

# 變電站自動化升級技術之研究

## The Study on the Upgrading Technologies of Substation Automation for Distribution Systems

陳鴻誠      王孟輝      黃建堯      陳俊傑  
H. C. Chen      M. H. Wang      J. I. Hwang      G. J. Chen

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

本文之目的，主要在討論變電站自動化系統的結構和站內通訊要求，並針對目前變電站自動化系統的現狀和發展的需要，提出利用 LonWorks 開放式控制網路的技術，將傳統變電站自動化所採用分散式控制系統(Distributed Control System, DCS)轉換成現場總線控制系統(Fieldbus Control System, FCS)，有助於變電站自動化的升級。初步研發完成之雛型系統已在實驗室中架設，分析及現場試驗有力地表明，基於 LonWorks 的變電站自動化系統結構滿足對通訊的高可靠性、靈活性和實時性的要求。

**關鍵詞：**變電站自動化、現場總線、互通性開放式控制網路

### Abstract

The aim of this project is to discuss the structure and requirement of the internal communication of the integrated substation automation system. Based on the present state and developing tendency of the integrated automation system, a fieldbus solution for the transfer from DCS to FCS - LonWorks is presented. A prototype system is successfully installed in the laboratory. Analysis and experiment prove that the needs of substation automation system for reliability, flexibility and real-time performance can be met preferably.

**Keywords:** Substation Automation, Fieldbus, LonWorks

## 一、前言

變電站自動化系統是 90 年代發展起來的多專業綜合技術，是電網運轉管理中的一

次變革。它以電腦為基礎，實現了電網變電站現代化管理，從而改變了傳統變電站控制室、保護室的主體結構和值班維護方式，充分體現了現代生產的特點，是當代電網發展的必然趨勢[1-3]。電腦實現運行監視、正常和事故操作、繼電保護、變電站電源供電，並具有和微處理機植基式(microprocessor-based)裝置整合運行的功能。站內和站外信息交換由通訊網實現。然而變電站自動化的結構及站內通信方案的選擇，對保證系統高度可靠性，提高運行性能，節約投資，以及順利實現目前的自動化向綜合自動化的過渡至關重要。因此，現場測控通信網的解決方案，是變電站綜合自動化的關鍵技術[4]。

現場總線(Fieldbus)是90年代興起的一種先進工業控制技術，它將當今網路通信與管理的觀念引入了工業控制領域[5]。從本質上說，它是一種具有數位通訊協定，連接智能現場設備和自動化系統的數位式、全分散、雙向傳輸、多分支結構的通訊網路。現場總線的典型代表 LonWorks 是美國 Echelon 公司在1991年推出的局域操作網路，是一個完整的平台，採用基於嵌入式神經元晶片的總線技術[6-8]。它的應用適宜地解決了變電站自動化系統的現場級控制及站內通訊問題，可以順利實現從當今分散式控制系統(DCS)向未來的現場總線控制系統(FCS)的過渡，它代表了變電站綜合自動化的發展方向[9,10]。

## 二、研究目的

變電站自動化技術在目前發展甚快，現在新建的變電站絕大多數都採用了變電站自動化技術，很多老站也在改造。與常規變電站系統相比，通訊是變電站自動化系統的關鍵問題。最初是用 RS-485 總線將保護設備連在一起，以主從方式通訊，這種方式較簡單，但技術上缺陷很多。後來各種現場總線技術被引入國內，由於其簡單易用、組網方便、抗干擾能力強，很快被用來構成變電站自動化系統的站內通訊網。

現場級的控制網路可分為三個層次：傳感器 致動器總線、設備總線和現場總線。傳感器 致動器總線處理的對象是簡單的、離散的傳感器和致動器，傳遞狀態信息，網上交換的是位信息 (bit)；設備總線處理的是字元 (byte)；而現場總線處理的是控制過程，可傳遞控制信息，網上交換的是塊信息 (block)。LonWorks 是跨越三個層次的現場總線技術。LonWorks 的應用，能使目前變電站自動化中應用最廣泛的 DCS 向未來的 FCS 順利轉換。

更重要的是，LonWorks 總線具有開放性、互操作性、分散性、容量大、可靠性高等諸多優點，易於實現客戶 伺服器(client/sever)結構，這與當今基於分層分布的開放式綜合自動化發展趨勢不謀而合，適切的解決了系統結構功能及站內信息傳輸問題，可以較為滿足變電站綜合自動化高可靠性、高實時性的要求。

