

變頻器（Inverter）發展

（DC 壓縮機和 PAM 電壓控制）

原文刊載於一丞通訊 VOL.48 2000.03.

1. 前言

當地球溫暖化問題成爲全球熱門話題時，家庭用電氣化製品亦快速邁向省能化。在日本特別是每當一個產品公開性能時，必須附加省能等級，提供消費者參考，可見消費者對省能的要求逐漸嚴格。15 年以前當室內空調登上世界舞台時，變頻器（inverter）技術和省能技術亦廣泛被利用，最近電冰箱和洗衣機池開始增加變頻器（inverter）產品。

另外，在市場方面價格極爲紛亂，廠商之間的競爭亦很激烈，所以必須利用更便宜的方法和手段來實現高效率和省能的問題。爲了讓快速且持續發展的電子技術有一定的規範，歐洲各國製定如 CE 規格的法規。即使如家庭用電氣化產品亦不例外，以因應新時代的來臨。

這次主要是介紹利用在家庭電器用變頻器空調的省能技術。

2. DC 壓縮機和 AC 壓縮機

當初變頻器（Inverter）登場時，AC 馬達（Induction Motor）的壓縮機立刻成爲主流。但是，爲了因應省能化的問題，DC 無刷馬達（DC Brushless Motor）卻取而代之了。DC 馬達是利用永久磁石作爲回轉子的內部磁束，效率極佳又具省能化，一般均偏好使用 DC 馬達。

然 DC motor 的研究亦隨著時代演變而突飛猛進，從肥粒鐵類（ferrite）磁石進化爲稀土類磁石，從表面磁石型演變爲隱藏磁石型，目前更積極地採用電抗轉矩（reactance torque）來控制（圖 1）。

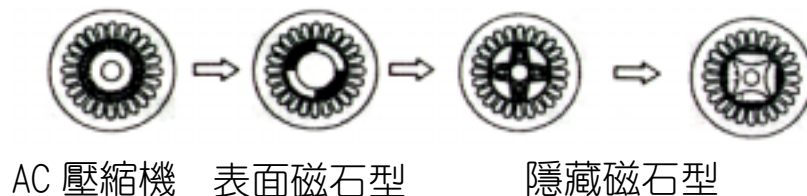


圖 1 壓縮機馬達的變遷

壓縮機 DC 化仍是目前極大的課題。在 AC 壓縮機中，若將電壓印加在馬達上回轉運動，DC 壓縮機無法維持同期地回轉，不能持續地回轉運動，必須要獲得馬達回轉子（rotor）的位置資料。在密閉型壓縮機中無法隱藏類似這種裝置，如何獲得這個資料是極爲重要。

