

兩起差動電驛誤動作之原因分析

台電綜合研究所 吳立成

一、前言

在電力系統中，電力變壓器是十分重要的供電元件，它不僅十分的貴重，而且其發生故障時，將對供電可靠性和系統的正常運行帶來嚴重的影響；因此，變壓器必須有可靠及性能良好的保護裝置，來確認其正常工作，防治其遭受事故之破壞，然而其保護裝置中之差動電驛，常因某些因素使其無法正常發揮其功能，本文章將對此問題做分析探討。

二、比流器特性問題造成差動保護誤動作

比流器(CT)是電力系統中重要的測量元件，在保護電驛中更是攸關電驛是否能正確跳脫隔離故障，其主要功能是將系統穩態和暫態過程中，準確轉換一次電流，至電驛或表計做分析及計量。超高壓系統及大容量機組使暫態時間常數增大，另一方面為了保證系統可靠性，又必須提高保護裝置的快速性，這對 CT 性能有了更高的要求，因此我們將分析討論之。

由於比流器鐵芯非線性及磁滯特性，當電力系統發生故障時，輸入到比流器一次側故障電流含有偏向於時間軸一側的非週期分量時，很容易使比流器工作在勵磁特性的非線性區，從而進入嚴重飽和狀態，流入勵磁支路，二次電流幾乎為零，造成很大的傳變誤差，這將影響差動保護正確判別，此時如果是內部故障，即使電流波形發生畸變，差動電驛也可容易實現可靠動作；如果是區外故障，由於被保護

元件兩側比流器器的暫態特性不盡相同，此時如果發生比流器飽和，則差動回路中將出現較大之不平衡電流，很可能導致差動保護的誤動作，以下我們用一 345kV 變壓器 3 次側電抗器差動保護為例說明之。

如圖 1 所示為 345kV 變壓器 3 次側電抗器差動保護電驛之接線圖，為分析其保護性能，我們先量測其差動電驛所用 CT 之性能，其試驗結果如圖 2 所示，可清楚發現此差動電驛引接之 CT 並不一致，一只為計量用 CT(Metering CT)，另一只為保護用 CT(C200)，所以其兩 CT 之飽和電壓相差約 150 伏特，差異如此大之飽和電壓，在一般正常穩態運轉條件下，電流並無明顯差異，故差動電驛之差電流為零，如圖 3 所示為其差動電驛兩側比流器輸出之電流，但如電抗器在加壓瞬間或發生內、外部故障時，因其兩 CT 特性不一致，差動電驛將因差電流發生誤跳脫。另如圖 4 所示，當電抗器在加壓瞬間，因電流含高直流成份，致低飽和電壓之計量用 CT(Metering CT) 易發生飽和，使差動電驛因差電流大而誤動作跳脫。