## 三、研究方法

### 3.1 系統結構規劃

根據變電站自動化系統特點及性能要求，基於分層分布式的開放結構，是現代電力

系統控制的發展趨勢。如圖 1 所示，系統結構分為變電站級、單元級和過程級。過程級包括如變壓器、斷路器、比流器及比壓器等生產過程設施。

單元級一般包括測量和控制器件，負責該單元線路或變壓器的參數測量和監視，斷路器的控制和聯鎖；另外，保護裝置負責該單元線路或變壓器的短路和異常狀態保護，單元級還可能有故障記錄裝置等。單元級的智能器件應盡可能靠近過程設備，以減少連接電纜的長度和引入線的電磁干擾。

變電站級包括監控主機、遙控主機、人工智能應用主機以及用於資料庫管理的伺服器，實現軟體開發和管理的工程師站。

按分層、分級、分布、開放式系統的構成原則，各單元應能獨立地完成測量、控制、保護，必要時才通過通訊網串行交換信息，如母線保護。這樣按單元分開，當一個單元的監控、保護設備出現故障或異常時，可以僅停下該設備進行檢查，不致影響其他單元，現在國內外許多變電站自動化系統，將單元的數據信息集中處理，在安全性、靈活性和可擴充性方面都帶來不利。

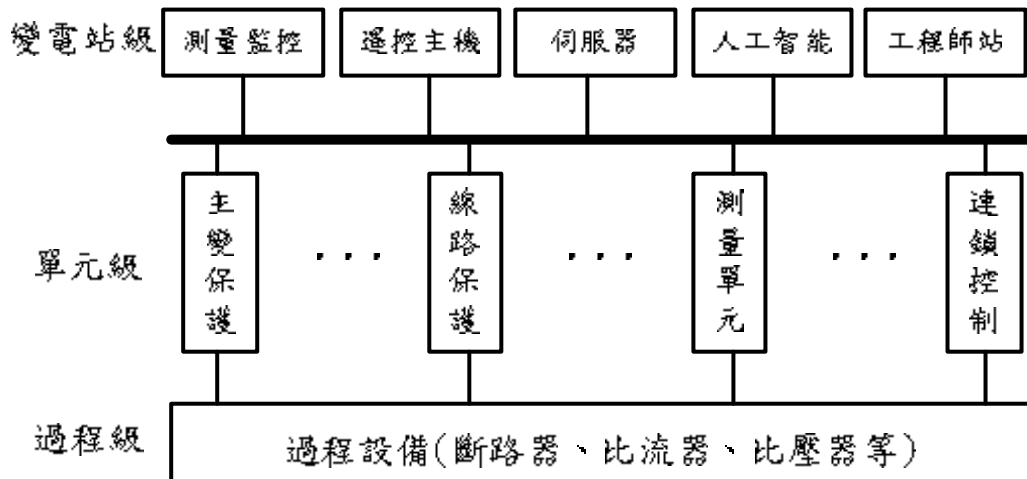


圖 1 變電站自動化系統結構

### 3.2 變電站信息傳輸

#### (1) 信息種類

變電站信息可按正常與故障、系統與區域(local)等分類，這裏按通信內容，即傳送或交換的信息分類，可分為以下幾種：

- 操作信息：如斷路器及隔離開關的開合命令等。
- 測量及狀態信息：包括如斷路器及隔離開關的位置、狀態，器件的運行及異常狀態，保護動作情況，正常和事故狀態下的測量值等。
- 參數信息：如保護及自動裝置的設定值等。

這些信息中有數位量，如命令及狀態信息；也有模擬量，如測量及參數信息。

#### (2) 信息傳送性能要求

- 允許傳送時間：各類信息傳送時間，因其功能特性可能差別很大，事件順序記錄

信息和用於保護動作的信息，要求傳送速度為毫秒級，用於 SCADA 的信息，響應時間不宜大於 1~2 秒。

- b. 數據傳送的安全性：對各類數據傳送的安全性可能提出不同的要求，但一般數據的漢明距離要求  $\geq 4$ ，操作信息的殘餘碼率應低於  $10^{-14}$ 。

