

政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

智慧型保護電驛之運用

服務機關：台灣電力公司

出國人職稱：電機工程師

姓名：劉信榮

出國地區：美國

出國日期：91年04月7日至91年04月20日

報告日期：91年06月17日

G3/CO9101527

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：智慧型保護電驛之運用

頁數 37 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

劉信榮/台灣電力公司/電力調度處/電機工程師/(02)23666626

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：91 年 4 月 7 日至 91 年 4 月 20 日 出國地區：美國

報告日期：91 年 6 月 17 日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、智慧型保護電驛為目前全世界電驛發展趨勢，其具備多功能、維護週期長、存取數據靈活等特性，再加上此電驛具有記錄事故發生時電力系統變化狀態的功能，有助於分析事故發生原因及作為日後改善的依據，提升保護系統的可靠度。
- 二、此次出席第 55 屆保護電驛工程師會議，並造訪美國 SEL 公司參觀保護電驛的生產工廠，及研習 SEL-421 智慧型保護電驛。由於通訊的技術大量運用在目前的智慧型電驛，使得電驛的保護及協調有了相當大的改善空間，進而結合控制系統並將自動化變電所的功能向前邁開一大步。

目錄

壹、出國原由-----	4
貳、行程說明-----	5
參、第 55 屆保護電驛工程師年會文章介紹-----	6
第一篇:多串式無熔絲電容器組的完整保護---	7
第二篇:遠端存取電力系統保護及控制設備時的 攻擊及防禦工具-----	18
第三篇:電力線載波副線保護系統-----	30
肆、SEL-421 智慧型保護電驛之介紹-----	45
伍、心得感想-----	53

壹、出國原由

有關保護電驛之校驗測試、維護工作、標置協調均須先對其特性有深入了解，方能發揮智慧型保護電驛之最大功能，目前本公司系統中使用智慧型數位保護電驛，除原本保護功能大有精進外，也附加了事故資料之紀錄，負載電流之量測，電驛自我故障偵測，遠端存取標置與資料等等，逐漸具有功能整合、維護週期長、存取資料靈活等特性以求最節省之成本達到系統保護之目的，慧型保護電驛其所具有之優勢，實為傳統舊型電驛所不能及。

藉由本次參加國際性保護電驛工程師會議，能與來自世界各大電力機構、電驛設備廠家及學術機構之人士交換寶貴意見，並吸取新式保護電驛相關資訊。

智慧型保護電驛配合數位通訊媒體介面或光纖電纜之運用，具有線路全段快速跳脫保護之功能外，更因資料存取容易、附加功能多、維護週期長等優點，實為將來發展的主流。

日後即將引進數位型差流保護電驛並運用於輸電線路保護上，藉以取代本公司目前使用於輸電線路保護之傳統電驛；為使本公司輸電線路保護系統之規劃運用更為靈活、維護工作更為簡化，其藉此赴須電驛設備廠家研習之機會，吸取該電驛未來發展方向並對其特性、原理有更深入之認知與了解，方能發揮其最大功效，確保供電安全、系統穩定。

貳、行程說明

日期	工作內容
91/4/7~91/4/8	往程（台北→洛杉磯→達拉斯→College Station）
91/4/9~91/4/11	在 College Station 出席第 55 屆保護電驛工程師會議
91/4/12~91/4/13	行程（College Station→達拉斯→西雅圖→Pullman）
91/4/14~91/4/18	在 SEL 公司研習 SEL-421 智慧型測距電驛
91/4/19~91/4/20	返程（Pullman→西雅圖→台北）

參、第 55 屆保護電驛工程師年會文章介紹

本次年會是在美國德州農工大學內舉行，為期共三天，參加成員來自世界各國從事保護電驛工作的電力事業人員及廠商，人數約有兩百多人，是保護電驛界裏最大的年會。會議內容包羅萬象，有保護電驛理論的整理介紹、實際事故的分析檢討、電力事業問卷調查說明、新發表的保護方法、各種保護用通訊協定的介紹、保護系統中常見問題及迷思、電驛未來發展方向的說明以及相關標準的討論，總計約有二十多篇文件發表。同時在旅館內，也有十多家電驛廠商舉辦新型電驛展示會，不僅內容豐富，也可與來自世界各國的專家進行面對面深入且互動式的討論，對電驛目前的發展趨勢可有廣泛的認識，實為一難得的學習機會。

在此將介紹部份會議內所發表的文章，以供台電未來保護系統建置時參考。

第一篇：多串式無熔絲電容器組的完整保護

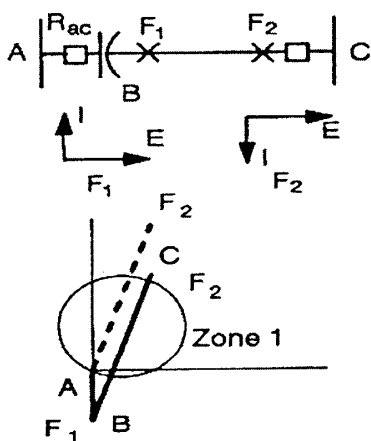
一、摘要：

在電力系統內大型無熔絲電容器組的使用趨勢包括：

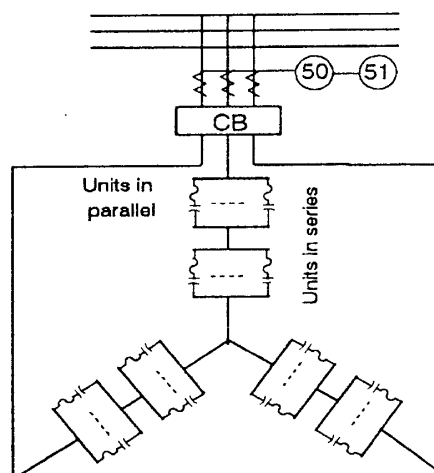
1. 減低成本
2. 簡潔設計
3. 減少元件數目以提供較高的可靠度
4. 減低的事務損失

本文提出一個新式的架構，針對無容絲電容器串量測其阻抗值的方式，來保護電容器組。當電容器單體發生故障時，可明確標明出故障的電容串，有效縮小檢修的範圍，並可累計各串電容組的單體故障數目，提高電容器組的使用率。

電容器組在電力系統的使用上可分為：串接於傳輸線上(圖一)及



圖一：R-X diagram with a series capacitor.



圖二：Shunt Capacitor Bank

並接於匯流排上(圖二)等兩種方式，其目的修正傳輸線的電抗值以改善穩定度及功因。

二、並聯式電容器組的傳統保護方式

目前台電的電容器組使用圖二所示的架構，其先將各電容單體(unit)並連成電容群(group)以增加容量，再將各電容群串聯以符合所需的電壓額定值，中各單體皆須使用 fuse 保護，整個電容器組再以 50+51 以及逆向序偵測的方式作保護。在其他國家通常電驛也會對平衡電壓進行偵測，三相分別利用一組 PT 檢視第二群對地的電壓值是否在容許的範圍內。

三、無熔絲並聯電容器組

無熔絲電容器組的架構則是先將單體串接成電容串(string)，再將電容串並接至所需的容量，如此一來可省去保險絲及保險絲座等元

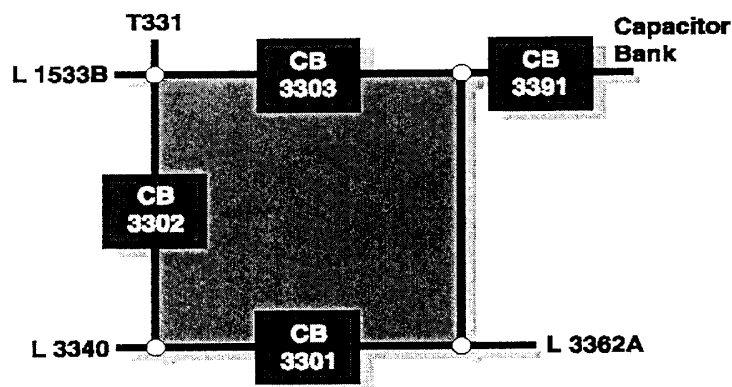
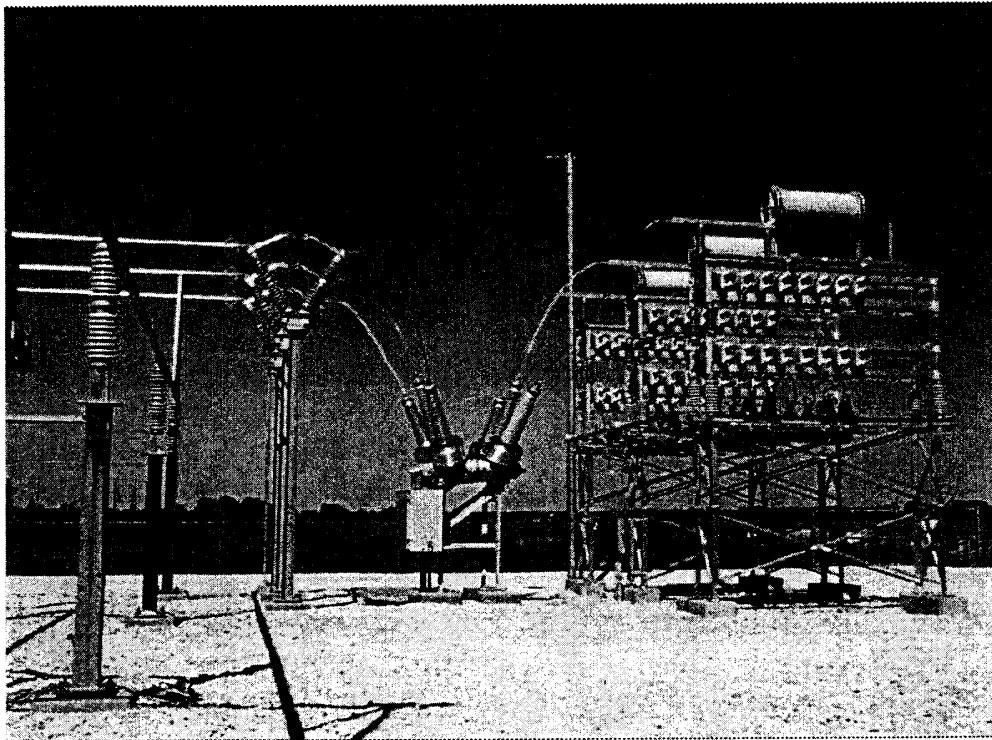


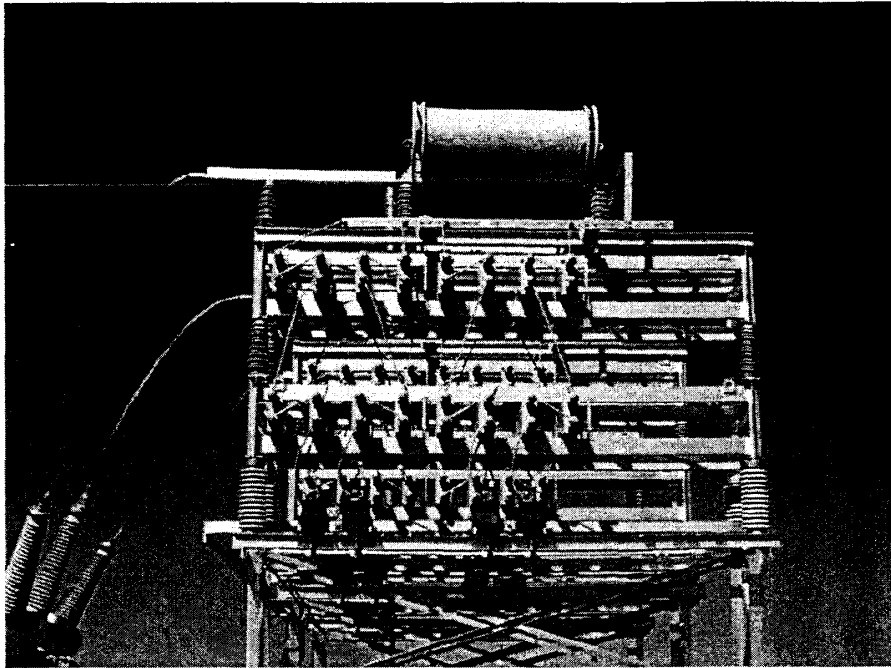
Figure 1.
Circuit breaker 3391 (center) and capacitor bank (right).

圖三：33rd & Superior 變電站單線圖

件，同時也因為空間的精簡，使的電容組容量最大可達到 75Mvar，而電容串的數量可彈性依需要逐步擴充。底下舉一個實際運用的例子：在 33rd & Superior 變電站(單線圖如圖三)裝設無容絲電容器組(圖四)，R 相的照片如圖五，各電容串需透過一中壓的 CT 連接到中性點匯流排，照片右方空白處則是供未來擴充時使用。



圖四：CB3391 及電容器組



圖五：R相照片

位於最上方的電抗器是用來減低當有近端事故或 CB 同步投入時所產生之 Outrush ($I_{peak} * frequency$)。電容組每相各由 8 個電容串組成(可擴充到 12 串)，每串包含 4 個金屬桶(can)，每個金屬桶額定為 17.25kV, 550kvar，總電容量在 69kv wye/119.5kv 為 52.8Mvar(可擴充至 79.2Mvar)。每個金屬桶內由 9 段(sections)兩兩並接的電容單體串接所組成，故每一相各有 288 段($9*4*8$)。

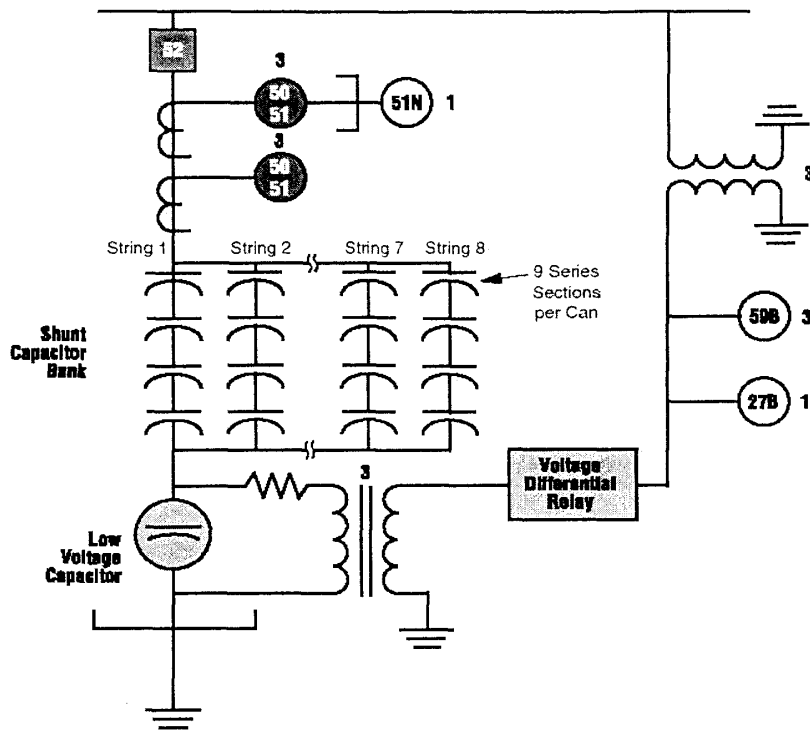
四、典型的無熔絲電容器組保護架構

圖六為傳統的無熔絲電容器組保護，對一組 Y 接中性點接地電容器組採用電位差的保護方式。此方式可指出故障的相別並且不受系統電壓不平衡的影響。

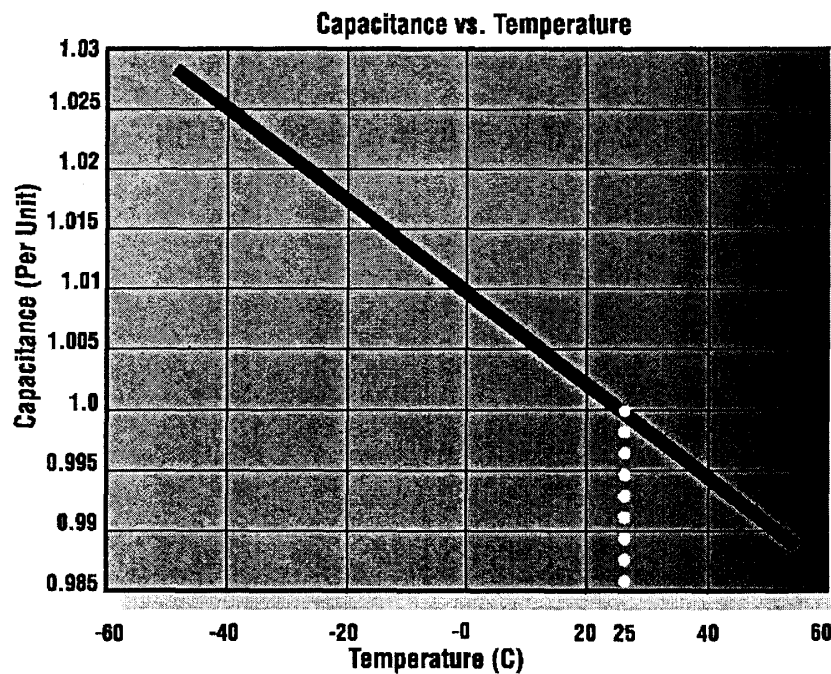
正常時，各相的電流約 251A，平均每個電容串為 31.4A，當有某段電容因故障短路時，該故障串的電流升高到 32.3A。這個故障電容串多出來的 0.9A，僅造成 0.36%相電流的增加以及 0.36%的電位差，這個電位差在 BUS PT 有可能因為 Burden 改變精確度的情況下是非常難以明確偵測的；而該故障段卻造成了同串內的其他電容段電壓提升了 $36/35-1=2.9\%$ ，通常當各斷電容的電壓到達正常值的 110%時就應該將電容器組跳脫。

