



論文編號：06715

論文標題：以智慧變頻控制技術應用於數據機房之節能效率提升

著者：吳冠霖¹，莊賀喬^{1*}，陳良宇²，楊竣傑²，翁偉彬^{2*}

單位：¹ 國立台北科技大學，機電整合研究所
² 亞得力科技股份有限公司



摘要

在傳統的網際網路數據中心(Internet Data Center, IDC)，為了因應數據機不間斷的操作，我們必須透過空調系統幫助數據機散熱，因為在基準溫度環境下，溫度每升高10度數據機的可靠性就會下降25%。兩三年前，數據中心的用電功率通常在2千瓦，而產生每平方英尺75瓦的散熱，而當今高密度運算環境下，數據中心用電功率在10千瓦、15千瓦甚至25千瓦，散熱在每平方英尺500至750瓦。數據機密度不斷增加，數據中心在用電和冷卻方面的能耗已經越來越受重視。

本研究將利用智慧變頻控制改善空調系統增加效率作為探討，藉由提高壓縮機運轉效率，以期達到理想的節能目標。本研究之成果經實際測量驗證，有27.88%的節電效果，且產品性價比約一年內即可回收，是非常符合經濟成本與效益的投資。

關鍵字：IDC、交流變頻控制、智慧變頻、節能

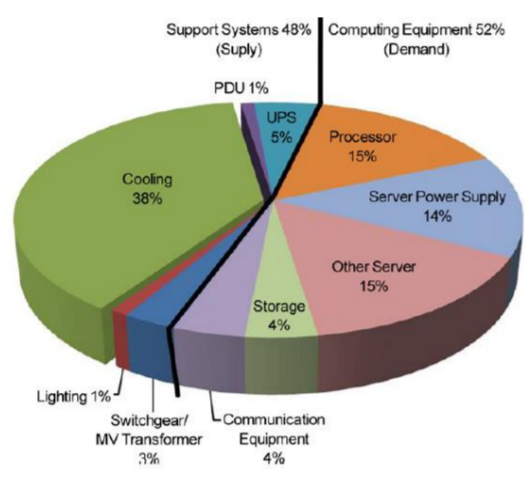
1. 前言

隨著資訊時代的來臨，人們對網際網路數據中心(IDC)的依賴只會不斷的増加，根據市調機構IDC最新的市調結果[1]，IT市場還有4.5%的年成長率如圖一，而近年來能源成本不斷升高，電費成本不斷提升，提高能源效率所帶來的成本節省是明顯需要的。數據中心也已經從單純追求運算能力，變成追求運算能力和能源效率兼備的方向發展。在網際網路數據中心裡，為維持數據機的高效能，必須仰賴空調系統不間斷的幫助散熱，因此空調系統的用電量在整個數據機房的用電量中佔有非常高的比重，如圖二中列出數據機房各項設備的用電比，空調系統佔有最大的用電比例[2]。

因此如何在空調系統方面提高效率成了當今的重要議題，目前市面上這方面的改善方法有像是通道隔離系統[3]、IBM提出的“後門熱量交換器”(Rear Door Heat eXchanger)水冷門(cooling doors)系統、新風系統(Free cooling)等等，但是皆並非從比重最重的空調系統著手，如圖二佔比達38%，只是透過機房格局設計，增加冷熱空氣的對流，增加環境溫度的穩定，本研究是以調變空調壓縮機輸出功率達到節能的目標，業界對改裝空調設備的疑慮會比較多，因為若空調系統發生故障，對數據機房的影響相當嚴重，所以在設計研發過程，有考量到這些問題並且加入多道保護措施。



圖一：2014年各國IT市場年成長率[1]