### 3.3 基於 LonWorks 的綜合自動化網路

#### (1) 單元級網路

單元級通常由多個智能終端組成，LonWorks 提供的神經元晶片（Neuron Chip）幾乎包含了一個現場終端的大部分功能：應用 CPU，I/O 處理單元，通信處理器。因此，一個神經元晶片加上收發器便可構成一典型的現場測控節點（終端），利用神經元晶片可製作單元式線路保護、遙測、遙控裝置等。由於神經元晶片是 8 位元總線，目前支援最高主頻 10MHz，因此，它所完成的功能有限。對於一些複雜的控制功能，如變壓器保護、大範圍連鎖控制、智能調節等，可將神經元晶片作為通信處理器，用高性能主機（如 Intel 486 或以上）構成宿主節點的控制終端，完成複雜的測控功能。

#### (2) 變電站級網路

單元級網路以及系統中監控主機、遙控及自動控制主機、資料庫伺服器間的通信由變電站級網路完成。該層信息傳輸量較大，不僅要傳遞監控、保護信息，還要傳遞數字電量、錄波及其他安全自動裝置的信息。LON 網速率較低（最高 1Mbit/s），不適用於該網通訊。為保證實時性和可靠性，可選用基於 TCP/IP 的 IEEE802.3 標準 10/100 Mbit/s 的雙絞線乙太網，可方便地接入 Internet 網和上級 MIS 網。

雖然該層信息傳輸量大，但通信節點較少，並且在拓樸上採用星形連接及交換式 Hub。交換式 Hub 提供數據緩衝及具有確定接收數據的網段智能，使數據衝撞及重發機會最小化；另外，改進的通信協議有效地克服了 TCP/IP 中的緩衝器滿載發送及衝撞控制中的允許“丟”包等缺點，通信的可靠性和實時性可得到保證。

## 四、結果與討論

根據所提出之變電站自動化系統結構，基於 LonWorks 局域網的綜合自動化網路結構如圖 2 所示，此架構以對象導向的觀點，將包含完備的保護和監控功能的每一個間隔單元作為一個或多個 LonWorks 節點，以此劃分，間隔級通信節點數目一般小於 32 個；網路拓樸結構傾向於採用網路中各節點都平等 (peer to peer) 的結構，例如總線形網，每一個節點都可以同網上任一個其他節點直接通信，因此便於提供 LON 服務和節點重配置，也容易施工。不平等的網路，例如星形網，只能有一個主站，從而形成瓶頸，並且靈活性大大減低。總線形網路（即介質共享型網路）主要有兩種標準規約：IEEE802.3 載波偵聽多路訪問及衝撞檢測方法（CSMA/CD）及 IEEE802.4 令牌總線（Token Bus）方式。

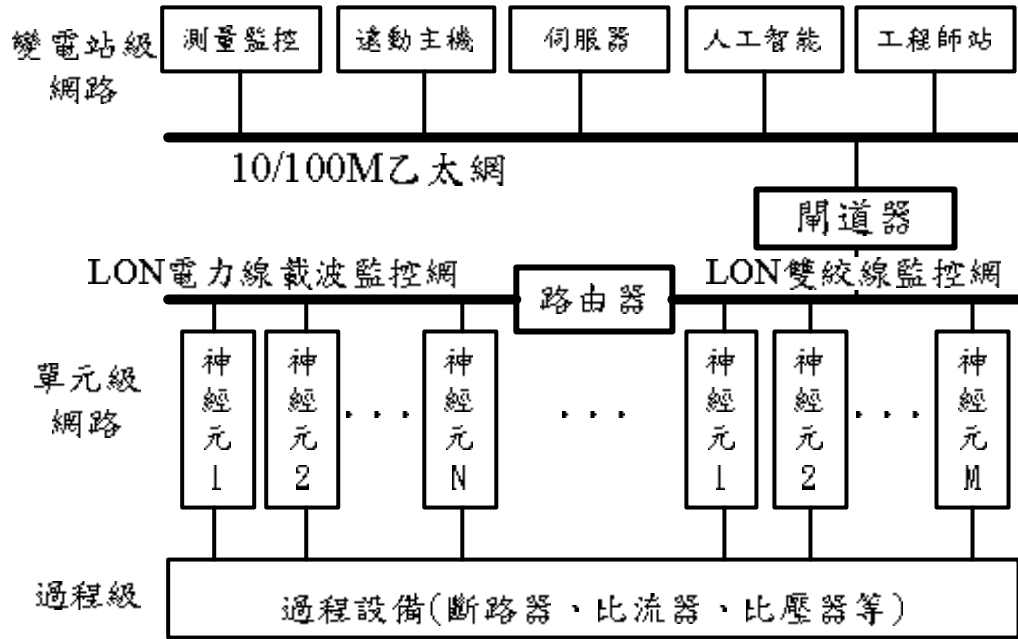


圖 2 基於 LonWorks 的自動化系統網路結構

圖 3 所示為在實驗室中初步研發完成之雛型系統，其中用於現場級 LON 網與變電站級的乙太網的閘道器(Gateway)是整個架構的核心與關鍵，圖 4 即為閘道器示意圖。圖

