

可程式控制器網路於生產線製程及電力監控之應用

Application of Programmable Logic Controller Network Systems on Manufacturing Processes and Power SCADA

陳鴻誠

H. C. Chen

王孟輝

M. H. Wang

林建成

C. C. Lin

段人豪

J. H. Tuan

國立勤益技術學院電機工程系

Department of Electrical Engineering, National Chin-Yi Institute of Technology

摘要

二十一世紀是個競爭的時代，工廠自動化已是時勢所趨。本論文提出以傳統可程式控制器(PLC)架構成網路系統，並利用Visual Basic 6.0發展人機界面應用程式，建構生產線製程及電力監控系統，做為日後工廠自動化監控技術之參考。生產線製程監控系統功能包括多機台生產製程生產量監視、生產流程監控、日資料庫查詢及月資料庫查詢；電力監控系統功能包括電力參數量測、電力參數即時顯示及電力需量控制。本系統完成了PLC自動讀表通訊程式研發、PLC網路架構、PLC與電腦連線、人機界面應用程式開發、資料庫建立及電力需量控制。

Abstract

In this paper, a network system constructed by traditional programmable logical controllers (PLC) is applied to automatic metering and to establish a power monitoring and control system. The Man-Machine Interface (MMI) of the power monitoring and control system is developed using Visual Basic 6.0 software. The function of the proposed system includes power parameters recording, database setup, power demand control, cycling on/off load control, operating status monitoring and real-time/history trend graphic display. The communication program of PLC for automatic metering, PLC network system, connection between PLC and PC, MMI development, database setup and power demand control for establishing this system are all accomplished.

關鍵詞：可程式控制器網路、自動讀表、生產線製程監控、電力監控、需量控制、人機界面。

壹、緒論

潮流的演進，人類歷經工業革命以及近幾年的資訊革命，PLC一直默默地扮演自動控制之幕後功臣，並無因PC-Based控制器之興起而沒落[1]。近年來半導體技術不斷進步，PLC也隨之精進，且朝向小型化、價格便宜、功能佳、強大的通訊能力及雜訊免疫力方向發展[2-4]。拜電腦普及和軟體進步之賜，促使PLC與電腦結合發展，已非遙不可及，並配合人機圖控界面展現前所未有的功能與方便，將產業自動化推向最高境界[5]。PLC一般應用於順序控制及程序控制，本論文擬將之應用於自動讀表，結合利用VB6.0[6,7]開發之人機圖控界面應用程式，建構完成一套電力監控系統以執行電力需量控制。若電表分佈範圍非常廣泛，就需要將所有PLC連結成PLC網路系統，藉其具有處理即時控制能力，以及具有高度資料完整性、錯誤偵測與雜訊免疫力等特性，完成區域自動讀表任務。

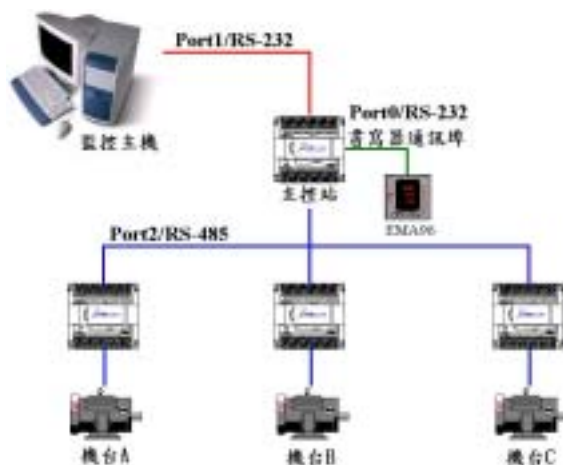
應用傳統式PLC於自動讀表，由於電表量測之電力參數都是浮點數數值，但電表回應給PLC之值為ASCII字串，不是數值資料，因此浮點數的處理與運算，將是PLC與電表間通訊的關鍵技術。本研究中提出一套簡易的自動讀表浮點數處理流程，讓PLC可快速準確地自動讀取多功能電表量測之電力參數值，進而完成電力參數即時顯示與需量控制目的。

本系統以主僕式PLC網路來完成所有的生產線機台控制及運轉，以及工廠電力監控，其優點為：(1)系統架構簡單，機台開發容易且對異常機台較易維修。(2)具彈性化，可以模組化擴充。(3)資源分享：PLC與PLC之間(主/僕PLC)，主控站PLC與監控主電腦，PLC與其它週邊設備，透過網路連結達成系統協調及資源共享。(4)效率高：每一機台由獨立PLC控制，可即時控制，不受主電腦限制。

貳、系統架構

本可程式控制器網路系統係以造價便宜之永宏FBE系列傳統式PLC[8-11]為主要硬體，藉其本身強大通訊能力，利用RS-485通訊界面相互連結組成主/僕關係之網路系統，分別控制各廠區生產線之運轉狀況及電力負載用電需量控制。生產設備運轉之電力參數以數位式多功能電表量測，各廠區PLC利用RS-232通訊界面自動讀取該廠區電表之電力資訊，並將各用電資料傳送至PLC網路系統。主控站PLC負責收集僕站PLC資訊並執行電力需量控制；此外，並與監控主機PC連線，經由在監控主機上開發之人機圖控界面應用程式，即時顯示用電資訊並作管理。

數位式多功能電表依照需求及成本之考量，功能差異大，本系統連線之電表包括EMA96及UPM300數位式多功能電表，其功能與構造大致相同，本研究以EMA96為主要對象。每個EMA96電表可同時量測V、A、kW、kVA、kVAR、kWH、pf等四十多種電力參數[12]，經由RS-232或RS-485界面與外界裝置連線，極適於作電力監控之用。整體電力監控系統架構如圖一所示，各部份簡介如下：

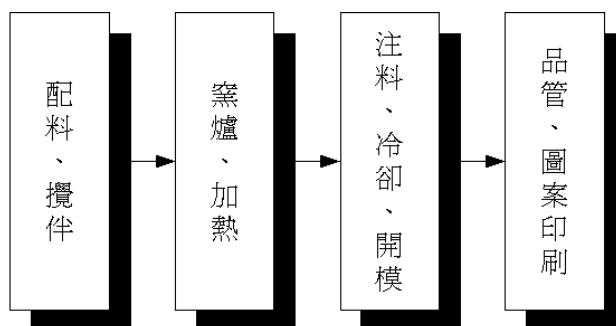


圖一 系統架構圖

2.1 僕站PLC

本系統皆採用永宏FBE系列機種，I/O點可擴充至256點，僕站PLC連接可擴充至254台，如欲更進一步瞭解其強大的功能，可參閱永宏可程式控制器FB系列使用手冊[8-11]。而本系統以3個僕站為例，模擬一工廠生產線製程，而每一僕站控制一機台，每一機台之工作性質相同，並連成一網路，此架構的優點：(1)適合實際工廠需要，因為工廠接單有旺、淡季之分，容易管理避免資源浪費。(2)容易維護保養，在淡季時機台可輪流運轉，避免長期超負荷運轉，可增加機台的壽命。