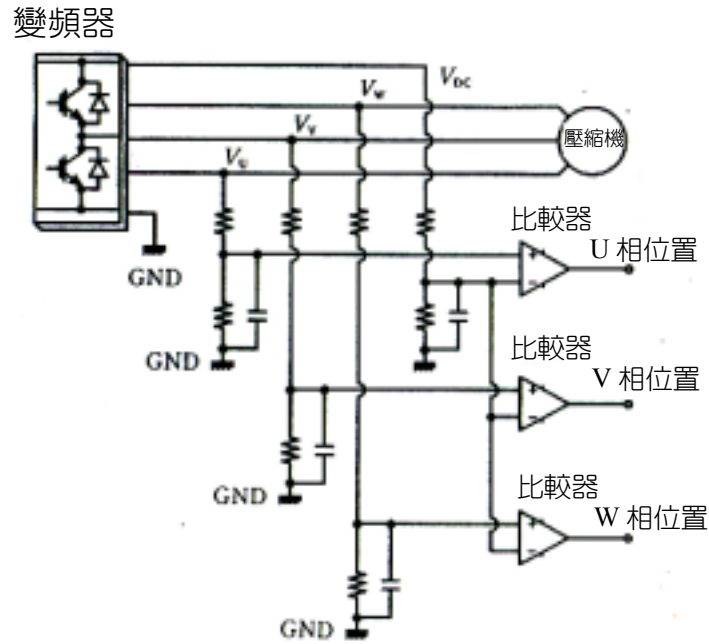


圖 2 位置檢出迴路

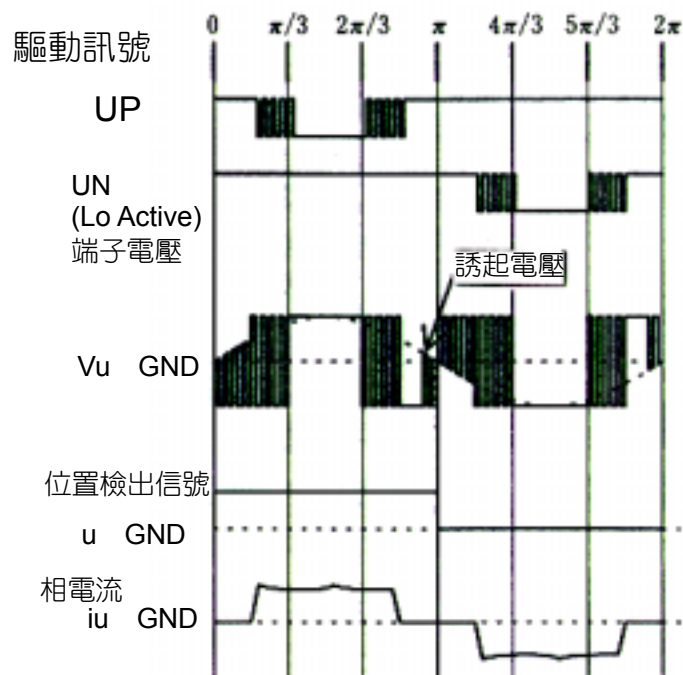


圖 3 位置檢出時間圖

目前有多種方式，由馬達的誘起電壓所得到點大致相同，圖 2 顯示其回路例子，圖 3 為信號取得原理的時間表，所謂誘起電壓就是由馬達電機子反作用所產生的電壓，從變頻器（Inverter）側電壓印加中無法觀測到。DC 壓縮機中，所謂 6 step 120° 通電是採用印加電壓方式，在電氣角 360° 當中 120° 之間可以檢測出來。如圖示沒有印加電壓的區間中，因為受到其他相 PWM 電壓的影響，虛線表示誘起電壓。

目前整形虛線誘起電壓的方法有 2 種類。一種是利用硬體的濾波器方式，另一種是利用軟體的處理方式。微米設計的進步對於後來的控制可以做微細的調整，更容易提高效率，目前極為普遍使用（圖 2 中的一例）。

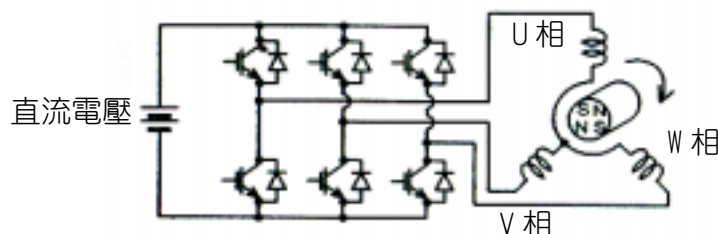
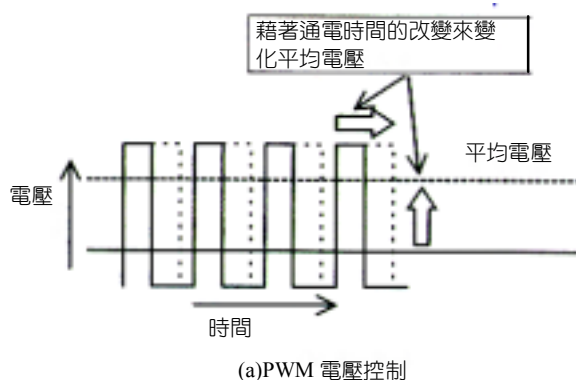