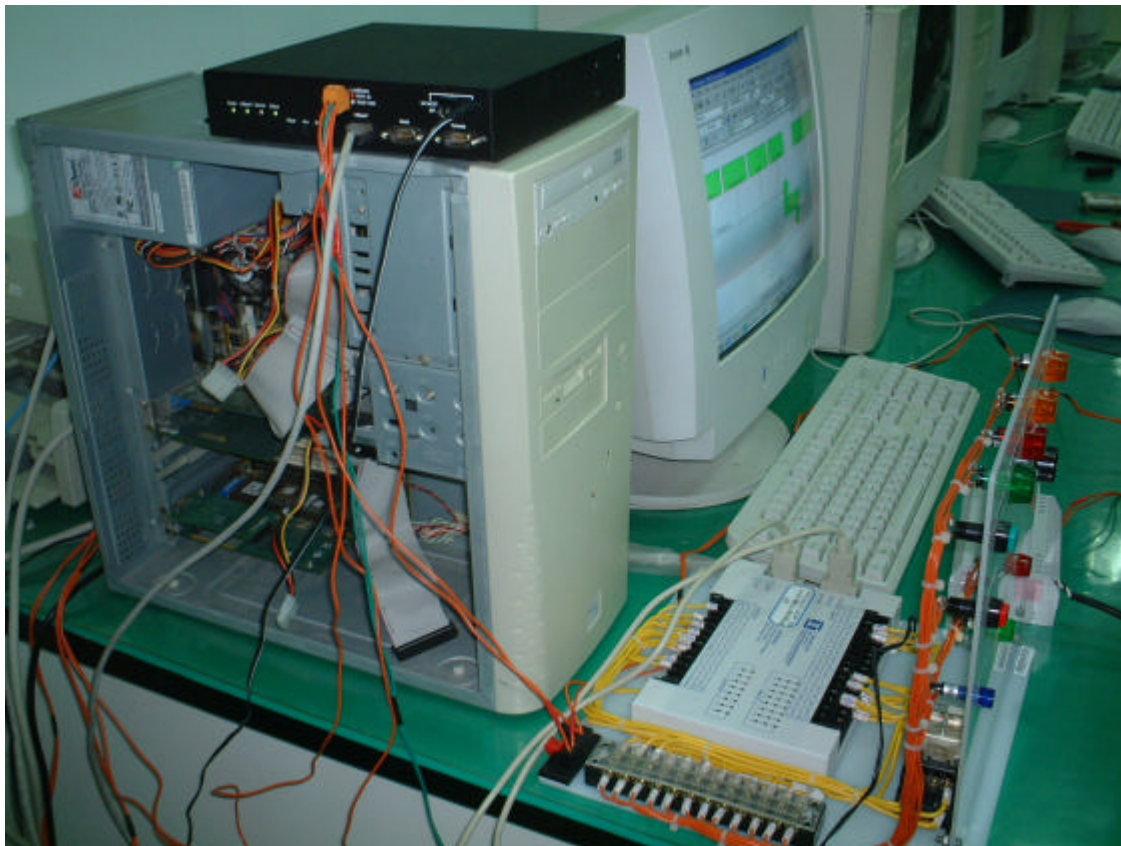


圖 3 雛型系統照片

中神經元晶片作為 CPU 的通訊處理器，完成 LonWorks 網路的通訊任務，利用它可與現場控制節點通信。CPU 選用了 32 位元單晶片微處理機，並採用了嵌入式軟體設計，利用實時多任務操作系統及 TCP/IP 模組，完成乙太網的通信與測控任務。為評估 LON 網電力線載波在變電站內的通訊品質，本文利用 PLCA-22 電力線載波通訊分析儀在本校總變電站進行現場測試分析，簡易測定變電站二次電路電力線通訊品質架構圖如圖 5 所示。圖中兩台分析儀（一台當傳送器，另一台當接收器）分別擺置於待測電力線兩端，其原理為透過傳送固定大小數目的信號測定封包，測量封包接收錯誤失敗率。測試結果數據覽表如表 1 所示，表中 Err%(封包錯誤率%)數據欄為連續測量三次所得的平均值。從表中測試數據可明顯看出電力線載波在本校總變電站內有相當不錯的通訊品質，但當實際裝設於電壓等級更高、設備更複雜及佔地面積更廣的變電站時，其通訊品質應再作進一步探討及測試。

