



電梯電力回生裝置
節能技術推廣

練光祐 教授

國立臺北科技大學電機系

kyliau@ntut.edu.tw

主辦單位：臺南市政府經濟發展局



Outline

01 | 電價與節能

04 | 節能率與回生電能比

02 | 提高電梯效能的方法

05 | 節能率實例探討

03 | 電梯電力回生技術

06 | 結果討論



電價與節能

用電量怎麼來？

❖ 電器用電：

- **功率**：電器瞬時的消耗功率 (W)

電熱水器：800W，冷氣：2800W

電鍋：1000W，隨身聽：0.25W

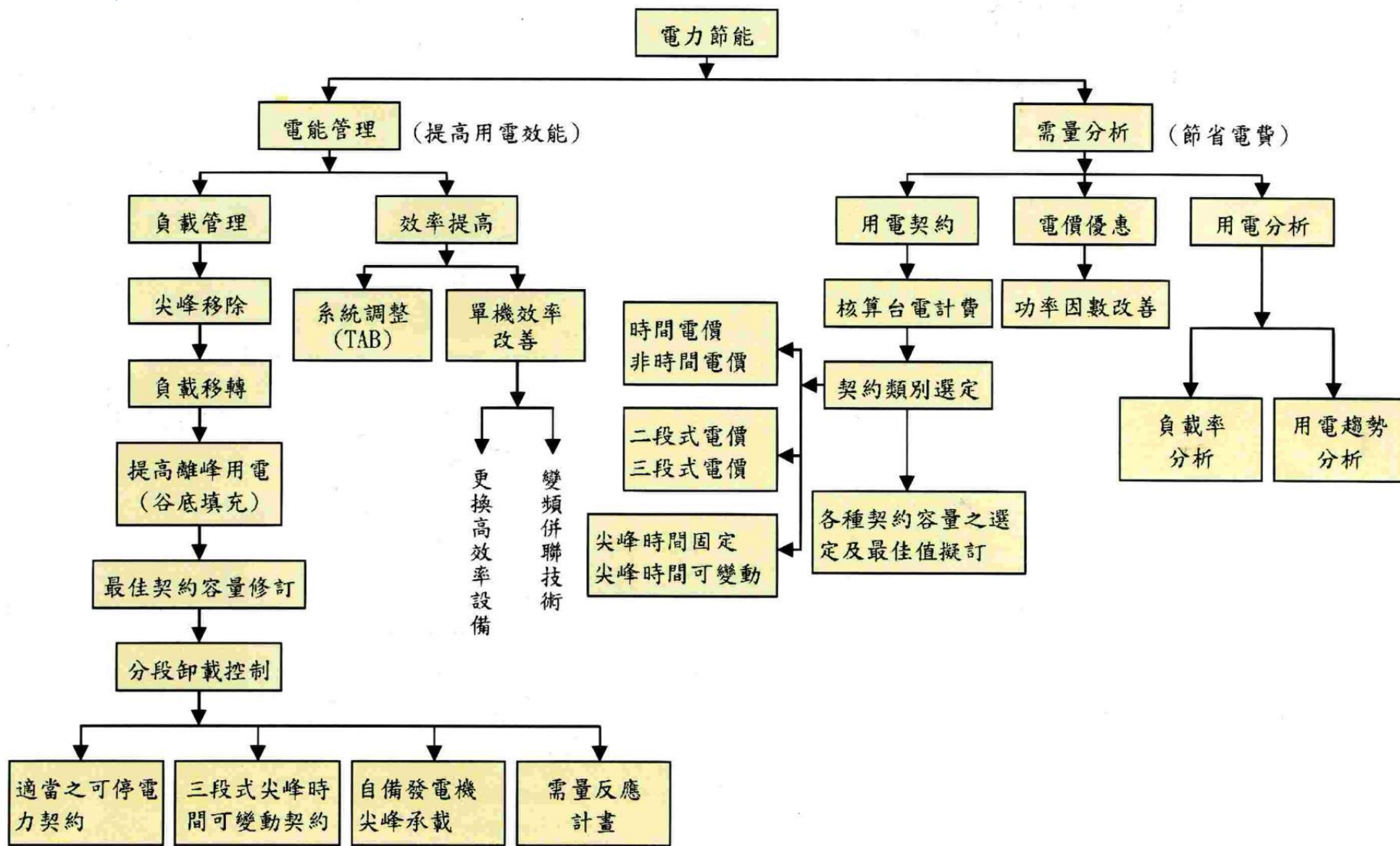
- **流動度數**：電器功率 × 用電時間 (Wh)

電鍋：1000W × 1h = 1000Wh = 1 kWh(度)

隨身聽：0.25 W × 4000 h = 1000 Wh = 1度

手機充一次電：2160mAh × 3.7 V = 8 Wh = 1/125 度

如何節電？



提高電梯能效極為重要

- ◆ 依住商大用戶104年統計資料，電梯(含電扶梯)用電占建築整體用電平均約4.54%(約6.8億度電)，僅次於空調、照明及事務設備用電。
- ◆ 非生產性質能源大用戶用電分布平均統計圖

建築物 用途分類	空調設備	照明設備	冷凍冷藏設備	事務設備	送排風設備	給水污水設備	電梯設備	其它設備
學校	45.72	26.38	3.42	8.34	2.58	3.64	3.73	6.18
辦公大樓	48.3	20.51	1.13	9.46	4.39	3.22	6.76	6.23
醫院	49.65	17.88	4.12	6.41	5.46	3.53	5.28	7.67
量販店	40.04	20.64	17.13	3.04	4.41	3.29	5.96	5.47
百貨公司	44.6	28.23	4.3	4.8	4.6	3.22	5.47	4.79
旅館	46.19	21.03	7.29	3.65	4.73	4.82	5.51	6.78
政府機關	43.08	18.63	1.7	9.24	4.43	3.91	6.69	12.31
車站及軌道	19.12	7.28	0.33	1.87	3.27	1.82	3.62	62.68
電信網路機房	37.87	7.98	0.07	5.77	1.18	1.27	1.72	44.15
研究機構	42.97	13.05	7.32	6.8	4.09	2.94	1.63	21.21
展覽館	52.28	20.58	1.8	6.66	2.92	2.85	2.69	10.22
複合式商場	40.67	28.06	3.71	2.44	3.89	4.54	7.12	9.58
航空站	47.14	28.21	0.96	5.88	9.14	2.64	2.8	3.23
平均	42.89	19.88	4.10	5.72	4.24	3.21	4.54	15.42



提高电梯效能 的方法

提高電梯能效的方法

安裝智慧節能電梯

- 採用永磁同步馬達驅動，具有效率高、散熱容易、輸出轉矩大等優點，並搭配變頻控制技術，使電梯達到高效率以及高性能。強化人和機械介面的資料網路系統，適應人工智慧理論管理電梯群體。

電梯配置最佳化與動態管理

- 靜態配置最佳化
- 智慧型動態管理

安裝電力回生裝置

電梯配置最佳化

- ◆ 如果缺乏規劃，在尖峰時段，電梯每層樓都停，不但耗損大量電能於加速減速，亦延遲乘客到達目的樓層的時間。
- ◆ **靜態配置最佳化**：將一群電梯分別配置給不同的樓層，以減少等候與運輸的時間。
 - 依據長時間的搭乘需求統計資料，再根據來往於不同樓層間的搭乘需求，決定電梯的最佳樓層配置。這屬於多目標的組合最佳化問題。
 - 滿足整體等候時間的極小化、整體運輸時間的極小化，及停留次數的極小化等需求的妥協方案。

電梯動態管理

- ◆ **動態管理**：有搭乘需求時，立即進行動態排程，指派最適當的電梯以節省能源及等候與運輸時間。
- ◆ **設備需求**：
 - 車廂內具有監控系統以蒐集搭乘的數據。
 - 車廂外亦有等候人數的監控功能，以適時安排車廂前往接運。
 - 資訊顯示功能，以告知等候人員目前電梯車廂內的人數、預計停留的樓層、以及到達本樓層的時間等相關資訊。
- ◆ **智慧型電梯動態管理系統**：依賴複雜的人工智慧科技、資訊整合技術與即時的運算能力。

