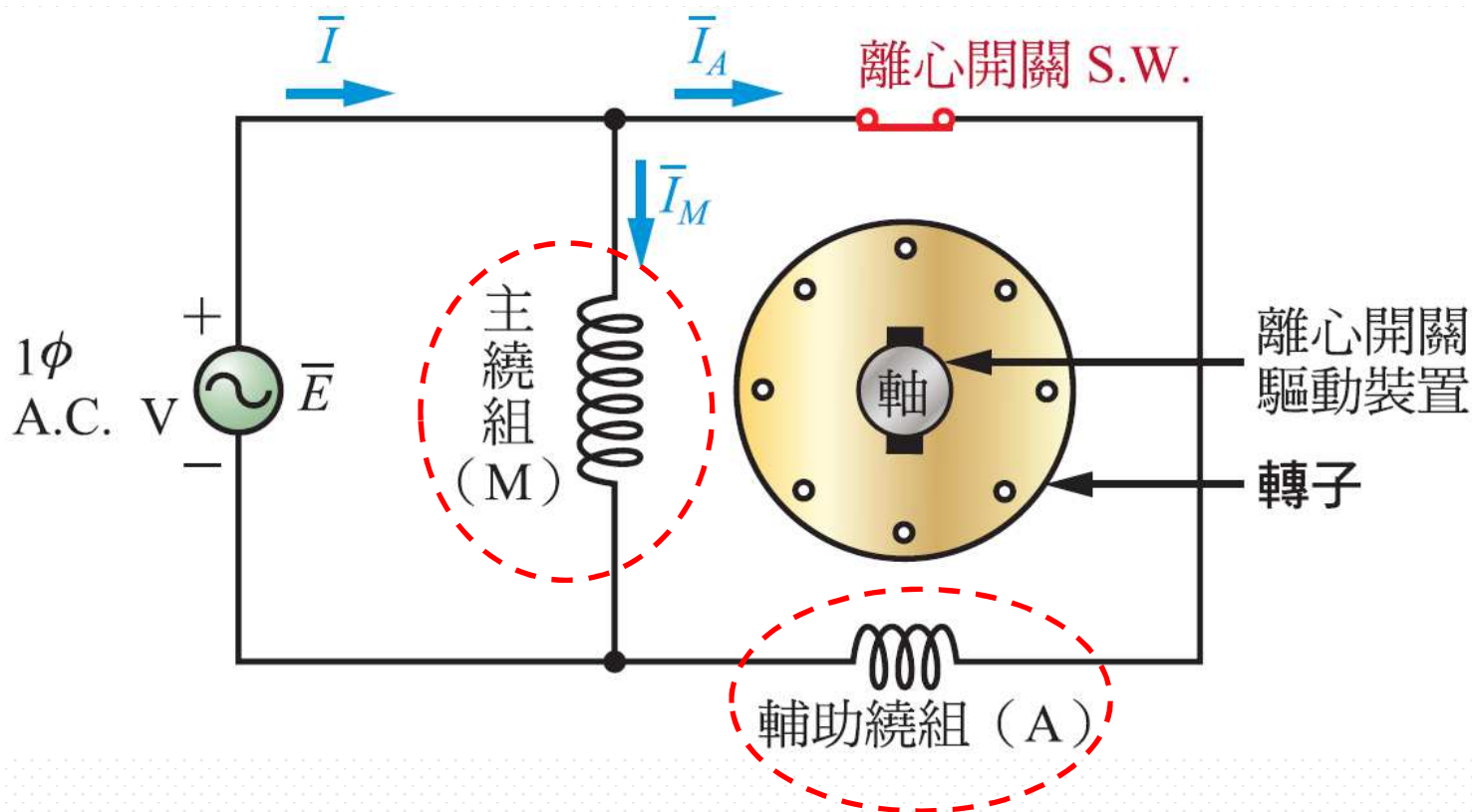


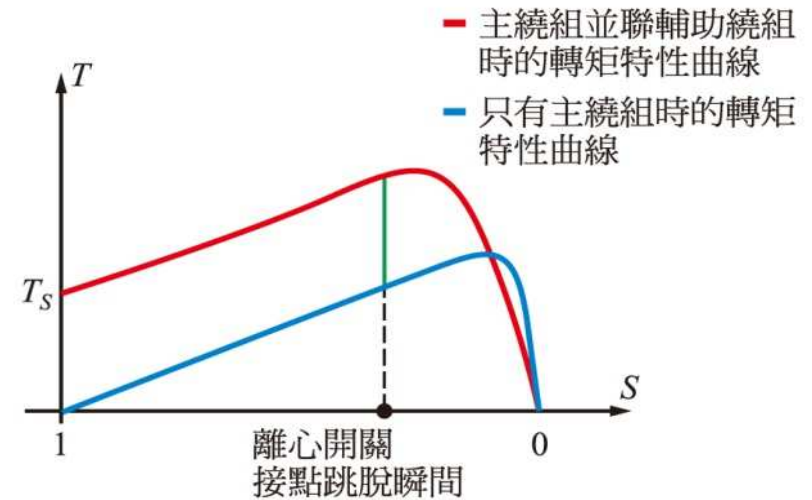
單相感應電動機的分類、特性及用途

- 由於單相感應電動機的體積較三相感應電動機大，且價格更貴，效率及功率因數也較低
- 因此單相感應電動機僅應用於只有單相電源或小型動力場合。
- 單相感應電動機主要是依據啟動繞組配線方式分類，有4種，分相啟動型、電容啟動型、電容運轉型、電容啟動運轉型

1. 電路及構造

定子槽內裝置有兩個繞組，輔助繞組 A 較主繞組 M 落後 90° 電機角的位置，其電路如圖所示。





(1) 主繞組 M：

由線徑較粗、匝數較多的導線所繞成，置於定子線槽底部，為低電阻、大電感抗的電感性線圈，又稱為運轉繞組。

(2) 輔助繞組 A：

由線徑較細、匝數較少的導線所繞成，置於定子線槽頂部，為高電阻、小電感抗的電阻性線圈，又稱為啟動繞組。

(3) 離心開關 S.W.：

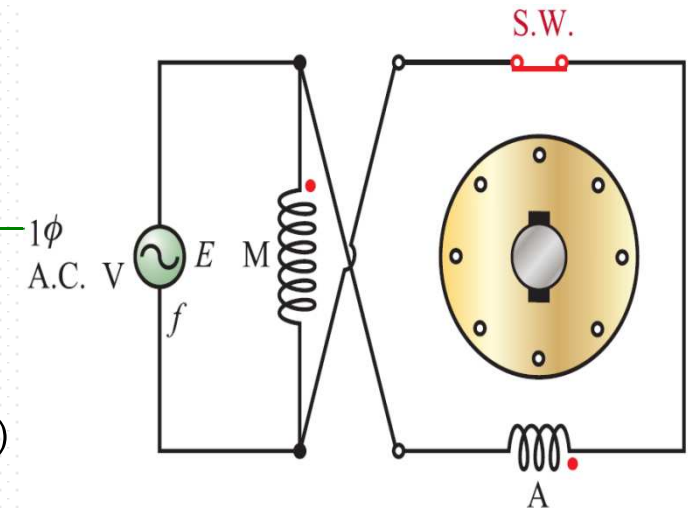
利用裝置於轉軸上的驅動裝置，藉由離心力將與輔助繞組串聯的 b 接點在轉子速率達同步轉速的 75% 時，切離輔助繞組的電源，僅留主繞組繼續運轉，其轉矩-轉差率特性如圖所示。