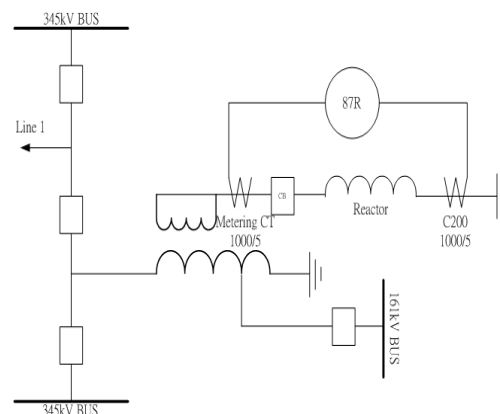


圖 1 電抗器差動電驛(87R)之接線示意圖

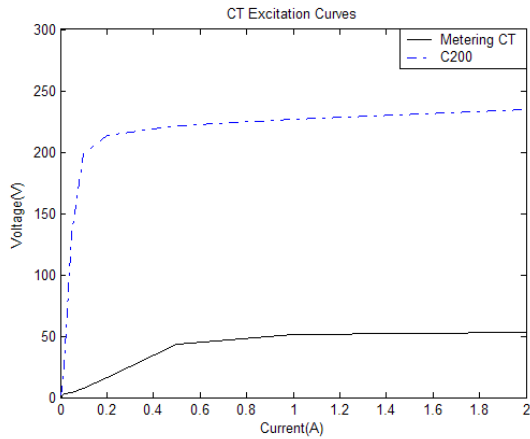


圖 2 不同型式 CT 之激磁曲線

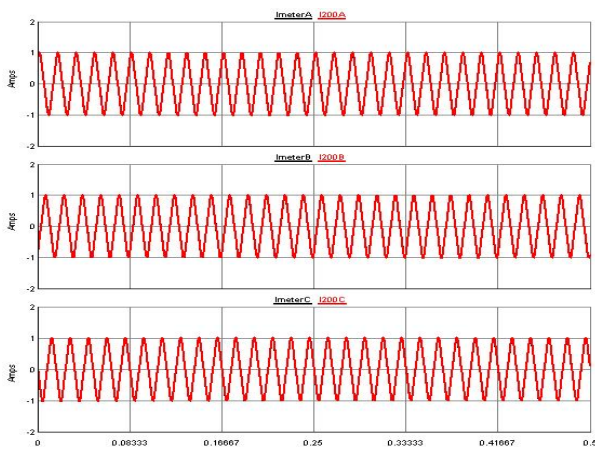


圖 3 穩態時差動電驛兩不同型式 CT 之 3 相電流

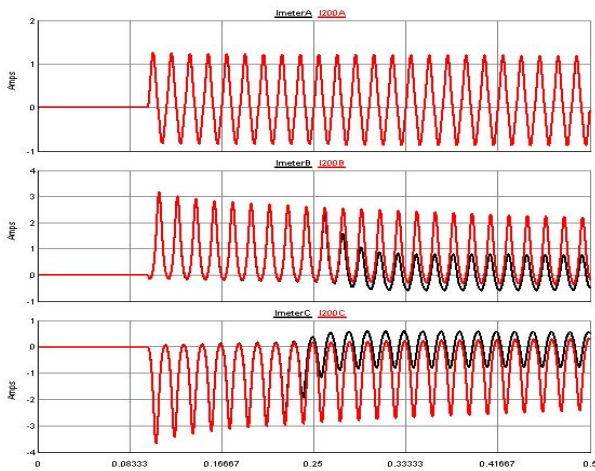


圖 4 電抗器在加壓瞬間時差動電驛兩不同型式 CT 之 3 相電流

三、風力發電機低電壓穿越暫態造成差動保護誤動作

主變壓器保護電驛 87T，接線如圖 5 所示，其因為當外部事故時，瞬間電壓驟降引起風力發電機低電壓穿越暫態現象 (Low Voltage Ride Through, LVRT) 及變壓器湧浪電流 (inrush current) 造成電驛誤動作跳脫，以下將針對此電驛誤動作問題做詳細分析並提供改善方向。

近來因全球環保意識高漲，綠色能源便成為各國的能源政策，致風力市場發展迅速，機組裝置容量逐年提高，風力發電所占系統供電比率已大幅提高；因此，必須考慮當系統發生故障時，風機運轉的狀態對於電力系統穩定度的影響，例如風機連續運轉之電壓與頻率範圍、要求風力機組必須具備低電壓穿越能力 (Low-Voltage Ride Through, LVRT)、實功與虛功控制能力、過電壓操作能力、以及頻率控制能力等等。其中低電壓穿越被視為風力機組在製造與控制技術上的最大挑戰，因為系統故障將可能導致風機之過電流或轉速上升，嚴重危害風機及系統安全，傳統未具備低電壓穿越能力的風機，當系統發生故障而導致電壓下降達到某一保護電壓等級將會與系統解聯，然而若為高占比風力系統，此將造成大量瞬間的發電損失，亦可能導致系統極端的不穩定，因此風機必須具備 LVRT 的能力，台電公司所制定的 LVRT 特性響應曲線如圖 6 所示，發電設備於責任分界點電壓自低電壓開始時間 (0.0 秒) 降低至額定電壓百分之十五時，應持續運轉至少 0.5 秒以上，責任分界點電壓恢復至額定電壓百分之九十以上時，應持續運轉，風力發電設備於責任分界點電壓高於附圖 6 之實線，風力發電設備應持續運轉。