電力回生裝置的推廣措施

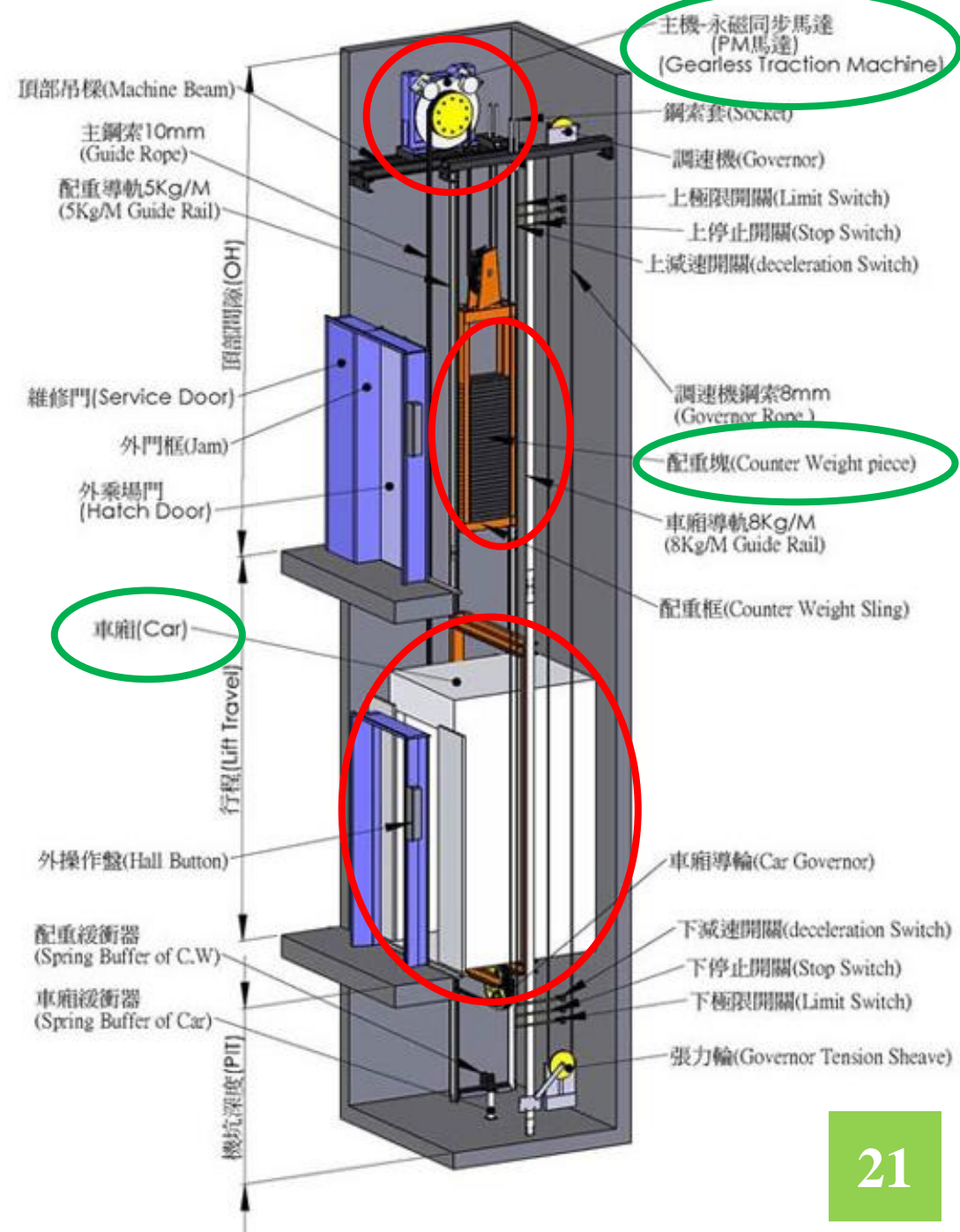
- ◆ 內政部建築研究所在民國92年就已經發展了智慧建築評估系統，符合該系統所設訂各項基準的新建建築物，可申請頒發「智慧建築標章證書」。
- ◆ 功能選項指標群-節能管理部分，電梯電力回生裝置可以節能技術及再生能源設備之鼓勵項目取得分數。
- ◆ 以部分補助之精神協助各政府單位於系統整合應用項目導入電梯電力回生裝置增設安裝。



電梯的構造

一般人常把電梯供搭乘用的車廂(裝載人、物的車廂室部份)逕稱為電梯；但電梯整體上應包含如右圖所列全部。它是由數十種類機械與電機物件所構成的，有複雜且精密的電機控制單件和機械構件。

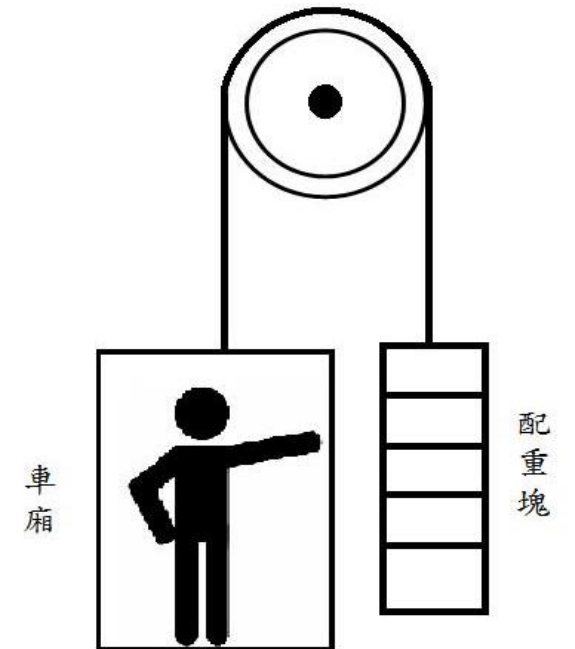
近年來電梯大多採用永磁同步馬達，因其具有效率高、散熱容易、輸出轉矩大等優點，搭配變頻控制技術，使電梯達到高效率以及高性能。



電梯的原理

電梯的基本工作原理實為定滑輪組：

- 一側是乘客(Passenger)搭乘的**車廂側**；
- 另外一側是掛鐵塊的**配重側**；
- 以上兩者透過鋼索連結起來，中間滑輪部分代表的即是由馬達驅動之**捲揚機**。