另外一個考慮是溫度對電容值所造成的影響，在 Nebraska 這個地方，氣溫可從 -44°C 到 $+48^{\circ}\text{C}$ ，總共有 92°C 的變化範圍，這將造成電容器容量約 3.5%的變化(如圖七)，其所造成的電位差也有可能使電驛誤判定為某一段電容器發生故障。

利用電位差的保護方式，當在不同串電容器個別有某段電容發生故障時，雖然所有的正常電容段電壓都尚未到達 110%，但卻會引發不必要的電驛動作。



圖六：典型的電壓比較電容器組保護方式



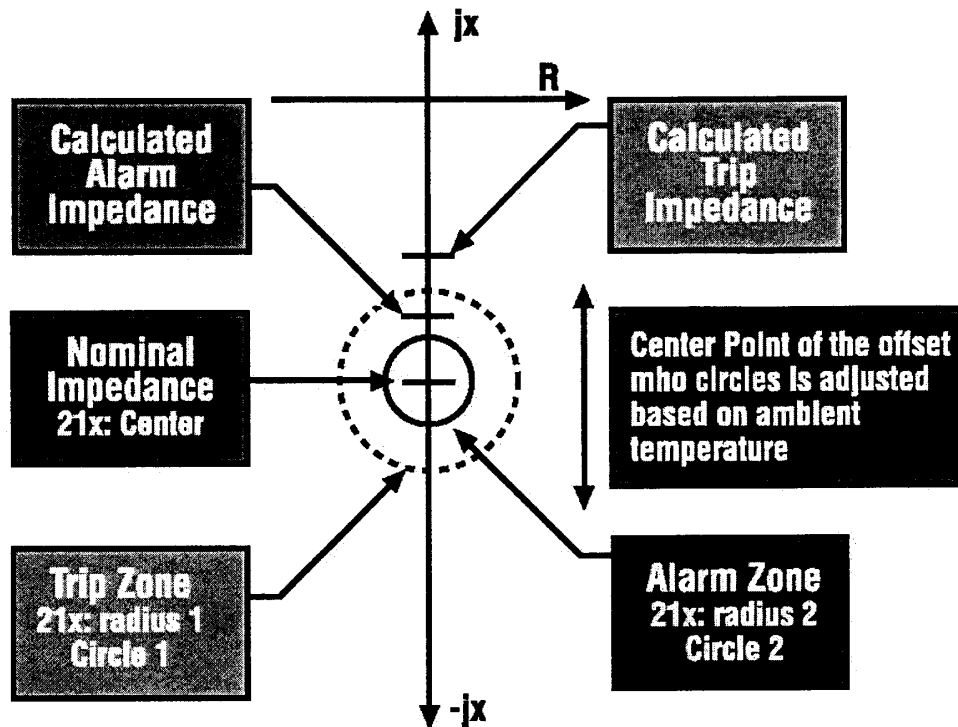
圖七：電容值與溫度的關係

五、使用阻抗法提供完整的電容器組保護

阻抗法是一種高靈敏度的保護方式，透過量測電容值的改變量，可指出故障的電容串，而非僅指出故障的相別，如此便可縮小故障後檢測單體的範圍及時間。同時本架構對系統電壓不平衡及 Self-canceling 效應具有免疫力。再配合溫度感測器來調整溫度所造成的電容量誤差，實可謂一完整的保護方式，主要優點如下：

1. 當不同串個別有電容段故障時，電容組能可使用。
2. 可指出引發警報或跳脫的故障向及故障串。
3. 具有段路器失靈保護。
4. 過壓、欠壓及過流保護
5. 現有的電驛可擴增達 10 串電容的保護。
6. 外加一只電驛可擴增達 10 串電容的保護。
7. 系統擾動時可利用 Over/Under Frequency 功能暫時閉鎖測距功能，以免造成 Cascading trip。

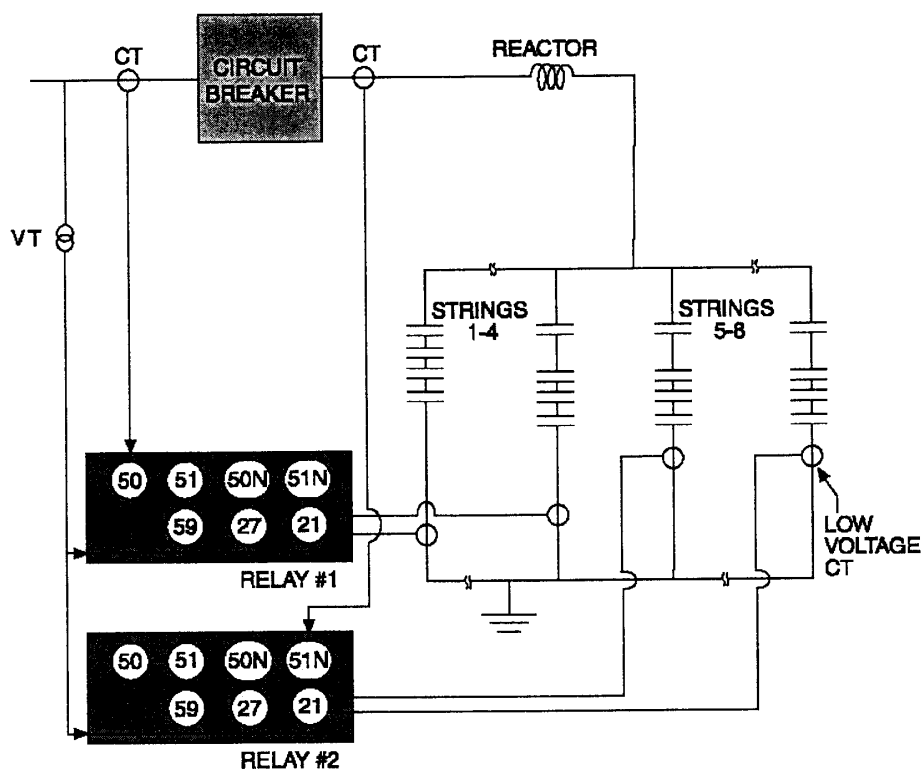
阻抗法利用 Bus PT 及各串電容內之電流來計算阻抗值，因 Combined losses 及新式薄膜式電容(all-film capacitor)誤差都很小，故可假設其阻抗值為 $-jX_c$ ，此值可從電容器組的銘牌上得到初始的標置值，其測距特性如圖八。



圖八：阻抗法電容器阻保護特性

本方法造成誤差的因數包括：電容器製造商的誤差、PT CT 的誤差以及 RY 量測的誤差。這些誤差可利用實際加入系統後的測量值來修正原先利用銘牌所得的標置值。

溫度感測器提供了 4-20mA 的電流，用來修正標置的中心點，低溫時電容值會變大，標置點會向原點靠近。當同一串電容中有一個段以上發生故障時，電驛會發出警報；當同一串電容中有四個段以上發生故障時(其他段電容加壓達 112.5%)，電驛會發出跳脫訊號。



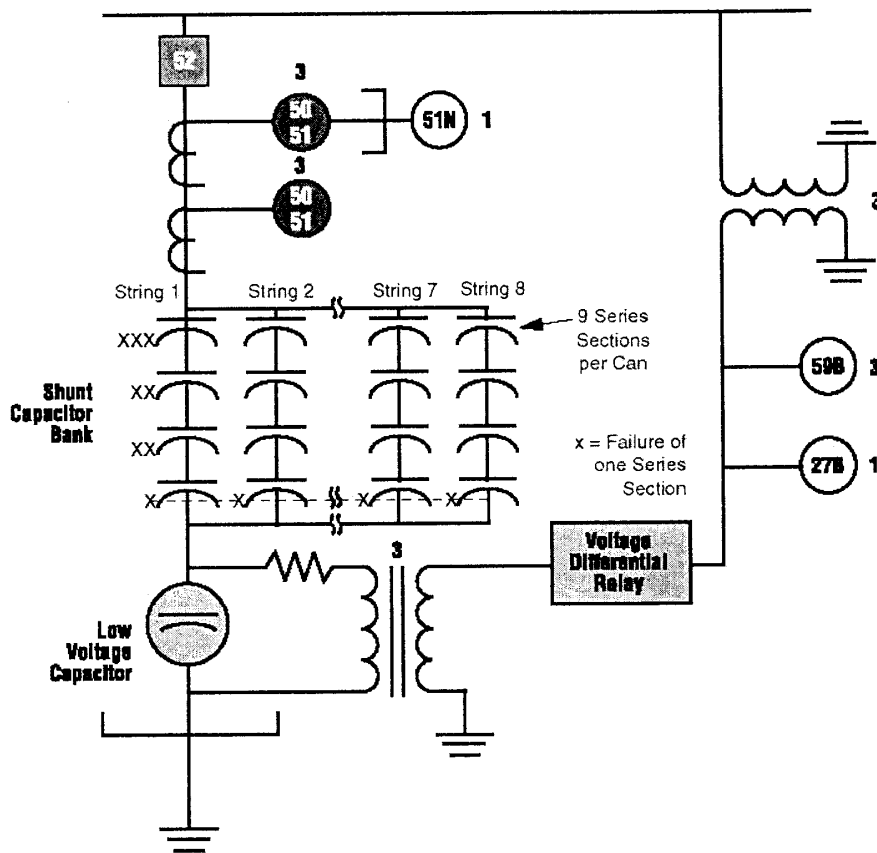
圖九：阻抗法的電容器組保護

六、阻抗法應用細節

圖九為阻抗法的保護架構，此架構共需 30 個類比輸入通道，包括 $8 \times 3 = 24$ 個串電流輸入、3 個電壓輸入以及三個後衛過電流所需的電流輸入通道。因目前電驛僅有 21 個輸入通道，每只電驛僅可提供 5 個電容串輸入信號，故使用兩只電驛來建構此系統，而預留兩個電容串的擴充空間；若是要擴充到 12 個電容串時則需加上第三只電驛。

後衛保護暫包括：Loss of Voltage 時可將 CB 跳脫，以防止復閉時的暫態現象；延遲電容器組投入，以提供足夠的電容器放電時間；斷路器失靈保護；系統擾動時可利用 Over/Under Frequency 功能暫時

閉鎖測距功能，僅留下後衛過流保護以免造成 Cascading trip。



圖十：分散式故障 和 累積式故障

七、本篇結論

本系統已實際從 2000 年 8 月開始使用至今，該阻抗法亦曾成功運用在非接地的電抗器阻上。其優點如圖十所示，當故障段的電容不再同一串上時(分散式故障)，電容器組並無立即的危險，此時僅會發出警報，電容器組仍可使用；當故障為累積式發生於同一串電容器組時，電驛則可正確的動作。此架構尚可指示出正確的故障電容串，有

效減少維修診斷時間，電容組的容量役具有擴充性，這些都是電位比較方式所無法做到的。未來將強的方向包括：在不增加成本的情況下，可對各串電容增加過流保護的功能；以及添加自動電壓及 Var 控制邏輯演算法，以允許電容器組投入或切離系統時的判斷條件。

第二篇：遠端存取電力系統保護及控制設備時的攻擊及防禦工具

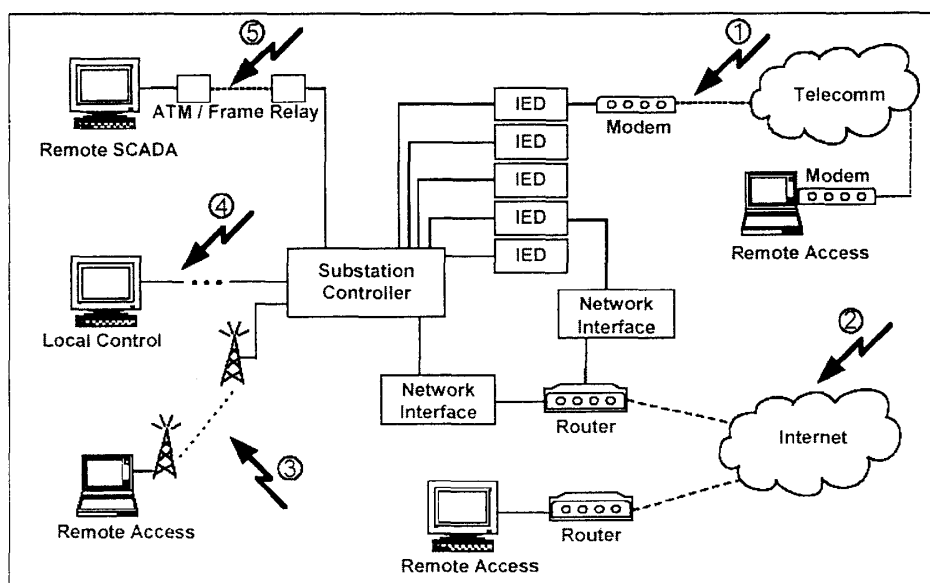
一、摘要

在電力系統不斷的提高自動化及遠端存取能力的同時也增加了遭受駭客攻擊的可能性。不論是對個人、組織或是任何在情緒上或政策上與我敵對的國家而言，電力系統的基本設施都是具有很高的價值。所幸同樣的攻擊模式已經在電信公司及電子商務公司上演了許多年，我們可以從那裡獲得許多寶貴的經驗。

許多的防禦工事可以用來減少駭客所造成的危害，包括：1. 密碼保護，2. 審核簽入，3. 多層式存取，4. 警告條件，5. 遠方認證，6. 冗長式控制，7. 愈時通訊參數，8. 病毒防護，9. 防火牆，10. 加密，11. 指揮偵測系統，等等。許多的工具是免費的而且廣為流通於 Internet 上，在此本文將其供許多工具，用來防禦駭客的每一個攻擊步驟，但是我們依然必須體認到沒有任何系統是百分之百的安全，唯有時時保持警戒才能確保我們電力系統的安全無慮。

二、電子式遠端存取的弱點位置

在圖一中假設變電所各式各樣搭方法經由本地或遠端來存取變電所內的資料，其中標號①到⑤則是駭客們可能的入侵地點，包括①透過電信局經由數據機存取②透過 Internet 經由公眾網路存取③由無線網路進入④所內的私人網路線⑤向電信局租用的專線。



圖一 ire 1 Electronic Access Vulnerabilities

駭客攻擊程序的解析

在攻擊行動之前，駭客們通常會審慎的選擇標地物，在此假設其攻擊的目標是瓦解、停滯或操控我們的 SCADA 及網路資產，我們可以知道期通常需要依序進行偵查、掃描、分析與破壞等步驟。

1. 網路偵查期: 古話說：『知己知彼，百戰不怠』首先攻擊者將開始收集資料，藉由對我們系統的了解，來進行後續攻擊的參考，收集的內容包括：

- ✚ 員工姓名及電話號碼：駭客可以喬裝成系統維護或管理人員，撥打電話給公司員工，用來騙取進入系統所需的密碼。
- ✚ 公司及附屬物所在的精確位置：可用來分析你實際網路佈

線的位置，網路的佈線通常會受到地形地物的影響，攻擊者可由此對網路進行破壞活動。

- ↓ 公司所擁有的 IP 位置區塊：在 Internet 上所有的 IP 位置都是向 InterNIC (Internet Information Center) 及 ARIN (American Registry for Internet Numbers) 申請的，在此任何人都可以查到你的註冊資訊，內容包括 IP 位址、你的 Domain names、聯絡人的相關資料等等。
- ↓ 著名 DNS 站台的列表：DNS 是用來提供 IP 位址和文字型式位置(e.g., www.taipower.com.tw)之間的轉換，侵入者可從這裡獲得大量的網路組態資料。
- ↓ 公司的電話號碼表：目的是找出有數據機連接的號碼，這也是市一個連接上公司內部網路的方法。
- ↓ 公司所使用的網路設備及軟體：可以利用特定的設備或軟體本身的缺失來進行攻擊。

2. 網路掃描期：進行完初步的資料收集後，下一步便是確認出實際上所使用的 IP 及連線資料用的電話號碼。在網路層中，每一片網路卡都有一個 IP 位置，IP 就好比人類世界中的街道名；而在傳輸層中，則使用 Ports (sockets: 0~65535) 來指定出街道內特定的居民，攻擊者可以利用特定的程式來掃描確認出實際上所使用的中的 IP 位置及

連線資料用的電話號碼，常見的程式如下：

1. Sniffing：接收並開啟任何你所指定的封包(如圖四)
2. Ping Sweeper：用 ICMP 的 echo 指令查活的 IP
3. Port Scan：查 IP 中所使用的 PORT 及協定(如圖二)
4. War dialer：打電話查哪個號碼有接到數據機