如圖 5 主變壓器之差動保護電驛特性曲線及動作量如圖 7 所示，為證明差動保護電驛，是因外部事故時，瞬間電壓驟降引起風力發電機低電壓穿越暫態現象及變壓器湧浪電流，引起之誤動作跳脫，我們以事故當時之波形先做靜態分析其動作特性，事故波形如圖 8 所示，我們計算其動作量如下：

$$I_{diffA} = |IAW1| + |IAW2| = 0.335 \quad (1)$$

$$I_{diffB} = |IBW1| + |IBW2| = 0.325 \quad (2)$$

$$I_{diffC} = |ICW1| + |ICW2| = 0.154 \quad (3)$$

$$I_{biasA} = \frac{|IAW1| + |IAW2|}{2} = 0.186 \quad (4)$$

$$I_{biasB} = \frac{|IBW1| + |IBW2|}{2} = 0.207 \quad (5)$$

$$I_{biasC} = \frac{|ICW1| + |ICW2|}{2} = 0.088 \quad (6)$$

依據差動保護電驛動作方程式(1)~(6)之計算結果，繪出靜態動作軌跡如圖 9 所示，明顯 A、B 相已落入動作區，再詳細分析我們可以看出其動態軌跡，圖 10 所示，且其 A、C 相二次諧波含量皆低於 15% 以，故差動保護電驛 A 相動作而發出跳脫信號。