電梯的原理

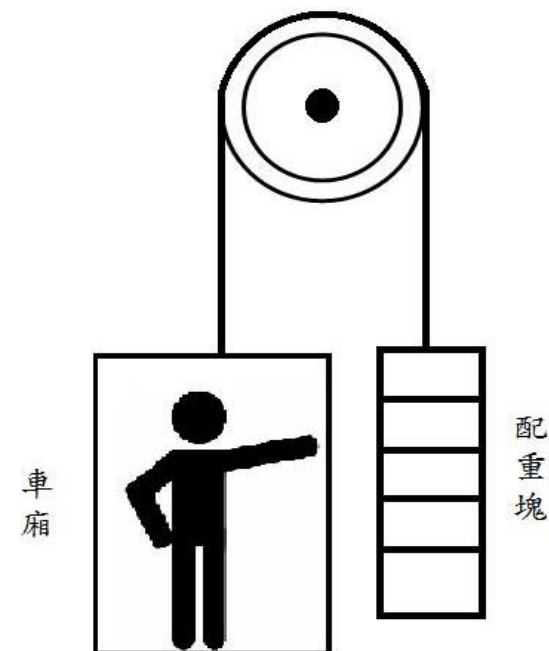
掛鐵塊的配重側重量用以下方式決定：

配重側總重量 = (車廂側空車重量 + 車廂側滿載重量) 除以 2

舉個例，假設車廂空車時本身淨重是 500 公斤、最大限重 800 公斤，則配重側總重必須是 $(500+1300)/2 = 900$ 公斤。

這麼訂的好處是可以極小化捲揚機的最大負荷。如上例，可讓捲揚機的最大負荷從1300公斤變小為400公斤。

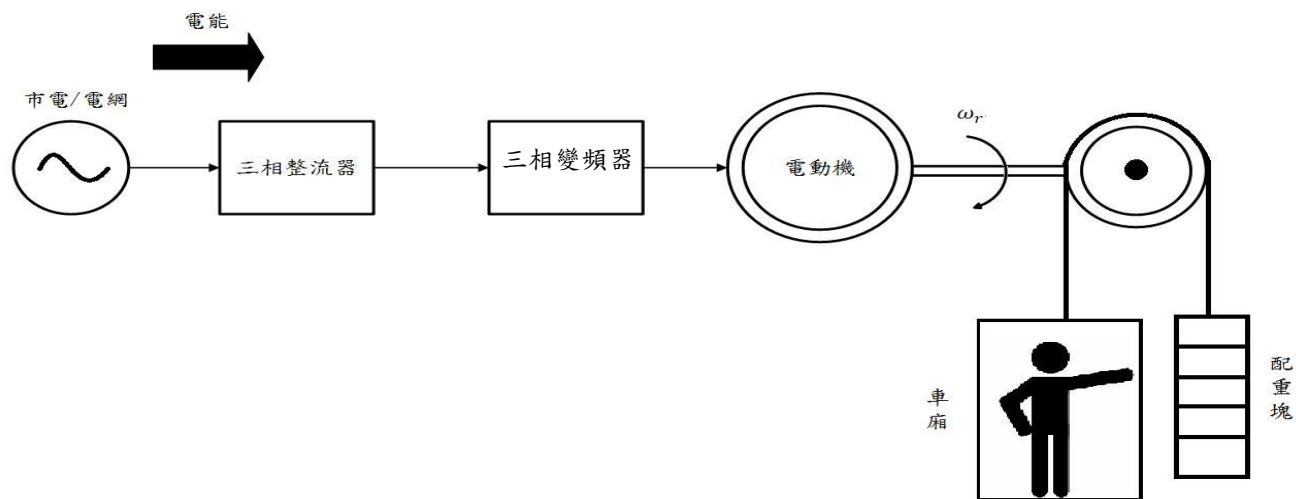
當驅動系統的負荷容量變小時，有助於減少各元件的製造成本及體積大小。



電動機驅動架構

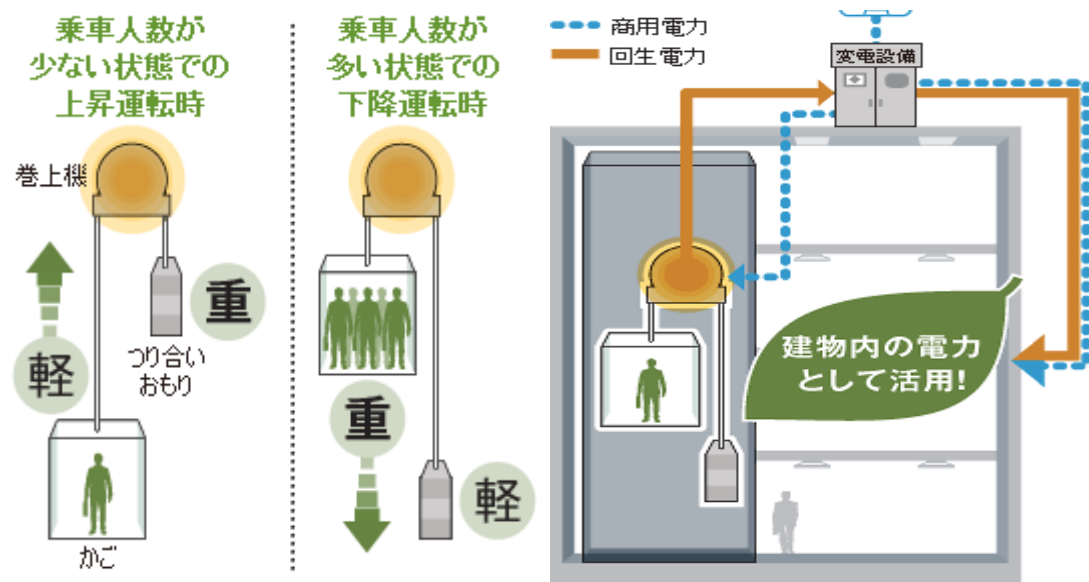
為了提供電動機變速的能力，其驅動系統需提供可變的電壓大小及頻率，因此由公共電源(市電)所提供的定頻(60Hz)、定電壓(220V)的電源並不適合直接驅動電動機。

為了獲得適當的驅動電壓，電動機驅動電源包含一個**整流器**將交流轉變成直流，然而，為了降低電動機線圈的電流，通常需要再將整流後的電壓升壓，最後經過**變頻器**，產生電動機需要的交流電壓。



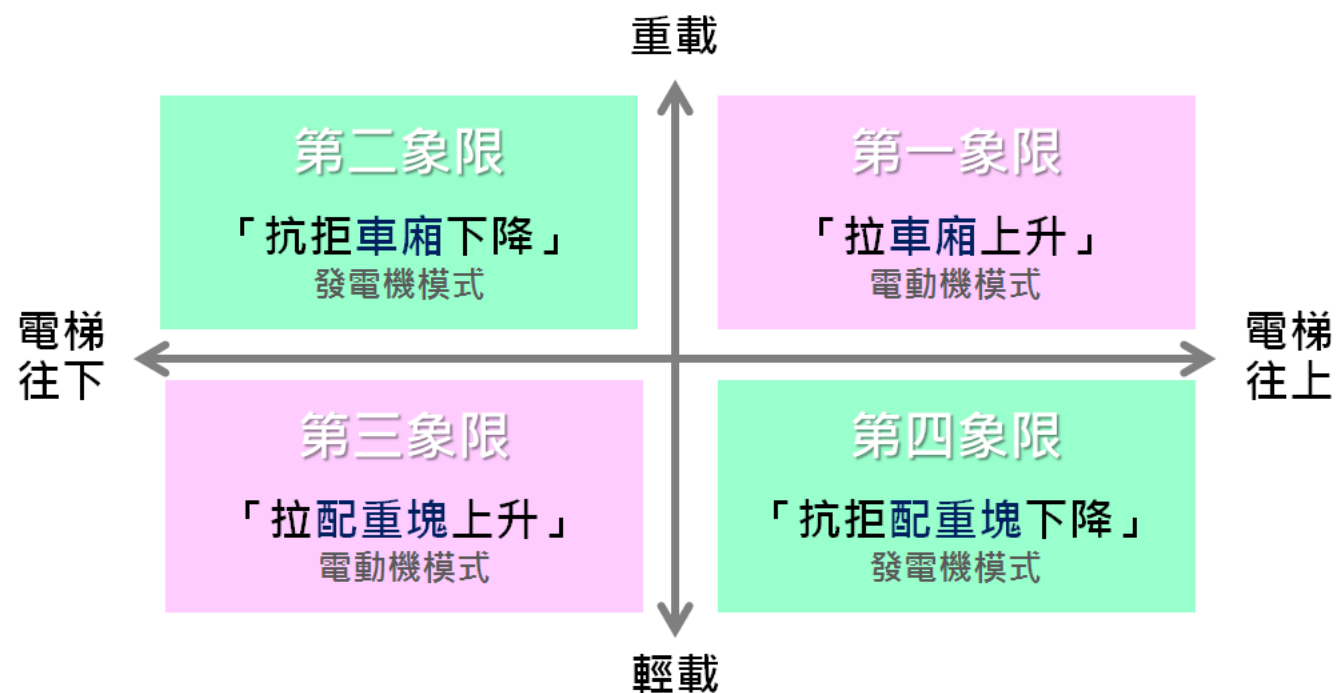
電梯電力回生原理說明

簡單的說，車輛的再生煞車技術乃是將行駛中車子的動能轉換為電能回收；而電梯的電力回生技術原理亦相似，但是它將電梯**輕載往上**或是電梯**重載往下**移動時，所多產生出來的**重力位能差**轉換為電能回收。兩者的物理原理稍有不同，但同樣是利用馬達的發電機模式將機械能轉換為電能方式達到能源回收目的。