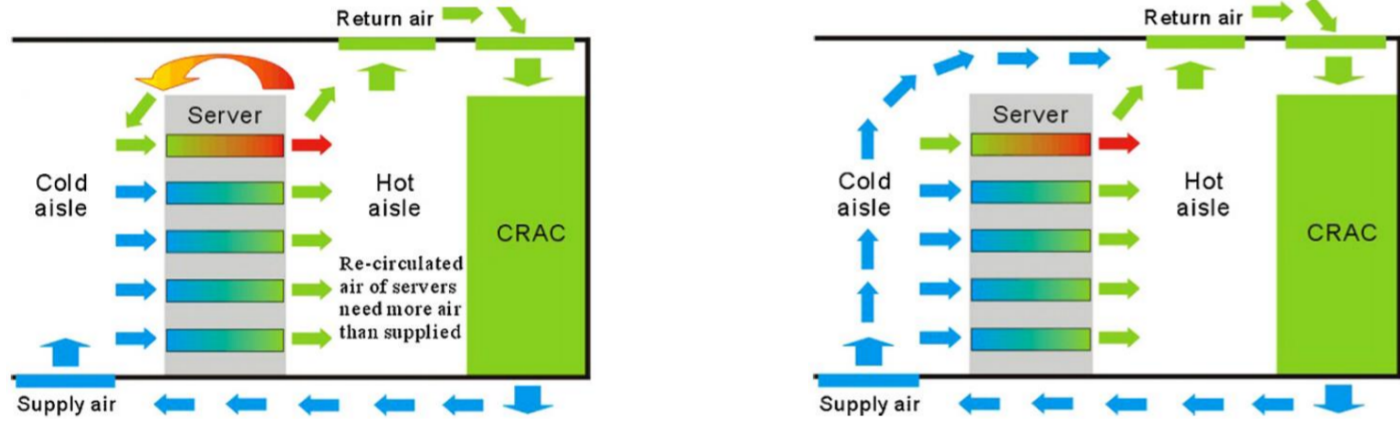


圖二：IDC機房各項設備用電比[2]

2. IDC機房目前節能方法

2.1 通道隔離系統 (Aisle partition system)

目前新式的數據機房多採用通道隔離系統[3]，將冷通道與熱通道分離輸送，此方法主要是要解決再回流(Re-circulation airflow)和氣流短路(by-pass airflow)如圖三之問題。



圖三：數據機房內氣流模擬圖，左圖為再回流現象；右圖為氣流短路現象[3]

安裝此系統能讓冷熱氣流分流、溫度穩定，但此系統對於機房的節能效益並不高，沒有對用電設備做改善。設計之缺點在於冷空氣較重會沉於下方，無法與上方的熱空氣完全對流，須加入風扇幫助對流，也因上層散熱的不足，有65%的數據機損壞是在機櫃上層三分之一的地方。

3. 智慧變頻控制系統

3.1 智慧變頻控制

本研究提出的提升壓縮機效率，是透過智慧變頻控制達成三相交流變頻控制。變頻器在使用上確實有明顯的節能效率，對於馬達或壓縮機本身也有很多好處，所以變頻器的應用已經成為主流，但目前市面上多以小馬力之直流變頻控制為主流，主要是因為直流無刷馬達的出現，但是需使用永久磁鐵之因素，其驅動器成本隨著馬力增加而大幅暴增，因此，此技術多只應用在小型家電產品上，雖然日本廠商有推出大馬力變頻空調，但實際上是將小馬力之直流壓縮機並聯輸出，而智慧變頻控制是特別為大馬力定頻壓縮機設計製造，可視為市場之先驅。此外，使用直流變頻空調需更換空調設備，設備與施工等成本約3~8年才能回收。如表一比較不同變頻技術優劣。

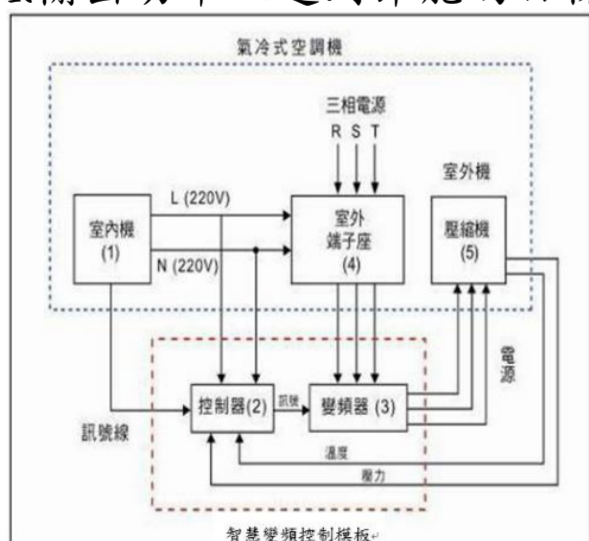
表一：變頻技術比較表[4]