本系統規劃之生產線製程為模擬玻璃杯製造工廠生產過程，共有四個工作流程，如圖二所示。以下分別簡述此四個工作流程。



圖二 模擬工作流程

(1) 工作流程一：

將此流程規劃為原料(矽與水 等)經適當比例調配攪拌後，放入原料槽中。接著玻璃杯模型經由輸送帶送至工作流程一，以PLC控制原料加入模型中，若原料加入為正常，則繼續進入第二工作流程。經由光電開關及磅秤測試，原料加入時，原料若溢出模型或超出重量時，本工作點會發出警報，且自動將不良品排出，使本工作流程順暢運轉。而本工作流程也利用先進觀念，把原料槽數值化，不像傳統控制，採極限觀

念，僅知大於、小於或等於原料預設值，而是將原料實際量利用數值化表示出來，如原料不足或原料用盡時，會有不同層次之警報，以使本工作流程安全運轉。

(2) 工作流程二：

將此流程規劃成窯爐(Furnace)加熱。由工作流程一將模型推入窯爐中加熱，經噴重油及加熱，其加熱溫度為1600，由感測器做好控制，若加熱溫度不當會影響產品良率，此時將發出警報並執行溫度調整。

(3) 工作流程三：

將此流程規劃成玻璃加工注料。由窯爐加熱後的模組再注料，經一段時間讓它冷卻後，由機械手臂執行開模動作，此時為一玻璃模杯雛型，若開模有不良品時，也會發出警報且排出不良品。

(4) 工作流程四：

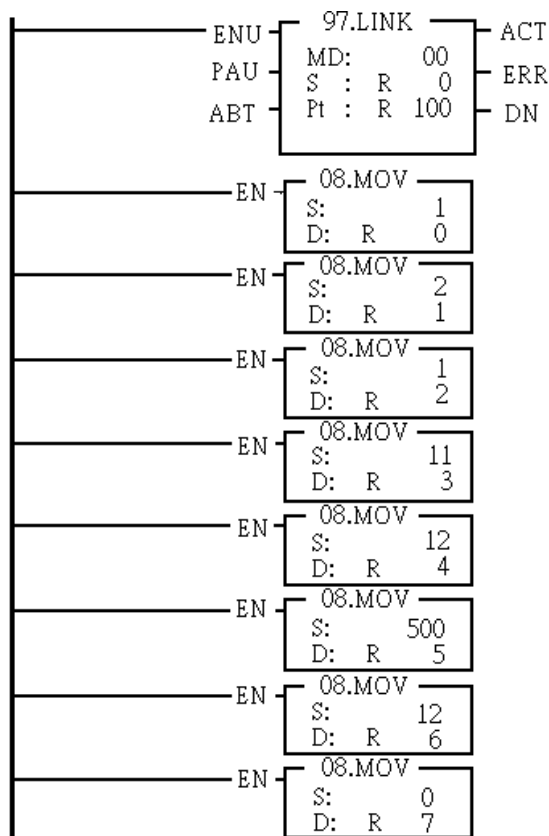
將本流程規劃成玻璃杯半成品圖案印刷。開模後的半成品傳至本工作點加以印刷圖案後，成為一完整玻璃杯。印刷過程若有印刷失敗之杯子，由儀器掃描確定瑕疵品後發出警報且排出，若為一完整杯子，則必須經品管確定為良品，再經由機械手臂將它做產品包裝。

本系統係以簡單架構模擬玻璃杯生產製程，最主要乃是架構 PLC 網路系統為主。本架構可廣泛應用在工業界產業界，不管高科技產業或傳統產業，都可做為其自動化生產技術之參考。

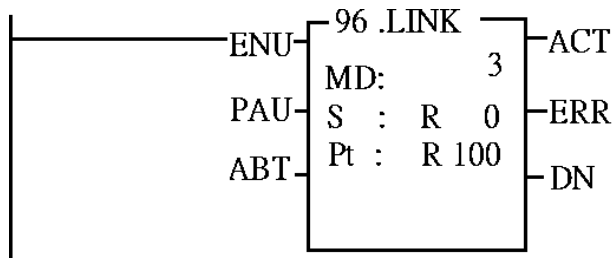
2.2 主控站 PLC

本系統之主控站亦採用永宏FBE系列機種，透過內部應用指令Fun96及Fun97作Link動作，與所有僕站連結成網路系統。若欲將僕站所有資料讀取或寫入，可利用PROLAD編輯軟體作設定與規劃，僕站不需做參數設定。本系統是利用Fun96應用指令作資料的讀取或寫入，使用Fun96之優點：(1)不需將SW1之bit 1 及bit 2 做更改設定。(2)傳輸方式是利用廣播方式，由主站向僕站作廣播動作，資源共享。以下是本系統將僕站I/O點，內部暫存器R0 R100 (R0 R100設為 1 號僕站) 所有資料傳至主站，對主控站而言是對僕站讀取資料。

圖三所示是使用Fun97將資料傳至主站，主控站PLC CPU板之SW1必須設定bit1 = OFF，bit2 = ON，而僕站不需設定SW1，且亦不須Link指令，但利用Fun97從主控站PLC讀取或寫入資料至某僕站，均需利用七個暫存器來定義一次傳輸交易，且每一暫存器均需使用MOV指令，為利用Fun97設計之缺點。圖四所示是利用 Fun96傳輸資料，同樣功能。但利用Fun96編寫只需使用PROLAD的功能FunZoom，以填表格的方式來規畫資料傳遞格式。比較 Fun96及 Fun97功能，在此建議使用Fun96指令，因為網路系統是多數筆資料，倘若沒有PROLAD軟體下，用書寫器寫入程式或程式偵錯較為繁雜。



圖三 Fun97寫入資料至僕站



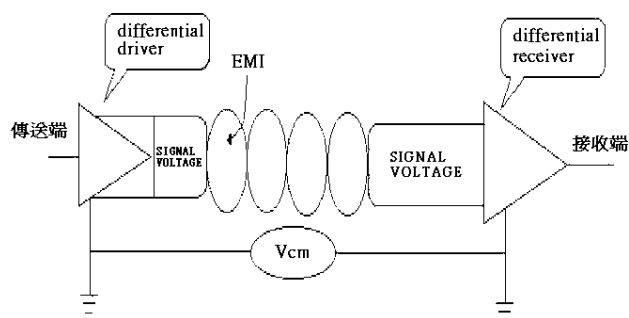
STATION #2
 COMMAND HS-LINK
 LENGTH 12
 START R100

圖四 Fun96寫入資料至僕站

2.3 RS-485網路連線

RS-485主要是為了改進RS-232頻寬與傳送距離的限制，在硬體電路上改採用平衡型（Balance）的差動式信號傳輸，如圖五所示。以兩線差動（Difference）電壓值代表信號，如此可以消除電磁干擾(EMI)和叉音(Cross Talk)的干擾，即使受到干擾時，兩線

也是做同幅度的漂移，所以差動電壓仍能保持良好結果，如此硬體的作法將獲得抗噪音、高頻寬、以及長距傳輸等的優點。RS-485更具有有一項不平凡的優點，即是能一對多接線（但傳輸模式必需是半雙工），以構成如圖一所示的網路架構。RS-485因具有能一對多接線來構成網路架構、頻寬高達10Mbps、和傳送距離長達1.2公里等多項優異性能表現，也因此RS-485已成為現今工業上最廣泛被採用的一種串列通訊界面之一[5]。本系統之網路系統，是多部PLC相互並接，透過內部之定址機能，由通訊埠Port1連結RS-485，構成RS-485多機連線，而主PLC與PC連線則利用Port2連結RS-232其通訊格式如圖六所示，僕PLC對僕PLC或僕PLC對主PLC連線則是利用RS-485直接並接，不需轉換。