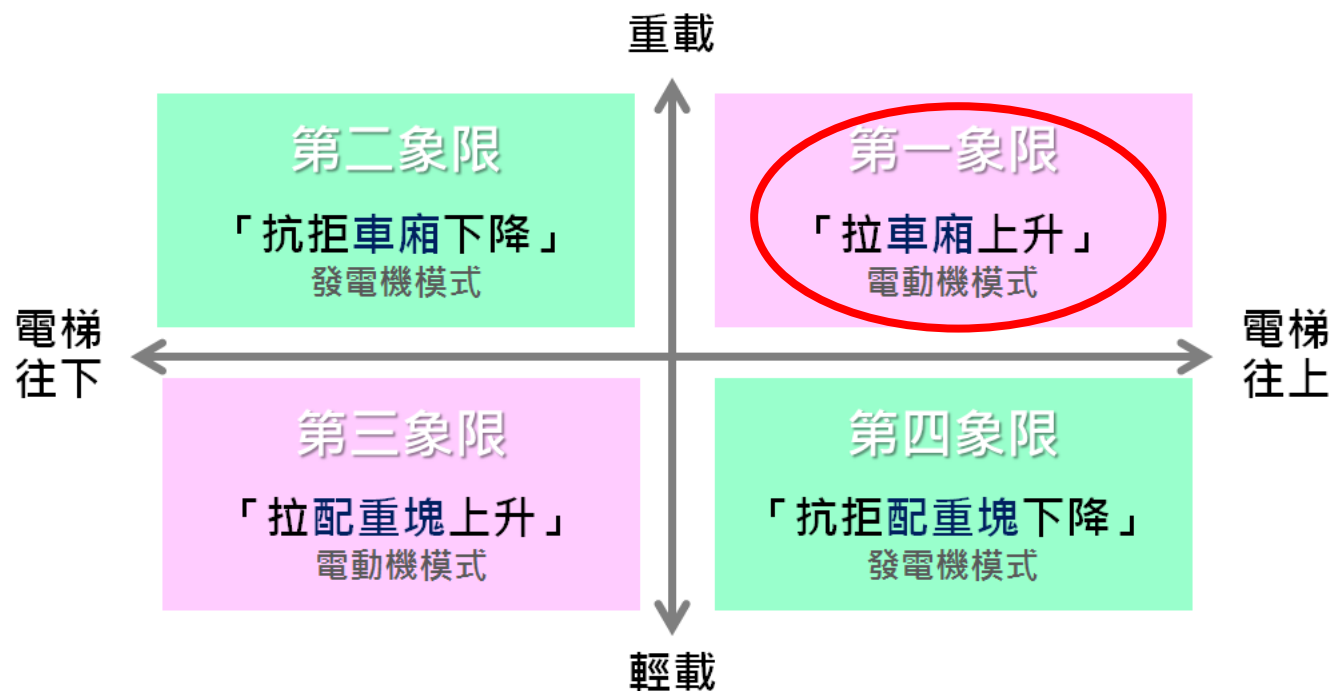
電梯運行四象限

以電梯**往上**或**往下**為橫軸的右向及左向，以電梯**重載**或**輕載**為縱軸的上方及下方，則電梯運行的情況可劃分為四種狀況：



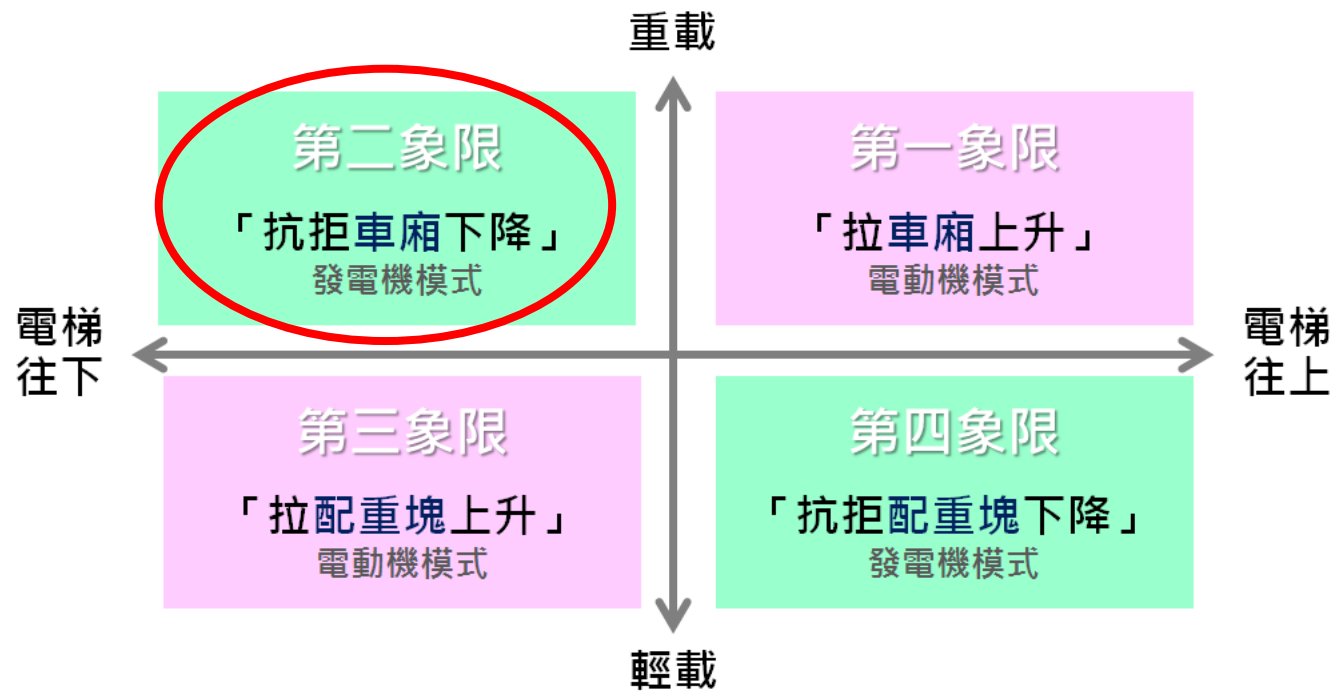
象限一 電動機模式

車廂**重載**並由**低樓層往高樓層**移動，馬達出力轉矩為**正向**拉車廂上升，會消耗電力。



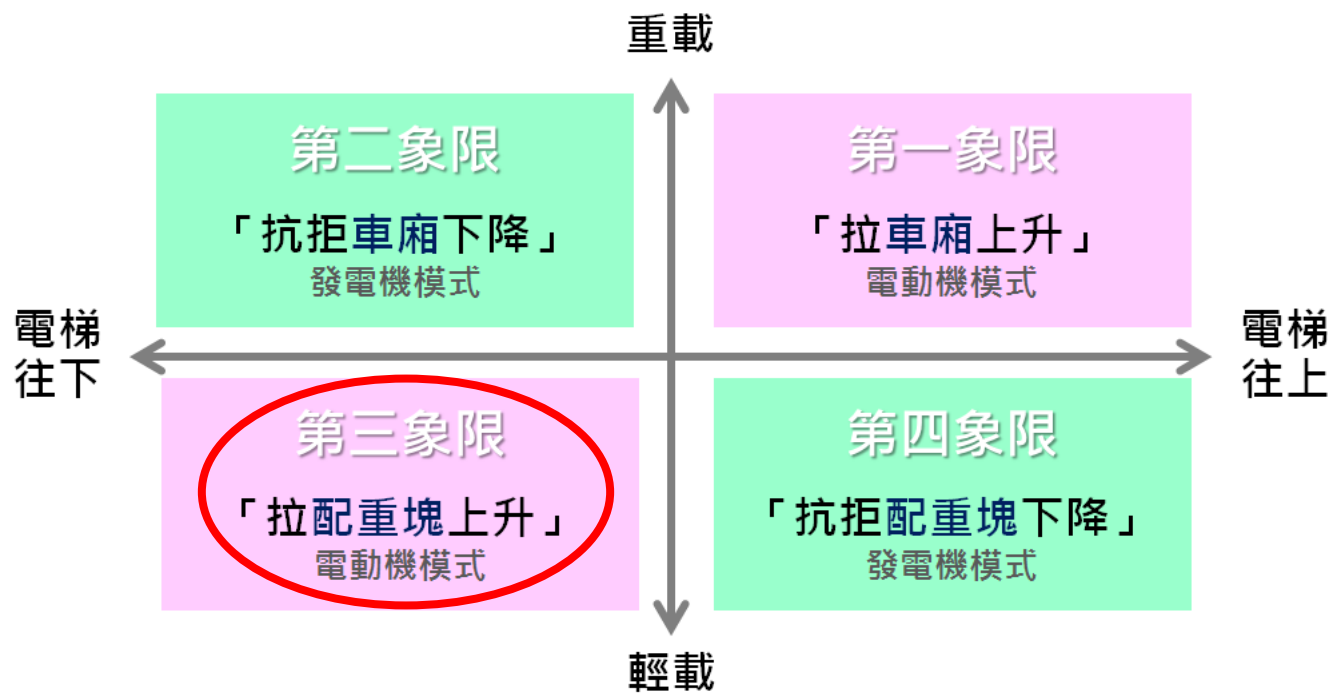
象限二 發電機模式

車廂**重載**並由**高樓層**往**低樓層**移動，馬達必須抗拒來自車廂的重力牽引，故馬達**受力**而以發電機模式將載重的重力位能差轉為電能輸出。



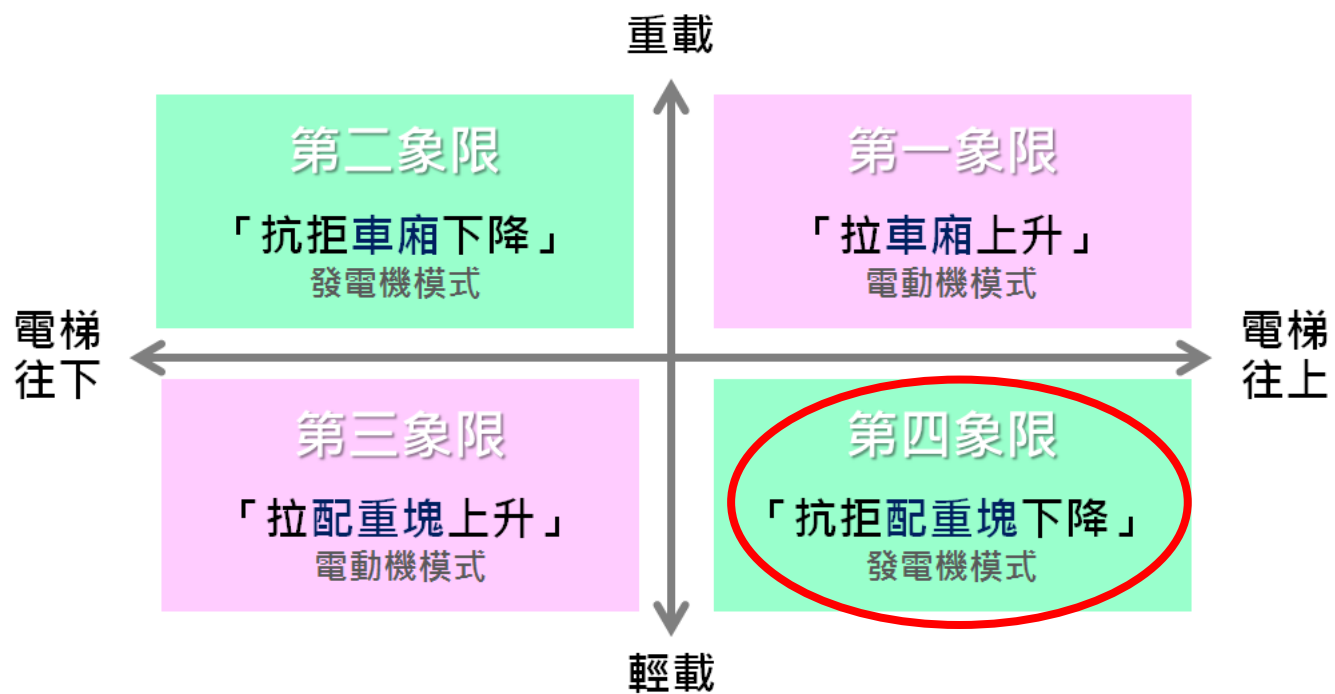
象限三 電動機模式

車廂輕載並由高樓層往低樓層移動，馬達出力拉配重塊上升，以使車廂往下。



象限四 發電機模式

車廂輕載並由低樓層往高樓層移動，馬達必須抗拒來自配重塊的重力牽引，以發電機模式將配重塊與輕載車廂的重力位能差轉為電能輸出。