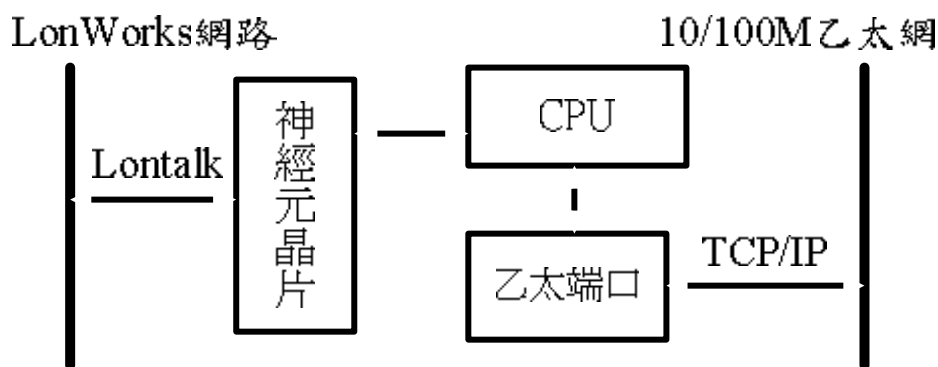


圖 4 開道器硬體電路示意圖

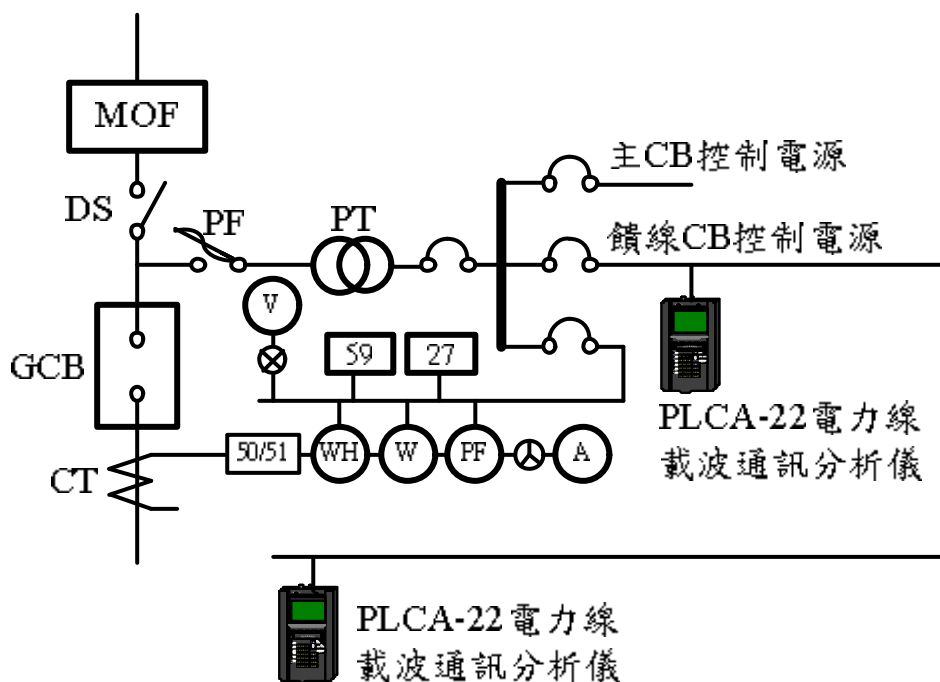


圖 5 簡易測定變電站二次電路電力線通訊品質架構圖

表 1 電力線載波測試結果數據覽表

PLCA-22 型電力線 載波通訊分析儀		Operating Mode: SEND/RECV TX Current Limit: 1A TX Attn: 0dB CENELEC Protocol: ON Packet Size: 12Bytes Send Packets: 1K Coupling Mode: Internal coupling						
距離 30 50m	改變的狀態	UnackPri*		UnackSce*		Ackd4try*		
	C 波段	TX V <sub>DD</sub>	Lost	Error (%)	Lost	Error (%)	Lost	Error (%)
		1.7V	2	0.2	1	0.1	0	0
		7.0V	1	0.1	3	0.3	0	0
10V	2	0.2	2	0.2	0	0		