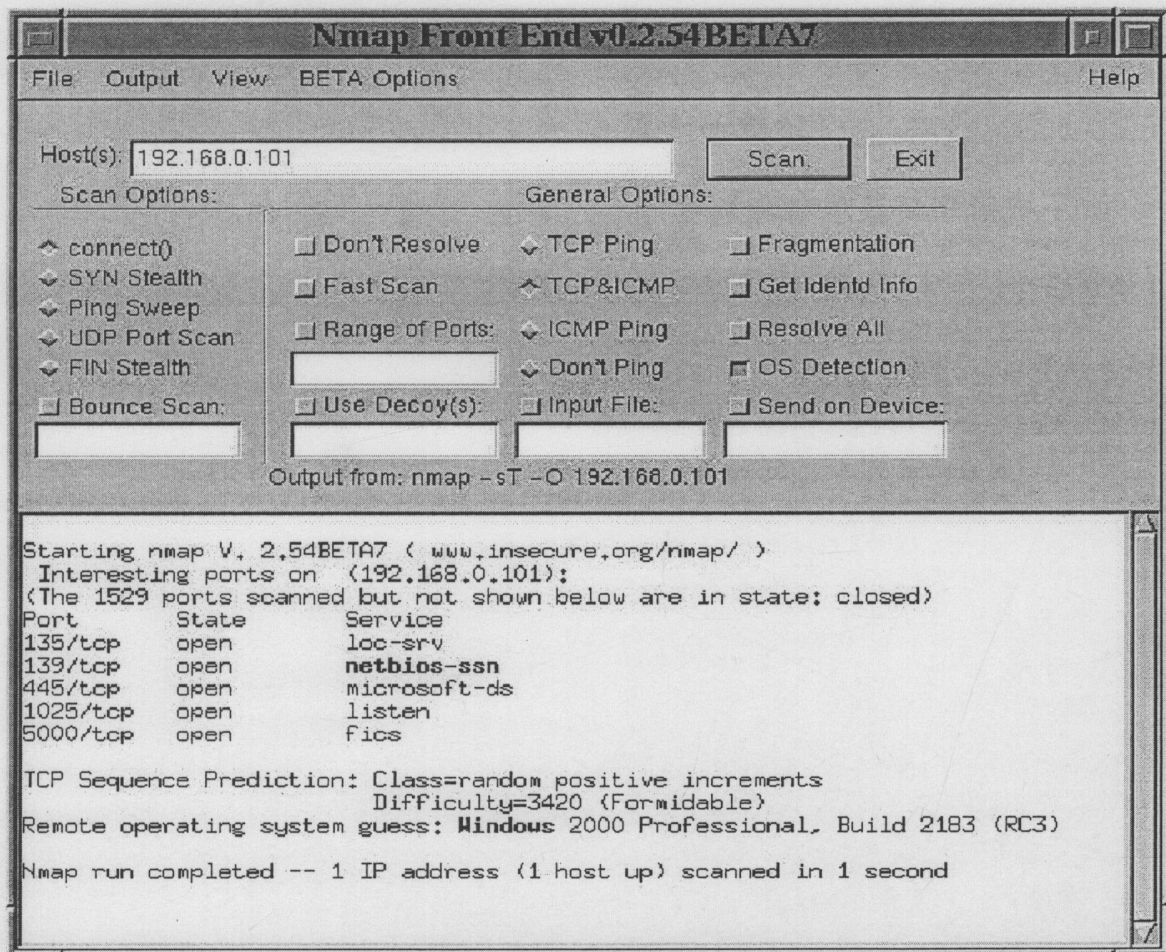


Figure 2 Port Scanning Tool

三、進行阻礙服務式攻擊(DOS: Denial of service)

當攻擊者查得特定的網路服務上線時，攻擊者可以開始進行惡意的攻擊，為求癱瘓該服務的功能，攻擊者使用一大堆偽造的信號，耗盡 Server 的資源，使正常的通訊無法進行，其常用的工具如下：

1. Smurf: 送大量偽造的 ICMP echo 信號給 TCP SERVER
2. Fraggle: 送大量偽造的 ICMP echo 信號給 UDP SERVER
3. SYNflood: 送 SYN 信號給 TCP SERVER 要求連線，但並不完成三段式連線程序，SERVER 因為有一堆半開的 TCP 連線而過載。

四、破解密碼並取得控制權

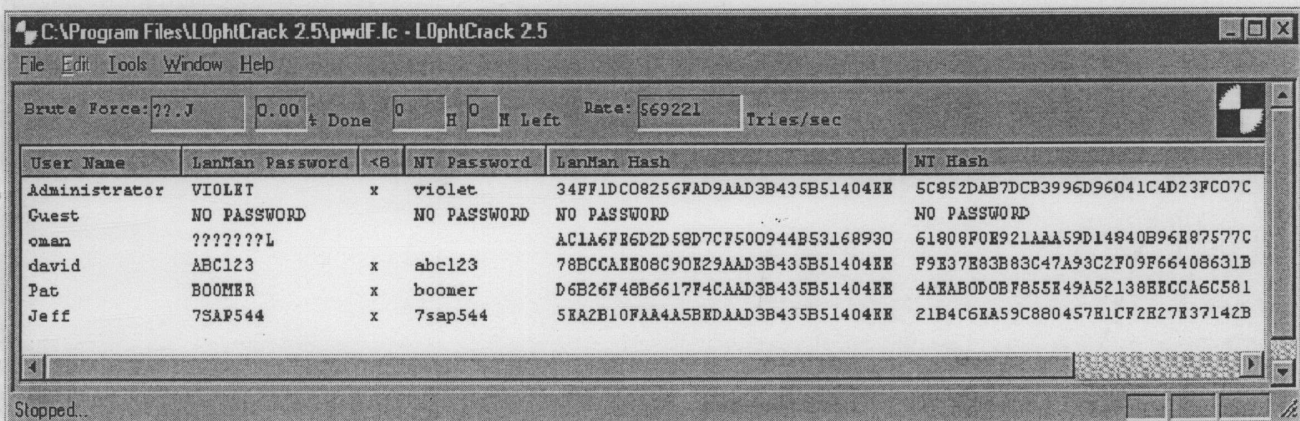


Figure 3 Password Cracker

攻擊者在檢測出特定使用中的服務後，也可利用如圖四的封包檢視程式來開啟傳送的封包內容，用以從明文中猜測出密碼，因為有部分網路的通訊協定是使用明文來傳送密碼資訊，如 TELNET 及 FTP 等。

又如早期 UNIX 作業系統將所有使用者的密碼加密後放置在某特定檔案內，攻擊者可利用如圖三的解密程式，反解譯出密碼使用。

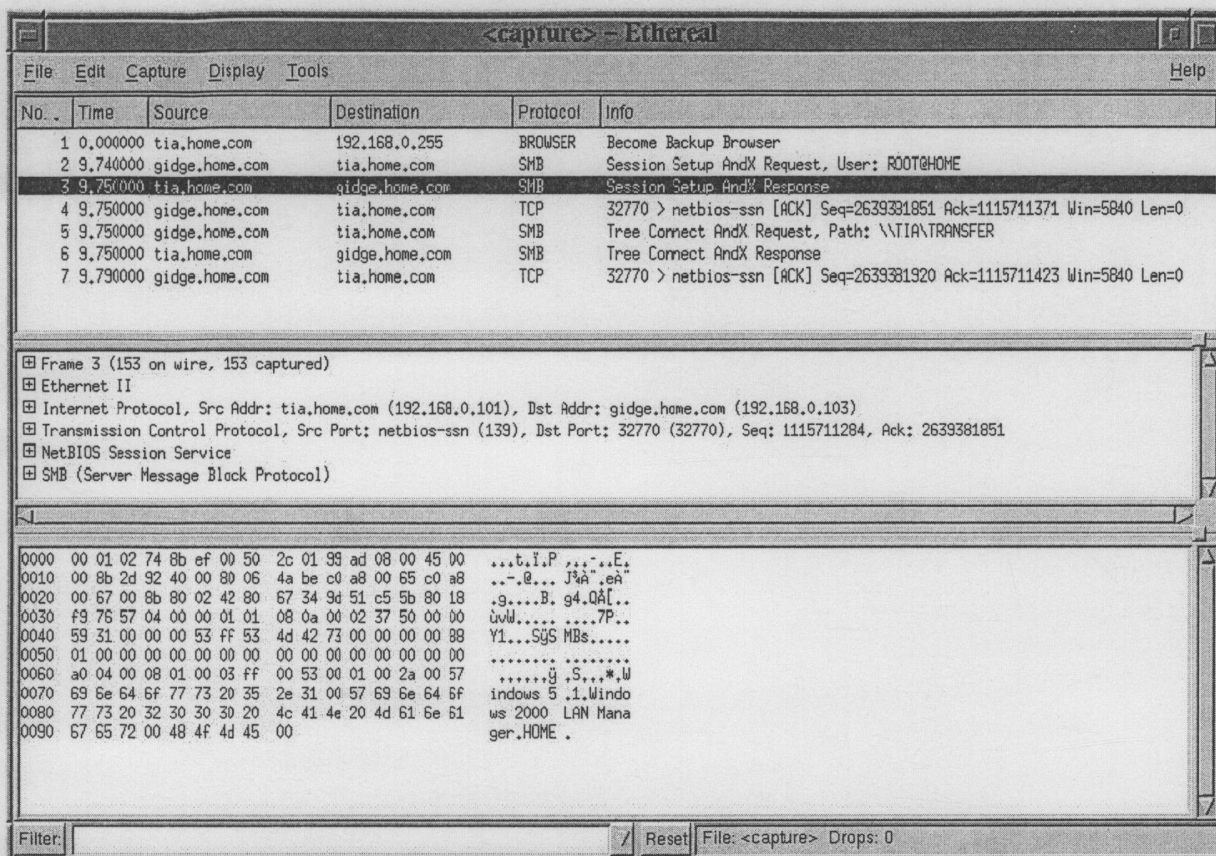


Figure 4 Network Sniffer

目前常見的攻擊程式如下：

1. Lopht Crack: 用來破解 Win NT 及 Win 2000 的密碼檔
2. Sniffing: 用來竊看或修改網路訊息封包內容的程式
3. Hunt 及 Ettercap: 本程式不需要知道使用者的密碼，其作法為在 Session Layer 先監聽一組通訊中的正常連線，在利用 sniffing 功能 Re-Route 該連線使其經過該駭客，最後再偽造並竊佔與 HOST 的連線，而正常 USER 的部分則會被中途斷線。
4. Back Orifice: Windows 平台的木馬及後門程式，該程式可完全遠端遙控操作讀寫指定 IP 上的所有 Windows 資源。:

五、防禦工事

1. 慎選你的密碼，密碼通常為六個字以上，並混合了大小寫及數字，避免使用常用字，或個人資訊如生日或姓名等。
2. 加入 Channel time out: 當 5 或 10 分鐘使用者無任何操作時，將該連線斷線(如圖五 a)。
3. 加入 Bad password dely: 當密碼輸入達三次錯誤時，系統停止簽入動作 30 秒或 1 分鐘，甚至將該電話斷線(如圖五 b)。

<pre>*ACC Password: ? @@@@@@ Date: 02/13/02 Time: 10:05:59 Level 1 *>ID SEL-2030-R114-V0-Z001000-D20010619 *>TIME 10:06:08 *> NO CARRIER (a) Communications Processor Time-out</pre>	<pre>*ACC Password: ? @@@@@@ Invalid Password Password: ? @@@@@@ Invalid Password Password: ? @@@@@@ Invalid Password Access Denied WARNING: Access by unauthorized persons strictly prohibited. NO CARRIER (b) Bad Password Disconnect</pre>
--	---

Figure 5 Login Time-Outs and Disconnects

4. 除密碼外另增加認證裝置(如圖六)

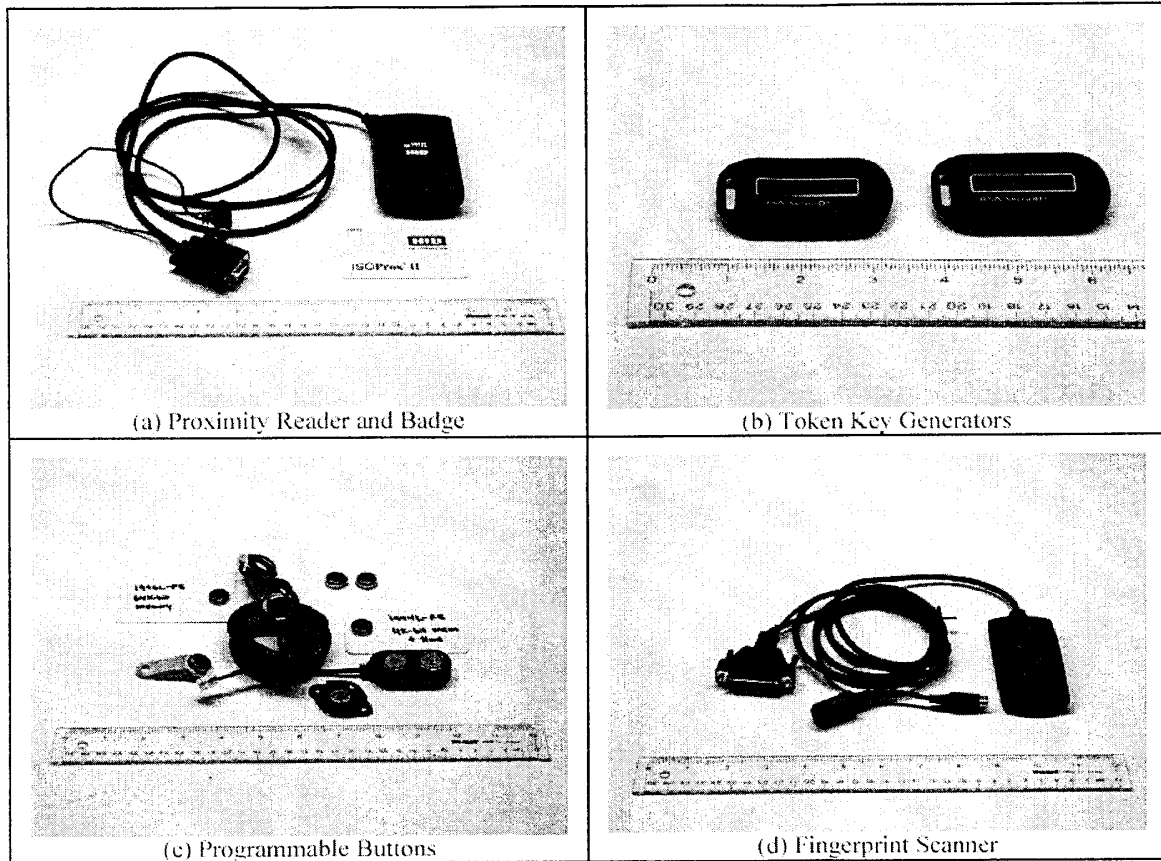


Figure 6 Low Cost Authentication Devices

5. 增加加解密裝置(如圖七)

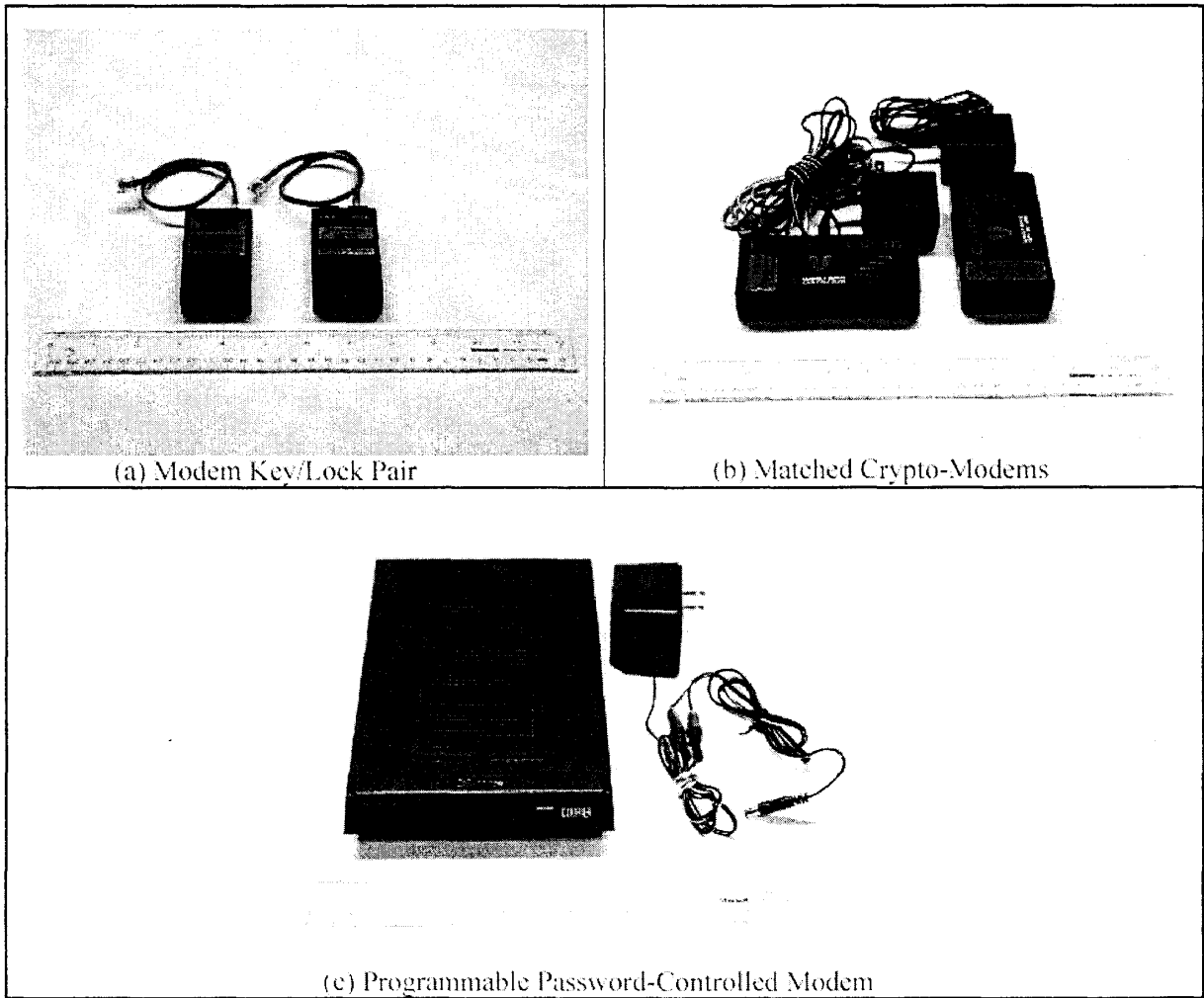


Figure 7 Low-Cost Secure Modem Devices

6. 使用 Modem Dial-Back 技術(如圖 8a)