2.特性

功率因數低（因電壓 E 與電流 I 間相角差 θ_s 很大）

啟動轉矩小（因 I_M 與 I_A 間相角差 $\alpha < 90^\circ$ ）

啟動電流大，所以運轉特性不佳（因離心開關會跳脫）。



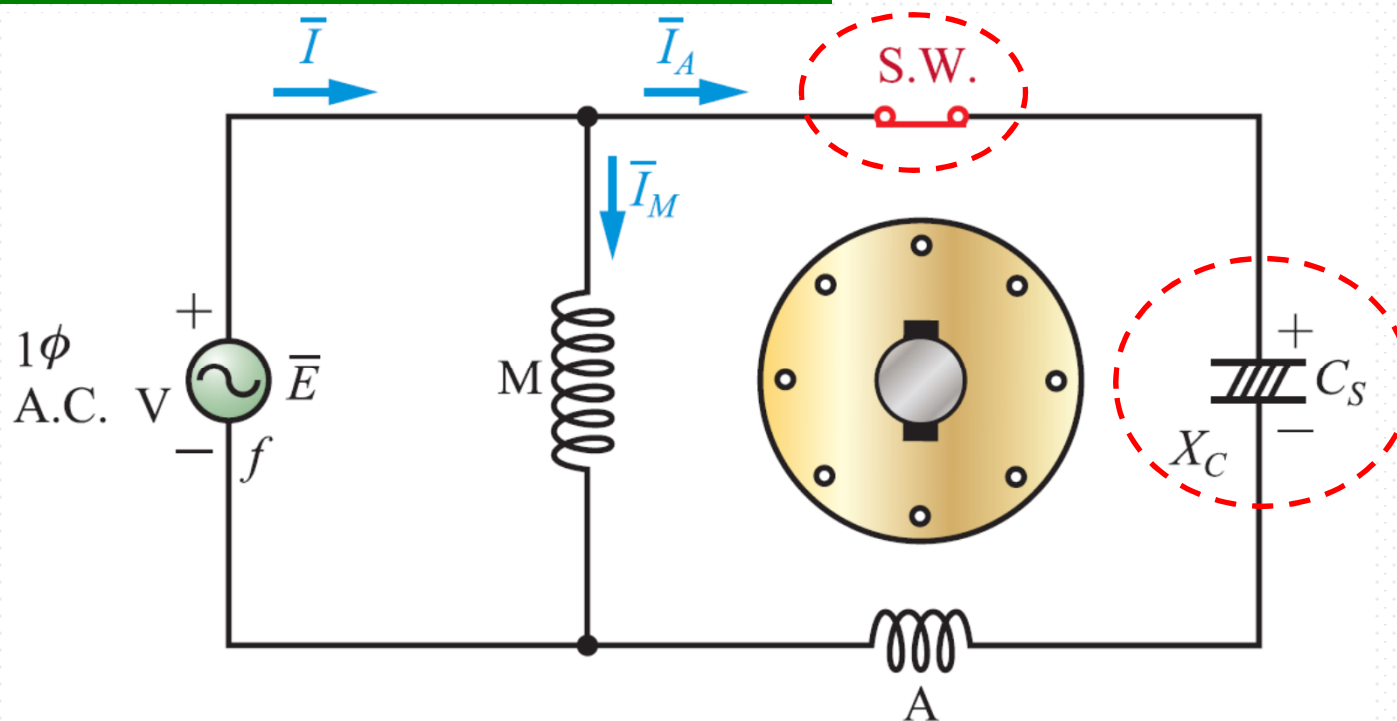
(b)反轉接線

3.轉向控制

欲改變單相感應電動機的轉向，只要將主繞組或輔助繞組其中之一的接線，頭尾對調即可。

4.適用：

其構造相對其他類型單相馬達簡單、价格便宜，故適用於小型工具機の場合。



(1) 電路及構造：

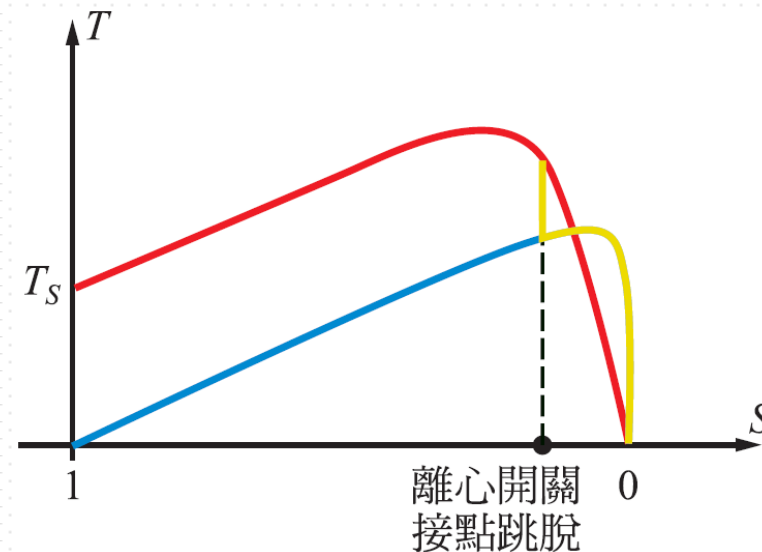
電容啟動型感應電動機的啟動繞組串聯一個高電容量且具有極性的電解質啟動電容器 C_s 和離心開關，再與運轉繞組並聯接於單相交流電源。轉子轉速達 75% 同步轉速時，離心開關 S.W. 的 b 接點跳脫切斷，啟動繞組電流，完成啟動並持續運轉。