\* : PLCA-22 型電力線載波通訊分析儀三種測試模式[11]。

## 五、結論

LonWorks 自動化系統的技術特點總結如下：

### (1) 開放性、互操作性好

LonWorks 遵循多種通訊媒介，具有通訊介質開放的特點，LonWorks 通信協定 Lontalk 符合 ISO 定義的開放系統互連模型 OSI，對用戶平等，可使用所有網路操作系統，易於實現客戶 伺服器結構，符合變電站綜合自動化發展的要求。

### (2) 強大的通信控制節點

Neuron 晶片具有 3 個 8 位元 CPU，分別為介質訪問控制器、網路處理器及應用處理器，它固化了 ISO/OSI 的全部七層協議及 34 種常見的 I/O 控制對象，很好的實現了對 DCS 向 FCS 的過渡。

### (3) 通信可靠性高

LonWorks 網路通信協議採用了“網絡變數”及“變數捆綁 (binding)”，使網路通信設計簡化。每個有效字節可以為 0~228，且 Lontalk 協議的介質訪問控制子層 (MAC) 對 CSMA 作了改進，採用了一種新的 Predictive P-Persistent CSMA，使負載較輕時，訪問延時最小化，負載較重時，衝突概率最小化。CSMA/CD 可以允許對重要訊息加優先權，使優先訊息的隨機等待時間比非優先者短，因而總可以保證重要訊息很快通過，這充分體現了自動化系統站內信息傳輸速度快、安全性高的特點。

### (4) 容量大

LonWorks 技術定義了子區、子網、節點地址的分層邏輯尋址方式，一個測控網上節點數可達 32,000 個，且增刪方便，直接通信距離可達 2,700m (雙絞線 78kbit/s)。

### (5) 系統分散性好

Neuron 晶片採用超大規模、低功耗集成電路、密封式結構，可防塵、防潮、防電磁干擾，適用於變電站現場的惡劣環境，因而可在傳感器或變送器附近就地安裝，使各種

信號就地處理，節約了大量電纜。

LonWorks 現場總線的應用解決了變電站自動化系統的結構和站內通信問題，滿足了系統分佈性、開放性和可擴充性的要求，提高了繼電保護、自動控制及監控等的實時性和可靠性。LonWorks 技術用於綜合自動化是一種非常現實的先進技術，是變電站綜合自動化發展的方向。

## 參考文獻

- [1] M. Lehtonen, E. ntila, and M. Seppanen, "An Integrated Solution for Protection and Automation of Power Systems," 14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution. Part 1: Contributions. Vol. 4, pp.24/1-24/5, 1997.
- [2] D. L. Rudolph, "An Integrated Solution to Substation Automation," Papers Presented at the 42nd Annual Rural Electric Power Conference, pp.c2-1-9, 1998.
- [3] S. Trabulus, "General Configuration of Automation System within a High Voltage Power Substation," 2000 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol. 2, pp.1167-1171, 2000.
- [4] C. W. Newton, "Communications Infrastructure and Substation Automation Communications Planning Issues," IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp.589-590, 2000.
- [5] J. Pinto De Sa and M. Conde, "Performance Issues in Integrated Control and Protection Systems for Substations," 14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution. Part 1: Contributions, Vol. 4, pp.1-17/5, 1997.
- [6] H. Shahnasser and Quan Wang, "Controlling Industrial Devices over TCP/IP by Using LonWorks," IEEE Global Telecommunications Conference, Vol. 2, pp.1309-1314, 1998.
- [7] O. J. Vahamaki, A. J. Allen, and J. T. Gaff, "High Speed Peer-to-Peer Communication System for Integrated Protection and Control in Distribution Networks," Sixth International Conference on Developments in Power System Protection, pp.243-246, 1997.
- [8] P. Palensky, D. Dietrich, R. Posta, and H. Reiter, "Demand Side Management in Private Homes by Using LonWorks," IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, pp.341-347, 1997.
- [9] Ren Yanming, Qin Lijun and Yang Qixun, "A New RTU Based on LonWorks Technique Used in the Integrated Automation Substation System," International Conference on Power System Technology, Vol.1, pp.72-75, 1998.
- [10] W. E. Kozlowski and O. Vahamaki, "LONWorks Technology Based Experimental Communication System for Power Substation Automation," Half Day Colloquium on Methods of Substation Automation, pp.3/1-315, 1996.
- [11] Echelon, *LonWorks PLCA-22 Power Line Communications Analyzer User's Guide*, 2000.