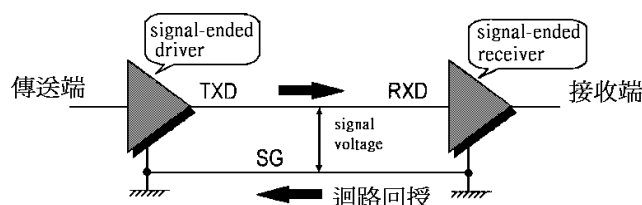


圖五 差動平衡型RS-485

開頭字元	僕站號碼		命令號碼		本文資料	偵誤值		結尾字元
STX	H	L	H	L	0~500 ASCII	H	L	ETX

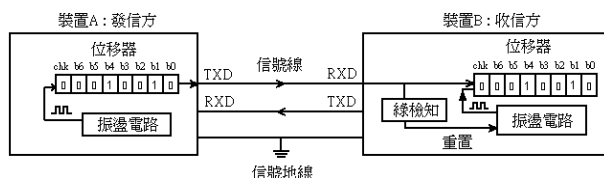
圖六 PC-PLC通訊格式

RS-232它是一種非平衡型（Non-balance）的傳輸型態，如圖七所示。導線分佈有電阻和雜散電容，而導致兩端地線無法獲得一致準位，可能會有迴路回授（Loop Back）現象，因而較易受到EMI和叉音的干擾，信號減弱(S/N比減小)，以致於傳輸頻寬較低（速率較低）、最大傳輸距離較短等缺點。有鑑於此，後來就發展差動式的RS-422/RS-485，以改善頻寬和傳輸距離。



圖七 非平衡型RS-232

RS-232只能一裝置對一裝置傳輸，最高速率限制為19200鮑率，傳送資料的最大距離為15公尺。在使用RS-232時，裝置兩方必需設定一致的通訊協定，如鮑率、起始位元(Start Bit)、資料位元數(Data Bits)、同位元(Parity)和停止位元(Stop Bit)等等，如圖八所示在兩方有一致的通訊協定下，接收方始能檢知信號意義。

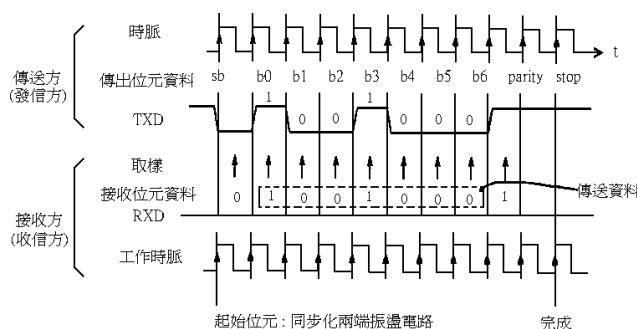


圖八 RS-232信號傳遞方塊示意

資料組成格式如圖九，其中同位元分奇位元(Odd)和偶位元(Even)兩種，此位元為一錯誤檢查碼用途，傳送過程如圖十所示，傳送方以起始位元重置對方脈波，以獲得兩地有一致相位的工作時脈 (Clock)，逐一傳送位元，直至停止位元，完成一位元組 (Byte) 之傳送。



圖九 RS-232位元組資料格式



圖十 RS-232信號傳遞時序示意

2.4 人機界面

本系統人機界面採用Visual Basic 6.0撰寫監控程式，因VB具有MScomm控制項，且FB-PLC通訊格式簡單容易使用，使得在開發通訊碼程式上節省許多時間，在圖控方面就有更多時間開發親切近人的監控程式。在PC-PLC通訊設定方面，傳輸速率：9600 bps、資料長度：7 bit、同位元檢查：奇同位、停止位元 1，其中以FB系列而言，若更改暫存器R4146設定值，傳輸速率最高可38.4K，通訊格式如圖六所示，其中偵誤值

的計算為開頭字元、僕站號碼、命令號碼、本文資料之所有ASCII字元之16進制值取LRC (Longitudinal Redundancy Check)。產出一個Byte長度之偵誤值。

參、系統規劃

本系統係利用PLC網路及VB所發展出來的人機介面(MMI)，建立工廠生產線製程及電力監控系統。本PLC網路監控系統利用永宏FBE機型PLC構成主/僕網路，PLC可擴充至255台，故以工廠製造系統要推動生產自動化而言，規劃數百機台仍足以勝任。在講求自動化之時代趨勢下，本文更適合為工廠自動化技術參考。整個系統規劃考量如下：

3.1 硬體部份

(1) 僕站PLC

生產線製程方面將現有之機台配合感測器及其它介面模組，組成一機自動化生產系統。電力方面，透過數位型多功能電表，將電力參數（電壓、電流、實功率、虛功率、功率因數 等）經串列通訊方式輸入PLC，組成一電力監控及電能管理系統。

(2) 主控站PLC

選擇一台PLC為主站，透過PLC本身通訊協定，對所有僕站PLC讀取或寫入資料，不會因控制對象不同而有差異。網路系統通訊為防止其中一台僕站PLC故障，而影響整體網路等問題，本系統採用匯流排（BUS）連接。

(3) PLC與PC連線

PLC把要儲存、顯示、分析、列印的資料往上傳給上位PC，委由PC處理。目前PC功能強大、軟體齊全、價位低廉，它可以很輕易地完成任何務。這種結合，可以提升生產程序的彈性化和整合性。PLC和PC連線，基本上，含有下列用途：(1)在PC上編輯PLC程式，然後傳給PLC；亦可為試車時線上除錯。另一方面，亦可由PLC傳程式給PC，以便永久儲存程式。尤其是大型程式，更是有需要。(2)監督PLC執行狀態或參數設定，如計時數T/C 值都可由PC直接給予設定，可以省掉大量控制板面，節省成本。引入圖形控制，設計多樣且友善的電腦圖形監控畫面，操作者可完全瞭解機器的運作狀態。(3)即時資料蒐集：由於PLC記憶體容量不多，所以必須每隔一段時間，將機台運轉結果的資料傳給PC，以便儲存、分析及列印等用途。(4)協調多部PLC連線的同步控制，乃至擴張到彈性製造系統(FMS)及電腦契合彈性製造系統(CIM)[1-5]。

(4) PLC與電表

各種電表依照需求、成本之考量，其功能差異大，本系統採用EMA96數位式多功能電表，其他功能之電表仍然在規劃中。由於各廠家電表之通訊協定不太相同，與PLC連線時易發生問題，故可能須花費時日才能測試完成。圖十一為PLC與電表之資料通訊流程，其中通訊協定為9600bits，8個資料位元，無同位元之檢查，1個停止位元。再依電表之通訊格式選擇所欲讀取之電表量測電力參數量。



圖十一 PLC與多功電表之資料通訊流程

永宏 FBE PLC 利用應用指令 Fun96 及 Fun97 與 EMA96 電表溝通，Fun97 採用 RS-232 通訊方式，Fun96 採 RS-485 通訊方式，兩者不可相反。另外 RS-232 為一對一之通訊介面，所以不可多個並接，而 RS-485 為一對多之通訊介面且其訊號極性(DX+與DX-)可並接，此兩通訊方式接線如下所以可藉由 RS-485 建構一網路系統。

RS-232 之信號接線：

電表	FB-PLC(接頭 15PIN)
RX	TX(2)
TX	RX(1)
GND	GND(6)
(3)	(4)