<pre> AT OK ATDT 3321890 CONNECT 33600/ARQ Modem Security Session Password (Ctrl-C to cancel)? Proceeding With Dial Back Security NO CARRIER RING RING CONNECT 33600/ARQ *ID SEL-2030-R114-V0-Z001000-D20010619 * </pre> <p>(a) Password Controlled Dial-Back</p>	<pre> AT OK ATDT 3321890 CONNECT 33600/ARQ Modem Security Session Password (Ctrl-C to cancel)? Invalid Password! Password (Ctrl-C to cancel)? Invalid Password! Password (Ctrl-C to cancel)? Invalid Password! Access Denied NO CARRIER </pre> <p>(b) Bad-Password Disconnect</p>
---	--

Figure 8 Example Secure Modem Connections and Disconnections

加強後的變電站通訊系統將由圖一變成圖九的形式。

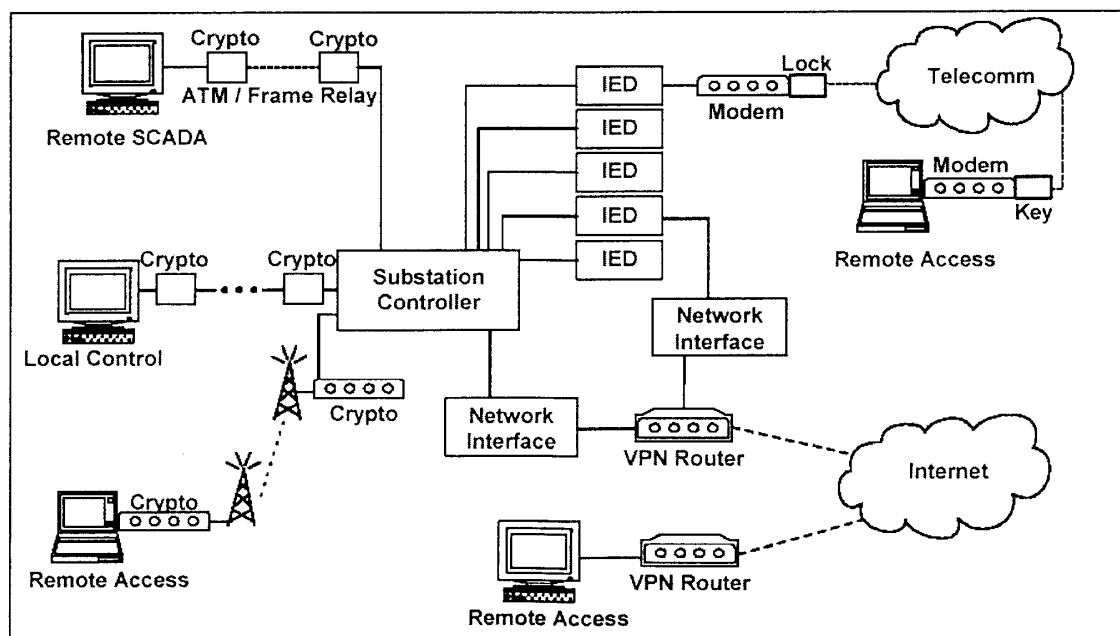


Figure 9 Securing Substation Communications

另外對於企業級的網路系統，當其資訊需透過網際網路傳輸時，多採用 VPN(虛擬企業網路)的方式，以及防火牆的防護措施(如圖十)。

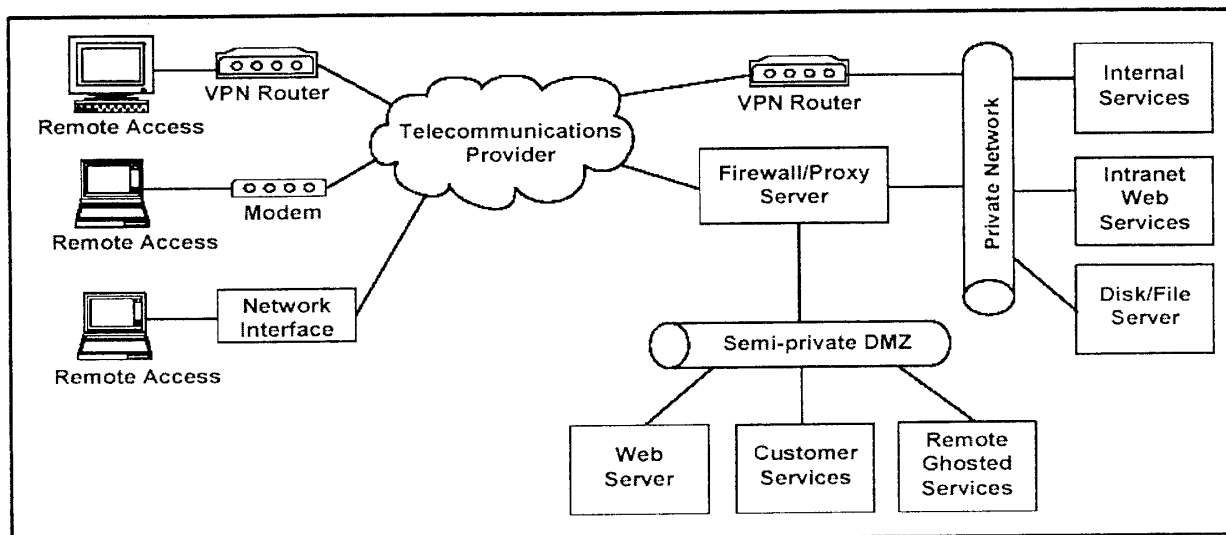


Figure 10 Securing Enterprise IT Systems

駭客在早期對於攻擊電信系統交換機有非常多的經驗，許多高明的駭客可以將交換機內的電話線路轉接到自己的電話上，當我們需要透過電信業者利用公眾電話網路(圖十一)時需提防到這一點，所以最好將傳送出去的訊息都予以加密，以防止駭客的竊聽。

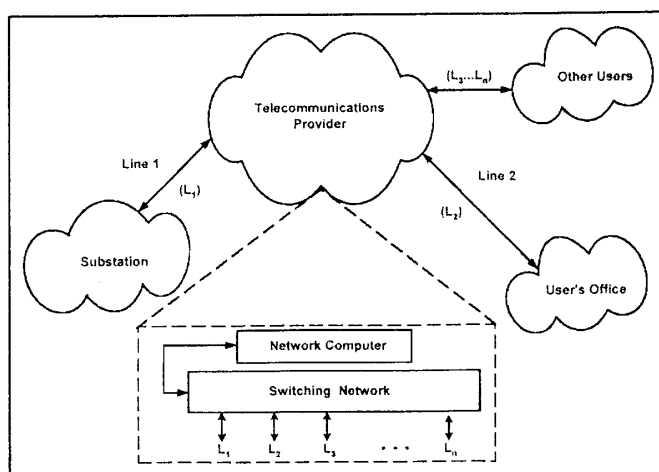


Figure 11 Hacking Telecommunications Provider's Switchgear

目前網路上已有一些系統弱點的分析工具，可以用來檢測系統的安全度，並提供必要的建議，如圖十二即為檢測的畫面。

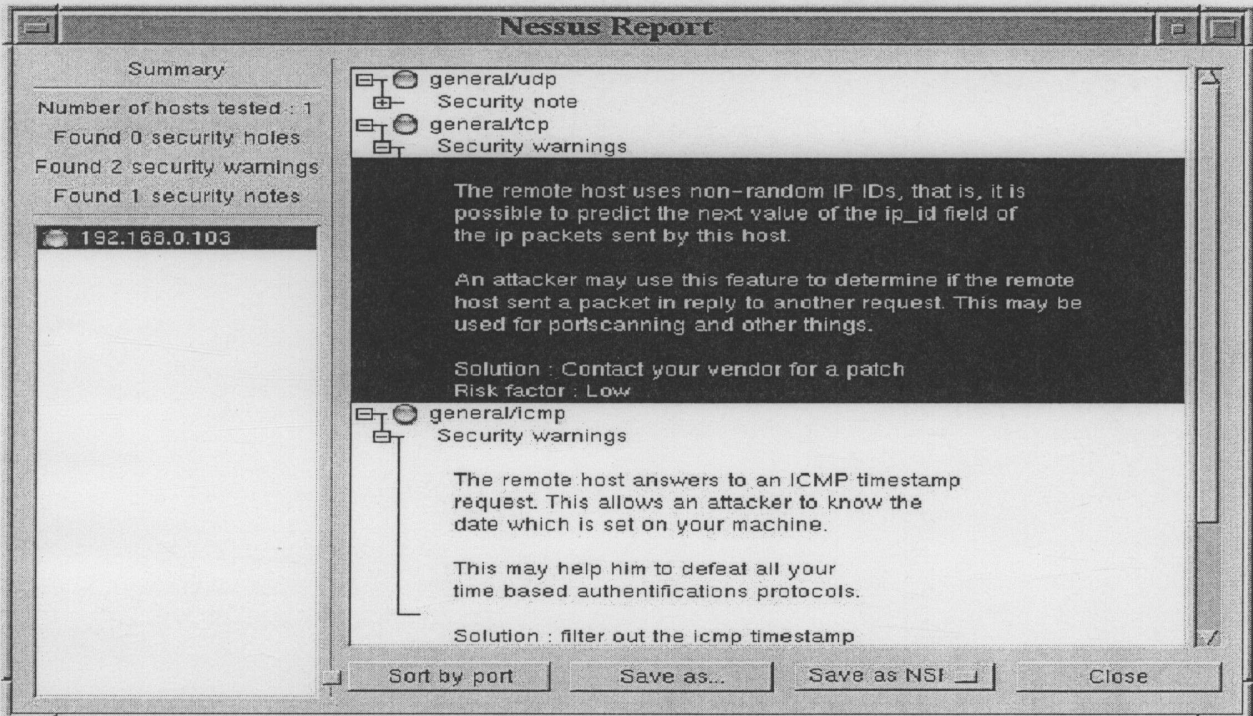


Figure 12 Example Network Vulnerability Analysis Tool

六、本篇結論

現代的電力控制及保護系統都將離散式的整合系統視為基礎的配備，當整合度與自動化越高的同時，一方面使遠端存取資料變得更為容易，另一方面被侵入的危險也越來越高，有效的做好必備的防禦工事，時時保持警覺，才是防止駭客的不二法門。

第三篇：電力線載波副線保護系統

在高壓輸電線保護裏，Pilot 保護系統相較於過流或測距的優點是非常明顯的。目前系統上所使用的 Pilot 系統多是使用測具^{距離}電驛的方向性來作比較，而另一種相位比較方式的 Pilot 系統如 HKB 及 SKBU 等電驛則是在美國、英格蘭及蘇俄被廣泛的採用。該方式僅需電流的成分而且有最小的通信頻道需求。本文將描述基本的相位比較動作原理以及典型的運用。

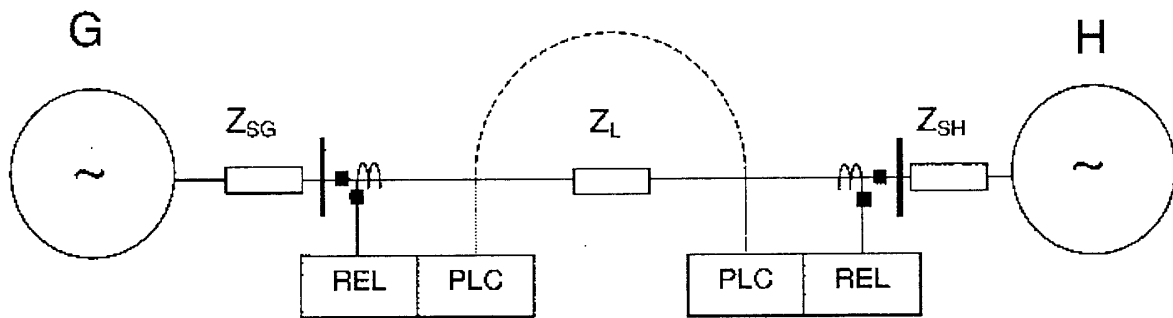


Figure 1. Pilot relaying over pilot line carrier

在保護系統中使用測距元件需考慮 SIR 比值，依 PSRC 對 SIR 的分類為：

$SIR > 4$	Short lines
SIR between 4 and 0.5	medium lines
$SIR < 0.5$	Long lines

當線路具有高 SIR 值時，電源端阻抗值高於被保護線路的阻抗值，如此將造成遠端和近端故障間電流差別較小，以至於測距電驛會

有事故點標定上的困難。

利用電力線載波來傳送通訊信號架構如圖一所示。電力線載波通常僅能傳送單純的 0 或 1 信號，方向性比較 Pilot 系統利用該信號來表達事故點在保護區段的內側或外側；同樣的相位比較方式的 Pilot 系統則是利用其來表達兩變電站間電流的相位關係。

利用差流的原理，簡易的比較兩變電站內電流的相位關係即可判別出事故是否發生於保護區段內(如圖二)。

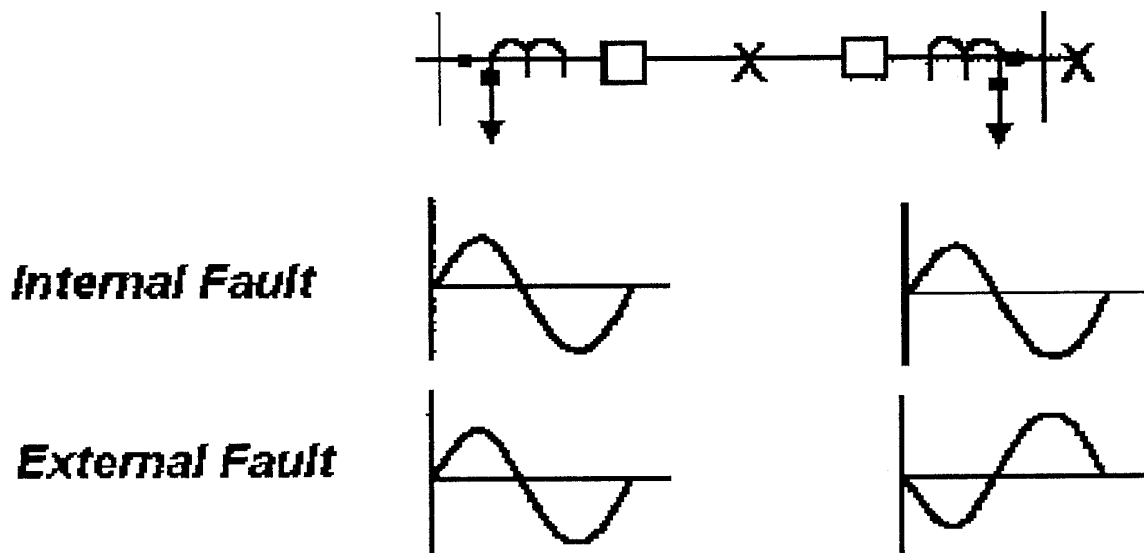


Figure 2. Line differential relaying

以下將列出部分事故時兩變電站的電壓電流波形比較。

兩相接地外部事故(ACG)