(2) 特性曲線：

藍色曲線部分代表無啟動繞組時，以外力啟動後之轉矩特性曲線。

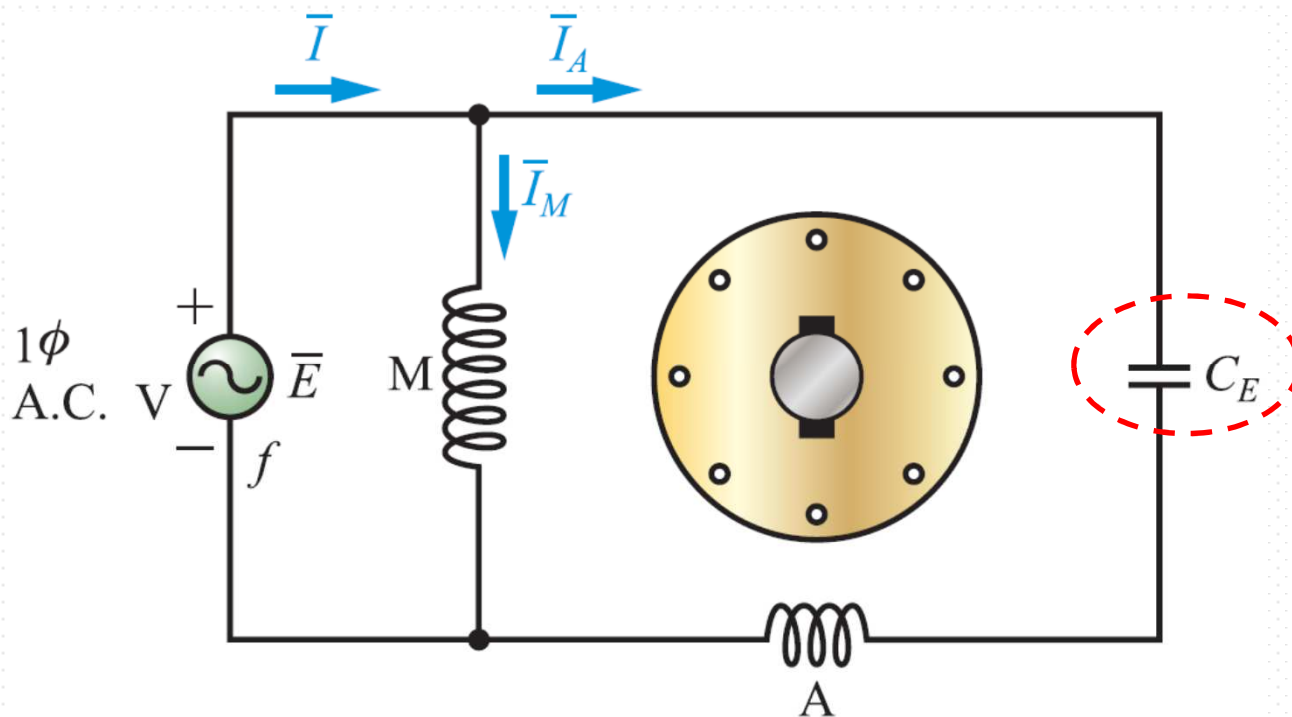
紅色曲線部分為運轉繞組與啟動繞組同時工作時的轉矩特性曲線。

黃色曲線部分則為離心開關跳脫後，只剩下運轉繞組時的轉矩特性曲線。



(3) 適用：

因具有**高啟動轉矩**的特性，故適用於必須在有載狀態下啟動的設備上，如打包機、研磨機、皮帶輪負載...等。



(1) 電路及構造：

電容運轉型感應電動機的啟動繞組串聯一個低電容量且無極性的浸油紙式電容器 C_E ，再與運轉繞組並聯接於單相交流電源。

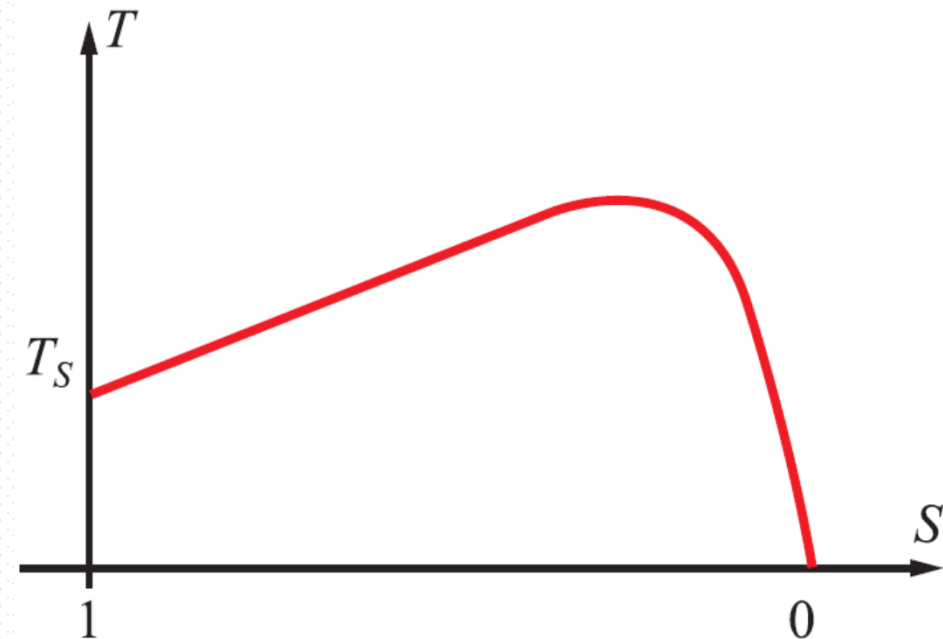
電動機在啟動及運轉時，啟動繞組和電容器均接於電源上。

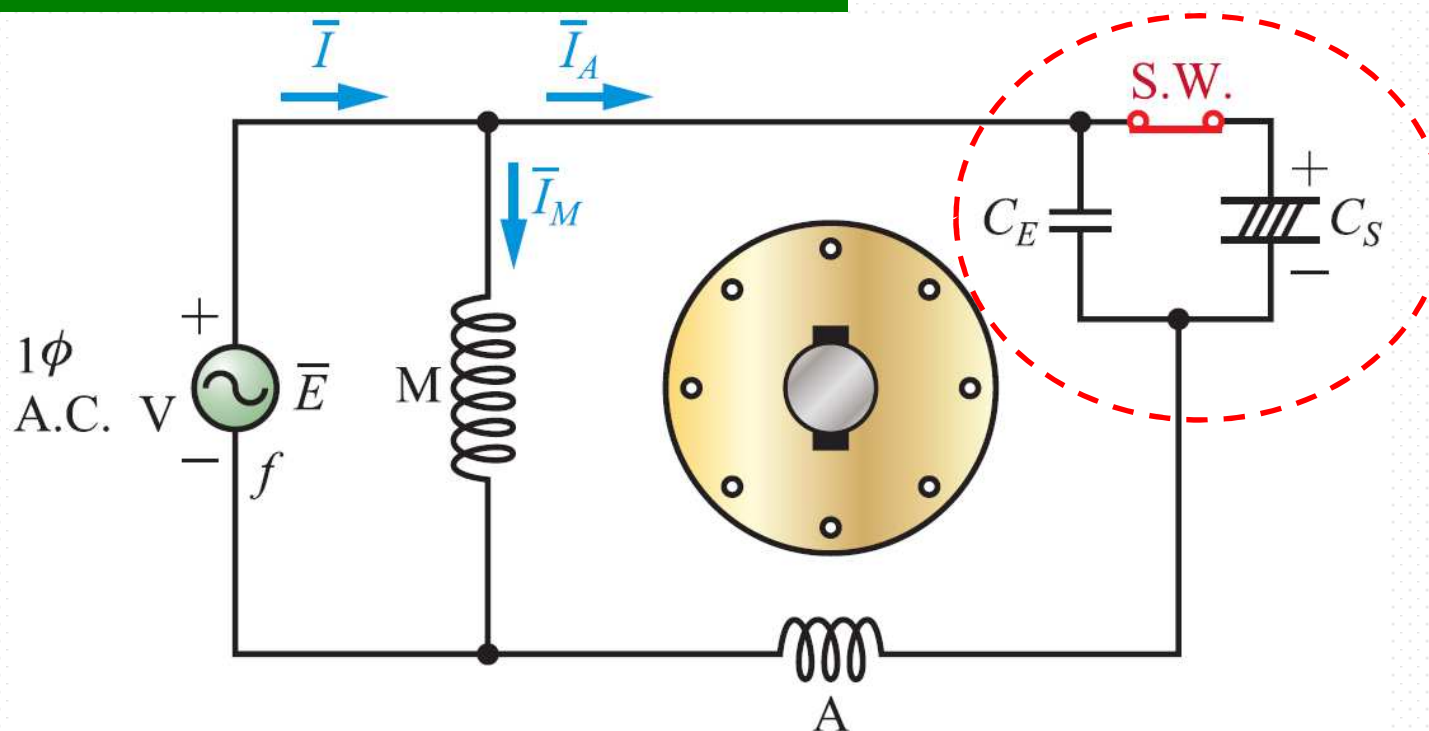
(2) 特性：

除去離心開關，雖然改善了運轉特性，但為了保護輔助繞組（啟動繞組在長時間接於電源的狀況下，不致被燒毀，故須減低流經輔助繞組的電流，會降低啟動轉矩。

(3) 適用：

PUMP、洗衣機及 FAN...等。





(1) 電路及構造：

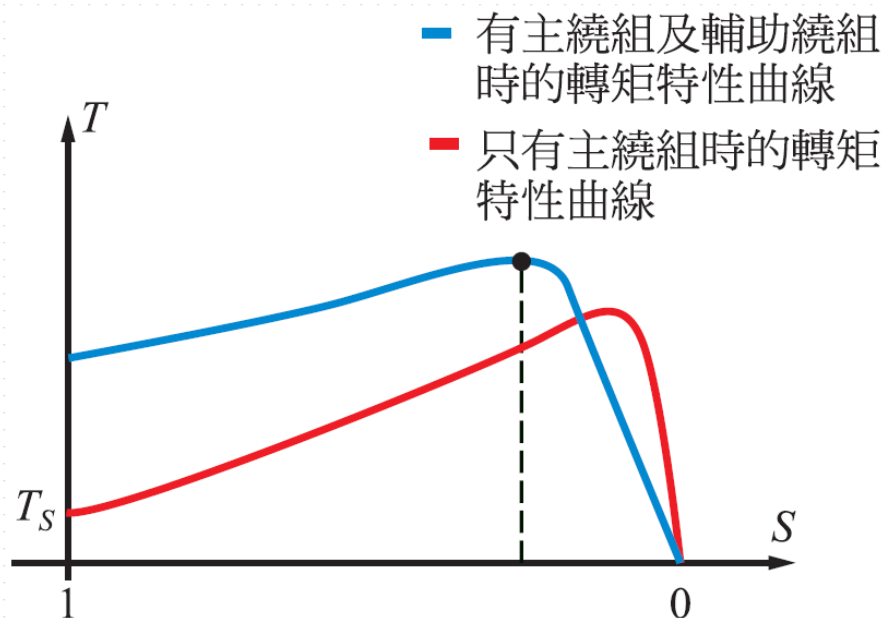
電容起動運轉型感應電動機，具有兩個電容器，一個專供啟動用電容器 C_S ，另一個作為啟動及運轉用電容器 C_E 。 C_S 為高電容量有極性的電解質電容器，串聯離心開關； C_E 為低電容量無極性的浸油紙式電容器，啟動時 C_S 因與 C_E 並聯連接，故可提高啟動轉矩。



(2) **特性**：
具有最好的啟動特性及運轉特性。

(3) **適用**：
空壓機、捲揚機(吊出)馬達。

雙值電容式感應電動機的轉矩曲線，其特性與電容啟動式感應電動機相同。



轉向控制

1. 原理

圖例

單相感應電動機的轉向係由啟動繞組與運轉繞組所生成的旋轉磁場決定，故於單相感應電動機啟動前，將啟動繞組（或運轉繞組）兩線端反接，會產生反向的旋轉磁場，致使電動機反向旋轉。若將電源兩線端反接，相當於將啟動繞組及運轉繞組的線端同時反接，則旋轉磁場方向不變，即轉向不會改變。

2.方法

(1)繞組電流方向切換法：

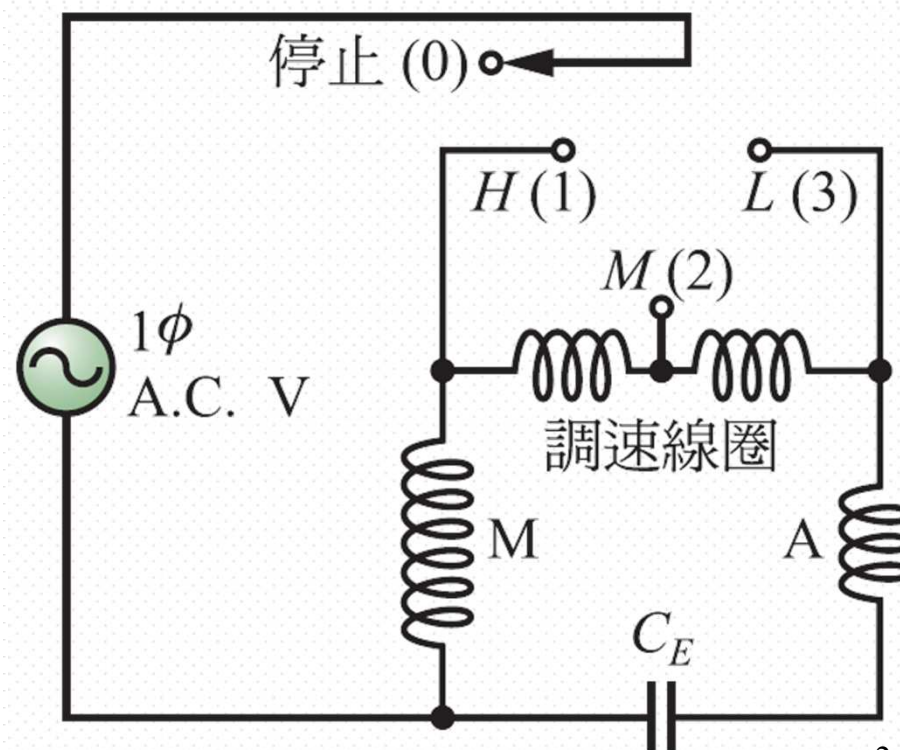
①僅依賴運轉繞組所產生的交變磁場維持運轉者，如分相型、電容啟動型等，運轉中即使調換啟動繞組（或運轉繞組）接線，也不會改變轉向，須待停止後切換接線才可反轉。

②依賴運轉繞組及啟動繞組所形成的旋轉磁場維持運轉者，如電容運轉型、電容啟動運轉型等，運轉中若調換啟動繞組（或運轉繞組）接線，該感應電動機轉向就會反轉，然而實際操作時不宜於轉動中作如此的調換。

iDB 轉速控制

單相感應電動機的轉速控制與三相感應電動機由定子作轉速控制的方法相同，包括下列三種。

1. **變頻法**：利用變頻器改變電源頻率。
2. **變極法**：利用生成極的原理改變主磁極極數。
3. **變壓法**：利用調速線圈改變加到運轉繞組的端電壓，如圖所示之電扇轉速控制電路，當轉速切換開關由 1 逐次切到 3，則運轉繞組端電壓愈來愈小，轉速會逐次減慢。



■馬達生產流程介紹

■感應馬達介紹

■單相馬達

■直流馬達

■同步馬達

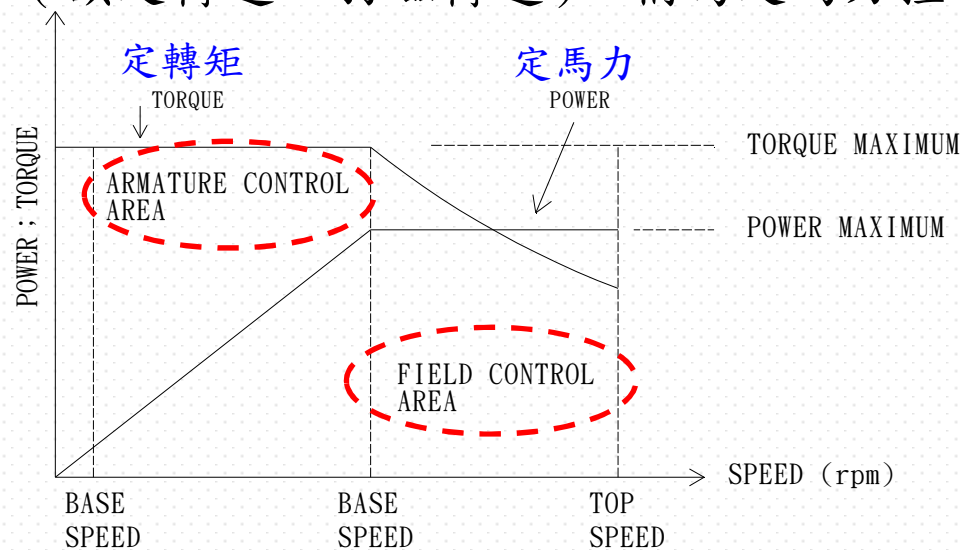
■下午場：高效率馬達與節能應用(IE3感應式,IE4永磁式)