其中 3 與 4 接腳短接為一傳輸，接收確認。

RS-485 之信號接線：

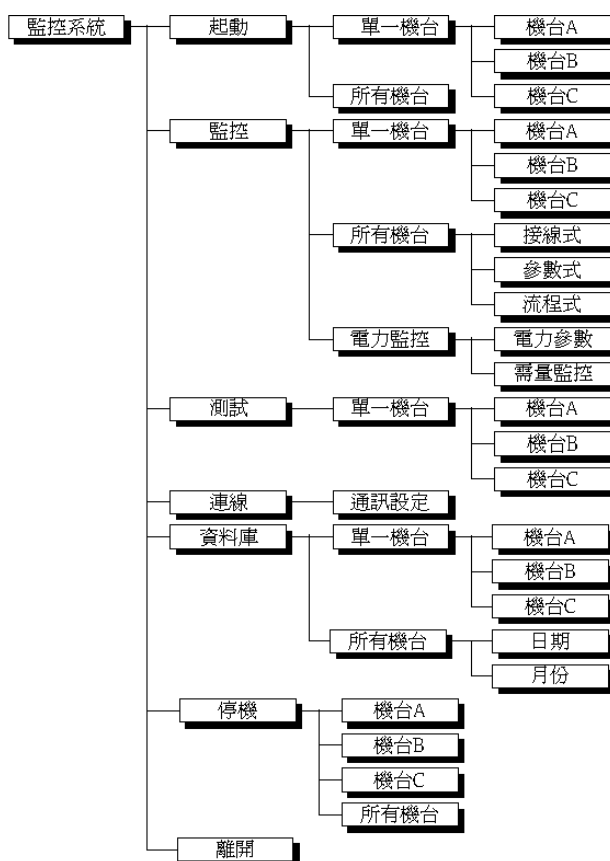
電表	FB-PLC(接頭-15PIN)
RX	RX
TX	TX
ND	GND

3.2 軟體部份

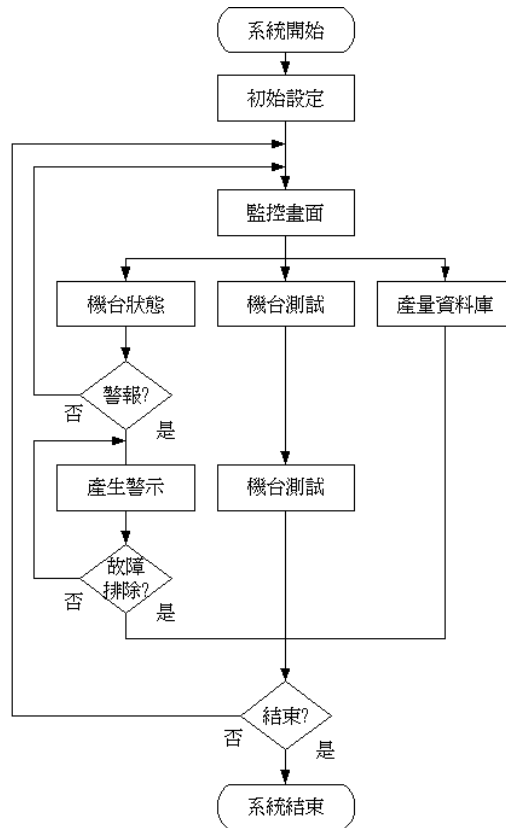
本系統採用 Visual Basic 6.0 撰寫監控程式，原因在於以 VB 開發視窗應用程式，只

需兩個基本步驟：(1)以滑鼠拖曳適當的控制項，藉以建構出圖形化的使用者界面。(2)在使用者觸發的事件中，插入Basic語法，如此即可完成應用程式的開發。圖十二、圖十三及圖十四分別為本系統之人機界面軟體架構圖、單一機台監控程式流程圖及全廠監控程式流程圖。單一機台監控程式監控單一機台的工作狀態、故障警報、機台測試及生產報表。全廠監控程式同時監控全廠三台機台工作狀態。而人機界面中測試功能是以FBE PLC 4E命令碼作為測試機台是否為正常，詳細PLC命令格式請參閱參考文獻[8]。

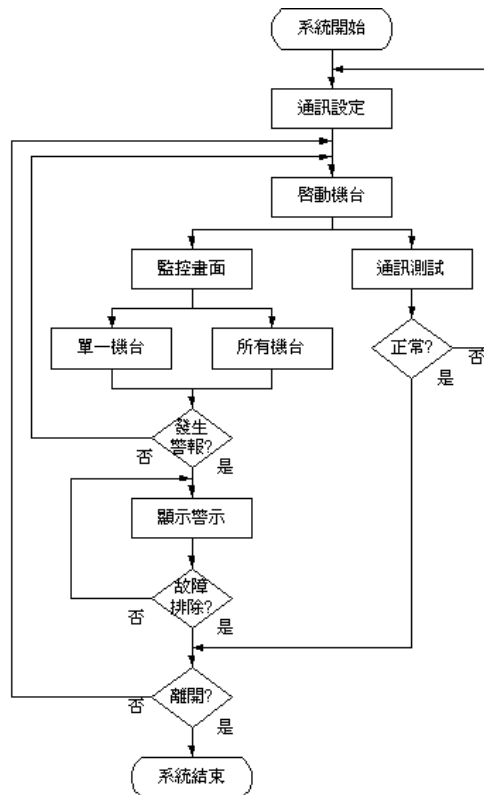
在資料庫規劃方面，本系統藉由PC讀取PLC生產資料後，儲存在MDB格式的資料庫中，以供日後查閱，設計時利用Visual Basic所提供的控制元件ADO Data Control(簡稱ADODC)及Data Grid 控制項。設計出資料庫程式。本系統採用ADODC 控制項設計程式，因為是只要透過ADODC來存取資料，則不必瞭解資料庫的檔案格式，只要透過ADODC所提供的操作介面，即可達到存取資料庫的目的，但ADODC並沒有提供顯示資料庫內容的功能，因此若想顯資料庫內容就必須透過Data Grid控制項。



圖十二 人機介面軟體架構圖



圖十三 單一機台監控程式流程圖



圖十四 全廠監控程式流程圖

肆、電力需量控制

現今大型的用電場所日漸趨多，諸如學校、工業區、科學園區等，使用的電力量非常可觀，為了限制各大用電場所濫用電力，大型用戶必須與電力公司訂定契約容量，當用電量超過契約容量時就會遭到罰款，所以為了防止用電量超過契約容量，就必須執行電力需量控制來預防超約受罰。我們可利用PLC與電表的通訊協定讀取EMA96多功能電表量測到的電力參數，如電壓、電流、功率等40多種參數，所有的讀值透過RS-232傳給PLC，此時PLC將收集到的電力參數計算分析，預估需量時限到達後，是否有超過契約容量之可能性，如果有可能超約則必須執行卸載控制。所有電力需量監控過程也透過RS-232通訊埠，將主控站PLC所有的資料傳給監控主機，再利用以VB6.0開發之人機界面應用程式即時顯示。