一些體會

新聞：「一個人搭電梯下樓的耗電量 是一個人搭電梯上樓的107倍」

孤單時搭電梯下樓，對節能是種深深的愧疚！

耗電量大(上班時刻)： 重載上樓 ~ 空載下樓

回生電力大(下班時刻)： 重載下樓 ~ 空載上樓

上班時，電力系統藉由電梯推人上高樓；

下班時，希望將高位能還給電力系統。

電力回生裝置，可舒緩孤單時搭電梯下樓的愧疚！

傳統回生能量處理方式

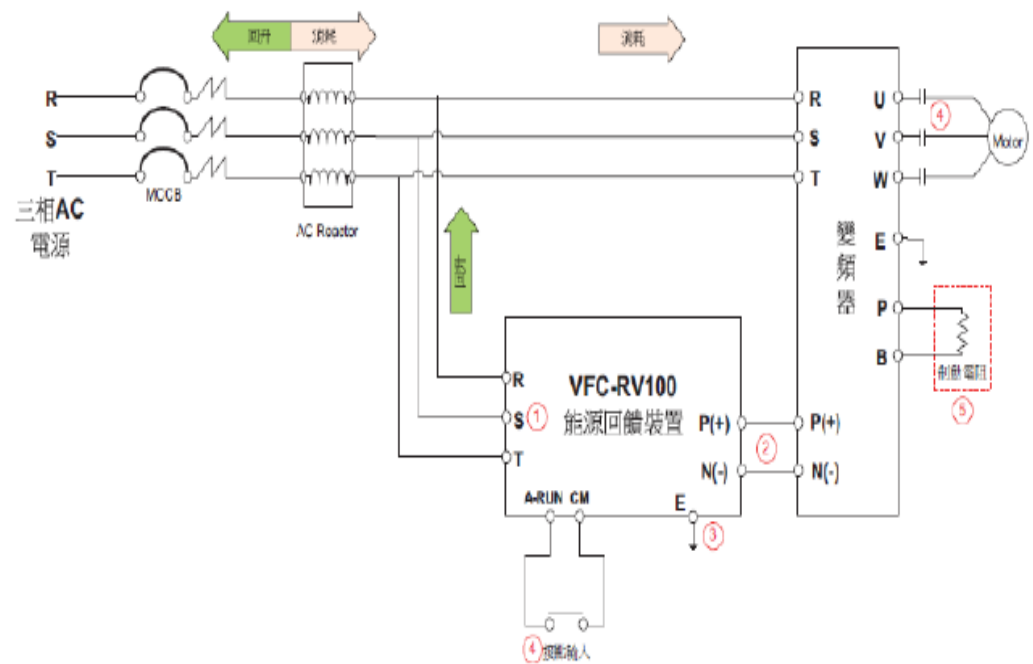
無電力回生裝置的交流變頻器驅動馬達，工作在發電機模式時，還會在啟動瞬間，直流迴路電壓會因瞬間能量突波衝擊過大而超過所設定的直流電壓準位，致使直流迴路電容燒燬。因此傳統上以並聯方式**安裝高瓦數低阻抗的回生電阻**，**直接釋放回生電能**。此法可解決能量突波的問題，但效率差且將增加額外硬體費用與空間。



傳統的能量回生處理方式

電梯電力回生技術

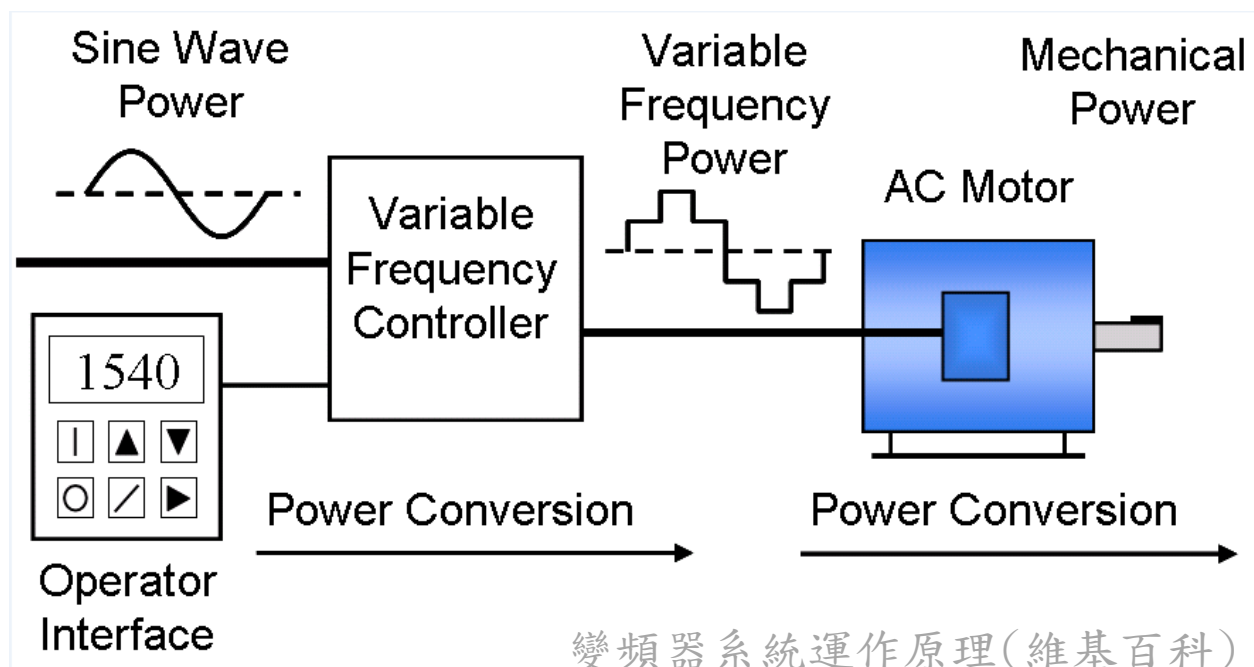
當電梯工作在第二、第四象限（即制動或剎車）時，變頻器將重力位能差產生的交流電轉換成為直流電，電梯電能回饋裝置則將直流電能轉為三相交流電與市電並網。