圖 4 變頻器迴路圖

3. PWM 電壓控制和 PAM 電壓控制

圖 4 為變頻器（Inverter）回路的簡單區段圖。變頻器回路中將 6 個半導體進行 ON/OFF，交流電壓印加在馬達上，同時控制馬達一回轉中的電壓。此為數位型控制只能控制 ON/OFF 開關，變頻器回路之前只能印加直流電壓。通常如圖 5 (a) 所示控制印加時間和平均電壓。即所謂 PWM 電壓控制（Pulse Width Modulation）。



相對地，之前的直流電壓為可變的，這種控制方法稱為 PAM 電壓控制（Pulse Amplitude Modulation）。如圖 5 (b) 所示控制印加時間的電壓，為平均電壓。PAM/PWM 電壓控制各有其優缺點。表 1 中 PAM 電壓控制並不普遍，因控制直流電壓的裝置成本極高，並且控制應對性不佳。最近幾年，提供如後述的「功因改善回路」的必需性和改良，才能形成控制機構。

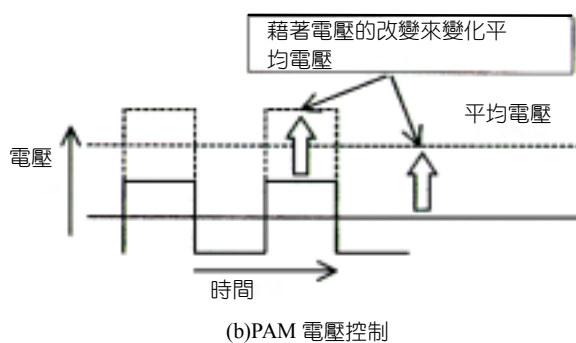


圖 5 PWM 與 PAM 電壓控制

現在有改良一種利用 PAM 電壓控制和 PWM 電壓控制的混合來控制（pulse width & Amplitude Modulation 或 Hybrid PAM）。如圖 6 所示藉由外在因素或控制因素，當馬達的回轉數或者轉矩發生振動時的情形，通常 PAM 電壓控制是電壓一周期（從下一位置信號到能夠計算速度的時間）內進行電壓控制，花費振動的整定時間。功因改善回路的電壓控制無法干涉本來功因改善回路的功能，如何與馬達吻合，如何靈活地，平順地控制在回路設計中必須具備高水準的 Know How。

表 1 PWM 與 PAM 電壓控制優點比較

	PWM 電壓控制	PAM 電壓控制
效率	△	○
噪音	○	△ 略差
應對性、控制性	○	△ 略差
成本	○	△ 必須追加迴路
迴路模組	○	△ 必須追加迴路

另外，PAM/PWM 混合而成的電壓控制方式，利用 PAM 電壓控制先約略決定電壓，再利用 PWM 電壓進行細微地電壓控制。然而功因改善回路幾乎與控制無關，變頻器（Inverter）單獨時，利用外在因素靈活地，寂靜地將馬達的速度變動並施行制振化。但什麼原因、理由、利用單獨的變頻器能夠控制維持壓縮機，即使是功因改善回路的電壓控制亦可制動。