4.1 電費計算

經常契約容量係以雙方約定之夏月尖峰時間用電最高需量訂定；非夏月用電需量超出經常契約容量部分應另訂非夏月契約。基本電費計算如下：

夏 月：夏月經常契約電價 X 經常契約容量

非夏月：非夏月經常契約電價 X 經常契約容量 + 非夏月契約電價 X 非夏月契約容量。

詳細電價表如表一所示。若用電量超出其契約容量時，超出容量在契約容量 10% 以下部分按二倍計收基本電費，超出容量超過契約容量 10% 部分按三倍計收基本電費。

表一 低壓綜合用電非時間電價電價表

分 類				非營業用		營業用	
				夏月	非夏月	夏月	非夏月
基本 電費	經常 契約	每 瓦 每 月	228 元	168 元	228 元	168 元	
	非夏 月 契 約	每 瓦 每 月	—	168 元	—	168 元	
非 時 間 電 價	流動 電費	每 瓦 用 電 60 小 時 以 內 部 分	每 度	1.44 元	1.37 元	1.65 元	1.56 元
		每 瓦 用 電 61 小 時 以 上 部 分	每 度	1.65 元	1.56 元		

4.2 電力需量控制

電力需量的控制是把電力的使用平準化，把契約電力降到最小必要限度，減低電費。

4.2.1 電力需量控制原理

需量係指需要電力，定義為規定時間間隔內電力平均值，此時間間隔稱為需量時限。一定期間，例如一個月間，需量最大值稱為最大需量。最大需量若超過契約容量，則須支付違約金，若常超約，就必需調高契約容量，但相對會增加基本電費支出。為減少基本電費支出，可採取以下兩項措施：(1) 訂定最適契約容量，(2) 防止用電超過契約容量。前者須調整負載使用時間，改善負載設備、變更作業形態，減低尖峰負載，以訂定最適的契約容量；後者須隨時監控電力使用狀況，可能超過契約電力時，遮斷較不重要的負荷，防止超過契約電力。

需量是以 15 分鐘間的平均電力表示，短時間的高負載用電量，其大小不直接反映於需量值，而是取需量時限內的平均值，所以短時間發生高負載時，在需量時限的殘餘時間減低負載電力，也可調整平均電力（需量），這是電力需量控制的原理。以最小限度減低負載，而能使需量符合目標需量為電力需量控制的目的。

4.2.2 需量控制裝置機能

利用可程式控制器網路建構完成之電力監控系統，執行電力需量控制時必須具備以下四大機能：

1. 演算機能

從負載狀況預測需量，並計算出使預測需量值符合目標需量的負載調整量。圖十五為需量曲線，以需量時限開始後經過時間 t 的 A 點為現時點，進行以下演算。

(1) 現在需量：從需量時限開始到現在消耗電力量 Q_t ，以需量時限 T 求其平均值，表示成：

$$\text{現在需量 } P_t = Q_t / T \quad (1)$$

其中 Q_t 可以從需量時限開始後的計量脈衝計數 N_t 求出：

$$Q_t = N_t \times [\text{合成變成比 } (CT \times PT) / \text{脈衝常數 } (\text{脈衝} / kWh)] \quad (2)$$

(2) 負載電力：A 點在 t 時間內消耗電力的平均值，此負載電力 P_t 相當於圖中消耗電力量曲線在 A 點的切線斜率：

$$\text{負載電力 } P_t = \Delta Q_t / \Delta t \quad (3)$$

(3) 預測需量：在現時點以後，若持續現在的負載電力，在需量時限終了時的需量值，即現在的消耗電力量 Q_t ，加上現在負載電力 P_t 持續時會消耗的電力量，以需量時限 T 平均而算出：

$$\text{預測需量 } P_u = Q_u / T = \{ Q_t + [\Delta Q_t / \Delta t \times (T - t)] \} / T \quad (4)$$

其中 Q_u 為預測電力量， $T - t$ 為殘餘時間。

(4) 調整電力：為使需量時限終了時的需量值與目標需量一致，所必要調整的負載電力量，即預測電力量 Q_u 與目標電力量 Q_s 之差，以殘餘時間 $(T - t)$ 平均化而算出：

$$\text{調整電力 } P_c = (Q_u - Q_s) / (T - t) \quad (5)$$

當 $Q_u > Q_s$ 時判斷負載電力超過， $Q_u < Q_s$ 時判斷負載電力有餘裕。其中 Q_s 為需量時限內可消費的電力量，可以目標需量 $P_s \times$ 需量時限 T 而求得。

2. 警報機能

預測需量超出目標需量值時，設定的警報條件成立發出警報信號。警報常用多段警報方式，需量可能超過目標值時發出第 1 段警報，有必要遮斷調整負載的狀態時發出第 2 段警報，因異常的高負載狀態而要求緊急處置時發出高負載警報，各警報成立條件詳述如下：

(1) 第 1 段警報：預測需量 P_u 超過目標需量 P_s 時發出警報，條件如下：

$$\text{預測需量 } P_u > \text{目標需量 } P_s \quad (6)$$

或表示成負載電力 P_l 的關係：

$$\text{負載電力 } P_l > \text{殘餘電力 } P_r \quad (7)$$

其中殘餘電力 $P_r = (Q_s - Q_t) / (T - t)$ 。

負載電力超過殘餘電力時，發出警報，由此可知，負載變動大時，可能頻繁發出警報，防止對策是增大計算負載電力 P_l 的平均時間間隔 t 。但增大 t 會使響應遲鈍，所以在殘餘電力乘上容許超過係數，用為警報條件：

$$\text{負載電力 } P_l > \text{殘餘電力 } P_r \times (1 + \alpha) \quad (8)$$

其中 α 為警報餘裕率。

(2) 第 2 段警報：調整電力 P_c 超過預先的遮斷電力 P_b 時發出警報，條件如下：

$$\text{調整電力 } P_c > \text{遮斷電力 } P_b \quad (9)$$

或表示成負載電力的關係：

$$\text{負載電力 } P_l > \text{殘餘電力 } P_r + \text{遮斷電力 } P_b \quad (10)$$

(3) 高負載警報：通常 5 分鐘的平均電力超過設定值發生警報，設定值以對目標量的比率表示，條件如下：

$$5 \text{ 分鐘的平均電力} > \text{高負載限度率} \times \text{目標需量 } P_s \quad (11)$$

3. 負載控制機能

為使需量符合目標值，隨設定的條件自動遮斷、投入調整負載。緊急遮斷用調整負載分為 5 ~ 8 回路時，若檢出須遮斷負載的條件，依序自動遮斷，有可再投入的餘裕時自動投入。

(1) 負載的控制條件：負載遮斷條件與第 2 段警報條件第(10)式相同：

$$\text{負載電力 } P_l > \text{殘餘電力 } P_r + \text{遮斷電力 } P_b$$

負載投入的條件也採同樣的觀念：

$$\text{負載電力 } P_l < \text{殘餘電力 } P_r - \text{遮斷電力 } P_b \quad (12)$$

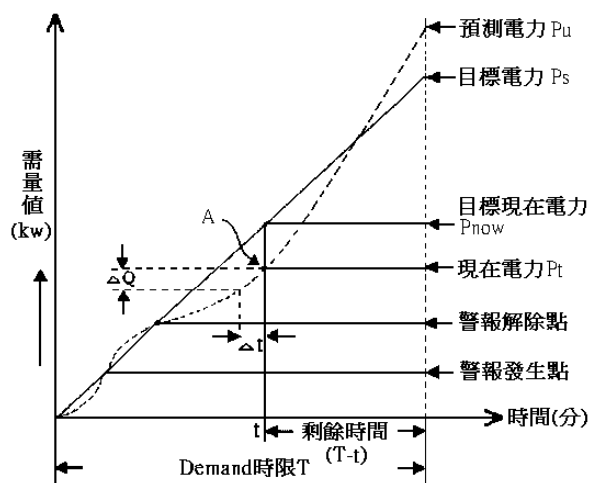
如圖十五中所示，以目標電力量 Q_s 為中心，設相當於遮斷電力設定值 P_b 之 2 倍的不感帶，在接近遮斷電力設定值 P_b 的負載控制也不發生追逐(hunting)現象。