變頻器

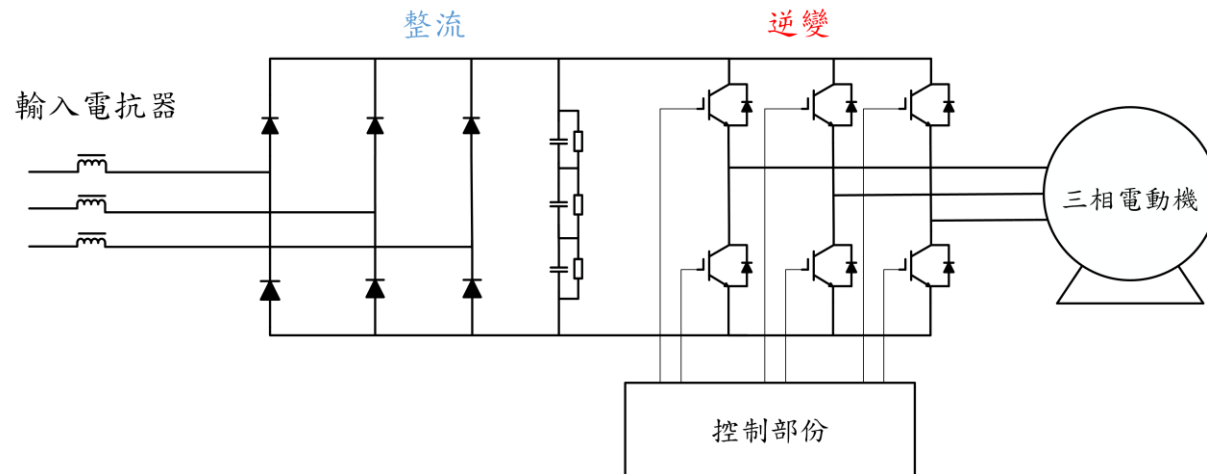
變頻器(Variable-frequency Drive)，也稱為變頻驅動器、逆變器(Inverter)、VVVF (Variable Voltage Variable Frequency Inverter, 為日文「可變電壓可變周波數控制」的英語直譯)。

變頻器是可調速驅動系統的一種，是應用變頻驅動技術改變交流馬達工作電壓的頻率和幅度，來平滑控制交流馬達速度及轉矩。



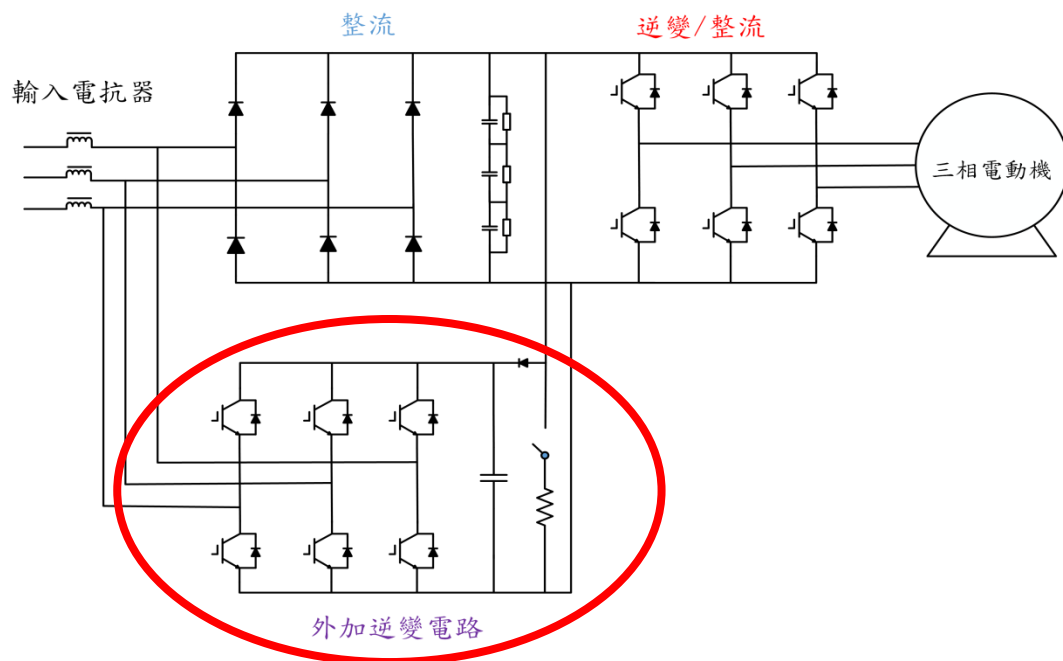
變頻器

變頻器主要分成**控制部分**與**電力驅動**部分。控制部分一般採用DSP為核心的控制架構，以實現相應目的所設計的控制法則。至於電力驅動部分，一般採用二極體整流橋將交流電源轉換成直流跨於主電路電容器上，然後採用IGBT逆變技術，藉控制電路送出六個IGBT閘及控制訊號，將直流電壓切割成三相脈波寬度調變(PWM)的電壓送至電動機。因電動機線圈自身的電感特性自動起到濾波功效，形成三相弦波電流波形，使得電動機能平滑的運轉。簡言之即將直流轉換成電壓及頻率皆可調控的交流電，用以控制交流電動機。



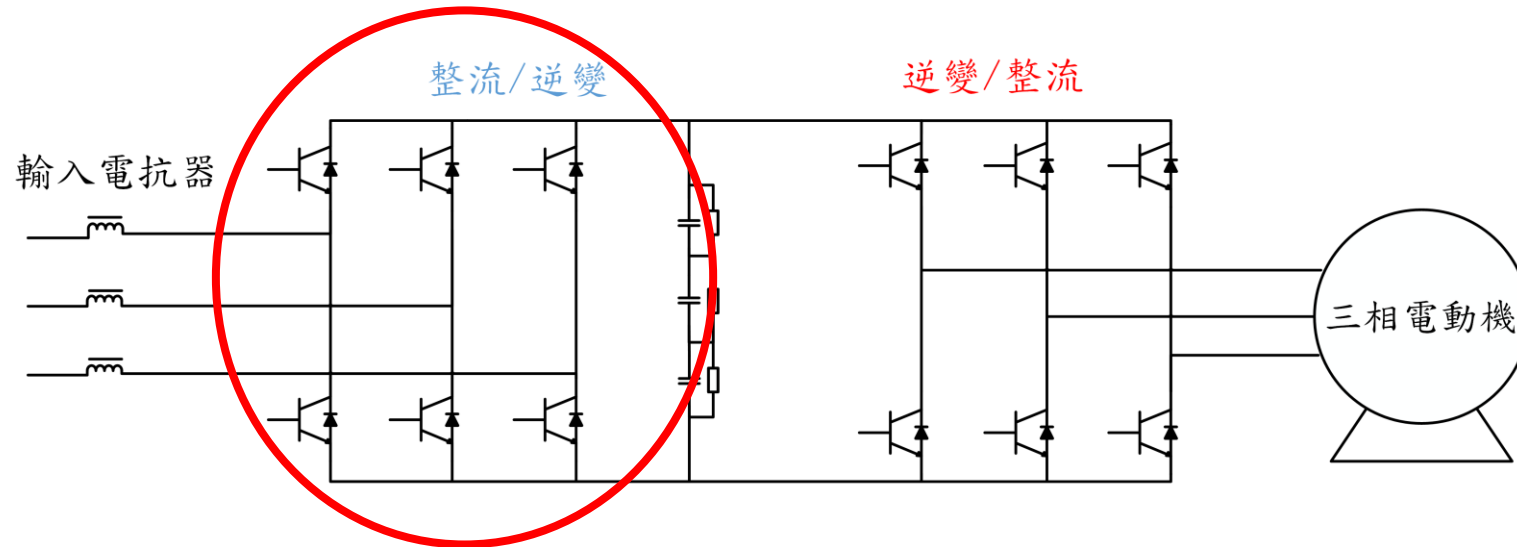
二象限變頻器

- 普通的變頻器大都採用二極體整流橋將交流電轉化成直流，然後採用IGBT逆變技術將直流轉化成電壓頻率皆可調整的交流電控制交流電動機。這種變頻器只能工作在電動狀態，所以稱之為二象限變頻器。
- 二象限變頻器採用二極體整流橋，無法實現能量的雙向流動。
- 可以新增的IGBT功率模組作成整流橋與原二極體整流橋並聯(但方向相反)，實現能量的雙向流動。



四象限變頻器 (Four-Quadrant Power Converter)

採用 IGBT 功率模組直接替代原整流橋的二極體元件，配合使用高速度、高運算能力的 DSP 產生 PWM 控制脈衝，則可以實現能量的雙向流動，可以將電動機回饋產生的能量反饋到電網，達到徹底的節能效果。