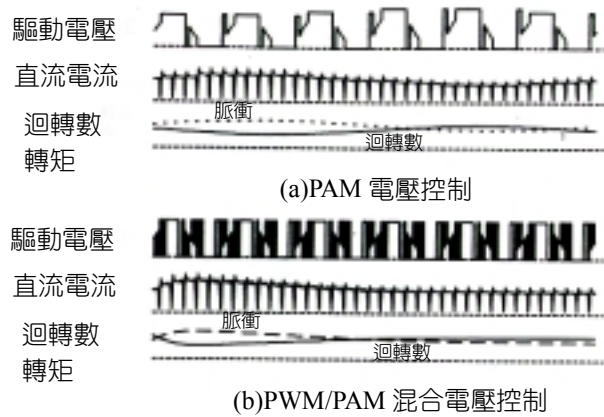


圖 6 迴轉數與發生脈衝的變化

4. 功因改善回路

原本提倡 IEC 規格的高調波對策用的最普通回路，被稱為「高功率變頻器（converter）」或者「積極式濾波器（active filter）」。但隨著前述的 PAM 電壓控制的一般化與原本的目的不同，形體卻開始普及了。

表 2 顯示功因改善回路的分類。通常的整流回路（生成直流電壓）當電容器充電時有電流流過，電流波形歪曲，功因變差，高調波含有率變多而消極式濾波器，通常的整流回路中，線圈與電容器結合，具有高調波對策。擁有固定的輸入、輸出力的機器最有效，運輸能力為可變的，範圍廣泛的空調並不適合。

一般而言，控制能動的電流或電壓，採用積極方式最適當。目前大致區分為 3 類，如表 2 上的特徵。回路構成僅有一例，即使控制方法有改變，回路構成幾乎不變。藉由開關中央的半導體來控制電源電流、控制功因和高調波歪曲的同時，線圈內藉由充放電形成磁束能量，直流電壓形成輸出力比通常的整流回路高出甚多，即所謂昇壓動作。

3 個型態有些不同，完全開關方式將電源電流控制在正弦波內，輸出力的直流電壓完全地利用昇壓控制的方式。而部份開關方式是將電源電流部份地控制與補正，接近略正弦波形的一方，輸出力的直流電壓沒有利用昇壓控制的方式。而簡易開關方式沒有控制電源電流與直流電壓，必

須遵守 IEC 規格(電源高調波規制)的限制,將電流變形。然完全開關方式兼具控制電流和電壓,而部份開關方式不完全地控制電流,但能控制電壓,簡易開關方式中任何一種均省略了,力求控制簡單化,追求低成本化。

表 2 功因改善迴路的分類

	習用消極式濾波	主動式濾波		
		Complete Switching	Partial Switching	Simple Partial Switching
迴路構成				
電流波形				
功因	△	○99%以上	○95%以上	○95%以上
高調波	×	○	△	△
效率	○	△略差	○	○
出力電壓控制	×	○	△	△
高頻噪音	○	△略差	○	○
成本	○	△高價	△高價	△略高
迴路規模	△	○可小型化	○可小型化	△

現在為進行 PAM 電壓控制,並能控制直流電壓最普遍的方式就是完全開關方式。今後,為省能化著想,希望能更普及 PAM 電壓控制方式。

5. 設計課題

為進行 PAM/PWM 混合電壓控制,集結多種功能,機器本身必定大型且昂貴。特別是「功因改善回路」不僅大型而且昂貴。為讓價格合理化,必須改善回路構成因素。在此介紹半導體設計 IPM (Intelligent Power Module) 和 PFC (Power Factor Control Module)。

(1) IPM (Intelligent Power Module)

開發家庭用電氣化製品驅動馬達用的「CIP-IPM (Dual-in-line-Package-IPM)」,將三相變頻器用的 Power 要素 (IGBT 和 FWD (Free Wheeling Diode) 和驅動用 IC (HVIC (High Voltage IC) 和 LVIC (Low Voltage IC)) 一體化 (圖 7),謀求省空間化的同時,在最短距離集結動力系和驅動信號系的結構,也是多年來追求的目標。因採用驅動用 IC 的高壓基準轉換回路,不但可以實現應對速度的高速化,控制信號傳達系的簡略化,電源回路的簡略化,亦可以邁向小型化。

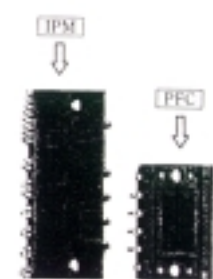


圖 7 驅動 IC

(2) PFC (Power Factor Control Module)