(2) 負載控制方式：調整負載的控制順位有依設定順位的優先順位方式、優先度輪

流的循環式。

4. 記錄機能

自動記錄需量值、電力量、警報、負載控制的狀況等。



圖十五 需量控制原理圖

4.3 EMA96 多功能電表之通訊規則

1. 通訊規則

本規則定義檢查碼，資料順序等。本規則適用半雙工通訊規範，亦即資訊一次只能往一方流通，首先 PLC 呼叫單一 EMA96 多功能電表，然後被呼叫到的 EMA96 回應信息給 PLC。

2. 身份碼

在多站連接法，每一站皆有其身份碼，才不致被誤認。唯有如此，才能在同一通信線上，正確地呼叫到所需之 EMA96 多功能電表，而不影響其他的儀器。

3. 資料請求順序

PLC 依下列命令碼傳送給 EMA96 多功能電表，請求 EMA96 多功能電表送回儀器所量測之參數值。

命令碼格式：<起始碼><儀表站碼><命令碼><結尾碼><檢查碼>

各命令碼格式說明如下：

<起始碼>：永遠是<STX>，參數代碼(02H)。

<儀表站碼>：通常以邏輯號碼表示(01 FF 16 進位)或以 S(52H)起頭加上儀表出序號。

<命令碼>：總是以 R(參數代碼 52H)為起頭，接著為命令碼，請參照 EMA96 多功能電表使用手冊。

<結尾碼>：永遠是<STX>，參數代碼(03H)。

<檢查碼>： 它是由<STX 起始碼>至<ETX 結尾碼>中每一個字碼做 EXCLUSIVEOR (XOR)而產生的一個檢查碼。

4. EMA96 多功能電表回答資料的程序

EMA96 多功能電表於 PLC 之命令中，只要邏輯碼或序號碼，與其本身相同時，便檢驗其最後檢查碼。若資料庫之檢查碼與其本身自己產生之檢查碼相同時，便回簽下列信息給 PLC。

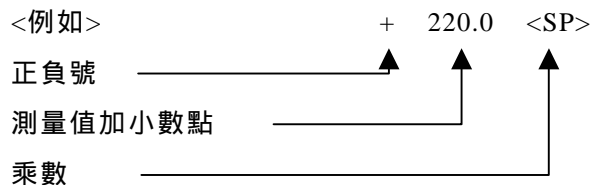
信息碼格式：<起始碼><資料><空格碼><結尾碼><檢查碼><起始碼>

各信息碼格式說明如下：

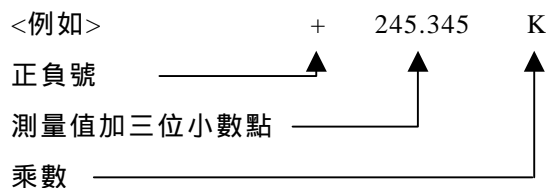
<起始碼>：永遠是<STX>，參數代碼(02H)。

<資料碼>：

(1) 回答簡單的變數：



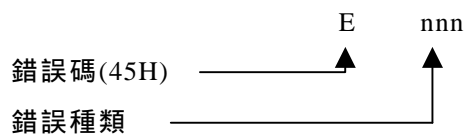
(2). 回答電量數值：



乘數如下：

- K=KILO=*1,000
- M=MEGA=*1,000,000
- G=GIGA=*1,000,000,000

(3) 錯誤信息：



<結尾碼>：永遠是<ETX>，參數代碼(03H)。

<檢查碼>：它是由<STX 起始碼>至<ETX 結尾碼>中每一個字碼做 EXCLUSIVEOR (XOR)而產生，此檢查碼是用來檢查通訊過程中，資料有無被誤傳。

以求 EMA96 命令碼<STX>02R00<ETX><檢查碼>之檢查碼為例：取其 STX ETX 之參數碼(ASCII 碼)做 XOR。STX 之參數碼=02H，0 之 ASCII=30H，2 之 ASCII=32H，R 之參數碼=52H，0 之 ASCII=30H，0 之 ASCII=30H，ETX 之參數碼=03H，則檢查碼= 02H XOR 30H XOR 32H XOR 52H XOR 30H XOR 30H XOR 03H=51H。

伍、測試結果與討論

5.1 模擬系統硬體

為實現本研究提出之系統架構，模擬規劃出之PLC網路系統實體圖如圖十六所示，共有6部PLC互連成網路，1部主控站，5部僕站（3部分別控制三條生產線，其他2部備用），所有廠區生產線運轉、自動讀表、需量控制等動作均在此完成。圖十七為本系統模擬用電負載實體圖，以多段式負載箱模擬全廠變動負載，三部馬達分別模擬三條生產線之可卸電力負載，當負荷電力超過遮斷電力時，馬達會依設定之順序被卸載，以避免工廠用電因超約受罰。



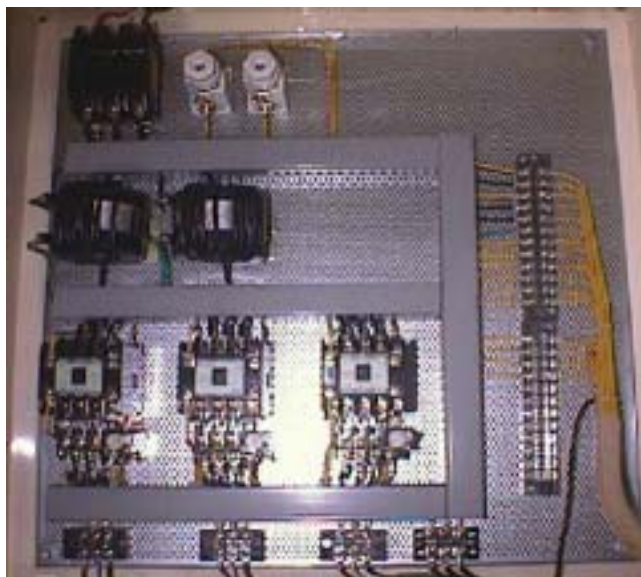
圖十六 PLC網路實體圖



圖十七 用電負載實體圖

圖十八為模擬系統用電負載之電源配電盤接線圖，供給所有負載電源。利用PLC

的I/O接點控制電磁接觸器，就可達到直接控制生產線可卸負載ON/OFF的目的。



圖十八 系統電源配電盤接線圖

圖十九為控制箱面板配置圖，可讀取電力參數值與觀察各負載動作情形。



圖十九 控制箱面板配置圖

5.2 系統軟體

本系統人機界面採用Visual Basic 6.0撰寫監控程式，因VB具有MScomm控制項，且永宏PLC通訊格式簡單容易使用，使得在開發通訊碼程式上節省許多時間，在圖控方面就有更多時間開發親切近人的監控程式。在PC與PLC通訊設定方面，傳輸速率：