比較技術	壓縮機年限	節電率	噪音	控溫能力	成本回收	購置成本	支援廠數	綜合比較
三相AC變頻技術	長	高	低	高	快	低	多	優
一般DC變頻技術	長	高	低	高	慢	高	少	可
傳統非變頻	普通	低	高	低	慢	低	多	差

3.2 智慧監測與節能計算

藉由變頻器控制壓縮機輸出，本研究設計完整的環境參數監測系統，能即時的隨環境變化依比例調整輸出如圖四。監測參數包括壓縮機之蒸發溫度、冷凝溫度、與外氣溫度，訂定出最佳運轉模式，並採用冷媒壓力與回風溫度回授信號機制，導入模糊控制計算，運算出最佳壓縮機運轉速度，並採無段變頻控制，實施負載微調之控制功能，以達實際負載輸出功率。

本研究發現數據機房的空調雖然全年無休運轉輸出，但因負載變化小，故壓縮機無需全載輸出，我們依據機房內測得的溫度狀況，經由變頻器依比例調降壓縮機的轉速(Eq. 1)，降低轉速也同時降低輸出功率以達到節能的目標，透過節電率公式(Eq. 2)得出節電率E。



圖四：智慧變頻控制系統架構[4]

$$n = \frac{120 \times f}{p} (1 - s) \quad (1)$$

$$E\% = \frac{P_{\text{變頻前}} - P_{\text{變頻後}}}{P_{\text{變頻前}}} \times 100\% \quad (2)$$

3.3 周全保護機制

智慧變頻控制模組除了針對壓縮機作變頻控制，更提供多種壓縮機保護機制，如：超低電壓保護、高電流超載保護、超高電流超載保護、外接旁路保護、延遲啟動、欠相等。當有異常狀況時，自動旁路切換至市電狀態運轉，不會影響空調機的運轉，狀況排除後系統自動復歸節能模式。另外，變頻器因為是由電力電子元件組成，電力電子元件具有非線性特性，因此有諧波的存在，但是在數據機房中變頻器並不存在諧波干擾的問題，因為在數據機房中，資料傳輸皆透過網路或光纖傳遞，並不是透過無線電波訊號傳遞，因此沒有訊號干擾的問題。若是在無線訊號發射基地台才需要考慮此問題。

4. 結果與討論

4.1 實測結果1

本研究之智慧變頻控制系統已經在中華電信數據機房安裝並通過工研院測試取得檢測報告。針對水冷式箱型空調機進行檢測，在電源3φ/220V/60Hz與冷媒為R-22的工作條件下進行，測試壓縮機變頻控制系統與冷卻水泵變頻控制系統，測試方法與步驟是參考"CNS 14464，無風管空氣調機與熱泵之試驗法及性能等級，2003"及"ARI 210/240，Performance rating of unitary air-conditioning and air-source heat pump equipment，2006"，另以空氣側熱量計法實測空氣質量與實測進出蒸發器之焓差計算製冷能力，以水側熱量計法實測冷卻水流量與實測冷卻水出口溫度計算冷卻器之冷卻能力，最後以電力計測得消耗電功率。實測過程使用的高精度儀器有超音波流量計、電阻式溫度計、電力計、乾濕球溫度計及風速計。