節能指標

安裝電力回生裝置其目的在節省電梯用電，節電率與回生能比是常見的節能指標。節電率如下式：

節電率 = 安裝安裝電力回生裝置後所減少的電量 / 安裝安裝電力回生裝置前的耗電量

一次往返循環，一定包含一個電動機運行模式，以及一個發電機運行模式。因此節電率定義式的分母：

安裝電力回生裝置前的耗電量 \approx 電動機行程的耗電量

再來，節電率定義式分子：

安裝電力回生裝置後所減少的電量 \approx 發電機行程所產生的電量

節電率 \approx 回生能比

由上述，可知節電率的近似表示如下：

$$\text{節電率} \approx \text{發電機行程產生的電量} / \text{電動機行程的耗電量}$$

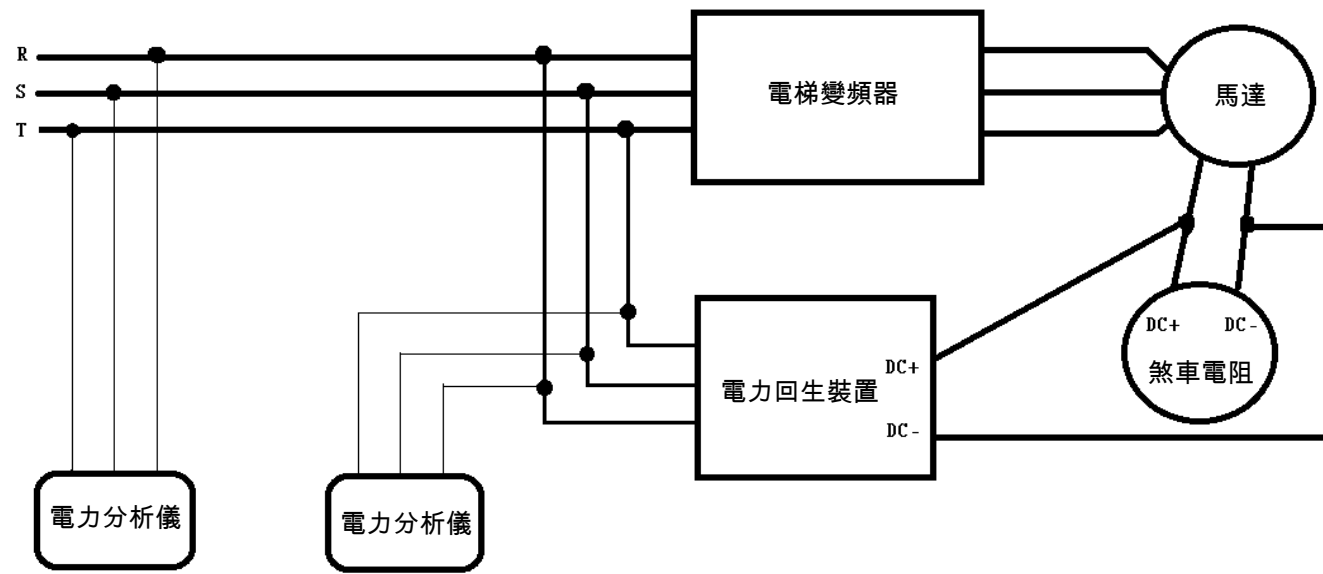
此式的分子與分母可以分別簡稱為回升電量與耗電量，因應這二個簡要的名詞，我們乃重新定義回生電能比如下式：

$$\text{回生電能比} = \text{回生電量} / \text{耗電量}$$

- 節電率與回生電能比是二個常見到的術語，經由上述分析，可知二者是十分相近的術語，因此常被交替使用。
- 在大部分情況下，我們要不到安裝電力回生裝置前的耗電量，因此節電率觀念雖然易懂，但不容易精確獲得，故常以回生電能比近似之。

電力回生裝置節能實測方法

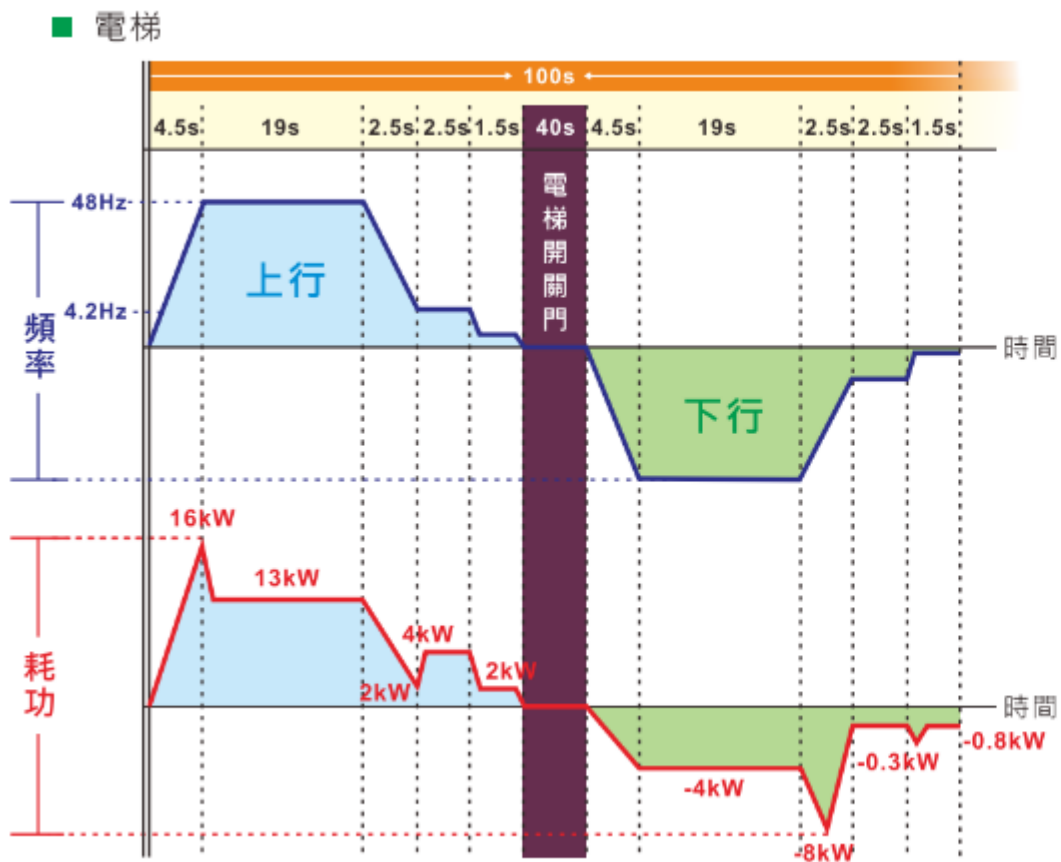
運轉參數量測(包括功率因數、電壓、電流、諧波與耗電量之變化)
及回生電能之同步量測。



現場電力掛表量測示意圖



節電率實例探討一



在載重2噸的客梯上，梯速為60m/min，樓層為B1~4樓，採用22kW電機，加裝電能回饋單元，比較空車廂上下5趟的節電率。

使用電能回饋單元	+Whr	360.7
	-Whr	111.1
使用煞車電阻	+Whr	354.2
	-Whr	0

煞車電阻沒有回饋的能量，所以電能回饋單元較

煞車電阻的節電率 $\frac{111}{361} \times 100\% = 30\%$

單趟平均省了 $\frac{111}{5} = 23.2\text{Whr/趟}$

其中單趟來回時間為100秒

一天工作12小時，一年265工作天，一度電是3.5元

一天可做 $\frac{12(\text{小時/天}) \times 60(\text{分/小時}) \times 60(\text{秒/分})}{100(\text{秒})} = 432 \text{ 趟/天}$

一年就可省

$\frac{22}{1000} (\text{kWhr/趟}) \times 432(\text{趟/天}) \times 265(\text{天/年}) \times 3.5\text{元} = 8903\text{元}$

9,296 !