9600bps、資料長度：7bit、同位元檢查：奇同位、停止位元：1bit。以永宏FB系列PLC而言，直接更改暫存器R4146設定值，傳輸速率最高可38.4K。

本系統採用Visual Basic 6.0撰寫人機圖控應用程式，主要原因為成本因素考量。相較於動輒數萬元之商用圖控軟體，一套VB軟體只不過1~2萬元(教育版僅數千元)，一但監控程式發展完成，即能“無限使用”。且VB具有彈性，可容易地與其他軟體連結。在資料庫規劃方面，本系統藉由PC讀取PLC電力資料後，儲存在MDB格式的資料庫中，以供日後查閱。

5.3 測試結果

首先，在進入生產線製程及電力監控時，會顯示出圖二十之啟始畫面，接著便直接進入監控通訊初始設定畫面圖二十一。



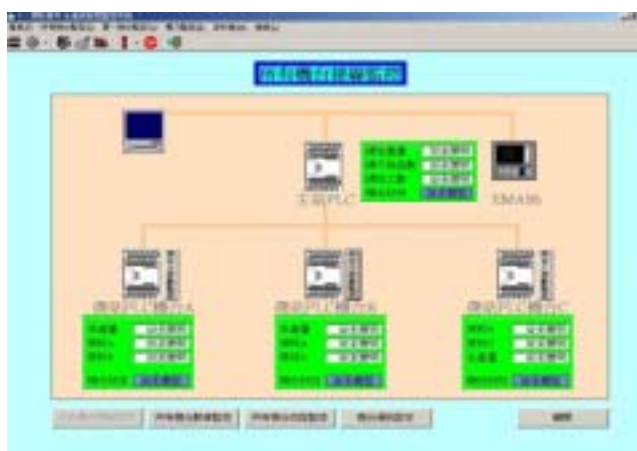
圖二十 啟始畫面

如圖二十一所示，為監控通訊初始設定畫面。由於所監控的對象為「模擬之生產線製程及整個工廠的電力」，所以透過電腦來監控時，必須要有一些溝通的方式，來監控現場各生產線之狀況及用電量，因此解決的辦法便是撰寫一個人機界面應用程式，利用此程式並給予適當的通訊參數，來達成電腦與監控對象之溝通，如此，在監控主機 PC 上所看到的狀況便和現場的狀況相同；但特別注意的是通訊參數的設計該如何來決定，其辦法是將 PC 與 PLC 的通訊參數設為一致，便可達成雙方的溝通，但吾人在設計時發現通訊參數設的太低，也會使現場所傳回的狀況（讀值）等，發生錯誤。一旦 PC 與 PLC 雙方能夠溝通，接著便是撰寫程式讀取 PLC 各個接點的狀況及各電力參數的讀值，將其一一表現在 PC 上，至於如何表現，便看設計者的功力了；此外，圖二十一所示，在進入監控前，還須給予機台起動（連線），如此 PC 才會至 PLC 的暫存器讀取資料顯示在 PC 上。



圖二十一 監控通訊初始設定

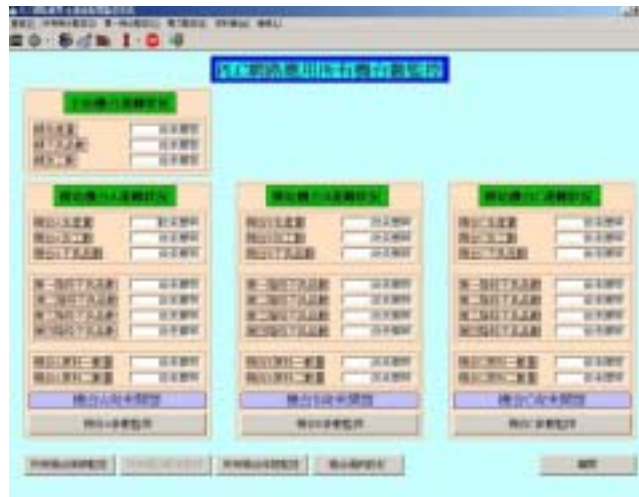
設定好 PC 與 PLC 之間的通訊協定後，便進入圖二十二所示所有機台主監控畫面。此畫面除了表示各機台的生產狀況和所有機台的總生產狀況外，也可操作畫面上之按鈕進入各機台觀察更詳細的生產狀況，如圖二十三至圖二十五所示；此外，若點選畫面上之 EMA96 多功能電表圖片，則進入電力參數即時顯示畫面，如圖二十六所示。



圖二十二 主監控畫面

若在主監控畫面點選【所有機台數值監控】，便進入圖二十三所示為所有機台的數值監控，將各機台的生產量、加工數、不良品數、原料數、運轉狀況（起動或停止）等，逐一顯示在畫面上。

接著，若在主監控畫面點選【所有機台流程監控】，便進入圖二十四之畫面，將各機台每一階段之生產狀況顯示出來，讓監控者知曉目前生產至那一階段，並顯示各階段之不良品，以便觀察生產線經常發生問題之所在。



圖二十三 所有機台數值監控



圖二十四 所有機台流程監控

圖二十五為單一機台之參數監控，其除了顯示該機台總生產量、原料數量外，更將各階段之成功數、失敗數、不良品數、運轉狀況等，都顯示在畫面上。

若在主監控畫面上點選 EMA96 多功能電表之圖片，便進入圖二十六之畫面，為整個工廠用電參數即時顯示，這些電力參數皆是由現場 EMA96 電表所傳回的讀值，而電表上之數據皆來自生產線（即馬達負載）所測得的電力量，根據這些實際的用電量，我們可以評估一個月的用電量及每十五分鐘需量時限的需量值，來比較是否會超過與台電所簽訂的契約容量；假如未達十五分鐘便預估超過契約容量，則應發出警報告知監控者給予適當的卸載，以免超約罰款；而判斷的方法便是由 PLC 讀取 EMA96 電表監控者給予適當的卸載，以免超約罰款；而判斷的方法便是由 PLC 讀取 EMA96 電表的參數，在 PLC 中執行需量公式之運算，比較是否在十五分鐘未到時，預測需量已起步地，我們可以將這些數據用看似類比的曲線圖（需量成長圖）表現出來，如此便可以看出每十五分鐘需量之狀況；此外，我們更將一天中每十五分鐘之需量值繪成一條



圖二十五 單一機台參數監控

曲線，來觀察其一天當中最大用電量及最小用電量的時段，以供監控者作為參考。

圖二十六所示為電力參數即時顯示，其中顯示出單相電壓、三相電壓、電流、實功、虛功、視在功率、功率因數、系統用電等，若按下【下一頁】則進入需量監控畫面，按下【回首頁】則跳回主監控畫面。此外，畫面左上方並顯示現在時間以供監控者參考。



圖二十六 電力參數即時監視顯示

在電力參數即時顯示中點選【下一頁】便進入需量監控畫面，如圖二十七所示。此畫面主要將 PLC 所運算之需量參數、目標現在電力量、調整電力、殘餘電力、初期電力量、瞬間用電、預測電力及經過時間、殘餘時間等各參數顯示在畫面上，並將以上各參數中取瞬間用電、預測電力、目標現在電力量、現在需量等四個數值，用曲線圖表現出來，好讓監控者便於觀察，此外也顯示各階段警報、運轉及卸載之狀況。圖中顯示為二段卸載，一段復歸情形，目標電力設定為 200W，從圖中可看出，當 15 分鐘需量時限到達時，紅藍兩曲線會非常靠近於目標電力，明顯驗證電力需量控制成效。