➤ 可控輸出轉矩：

直流馬達之輸出轉矩與電樞電流有直接的關係，輸出轉矩可準確地做調整來符合負載的變動

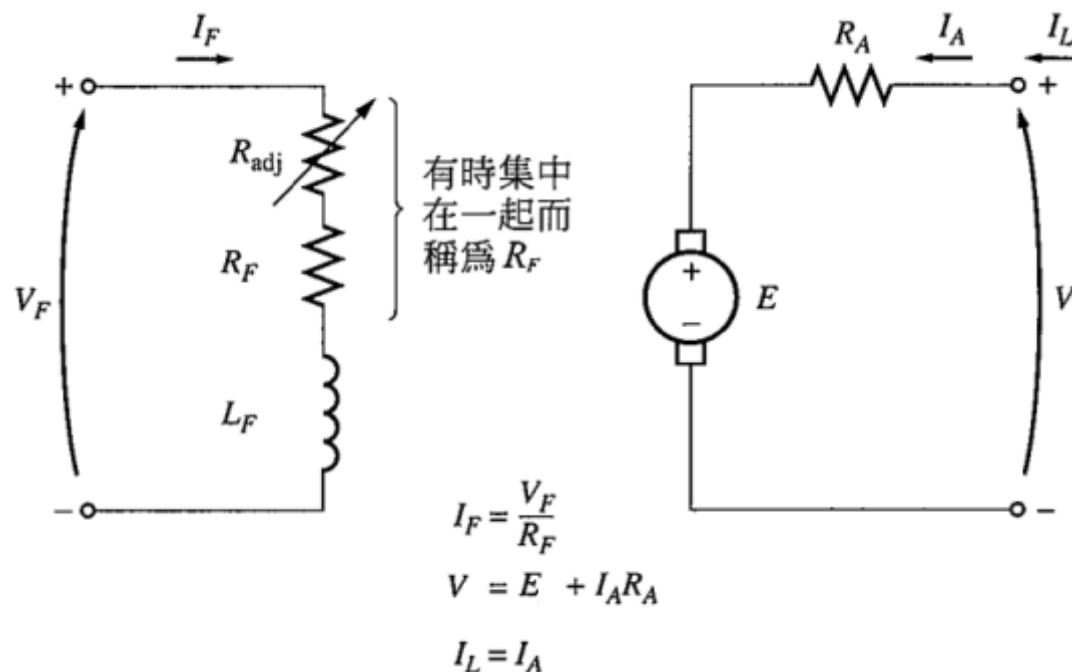
➤ 速度控制方法有以下兩種：

- 改變電樞電壓 (10%額定轉速 ~ 額定轉速)，稱為定轉矩控制
- 改變場電壓(電流) (額定轉速 ~ 弱磁轉速)，稱為定馬力控制



電樞電壓控制與場電壓控制之 T-N 曲線

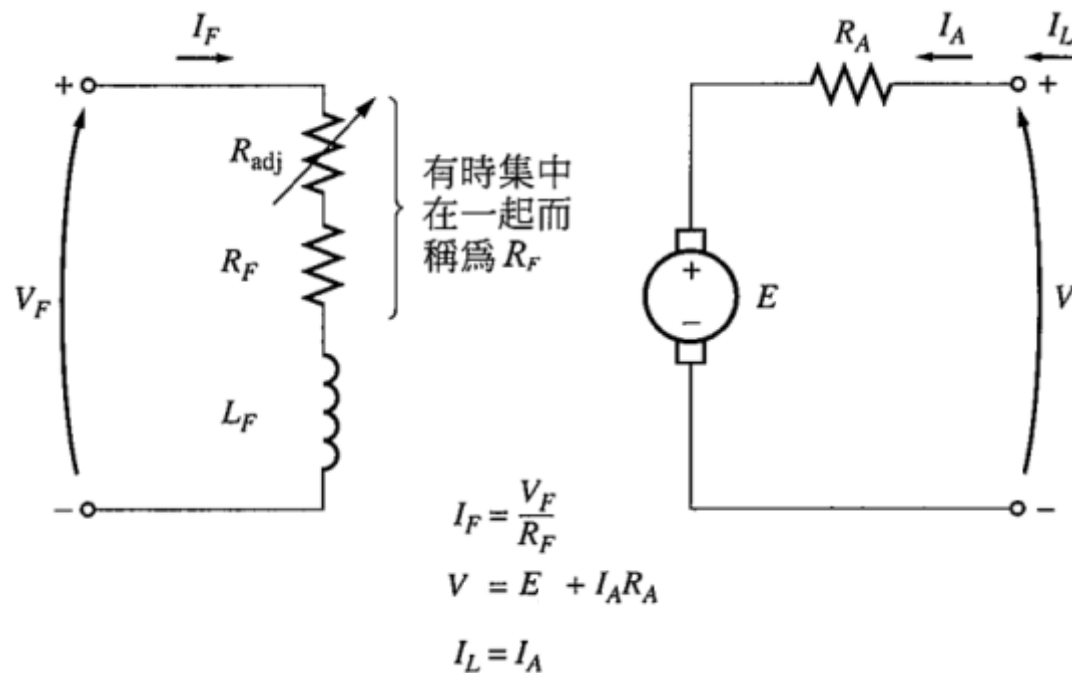
電樞電壓控制：場電壓 V_F 不變



分激式
(他激式)

1. V 增加，使得 I_A ($= (V \uparrow - E) / R_A$) 增加。
2. I_A 增加，使得 $\tau_{ind} = Kt\psi I_A \uparrow$ 增加。
3. τ_{ind} 增加，使得 $\tau_{ind} > \tau_{load}$ ，而造成 ω 增加。

場電壓(電流)控制：電樞外加電壓 V 不變



分激式
(他激式)

1. R_F 增加，使 I_F ($=V_F / R_F$) 減少。
2. I_F 減少 ψ 也跟著減少。
3. ψ 減少，會造成 E ($=K_e \psi \omega$) 變小。



直流機各部份功能

主 磁 極：磁場繞組，通電後便可生成磁極。

電樞繞組：引入電流進而產生轉矩；與電樞鐵心合稱為電樞。

中 間 極：繞組與電樞繞組串聯，用以改善換向、減少換向時的火花。

補償繞組：在主磁極極面刻槽，繞製補償繞組，其繞組與電樞繞組串聯，因此

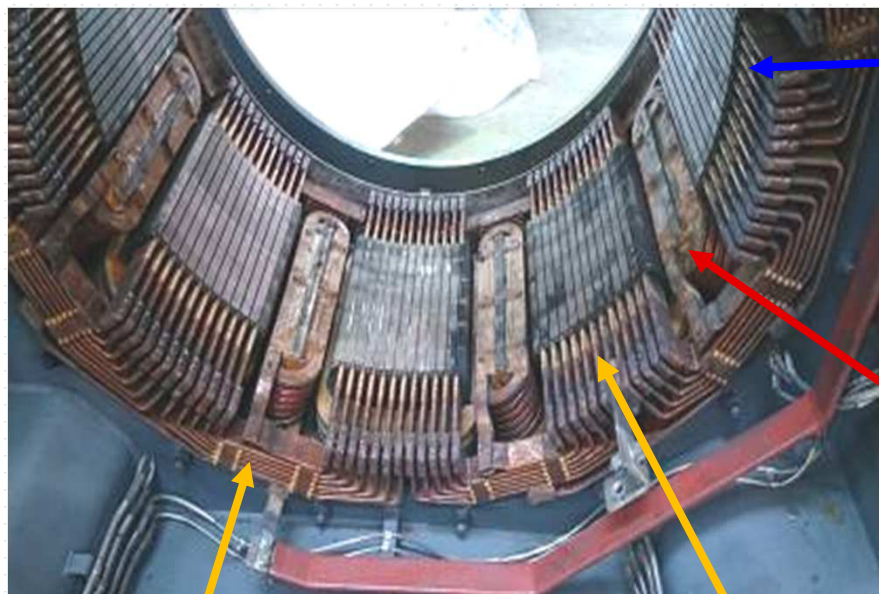
在任何負載下，補償繞組與電樞繞組之安匝數便可互相抵消。

均 壓 線：減少循環電流流經電刷，幫助運轉平衡，減緩循環電流問題(火花)