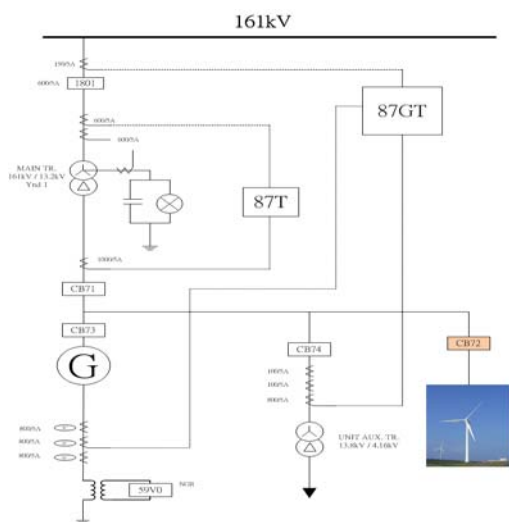


圖 5 主變壓器之差動保護(87T)單線圖

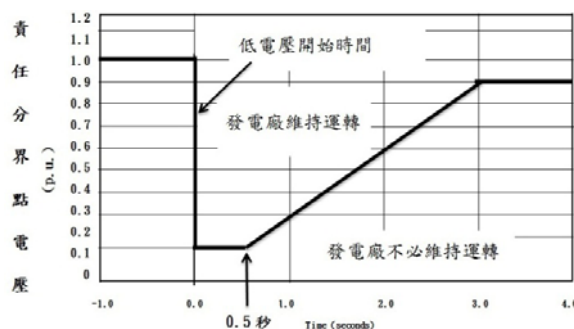


圖 6 本公司風力系統所要求的 LVRT 特性響應曲線

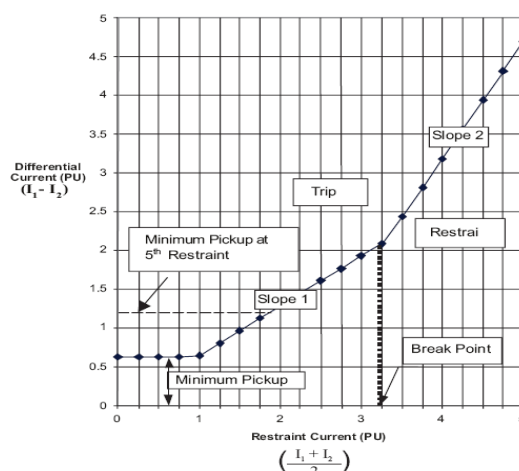


圖 7 主變壓器之差動保護電驛特性曲線

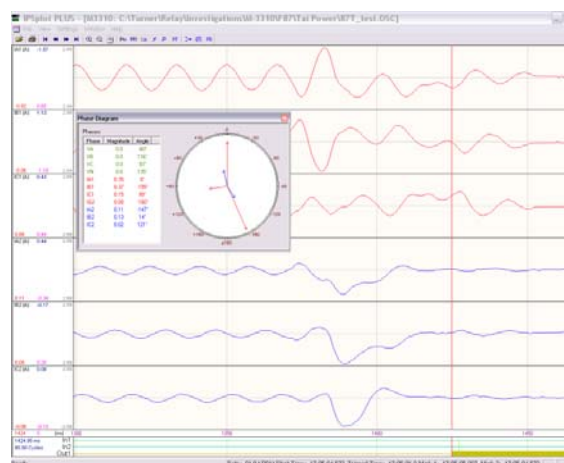


圖 8 主變壓器差動保護電驛事故紀錄波形

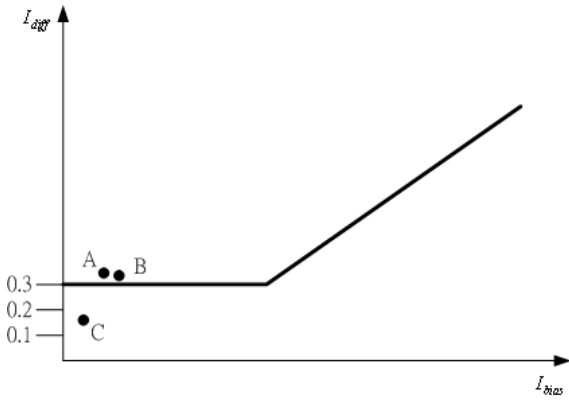


圖 9 主變壓器差動保護電驛事故靜態動作軌跡

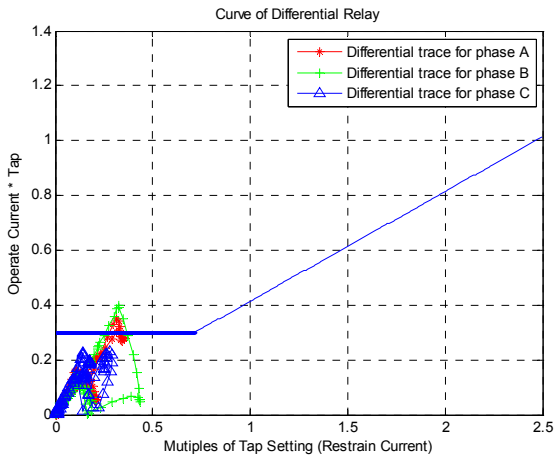


圖 10 主變壓器差動保護電驛事故動態動作軌跡

再者，我們利用 RTDS 建立動態模擬試驗及實際試驗情形，如圖 11 及 12 所示，模擬各類型區間內、外故障，以下為不同情境之動態模擬試驗結果：



圖 12 主變壓器差動保護電驛 RTDS 動態模擬及試驗情形

情境 1：區間內故障→主變壓器故障時，差動保護電驛可正確跳脫，隔離故障如圖 13 所示。

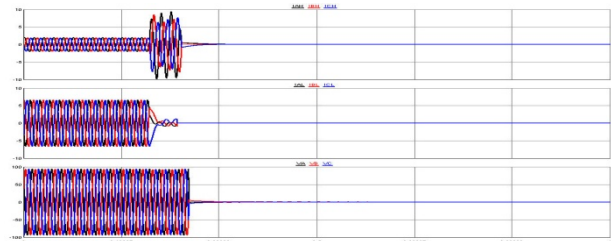