本生產線製程及電力監控系統亦包含資料庫查詢系統。如圖二十八所示，為主機台日

份資料庫查詢設定，其是透過主控站 PLC 讀取全部僕站 PLC 之生產資料，將其顯示在一列中，而每次 PLC 重新起動時，便會開一新資料庫將資料存入新的一列中，並標示日期，因此日後監控者便可依日期查詢歷史資料，但缺點是查詢的資料庫做的不夠精密，若要查詢歷史資料也只能查至該日的總生產數值，並不能選擇查詢至該日的幾時至幾時、甚至幾時幾分幾秒至幾時幾分幾秒，因此這也是可以加以改善的部分。



圖二十七 需量曲線監控（即時顯示）



圖二十八 主機台日份資料庫查詢設定

同樣的，圖二十九所示主要為整個月份的資料查詢，其用途可讓生產公司得知其一整年的生產狀況，給予參考，那麼可以外加的部分，即將整年度的生產狀況繪成一成長圖（折線圖），如此便可清楚的看出整年度生產量的高峰、低峰及變化趨勢，以供生產公司參考。

如圖三十所示，為單一機台資料庫查詢畫面，其可依監控者的圈選，各別查詢各機台更詳細的歷史資料。



圖二十九 主機台月份資料庫查詢設定



圖三十 單一機台資料庫查詢畫面

5.3 測試結果討論

本系統測試結果，因篇幅限制僅部份討論如下：

1. PLC網路系統連線，首先從通訊協定方面著手，歷經多次測試與修正，本系統已可十分穩定地應用於多部機台運轉之監控。
2. PLC經RS-232界面與EMA96通訊，讀取之參數包括相電壓、線電壓、線電流、實功、虛功、視在功率、功率因數及總用電量。每秒鐘讀取一次，仍能得到快速、穩定且準確的結果，電力參數即時監視畫面如圖二十六所示。目前資料傳輸時間延遲的問題並不明顯，但當機器或負載很多時，時間延遲的問題可能需要特別考量。
3. 本研究完成以PLC網路應用於自動讀表，配合VB6.0開發之人機圖控界面，建立電力監控系統。此系統應用功能包含電力參數量測與資料庫建立、電力需量控制、週期性負載控制、直接負載控制、設備運轉狀態監視、即時/歷史趨勢圖顯示等主要功能。

4. 本系統完成了PLC自動讀表通訊程式研發、PLC網路架構、PLC與電腦連線、人機界面應用程式開發、資料庫建立及電力需量控制。製程生產資料已記錄於資料庫中，可作歷史資料查詢、歷史趨勢圖顯示、生產量及品質分析。

陸、結論

從PLC的應用層面而言，它已廣泛應用於生產自動化中，如小型機械：輸送機、包裝機等。中型機械：自動倉儲、立體停車場等。大型系統：鐵路號誌、地下鐵等。標準型PLC控制的機台已廣為各國所接受，並行銷到世界各地，當地維護工程師可以很容易地從PLC瞭解機台運作原理，就地做初級維修及擴充功能。所以，採用PLC控制的機台會受到使用者的歡迎，如此也可減輕機台的原製造商於售後服務上之負擔。本PLC網路系統應用研究結合電腦、人機界面、多部機台及負載，以建構PLC網路於生產線製程及電力監控系統為目標，做為產業升級及工廠自動技術之參考。其特點如下：

1. 架構PLC網路系統：可因應各工廠之需要做溫度控制、電動機控制、倉儲系統及電力需量控制等，結合PC及人機界面，建立分散式控制監控系統，此種系統的優點為：(1) 它將複雜系統化整為零，所以機台開發容易；若系統運轉中某一單元異常，也只要針對該一單元做維修即可。(2) 彈性佳，它能像堆積木的方式擴充。(3) 即使在成本因素考量下，從很多實例觀察發現到分散式比集中式成本較低，因為小型PLC非常低廉，甚至多部小型PLC的成本比一部大型PLC還低，配線也可以減少許多。(4) 執行效能方面，分散式每個單元各有自己的CPU處理，在執行即時控制，它不必受制於中央電腦分時控制，所以執行效能較高。(5) PLC控制單元分別控制各個子系統，在透過網路連結達成系統之間協調與資源共享，網路技術的日趨普及與成熟，更加速這種分散式控制趨勢的發展。
2. 電力需量控制之目的在於幫助用電戶減少電費支出，因此電力監控系統亦應盡可能地經濟而實用。本研究完成以PLC網路應用於自動讀表，配合VB6.0開發之人機圖控界面，建立之電力監控系統，架設成本相當低廉。研究重點包括了PLC自動讀表通訊程式研發、PLC網路架構、PLC與電腦連線、人機圖控界面應用程式開發、資料庫建立及電力需量控制。相較於市售之電力需量控制器，本系統用於卸載之控制點（PLC的輸出點）可依需要而大幅擴充；PLC內含之通訊界面可應用於自動讀表，以及和監控主機連線，透過人機圖控界面方便管理人員之監控。
3. 架構的PLC網路系統以光纖線或兩蕊絞線傳送，具有架設簡單、成本低之優點，適合小區域網路，也比較易於配合光纖網路發展的趨勢。網路模組內藏共通記憶體，用來規劃網路各站I/O傳送與接收區域、資料傳送與接收區域，另有異常時檢出區域等功能。
4. 本系統可因應未來需要擴充，人機界面也能做多機監控，並可將生產過程資料，透過Visual Basic 6.0內建元件製作報表及統計表，且可將這些資料經由Internet傳送至客戶，例如台積電之即時回報系統就具備有此功能。若能再配合影像監控或語音功

能，或與Internet連線達成遠端控制，將使本系統功能更強、更實用，此部份可做為日後繼續研發的方向。

柒、參考文獻

- [1] 廖文輝、郭佩祺，“PLC網路應用永宏新型FBE/FBN系列”，電機月刊第九卷第12期，pp.220~241，1999。
- [2] 龍仁光、高文秀，“二層式可程式控制器網路監控之用”，第20屆電力工程研討會，pp.1324~1328，1999。
- [3] 龍仁光、高文秀，“網際網路與可程式控制器網路監控系統之整合與應用”，第20屆電力工程研討會，pp.1382~1386，1999。
- [4] 龍仁光、高文秀，“網路資料庫與可程式控制器網路系統於自動讀表之應用”，第20屆電力工程研討會，pp.1430~1434，1999。
- [5] 廖文輝、周至宏，圖形監控，pp.1-1~1-88，pp.4-1~4-98，全華科技圖書股份有限公司，1998。
- [6] 彭明柳，Visual Basic 6.0中文專業版徹底研究，博碩文化股份有限公司，1999。
- [7] 王國榮，Visual Basic 6.0資料庫程式設計，旗標出版股份有限公司，1999。
- [8] 永宏電機，永宏可程式控制器階圖大師中文版使用說明暨FB系列RS232通訊協定，永宏電機股份有限公司，1997。
- [9] 永宏電機，永宏可程式控制器機系列使用手冊(基礎篇/進階篇)，永宏電機股份有限公司，1997。
- [10] 永宏電機，永宏FB系列追加功能篇，永宏電機股份有限公司，1997。
- [11] 永宏電機，永宏FBE、FBN新增功能說明，永宏電機股份有限公司，1999。
- [12] EMA96之通訊手冊，傑程股份有限公司，1999。