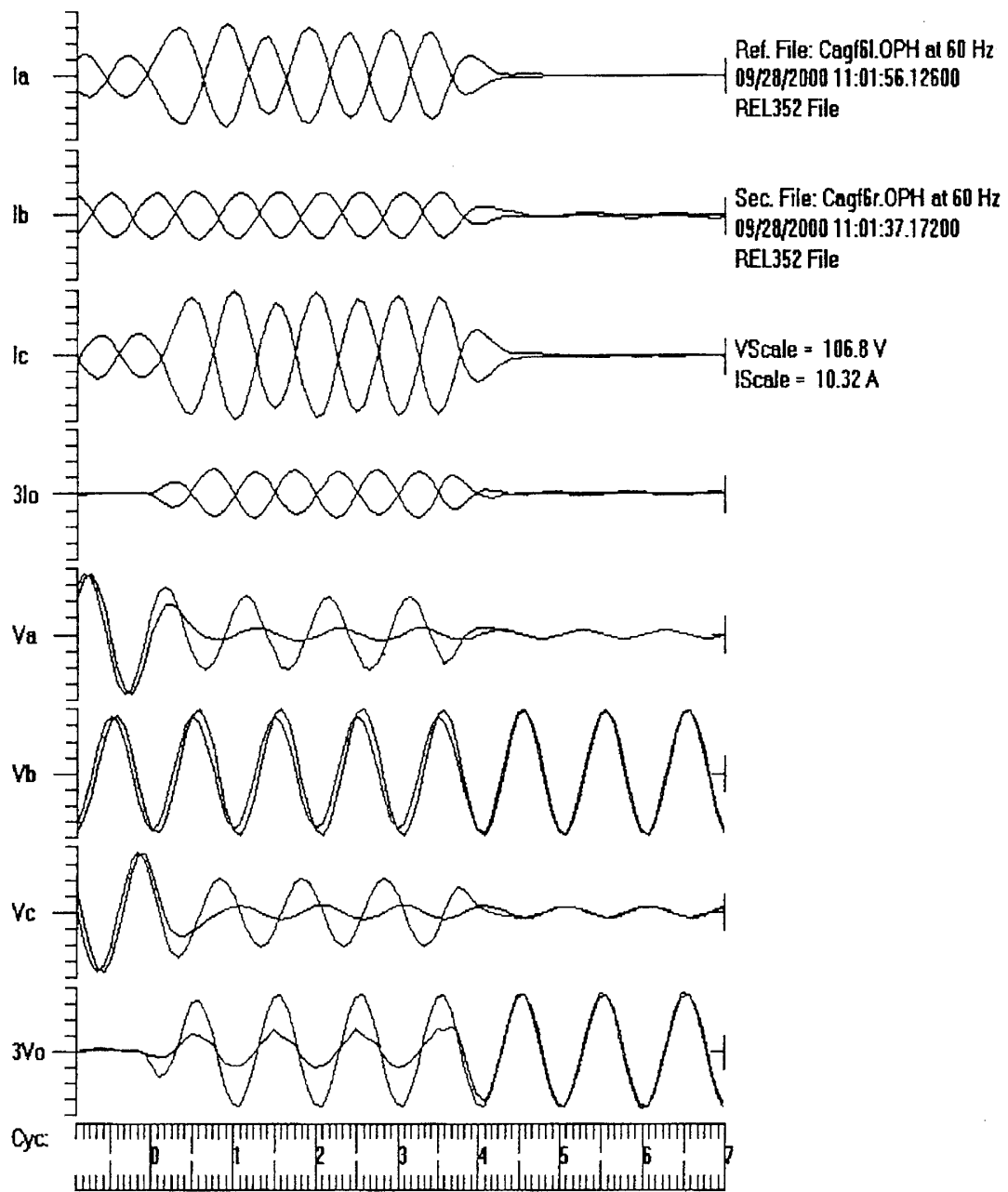


Figure 3. External fault

三相短路内部事故(ABC)

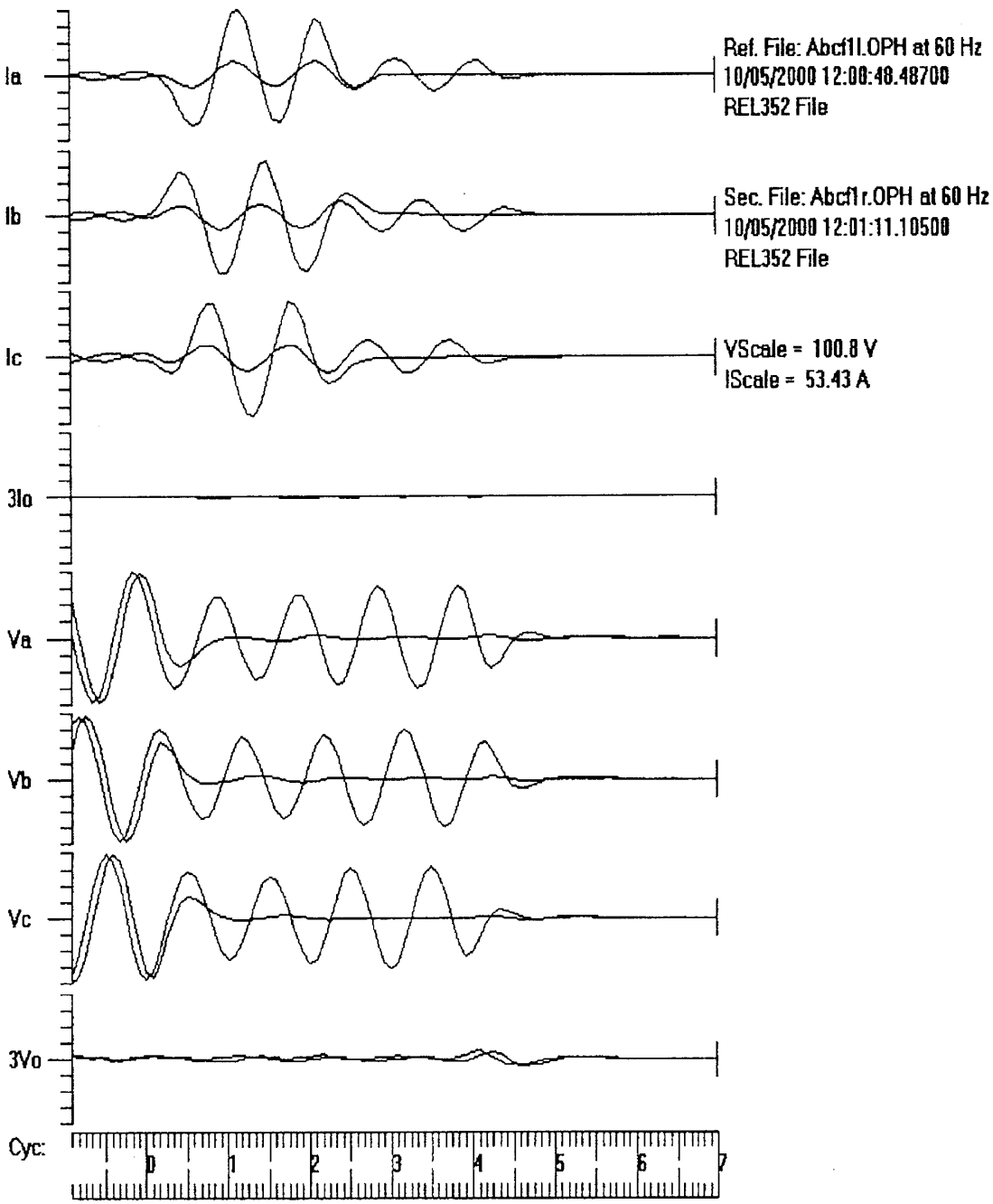
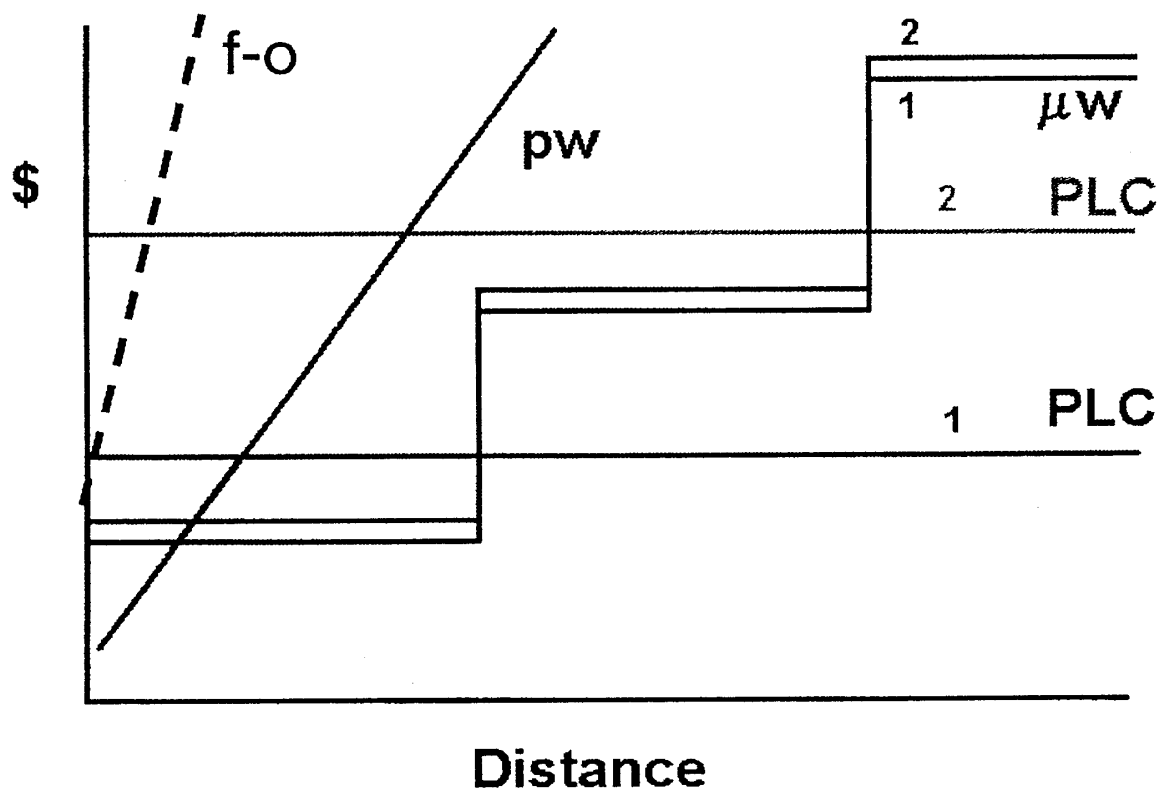


Figure 4. Internal fault



上圖表示兩變電站間各種通訊頻道成本的比較，

f-o:光纖介面，其成本與距離成正比，初期建置成本最高，且成本增加的速度最快。

Pw:副線系統，其成本與距離成正比，初期建置成本較低，但有距離的限制。

uW:微波系統，其成本與轉接站的數目成正比，但增加額外的通訊頻道時，成本增加不多。

PLC 載波系統，其成本與距離無關，因其利用電力線來傳輸訊號，當額外之家頻道時便需加倍的成本，但整體而言其成本仍為所有媒體中最低。

欲在電力線上傳送載波訊號，通常透過振幅調變(AM)或頻率調變(FSK)的方式來完成，如圖六即為用 ON/OFF 的 AM 方式來表示 0 及 1

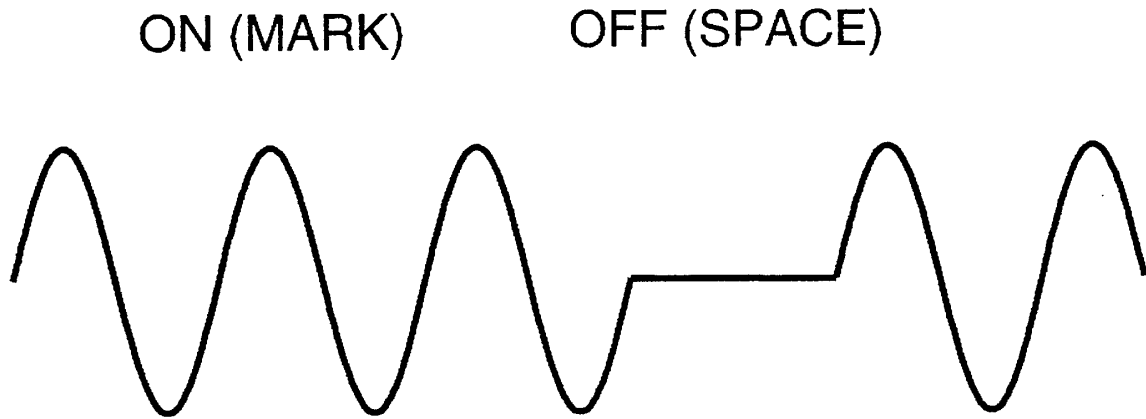


Figure 6. ON/OFF power line carrier

圖七是使用 FSK 的方式來表示 0 與 1

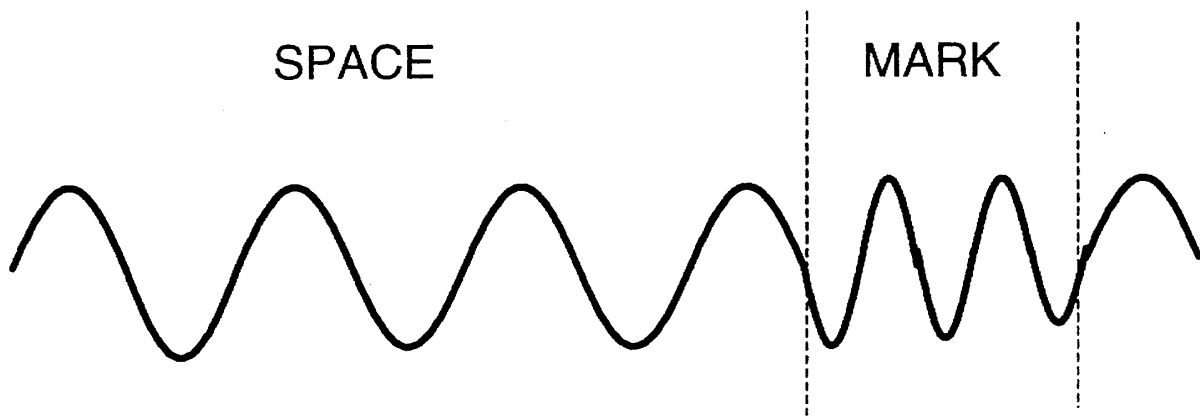


Figure 7. FSK power line carrier

在副線系統內有一種廣為使用的元件，名為相序濾波器(圖八)，其功能為將三相電流成分轉變成正向序 I_1 、逆向序 I_2 及零相序 I_0 成份的權重和 I_T ，其權重(C_1 、 C_2 及 C_0)則分別用來檢測三相故障、相間故障及接地故障。