整 流 子：將直流電轉為交流電至電樞繞組，以產生轉矩。

碳 刷：電能傳輸介面。

主極、中間極安裝後

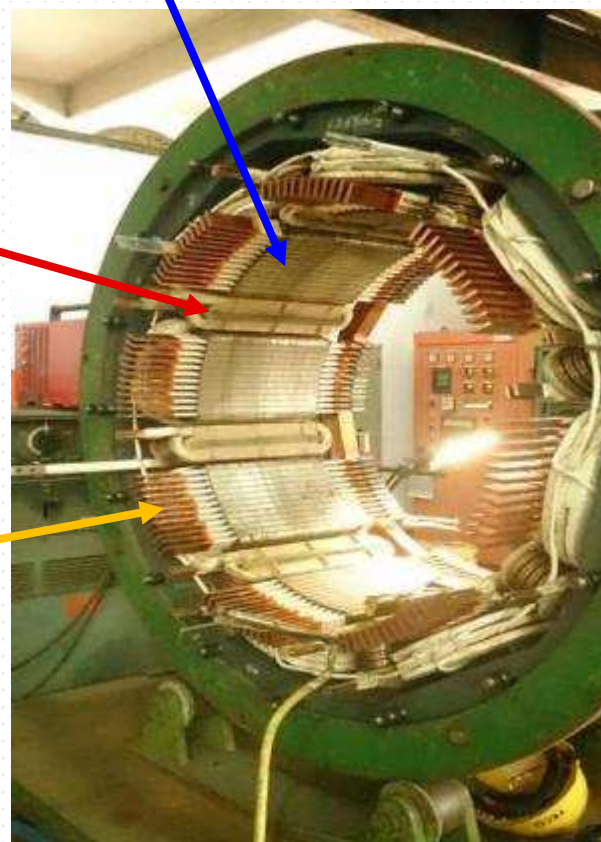


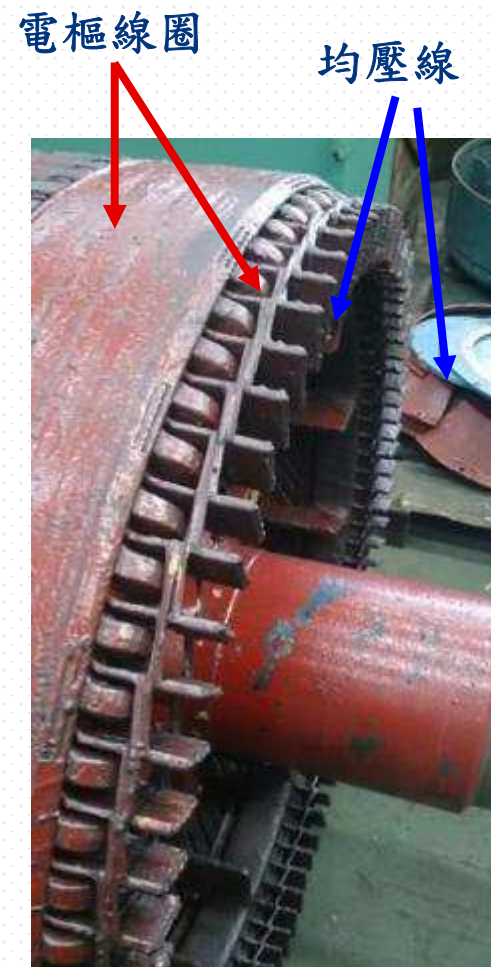
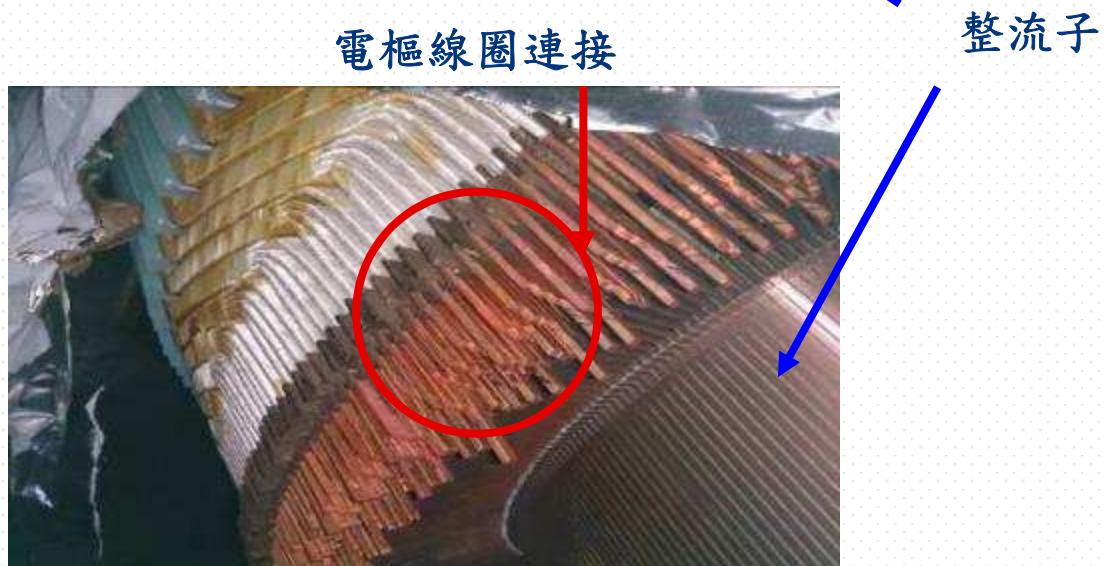
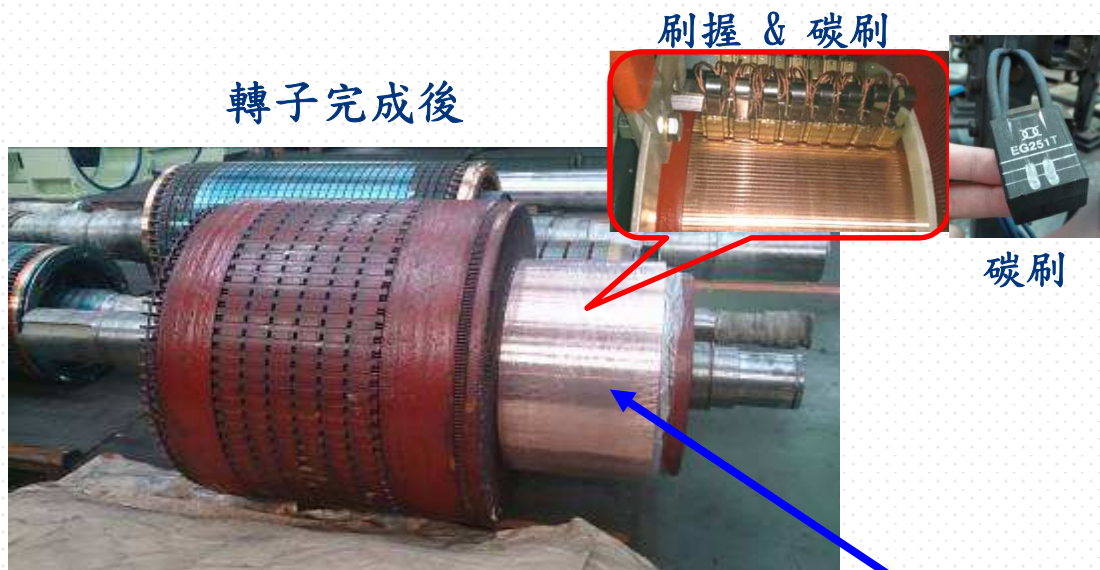
補償繞組：極側導體

補償繞組：極面導體

主極

中間極





Application: MILL



(GEMW , 2000HP , F# 710S)

Application: 鋼廠



(GSMT , 375KW x 2 , F# 560L)

■馬達生產流程介紹

■感應馬達介紹

■單相馬達

■直流馬達

■同步馬達

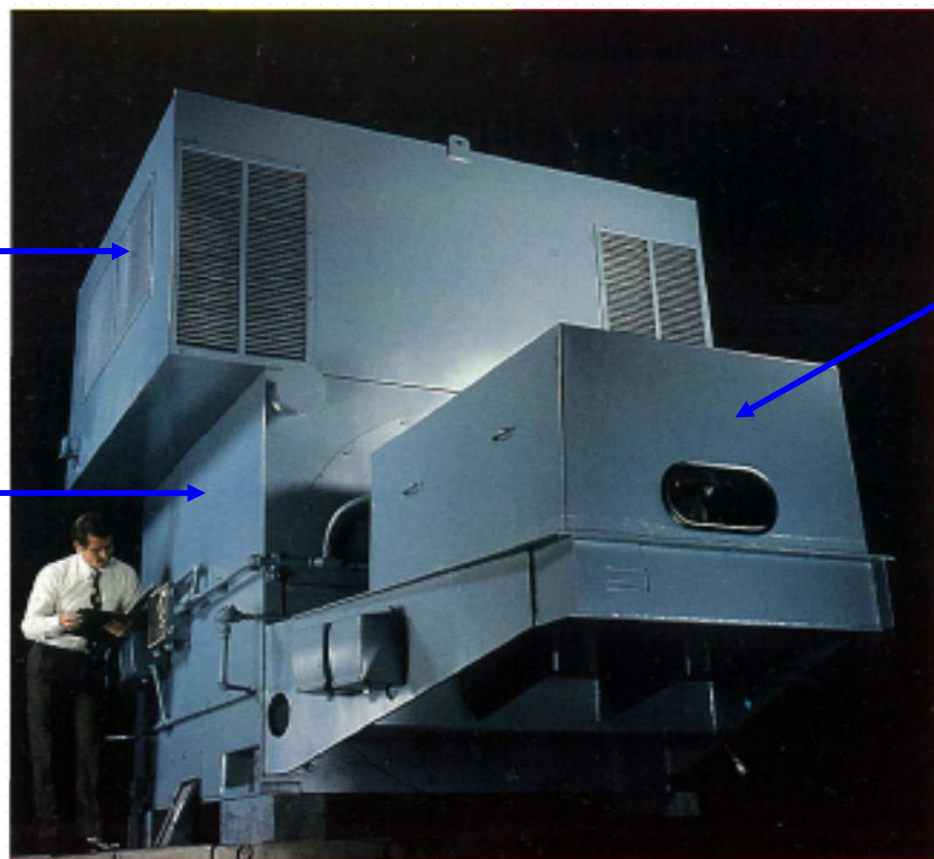
■下午場：高效率馬達與節能應用(IE3感應式,IE4永磁式)



無刷式 - 激磁系統(Brushless type)

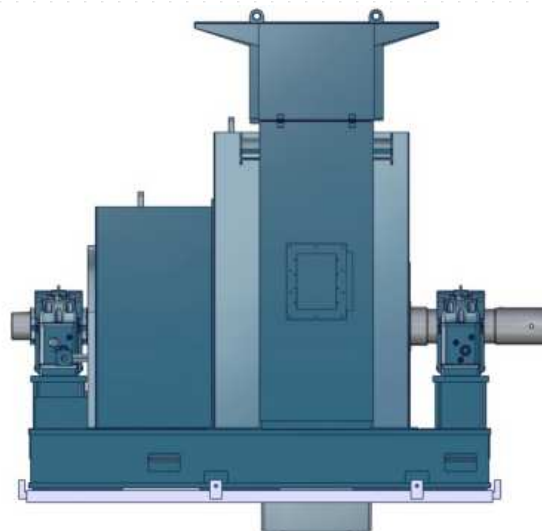
冷箱

同步機-主機



同步機-激磁系統
(含控制輪、激磁
機及電阻輪)