基於與(1)的 IPM 相同概念而開發出 PFC,將二極管堆 (diode stack) 和 IGBT 和 FRD (Fast Recovery Diode) 一體化 (圖 7)。謀求在最短距離集結 power line,可以因應高周波和大電流。實

現內藏 power 因素與 IGBT 的第 4 世代化和 FRD 的 Soft recovery 化，並可以力求高速且低損失、低噪音化。將 IPM 和 PFC 組成相同的 DIP 型，在一片放熱板上安裝 2 種石以改善工作性。

6. 利用方法和效果

與從前的回路大不相同。效果顯著提昇的「功因改善回路」。圖 8 為「功因改善回路」的電源功因和高調波電流之改善效果。

從前使用的整流回路為 100V，20A 機械，功因約為 90%，最大消耗電力為 1800W (=100V×20A×90%)。但是功因改善回路可利用到 2000W (=100V×20A×100%)，並且可以擴大運轉範圍(圖 9)。所謂擴大運轉範圍就是控制極弱界磁等，從前的馬達設計和控制技術都可能擴大。即使用電抗轉矩的馬達構造或者改良的相位角皆可控制，改善效率的方法亦可適用於從前。

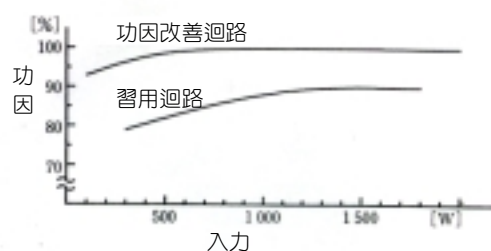
當利用功因改善回路時，效率便成為極大課題。藉著昇壓效果就可以解決這個問題。利用完全開關方式，功因改善回路可以將電壓提昇至自由大，電流流入變頻器、半導體和馬達線圈中，可節省電流減少損失。

擴大運轉範圍的結果並不能控制變頻器 (Inverter)，開始振動的部份是藉著 PWM/PAM 混合電壓來控制，擴大運作範圍變得極為簡單。

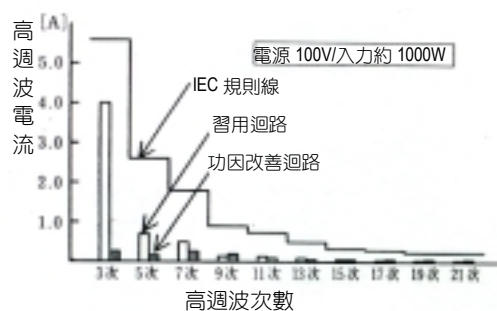
7. 總結

目前的變頻器 (Inverter) 回路仍然有不少缺點。為了克服這些缺點，首先必須整合機能元件和控制方式，並將它們調整到最適當化，力求低成本與小型化，目前已開發出次世代型的變頻器回路。

可以確定省能法的實施和對氟氯烴氣體規範將會一直持續下去，故必須要追求更高層次的高效率化和省能化。並且必須開發更廉價方法的技術，努力提供更適當的製品給消費者。



(a) 電源功因特性



(b) 高週波電流特性

圖 8 電源功因與高週波電流

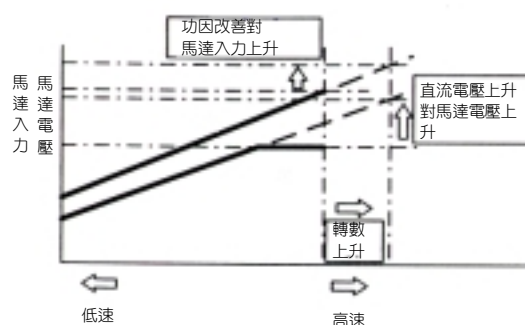


圖 9 馬達運轉範圍擴大圖