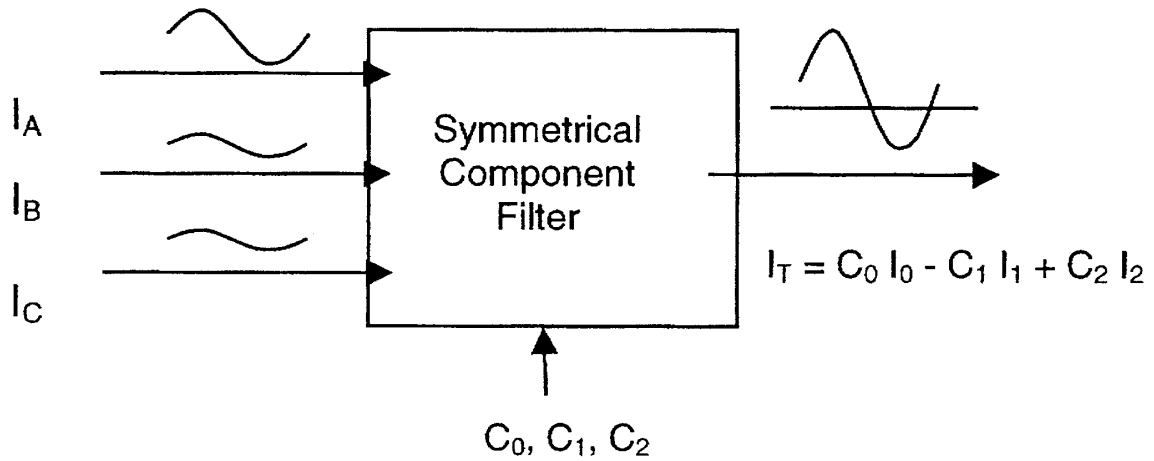


Figure 8. Sequence filter

當有如图九 a 的單相接地事故發生時，其 I_T 的輸出波形如图九 b 所示。

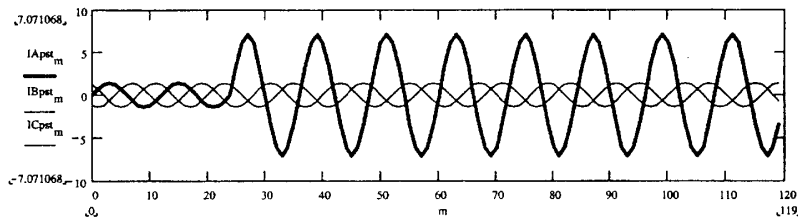


Figure 9a. Fault and load currents

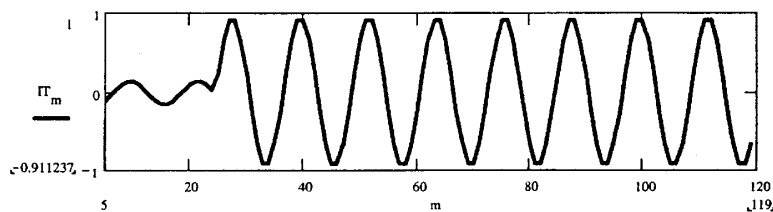


Figure 9b. Corresponding sequence current, I_T

在此將針對 I_T 波形將其轉換成 0 與 1 的信號，其相關位準如圖十

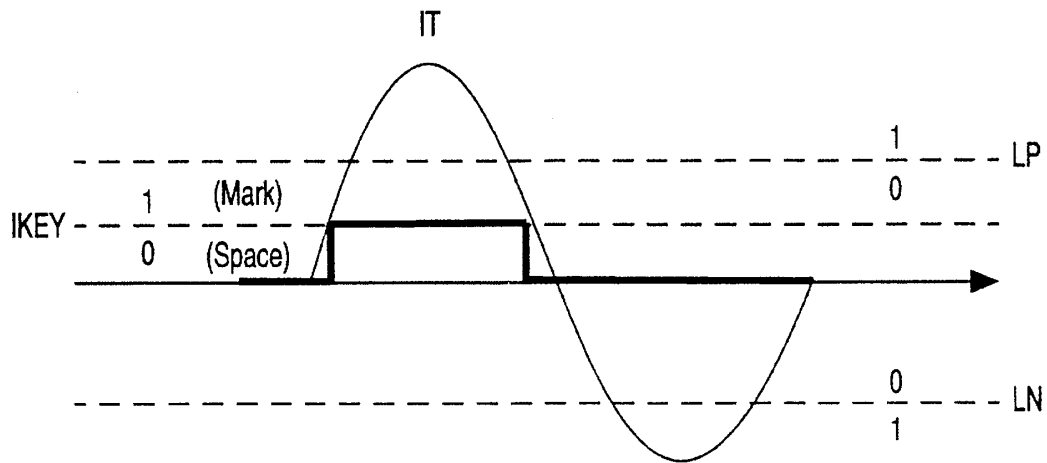
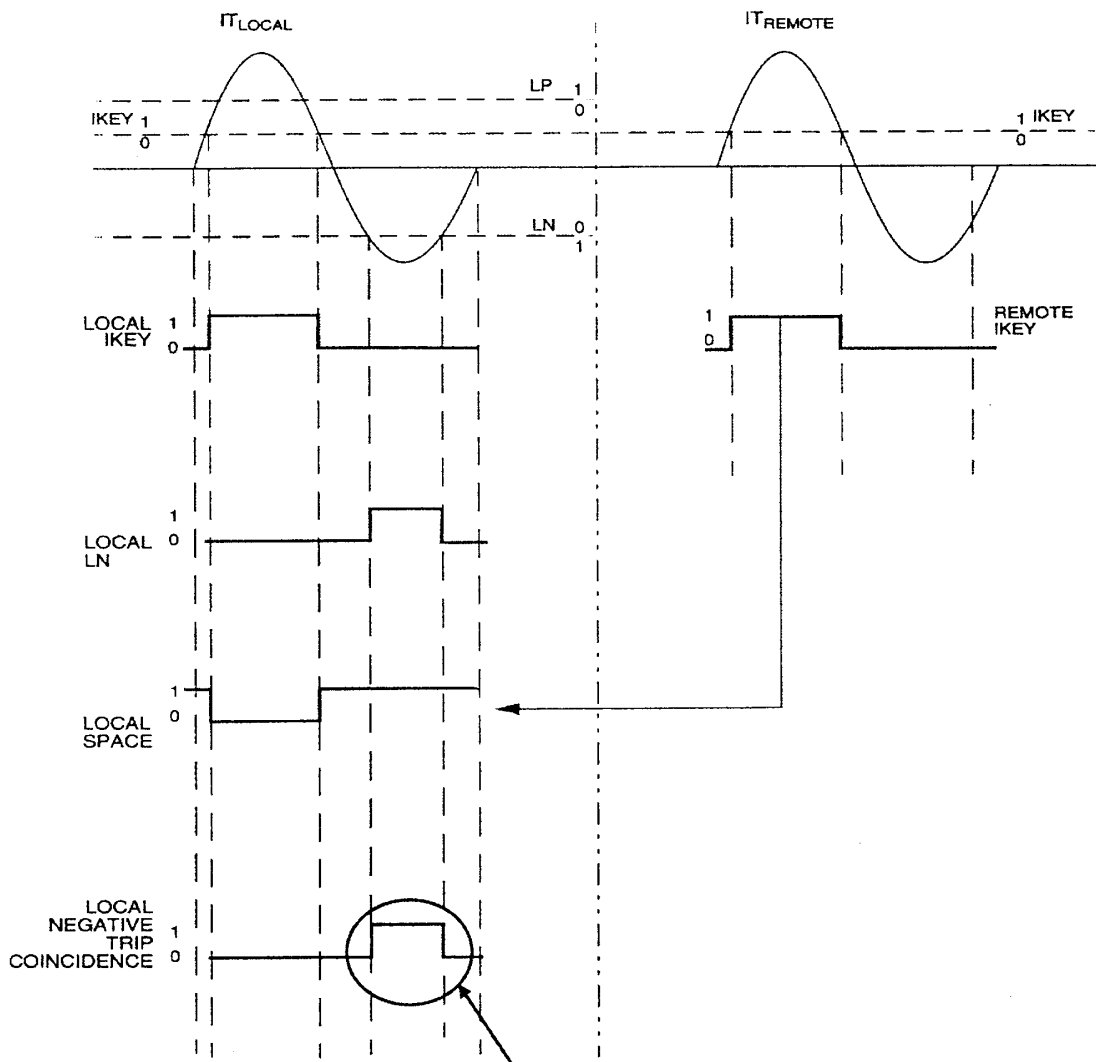


Figure 10. Square wave for keying

I_{KEY} 即為發射載波訊號給對方的位準。

LP(Local Positive)及 LN(Local Negative)是本地端用來於接收對方信號運算的位準。

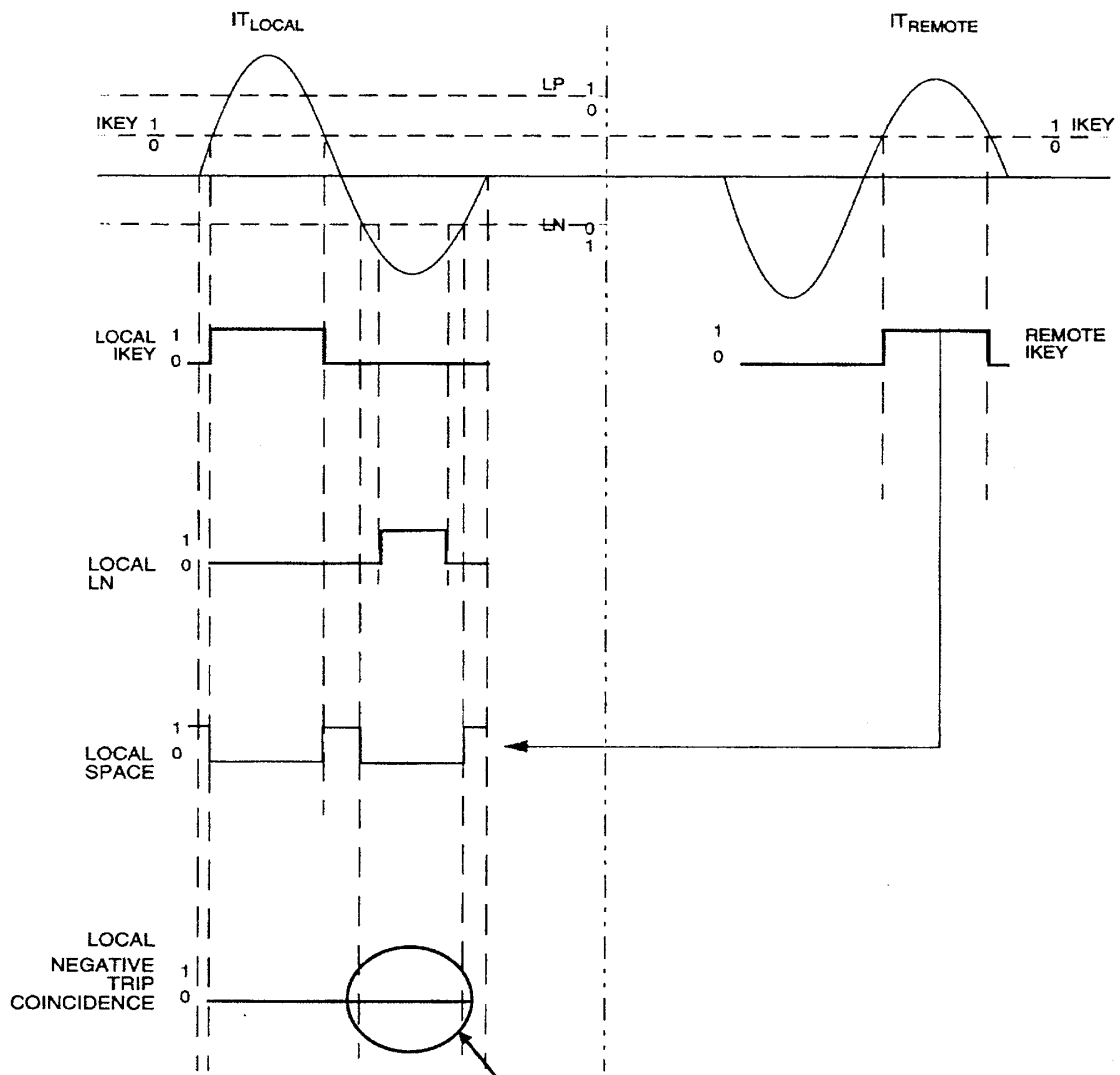
電力線載波的運用通常分為 Blocking 及 Non-Blocking 兩種方式，Blocking 方式通常使用單一個 AM 的通訊頻道，而 Non-Blocking 則使用雙頻率的 FSK 通訊方式，其內部與外部事故的相對應波型及載波信號如下：



Sub 1

Figure 11a. ON/OFF phase comparison, internal fault - trip

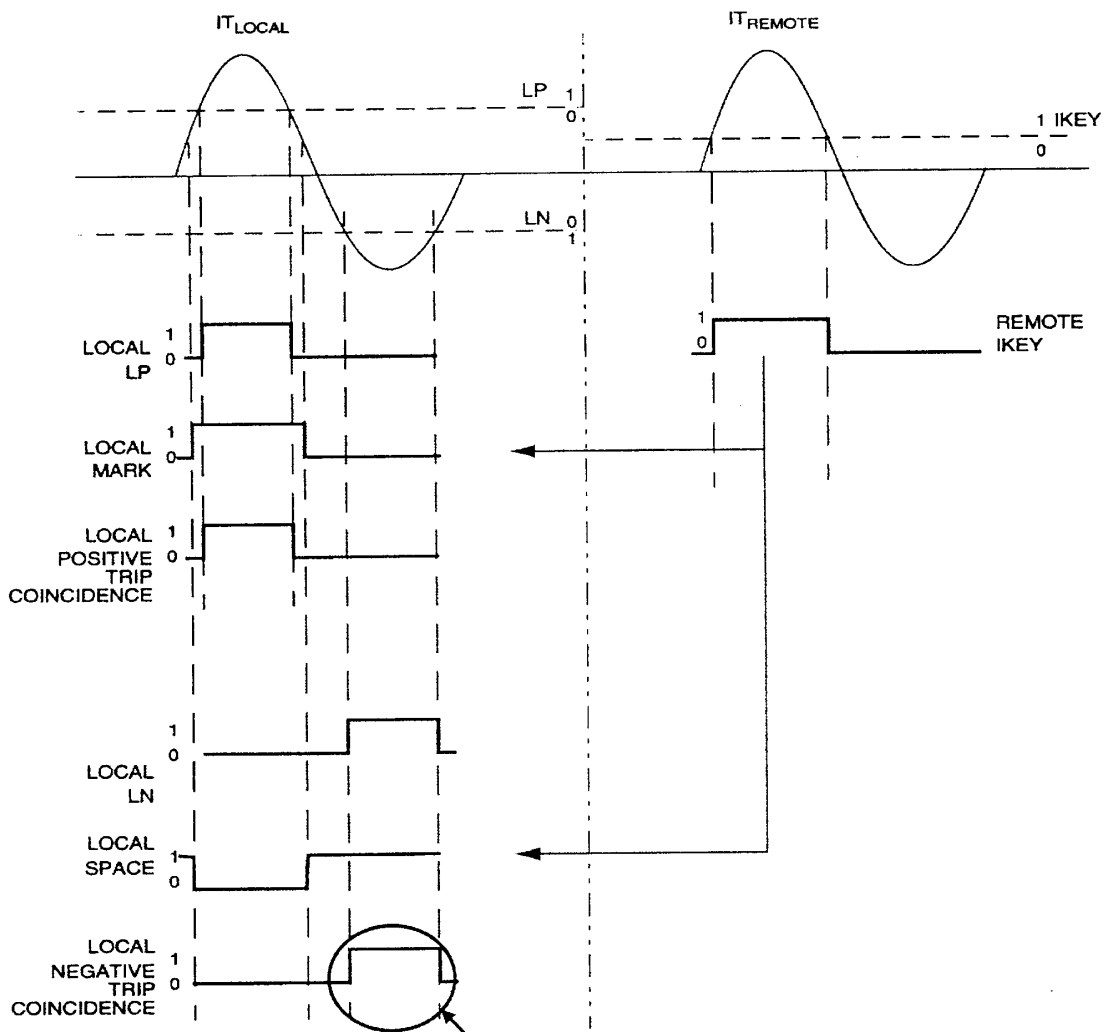
Blocking 方式 内部事故 → CB 跳脱



Sub 1

Figure 11b. ON/OFF phase comparison, external fault – no trip

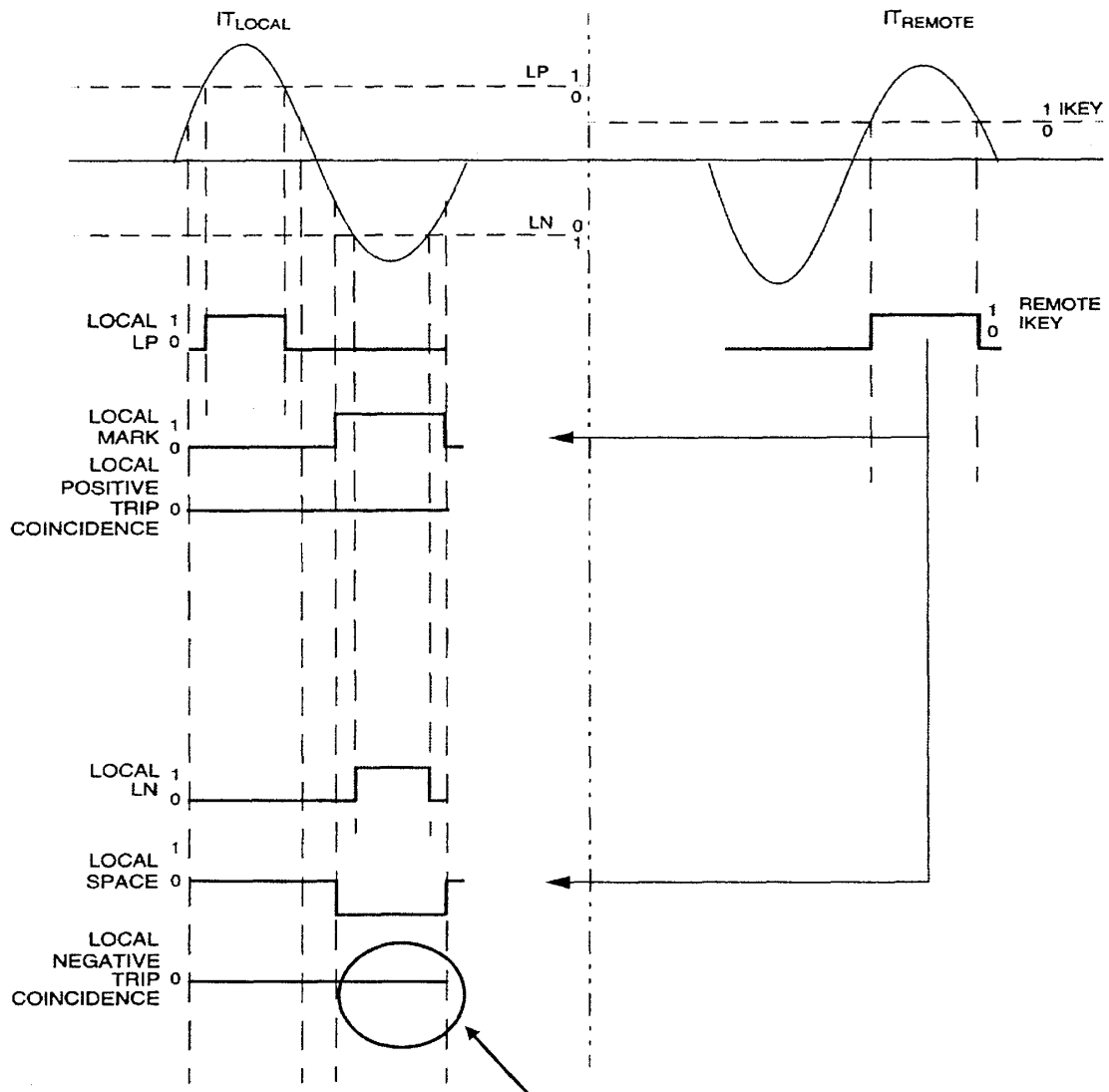
Blocking 方式 外部事故 → CB 不跳脱



Sub 2

Figure 12a. FSK phase comparison, internal fault – trip

Non-Blocking 方式 内部事故 → CB 跳脫



Sub 2

Figure 12b. FSK phase comparison, external fault – no trip

Non-Blocking 方式 外部事故 → CB 不跳脱

在某些特殊的情況下，當外部事故發生時會引發載波頻道的失效，進而造成保護系統的誤動作，為防止此一狀況的發生，需加入暫態閉鎖邏輯其波形如圖 13 所示，邏輯如圖 14 所示。