- 安裝形式：臥式、立式
- 軸承形式：標準 - 滑動軸承
- 功率因數：1.0 - 0.8 (領先)
- 激磁形式：有刷式、無刷式
- 結構形式：托架式、臺床式



托架式(Bracket Type)



臺床式(Pedestal Type)

- 電器設備：風扇、幫浦、離心式壓縮機
- 氣體分離設備：壓縮機(離心式、往覆式)
- 金屬工業：軋鋼機、發電機組、壓縮機、幫浦、空調設備
- 粉碎/裁剪設備：真空/水幫浦、研磨機、精鍊機、粉碎機

- 同步機可分為兩大部組
 1. 主機 - 定子、轉子
 2. 激磁系統 - 碳刷、滑環(有刷式)
 - 控制輪、電阻輪及激磁機定轉子(無刷式)

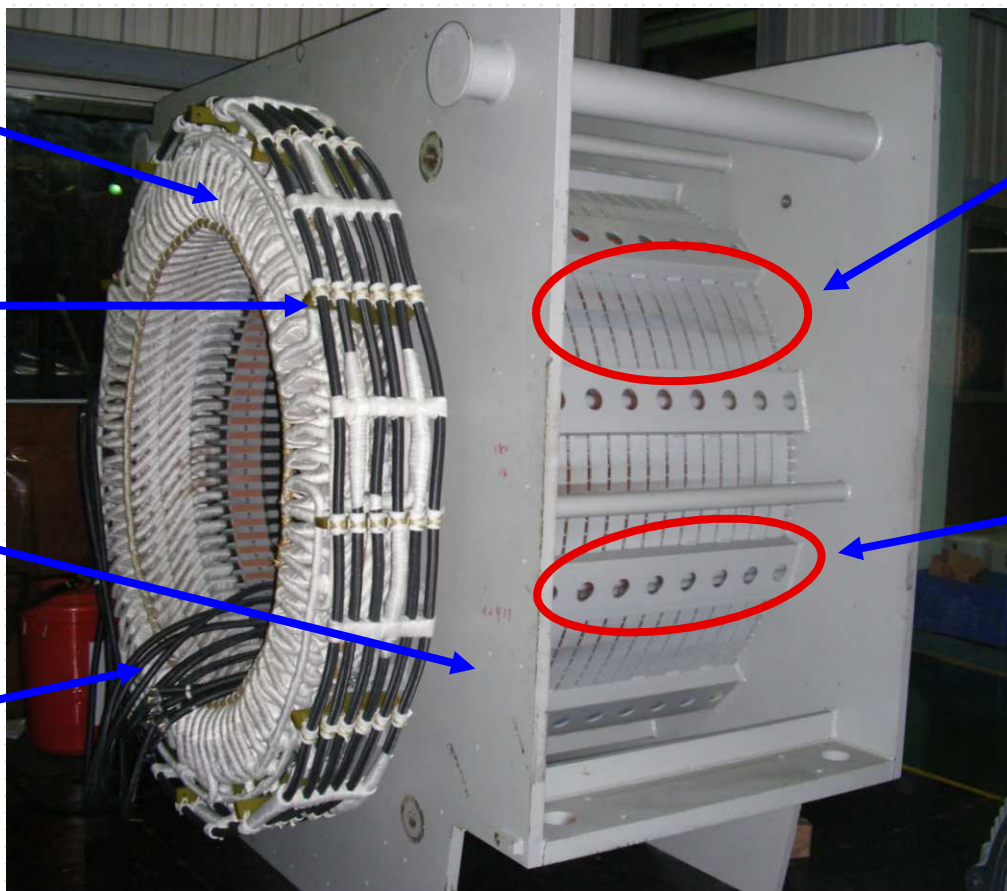
定子結構

定子繞組

排線架

框架

出口線

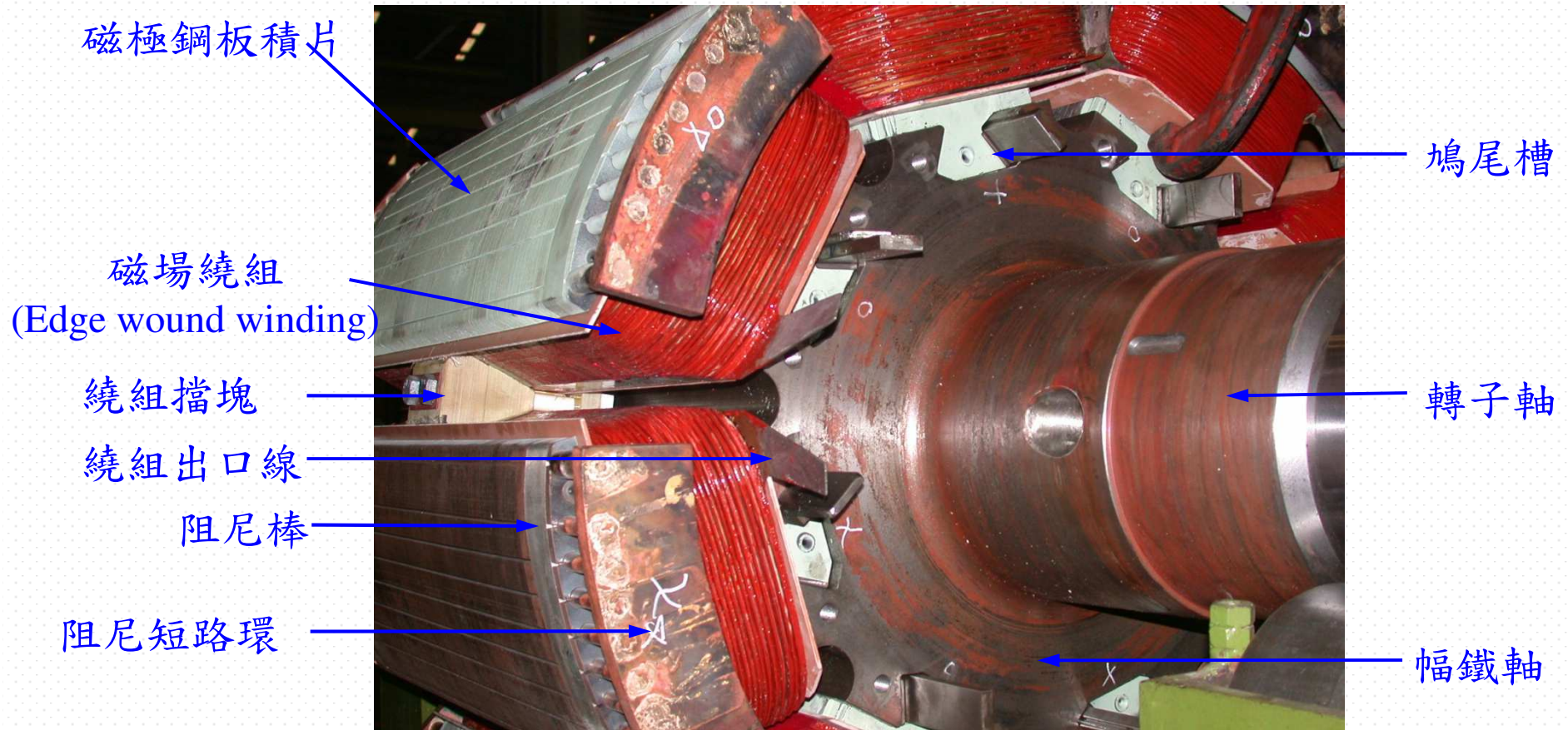


定子鐵心積片

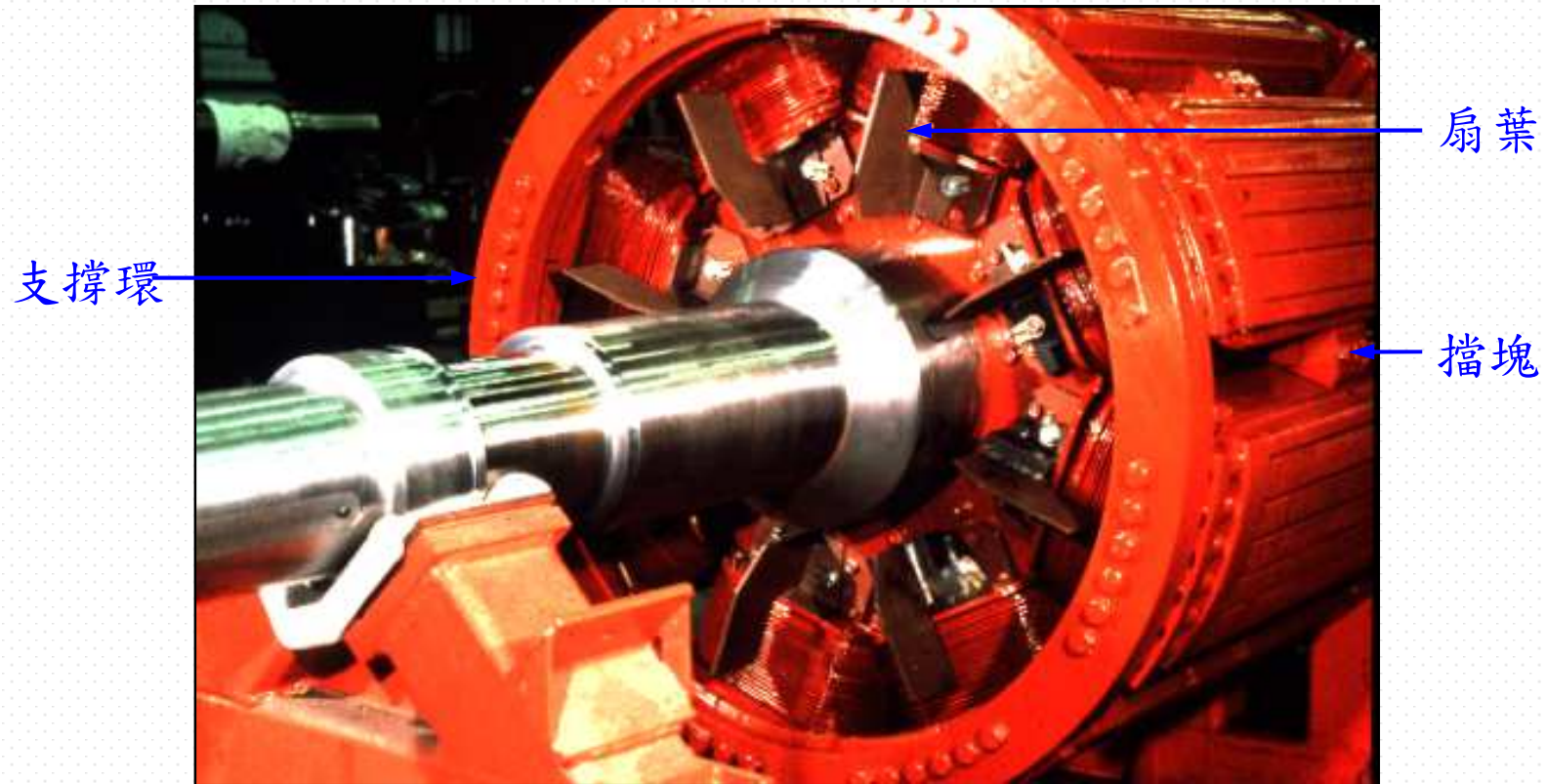
鐵心棒

轉子結構(1/3)