測試過程分別設定壓縮機和冷卻水泵在市電狀態下、壓縮機在變頻模式冷卻泵在市電模式以及壓縮機和冷卻水泵皆在變頻模式，在這三種狀態下測量，結果如下表二所示。

表二：智慧變頻控制系統測試結果

項目	單位	壓縮機變頻模式(30Hz)及冷卻水泵市電模式(60Hz)			壓縮機變頻模式(30Hz)及冷卻水泵變頻模式(60Hz)			
		市電模式(60Hz)	變頻模式(30Hz)	變頻模式(30Hz)	市電模式(60Hz)	變頻模式(30Hz)	變頻模式(30Hz)	
空氣側	空氣入口乾球溫度	27.60	28.20	27.60	222	222	222	
	空氣入口濕球溫度	18.98	19.84	18.98	49.8	49.8	49.8	
	空氣入口焓值	53.76	56.63	53.76	0.867	0.802	0.802	
	空氣出口乾球溫度	15.60	19.50	18.70	32.8	15.4	15.4	
	空氣出口濕球溫度	13.48	16.52	16.26	222	222	222	
	空氣出口焓值	37.85	46.32	45.57	14.0	14.0	6.4	
	空氣入口出口焓差	15.91	10.31	10.11	0.867	0.867	0.798	
	平均空氣流量	m ³ /min	321			4.7	4.7	2.0
	冷卻水側	入口溫度	28.6	28.7	28.3	220		
		出口溫度	32.6	31.1	32.3	26.1		
溫差		4.00	2.40	4.00	0.795			
冷卻水流量		L/min	514.5	512.2	296.3	7.9		
性能	冷卻水側能力	kW	143.6	85.8	82.7			
		kcal/h	123479	73756	71111			
		RT	40.8	24.4	23.5			
		kW	97.9	63.5	62.2			
空氣側製冷能力		kcal/h	84221	54577	53518			
		RT	27.9	18.0	17.7			

計算節電率：(32.8-15.4)/32.8=53%

4.2 實測結果2

本研究在中國通信數據機房進行實測，在中國通信針對空調內兩台壓縮機進行改裝，根據實際負載調整壓縮機三相輸出電壓，在1/100秒內自動偵測ΔV/ΔI的負載變化，並控制電流依比例調降。

分別在節電模式與市電模式下進行測量與紀錄如表三，為精確量測節電變化，一開始採30分鐘紀錄一次，接著在節電模式下運轉一天，然後在市電模式下也運轉一天如圖九，再做比較與分析，由表中得出市電模式下平均耗電為17.26(千瓦時)；節電模式下平均耗電為12.45(千瓦時)。

計算節電率：[(904.4-490.1)-(487.4-188.6)]/(904.4-490.1)=27.88%

表三：2012年9月5日-9月7日市電與節電模式紀錄

用電模式	時間	即時功率(千瓦)	電錶讀數(千瓦時)
節電模式	9月5日 14:45	13.0	188.6
	9月5日 15:00	12 +2: -1.0	191.9
	9月5日 15:30	14 +2: -2.0	198.2
	9月5日 16:00	12 +2: -1.0	204.2
	9月5日 16:30	13 +0.5: -2.0	210.6
	9月5日 16:45	12 +2: -1.0	211.9
	9月6日 15:00	13.06	487.4
	市電模式	9月6日 15:10	17.88
9月7日 15:10		18.97	904.4

另依據空調每天耗電400度，一個月運行30天計算節省電費：

400度*30天*0.89RMB=128160 RMB/年

128160*27.88%=35731.008 RMB/年

智慧變頻控制系統節電率達27.88%，一年能省下約35731 RMB的電費。

5. 結論

因應全球節能的議題，本研究提出智慧變頻控制系統，在實測一和實測二分別得到節電率53.05%和27.88%，因為壓縮機製冷量與工作環境的設計，因此有以上之誤差，此系統之運用期待解決長久以來大型交流用電系統無法節能的技術瓶頸，加上無段式變頻驅動系統技術，配合完整的環境監控控制電路和旁路保護裝置，以及核心運算能力，達到智慧型控制系統的重要成就。

6. 誌謝

本研究為與亞得力科技股份有限公司(Ya De Li Technology Co.,Ltd.)之合作計畫，由於亞得力公司的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

7. 參考文獻

- IDC市場調查機構調查數據 <http://www.ithome.com.tw/article/90133>
- Jinkyun Cho, Taesub Lim, Byungseon Sean Kim, "Viability of datacenter cooling systems for efficiency in temperate or subtropical regions: Case study" Energy and Buildings, Vol.55, pp.189-197,2012.
- Jinkyun Choa, Byungseon Sean Kim, "Evaluation of air management systems thermal performance for superior cooling efficiency in high-density data centers" Energy and Buildings, Vol.43, pp.2145-2155, 2011.
- 陳謙治，方一剛，"AC變頻系統技術與冷凍空調之應用(上)" 電機月刊，六月號，第十九卷第六期，June2009.