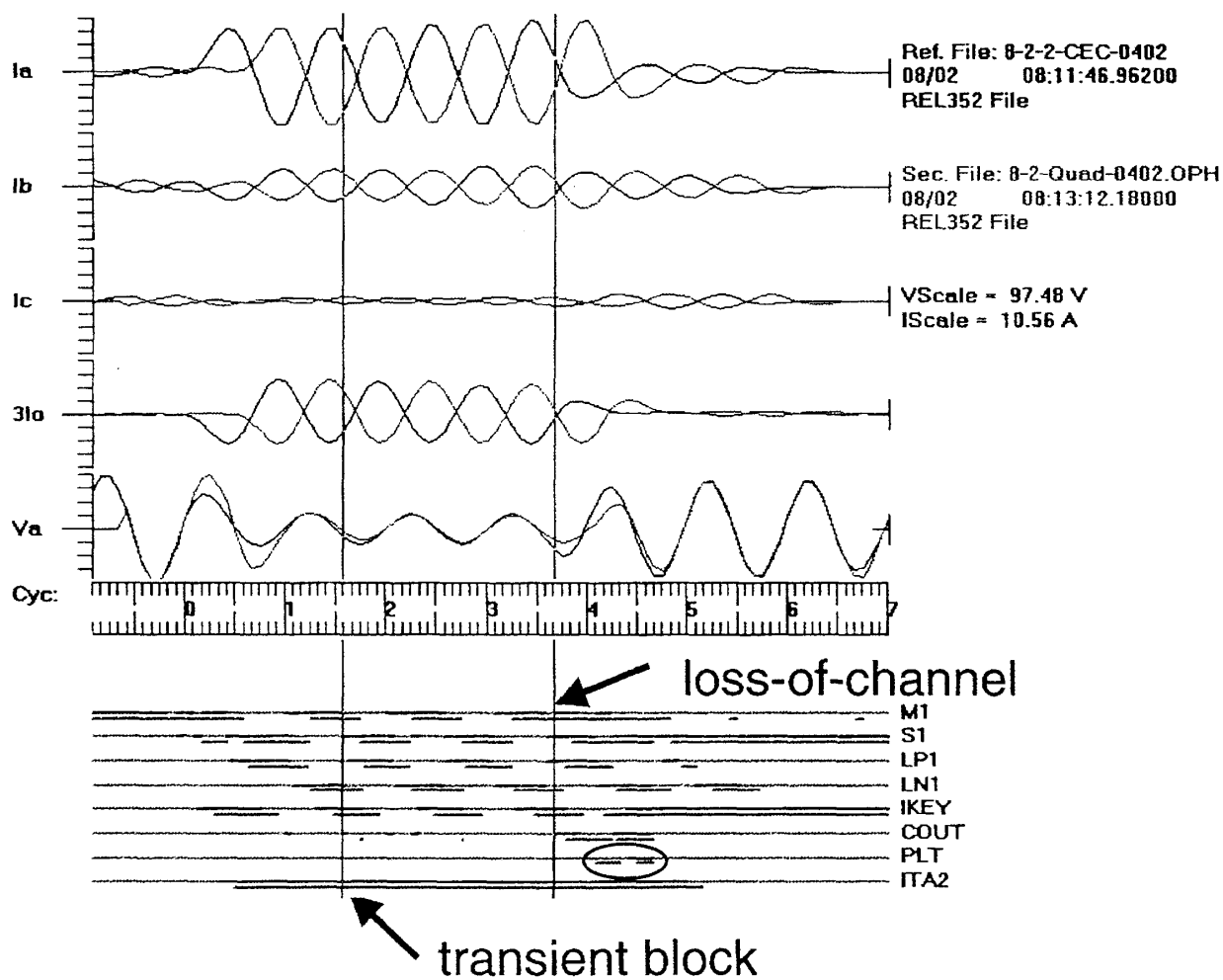


Figure 13. Trip for channel loss at external fault

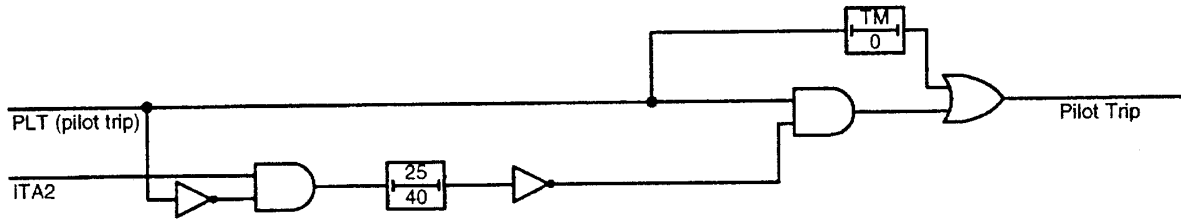


Figure 14. Transient block logic

ITA2: 故障電流偵測器

外部事故發生(有事故 AND 沒有 PLT)後 25ms 開始閉鎖，直到故障電流消失後 40ms 或有內部事故(PLT)大於 TM 時間

相位比較載波 Pilot 保護系統非常適合於三端子的運用(圖 15)，因為該方式不不管有多少個輸入或輸出的端子，而測距保護對於三端子的運用甚是相當的困難。

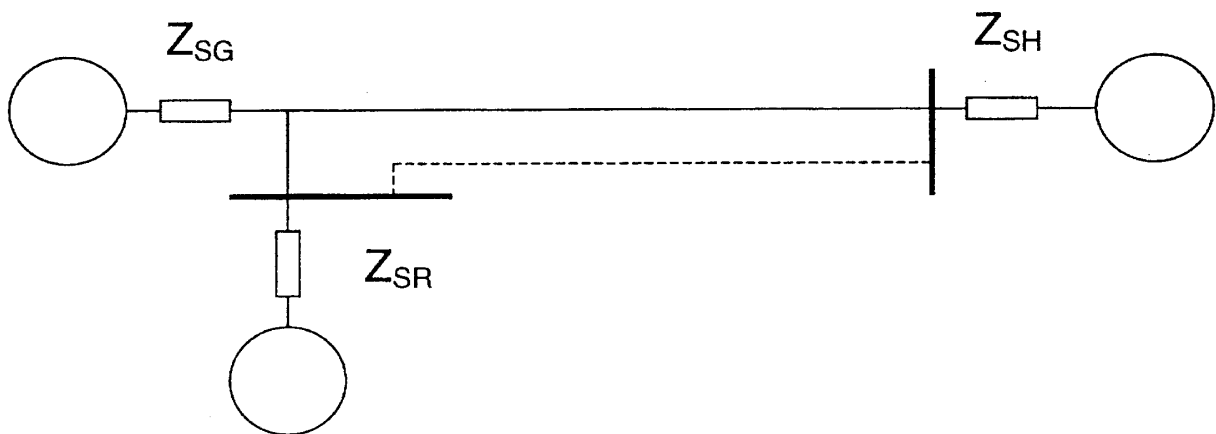


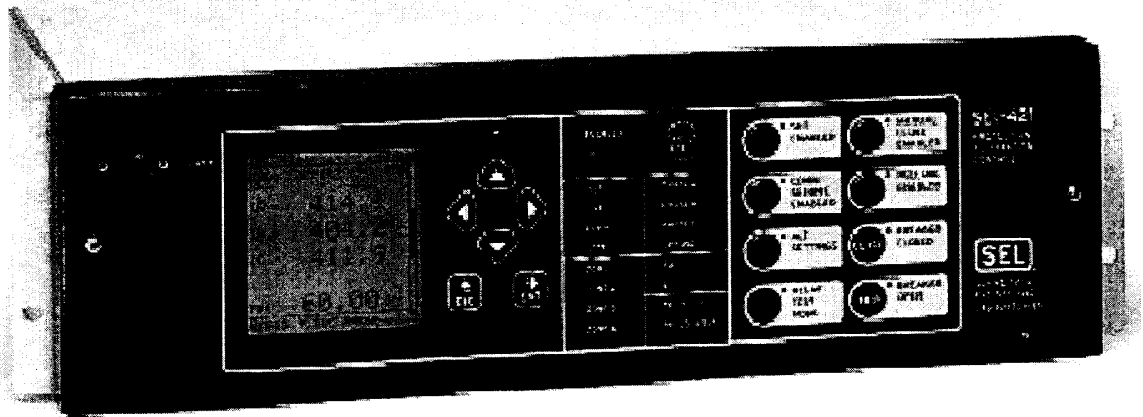
Figure 15. Three terminal application

本文結論

相位比較式載波 Pilot 保護系統具有下列的優點:

1. 對 Power Swing 不敏感
2. 對 mutuals 不敏感
3. 不需要 PT
4. 不受 CCVT 失真的影響
5. Setting 不受 SIR 的限制，可運用於 Cable
6. 不需要高智慧的通訊頻道，升級成本低
7. 傳輸線最好有兩種不同的動作原理，本方式不失為一經濟的選擇

肆、SEL-421 智慧型保護電驛之介紹



SEL-421 是 SEL 公司最新一代的輸電線保護測距電驛，該電驛整合了保護、控制、量測、自動化以及監視於一身，其摘要描述如下：

保護:使用高速元件，動作時間小於一個週期，適用於單極或三極跳脫。

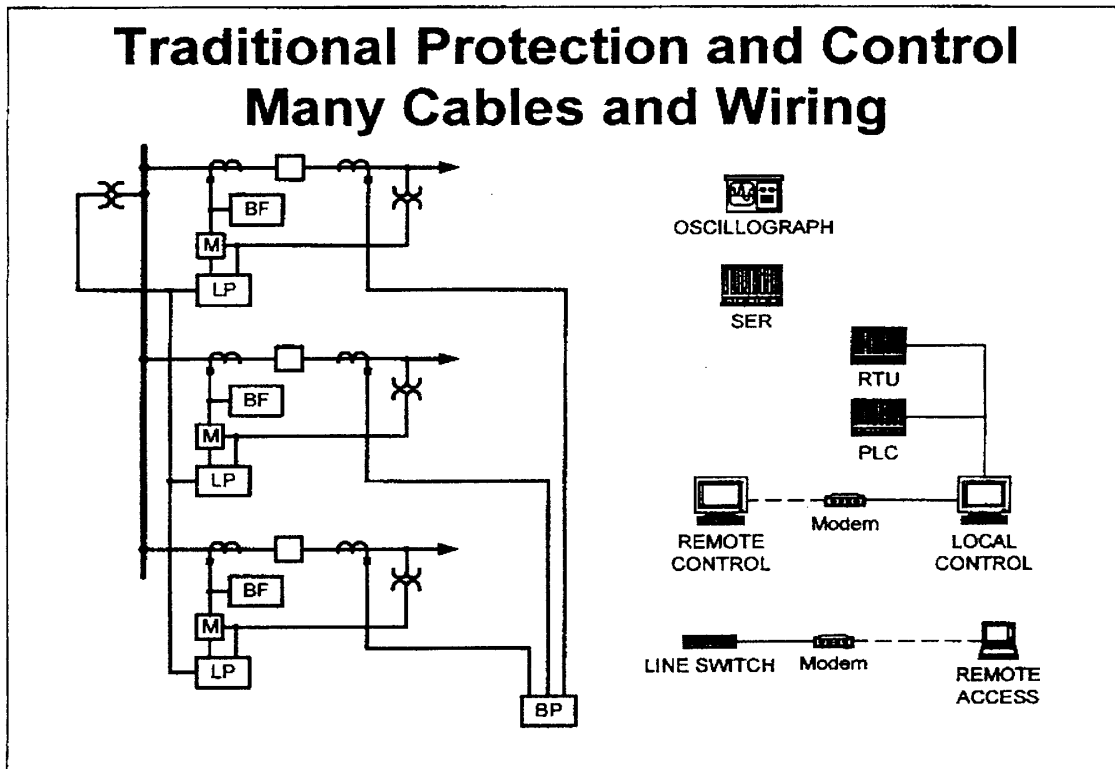
控制:整合了雙段路器，四次復閉功能，並可使用 SELOGIC 來編寫控制方程式，該劇不同的事故狀態、保護區間或其他條件來決定是否啟動復閉功能。

量測:事故紀錄的時間精卻度可達到 10uSec 的精確等級，可用來核對各變電站在事故時的負載角度及系統阻抗。

自動化:使用 Ethernet(FTP,Telnet,UCA)進行通訊與遠端資料存取，配合 SELOGIC 來編寫各種特定的條件，使該電驛與變電站內其他自動或設備的整合度更高。

監視:透過監視系統 DC 電壓及電驛本身的自我故障偵測能力來增進可靠度。透過累計計算斷路器的工作及操作時間來降低斷路器維護的週期及成本。

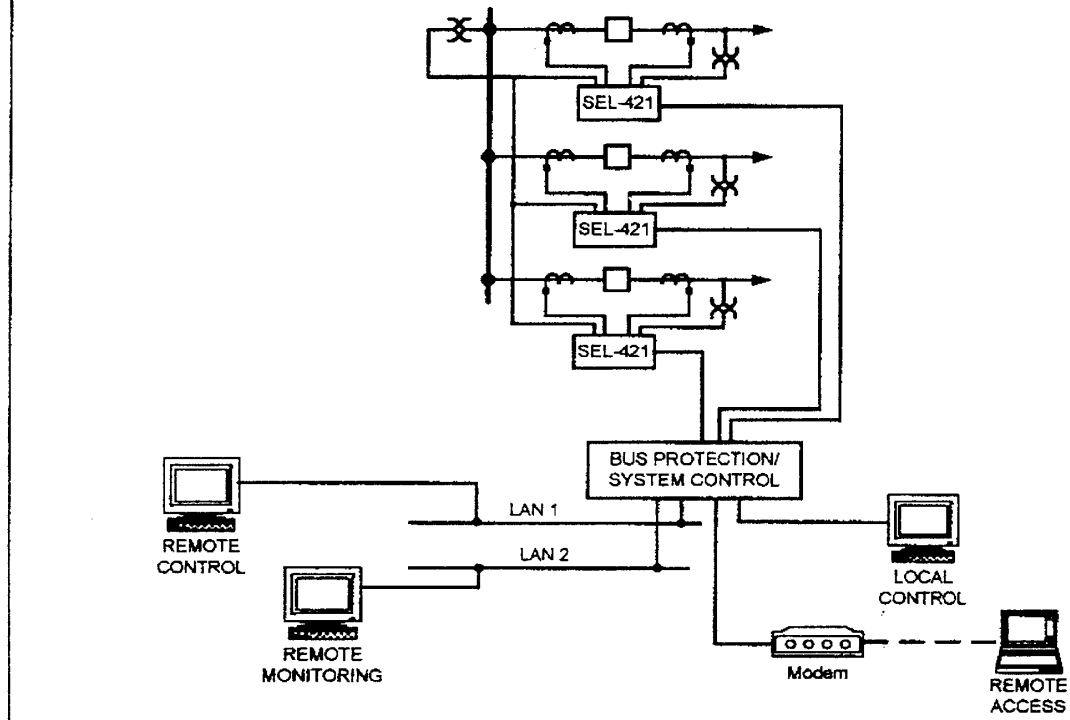
SEL-421 在功能上可說是 SEL-321(Line Protection Relay)加上 SEL-279H (Reclose/Synch Relay)再加上兩具 SEL-352(Breaker Failure Relay)以及其他許多新功能的結合。在保護方面，其採用了原先廣泛使用在各線路的 SEL-321, SEL-351, 及 SEL-311 的動作特性，來與通訊、控制及監事等功能進行整合。



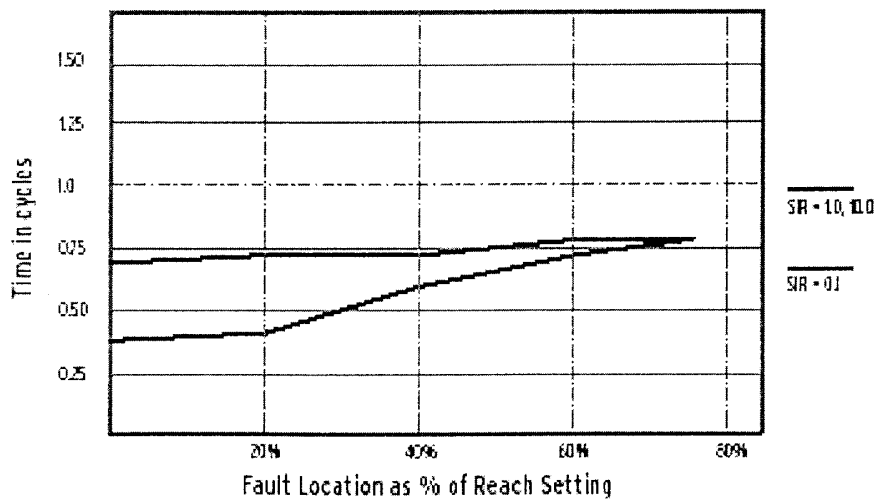
- BF = Breaker Failure
- M = Metering
- LP = Line Protection
- BP = Bus Protection