節電率計算

在載重2噸的客梯上，梯速為60m/min，樓層為B1~4樓，採用22kW電機，加裝電能回饋單元，比較空車廂上下5趟的節電率。

使用電能回饋單元	+Whr	360.7
	-Whr	111.1
使用煞車電阻	+Whr	354.2
	-Whr	0

煞車電阻沒有回饋的能量，所以電能回饋單元較

煞車電阻的節電率 $\frac{111}{361} \times 100\% = 30\%$

單趟平均省了 $\frac{111}{5} = 23.2\text{Whr/趟}$ ，

其中單趟來回時間為100秒。

$$\text{使用電能回饋的用電量} = 360.7 - 111.1 = 249.6$$

$$\text{使用剎車電阻的用電量} = 354.2$$

$$\begin{aligned}\text{節電率} &= \text{省下的電量} / \text{本來的用電量} \\ &= (354.2 - 249.6) / 354.2 \\ &= 104.6 / 354.2 = 29.53\%\end{aligned}$$

$$\text{單趟平均省了} = 104.6 / 5 = 20.92 \text{ Whr}$$

省下電費

一天工作12小時，一年265工作天，一度電是3.5元

一天可做 $\frac{12(\text{小時/天}) \times 60(\text{分/小時}) \times 60(\text{秒/分})}{100(\text{秒})} = 432 \text{ 趟/天}$

一年就可省

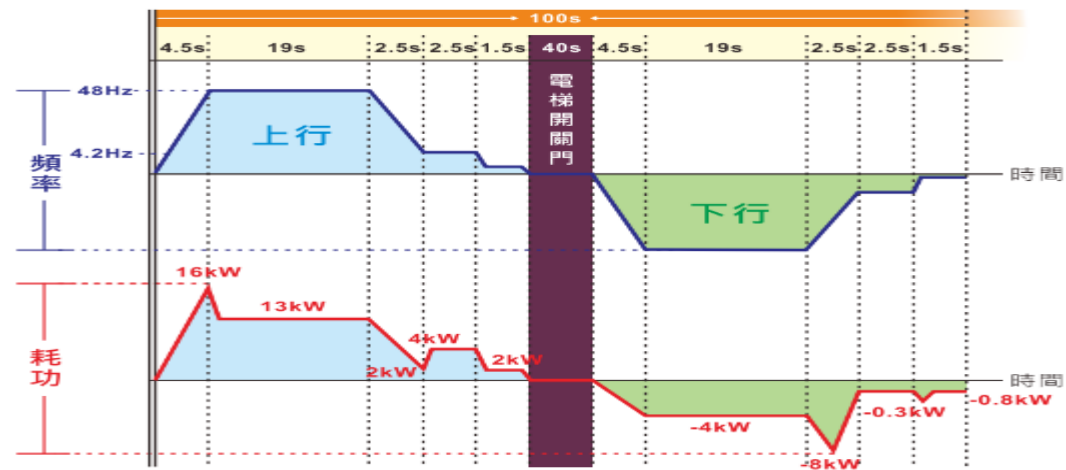
$\frac{22}{1000} (\text{kWhr/趟}) \times 432(\text{趟/天}) \times 265(\text{天/年}) \times 3.5\text{元} = 8903\text{元}$

9,296 !

$$\begin{aligned} \text{一年省下電費} &= (20.92/1000) \times 432 \times 265 \times 3.5 \\ &= 8382 \text{ 元} \end{aligned}$$

但是注意，這是假設電梯連續不停運轉的前提下，才會得到一天上下共432趟。實際上的數值會小上許多。

耗功計算



$$\text{上行耗功} = 8 \times 4.5 + 13 \times 19 + 7.5 \times 2.5 + 4 \times 2.5 + 2 \times 1.5 = 314.75 \text{ kW} \cdot \text{s}$$

$$5 \text{ 趟上行耗功} = 5 \times 314.75 \times 1000 / 3600 = 437.15 \text{ W} \cdot \text{hr}$$

$$\text{下行耗功} = 2 \times 4.5 + 4 \times 19 + (6 + 4.15) \times 2.5 + 0.3 \times 2.5 + 0.8 \times 1.5 = 112.325 \text{ kW} \cdot \text{s}$$

$$5 \text{ 趟下行耗功} = 5 \times 112.325 \times 1000 / 3600 = 156.0 \text{ W} \cdot \text{hr}$$

註：此運行示意圖標註的是空車廂上下運行情況，則上行應是回生電能的發電機模式，下行是耗能的電動機模式，因此圖形有誤！

只是這誤植不會影響上述之分析與計算結果。

省下電費重新計算

一天工作12小時·一年265工作天·一度電是3.5元

一天可做 $\frac{12(\text{小時/天}) \times 60(\text{分/小時}) \times 60(\text{秒/分})}{100(\text{秒})} = 432 \text{ 趟/天}$

一年就可省

$$\frac{22}{1000} (\text{kWhr/趟}) \times 432(\text{趟/天}) \times 265(\text{天/年}) \times 3.5\text{元} = 8903\text{元}$$

9,296 !

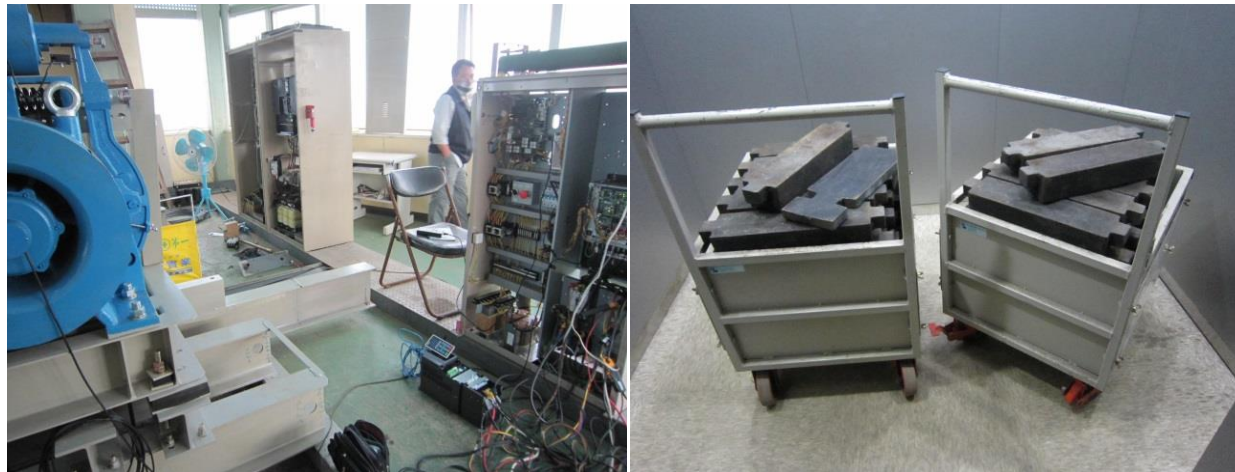
$$\text{單趟平均省了} \sim 156 / 5 = 31.2 \text{ Whr}$$

$$\text{一年省下電費} \sim (31.2/1000) \times 432 \times 265 \times 3.5 = 12,501 \text{ 元}$$

這數值顯然更為吸引人。當考慮每天432趟乃過於高估，兩相抵消之下，則前面計算得到之9,296元或8,382元反而是實際合理的節省電費估計值。

節電率實例探討二

- 以崇友實業股份有限公司電梯試驗塔進行配重差之比較實驗。
- 崇友電梯試驗塔的電梯採用永磁式同步電動機驅動。
- 實驗過程描述如下：
首先，於電梯電源端進行掛表量測，並於電能回生裝置回生端掛表同步量測，且電梯採定速105m/min運轉，共記錄45筆設定行程之運轉耗能及回生電能資料。



現場使用鉛塊改變電梯配重

電梯耗能與回生電能測試結果一覽表

車廂 載重	與配重 重量差	設定 行程 電能	18m (4~8F)	27m (4~10F)	36m (4~12F)	平均電能 (Wh)	回生電能比 (%)
		消耗	回生	消耗	回生	消耗	回生
0%	-50%	消耗	44.5	65.5	86.3	65.43	46.2
		回生	19.9	30.1	40.7	30.23	
25%	-25%	消耗	25.6	37.4	49.3	37.43	24.13
		回生	6.6	8.9	11.6	9.03	
50%	0%	消耗	22.2	32.6	42.2	32.33	8.97
		回生	2.8	2.9	3	2.90	
75%	+25%	消耗	33.7	49.2	64.5	49.13	35.07
		回生	12.2	17.3	22.2	17.23	
100%	+50%	消耗	54.9	81.2	106.3	80.80	47.61
		回生	25.8	38.5	51.1	38.47	

註:每種行程及狀態各運行3次,取3次測試值之平均值為代表數值。

量測結果討論

- 量測結果顯示回生電能依不同設定行程之距離與載重，而有明顯差異。
- 實測結果得知，該電能回生裝置於車廂載重0%及100%時，回生電能比最高，約可達電梯耗能之46.2~47.61%。
- 若車廂載重越接近電梯額定配重(約車廂載重50%)，其回生電能比則明顯越低，僅約8.97%(配重差接近0%時，車廂載重與配重塊之間的重力位能差較小，故馬達產生之回生電能小)。
- 車廂載重差25%、50%、75%時，其淨消耗電能(即消耗電能減去回生電能)分別為28.4、29.4、31.9Wh，三者非常接近，可知在這比較常態運轉的情況下，電梯控制系統的電能轉位能及位能轉電能的轉換效率是較為一致的，而且轉換效率是較高的。
- 當車廂載重0%及100%時，其淨消耗電能分別為35.1與42.3Wh，此時的轉換效率是相對較低的。



謝謝聆聽