Edge Wound Type : 高速機(4~10極)

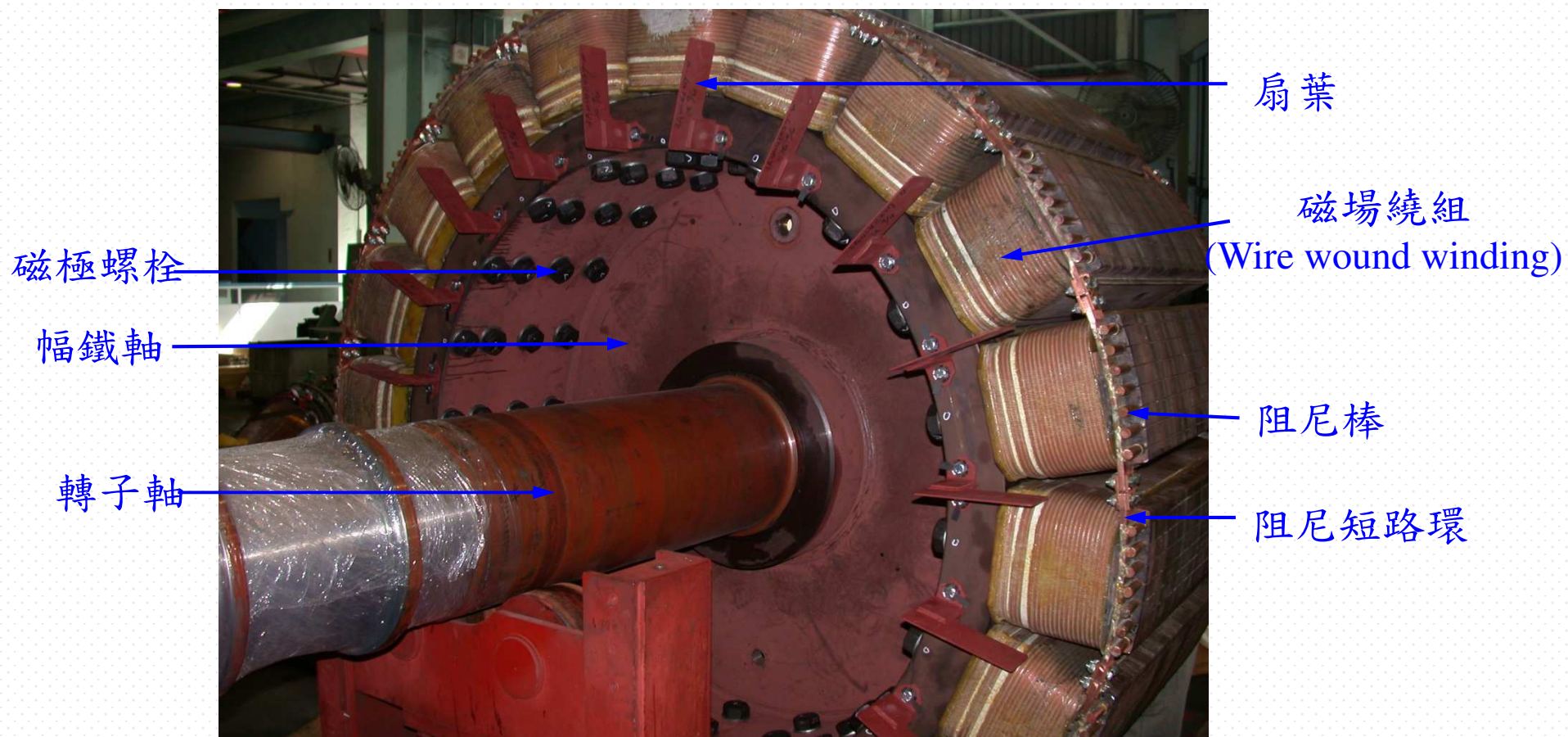


轉子結構(2/3)

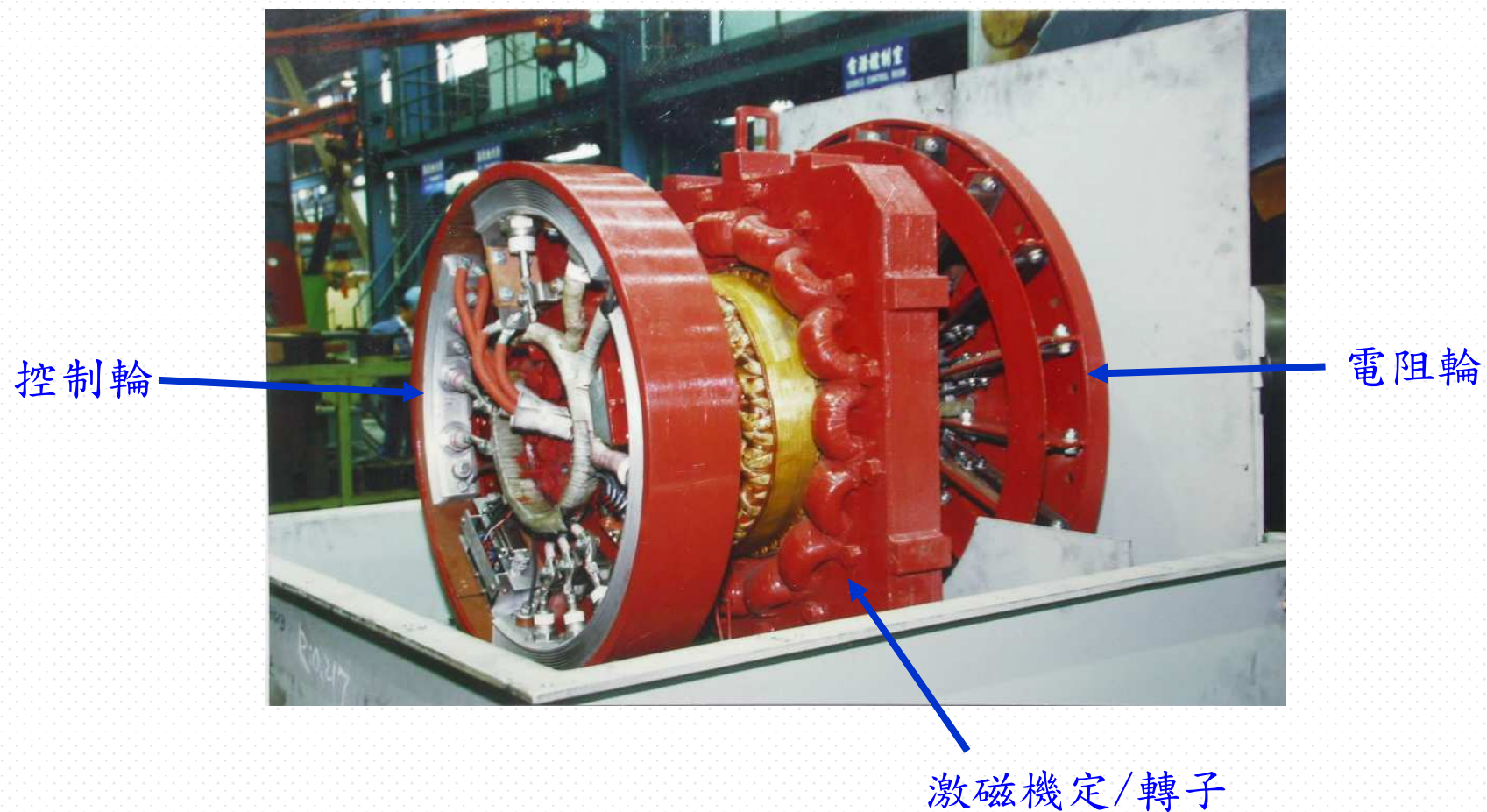


轉子結構(3/3)

Wire Wound Type : 低速機(12極↑)