上圖為典型傳統保護系統與資料收集的配置架構，經採用 SEL-421 後將可大量減少接線及設備數量，而達到與原先相同的功能，甚至比原先的架構擁有更好的效能。

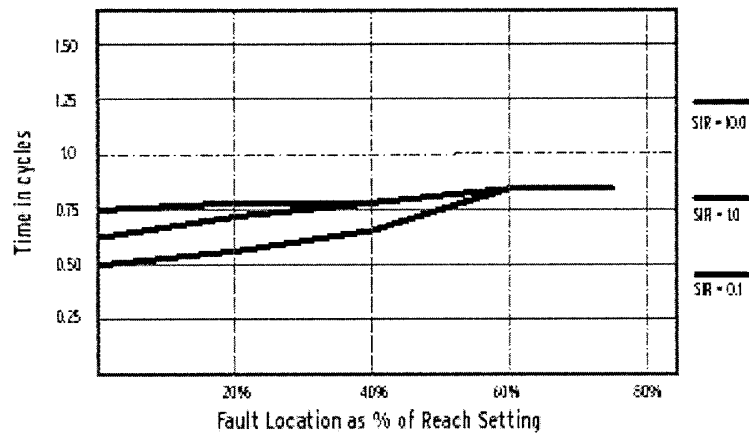
Distributed Protection and Control Fiber Replaces Cables and Wiring



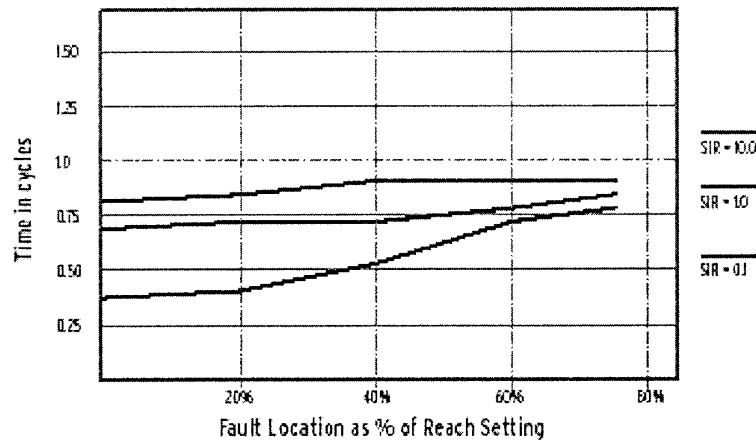
SEL-421 保護元件動作時間低於一個周波，其對各種事故的反應時間如下
Three-Phase-Faults



Single-Phase-to-Ground Faults

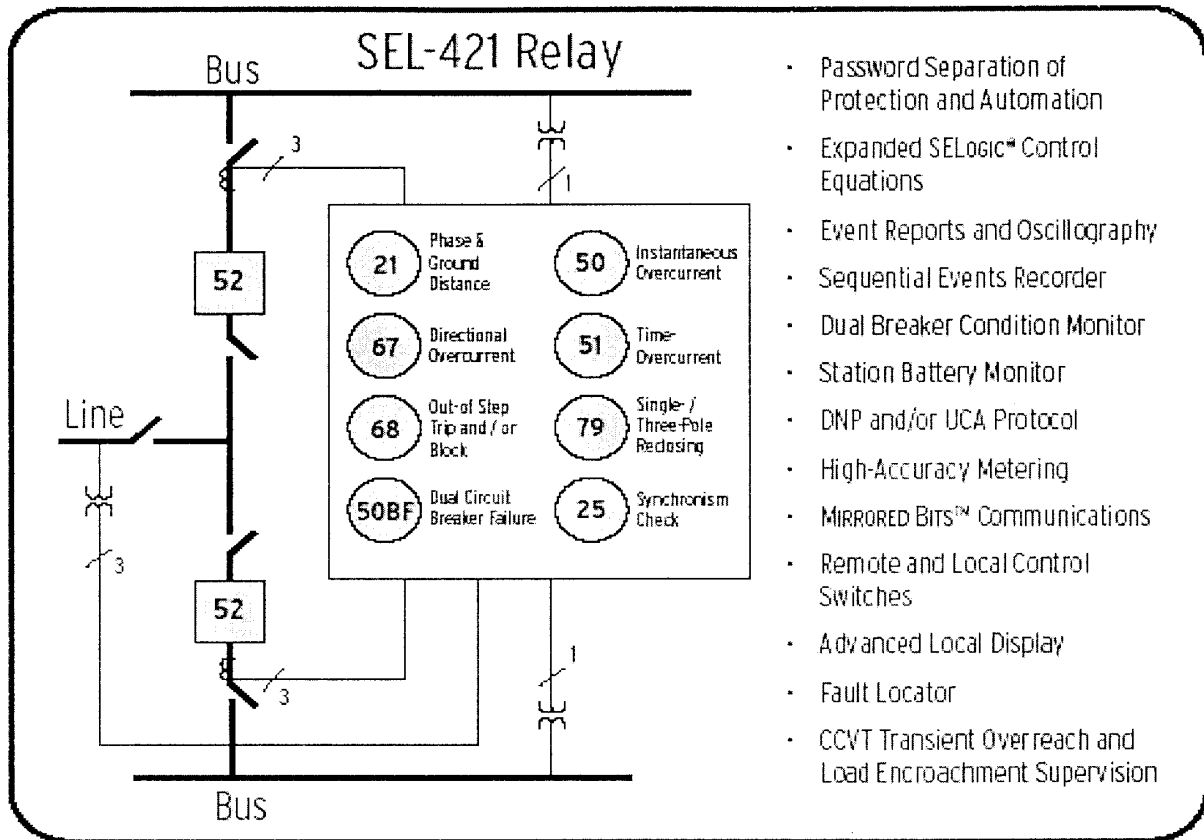


Phase-to-Phase Faults

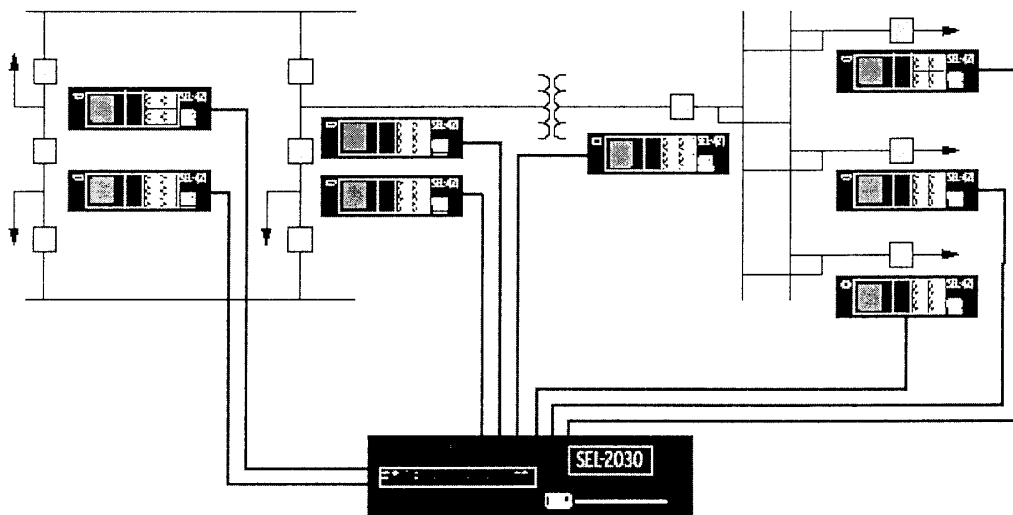


在事故紀錄是波器的功能方面，其主要特點如下：

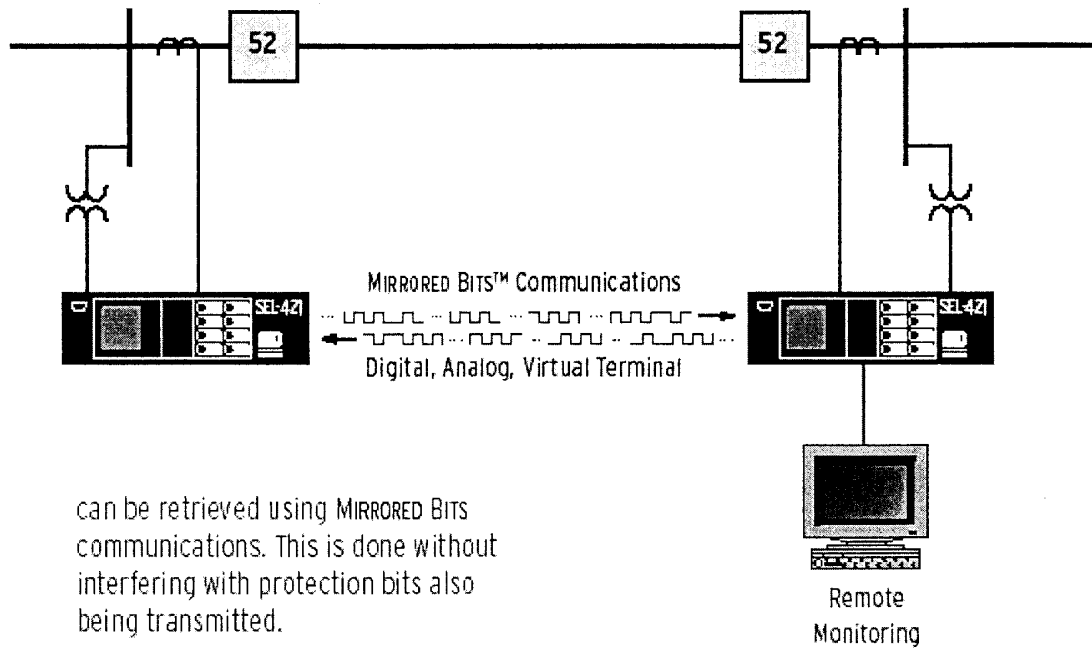
- *8 kHz Sampling Rate*
- *0.25-5 Second Oscillograms*
- *Assignable Analog Inputs*
- *Transfer Potential Source*



SEL-421 電驛具有六個 AC 電壓輸入通道及六個 AC 電流輸入通道，再配合 SELOGIC 強大的控制方程式編寫能力，使該電驛可應用於許多不同的保護架構。



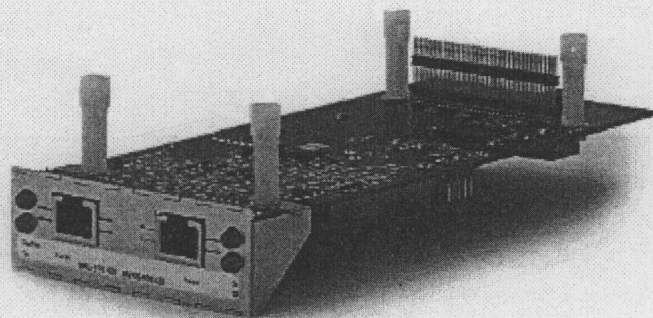
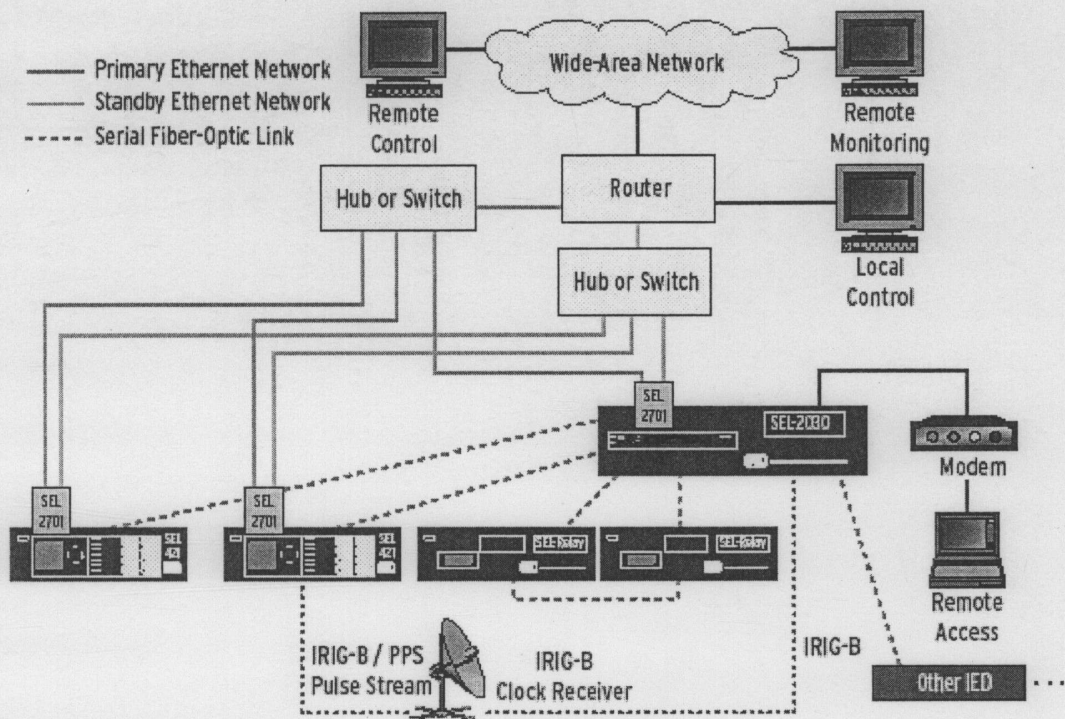
另外對於遠端資料存取變電站內資料，則可透過 SEL-2030，將各電驛的通訊頻道整合集中，整體架構一目了然，使的各種資料的存取更為便利。



can be retrieved using MIRRORED BITS communications. This is done without interfering with protection bits also being transmitted.

- Apply up to two serial ports to MIRRORED

在兩變電站的 SEL-421 之間，可直接利用光纖進行 Mirrored Bits 通訊



在這次的實習過程中，經由實地操作發現 SEL-421 的網路連線功能實在是十分簡易，透過 SEL-2701(上圖下方的卡片)，只需簡易的設定 3 至 4 個 TCP/IP 的參數，再將網路線插上，立即完成所有遠端資料存取的裝設，而且其所支援的通訊協定也是非常多樣化，如 Hyper-Terminal, Telnet, FTP, DNP, UCA 等等，支援的通訊協定多到幾乎可以出專書來討論，著實令人對其整合程度由衷的佩服。

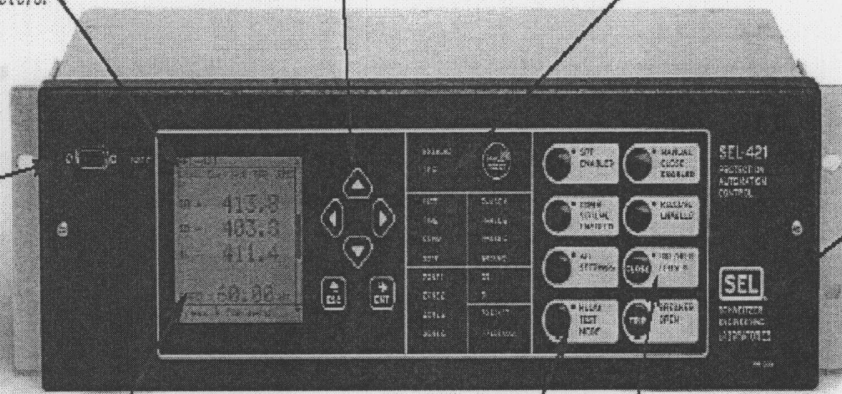
Advanced Display and Controls for Next Generation Substation Integration

Large display facilitates installation and diagnostics while eliminating the need for panel meters.

Display navigation controls make more information readily accessible.

Detailed, programmable targets provide fast and simple information to assist dispatchers and line crews for rapid power restoration.

EIA-232 front serial port for quick, convenient system setup, checkout, and local access.



SEL provides a ten-year warranty and -40° to $+85^{\circ}\text{C}$ temperature range - best in the industry.

High-accuracy ($\pm 0.5\%$ of reading) RMS metering.

Programmable control pushbuttons provide local switches to replace traditional panel switches.

Use relay pushbuttons and serial communications to employ 32 latching switches, 32 local switches, and 32 remote switches in your automation system.

在人機介面方面:大面積 LCD 顯示器加上可自訂顯示的訊息、可程式化的三色 LED, 可程式化的按鍵功能等等, 這些都比上一代的電驛更加友善, 且更具有彈性, SEL-421 再此方面可謂十分的用心。

陸、心得感想

首先，要感謝處長及兩位副座給我這次出國實習的機會，讓我有機會參與保護電驛界一年一度的盛會，聆聽與學習來自世界各國保護電驛大師與先進的演講，並參觀優良的電驛製造廠商，著實讓我獲益良多，不論是在工作領域上或在民俗風情上，都讓我體會到先進國家多元的用心與努力。

近代通訊系統與微電腦技術的快速發展，使得保護及控制方面的發展也跟著突飛猛進，智慧型電驛產品的開發週期隨著微處理器的計算能力的進步而顯的腳步越來越快，由於系統的高度整合，電驛的功能及彈性變得越來越強大。這些都再再的督促電驛從業人員必須更加用心與努力學習語言與新知，以順應未來電驛系統的發展，將整體系統運用比以往更為簡易明確而且有效率。

最後我想在此感謝愛護我的長官以及所有關心我卻無法一一列名的人，在此也一並表達誠心的感謝，往後必在自己的工作崗位上更加邁力，以不負大家對我的期望。