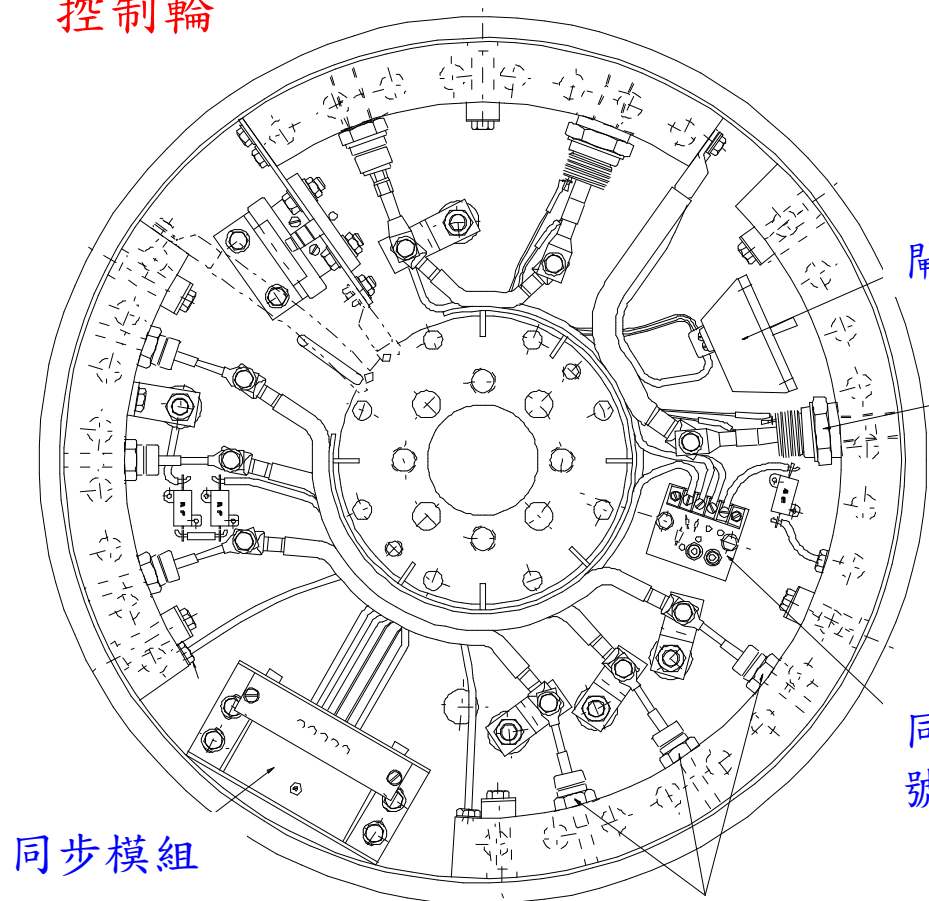


無刷式-激磁系統



無刷式 - 激磁系統

控制輪



同步模組

整流-二極
體(Diodes)

閘極模組

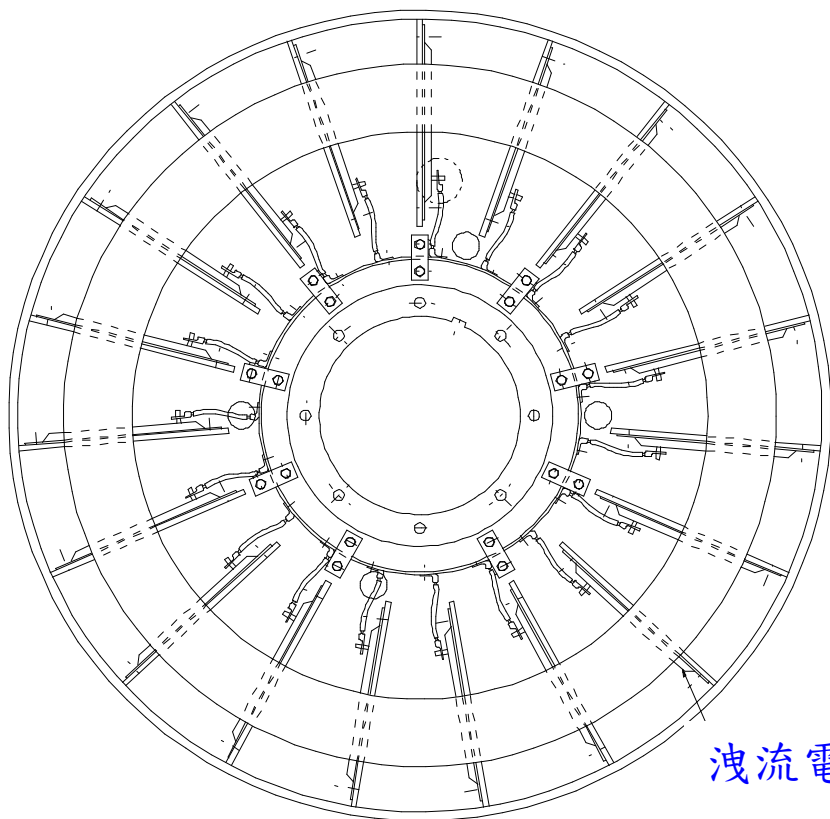
SCR

同步訊
號模組

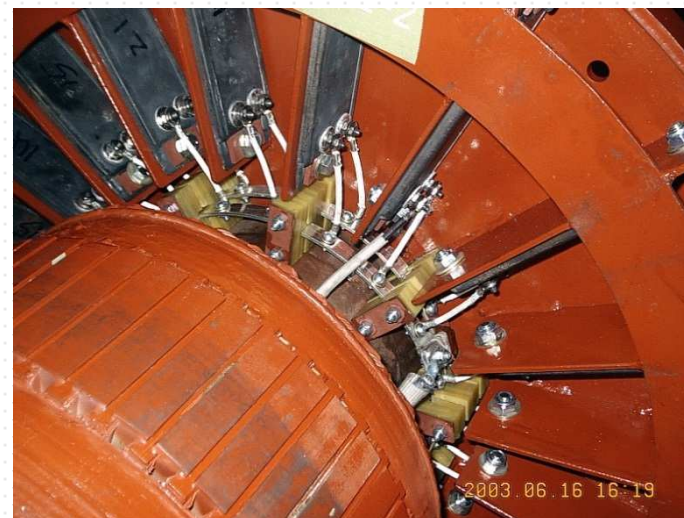


無刷式 - 激磁系統

電阻輪

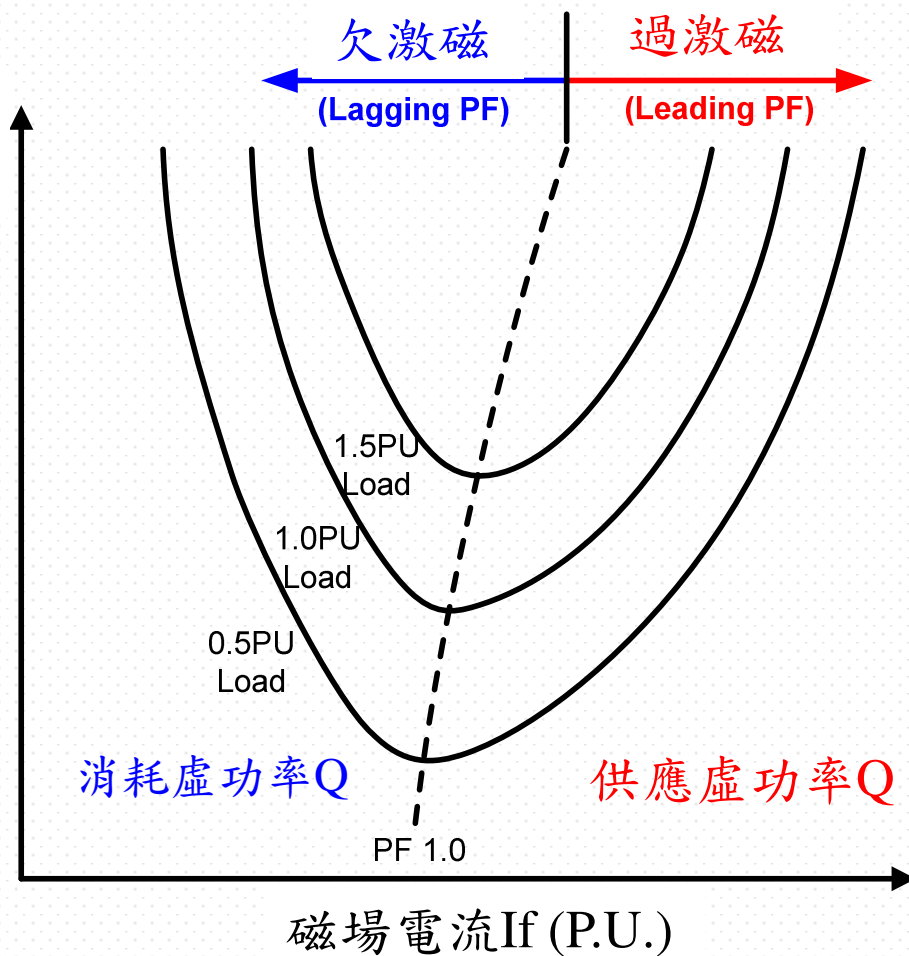


洩流電阻FRD



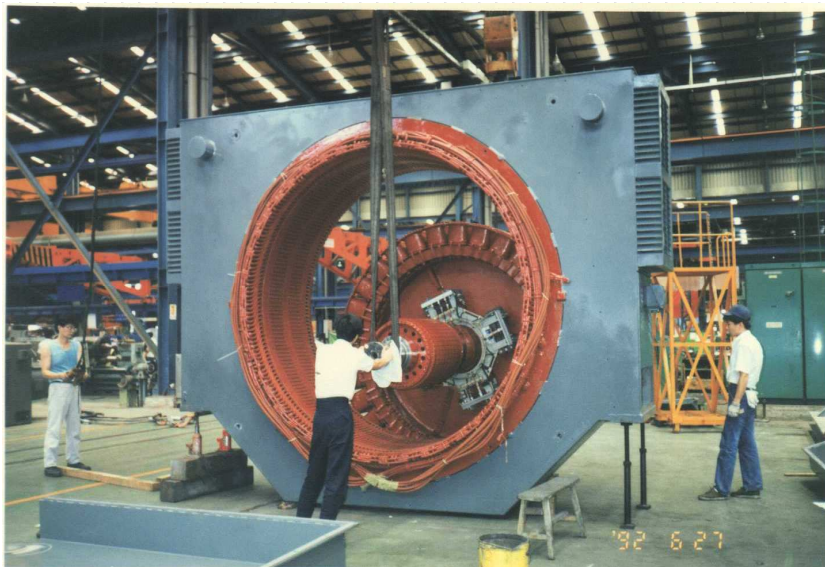
同步電動機 - V 曲線

電樞電流 I_a
(P.U.)



- 低啟動電流
- 高效率
- 定轉速[零滑差]
- 領先或固定功率因數
→ 提升設備使用壽命

30P - 4000KW - 50HZ/6600V
(Ball Mill)



32P - 360KW - 50HZ/3300V
(Pump)





-END-

Thank you !!

Q & A