圖 13 主變壓器故障時之波形

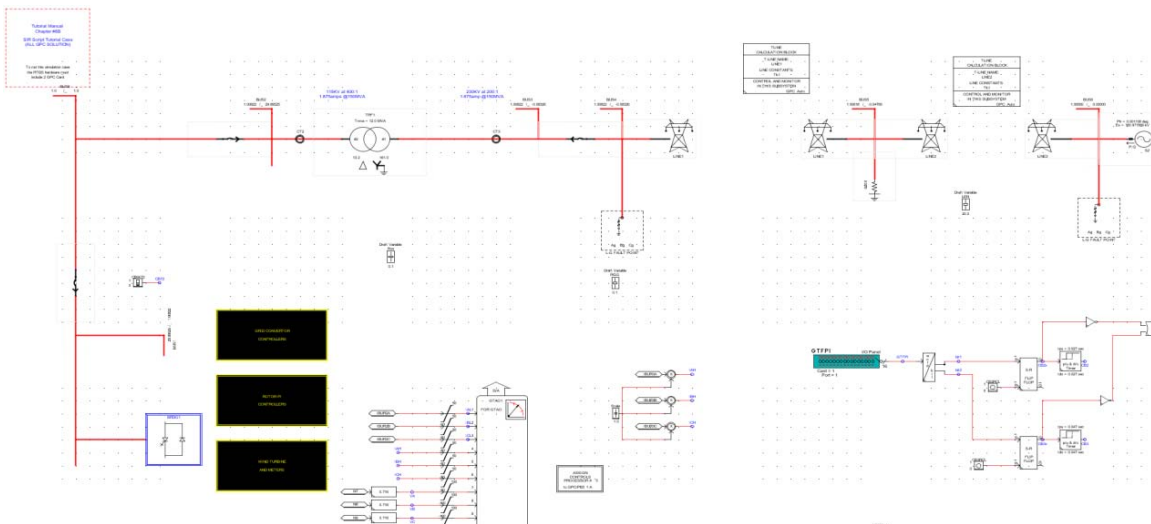


圖 11 主變壓器差動保護電驛 RTDS 動態模擬及試驗

情境 2：正常加壓操作→主變壓器加壓時，差動保護電驛因 2 次諧波閉鎖不良，誤動作跳脫，如圖 14 所示。

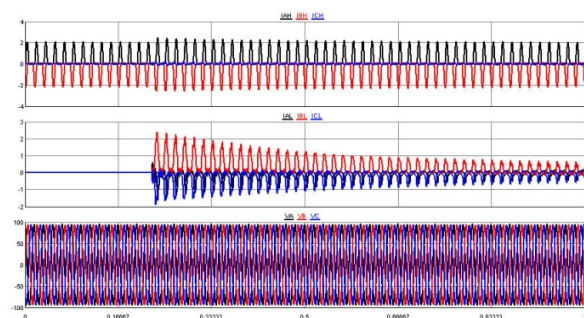


圖 14 主變壓器加壓時之波形

情境 3：加壓操作(有載下)→主變壓器加壓時，誤動作跳脫，如圖 15 所示。

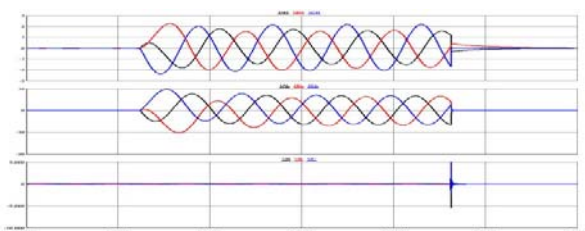


圖 15 主變壓器加壓時之波形

情境 4：區間外故障→外部 3 相短路事故時(3Cycles)，因電壓驟降，使風機產生低電壓穿越暫態，使差動電驛誤動作跳脫，如圖 16 所示。

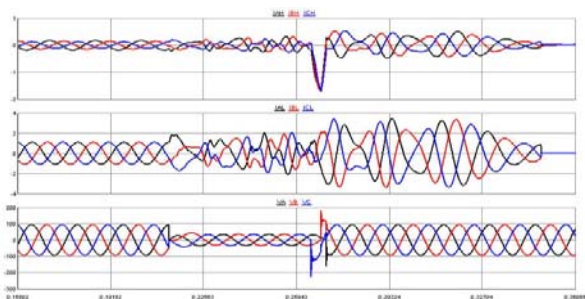


圖 16 外部 3 相短路事故(3 Cycles)時風機產生低電壓穿越暫態波形

情境 5：區間外故障(電驛 2 次諧波閉鎖設定為 Cross Phase Averaging)→外部 3 相短路事故時(5Cycles)，因電壓驟降，使風機產生低電壓穿越暫態，但差動電驛可避免誤動作跳脫，如圖 17 所示。

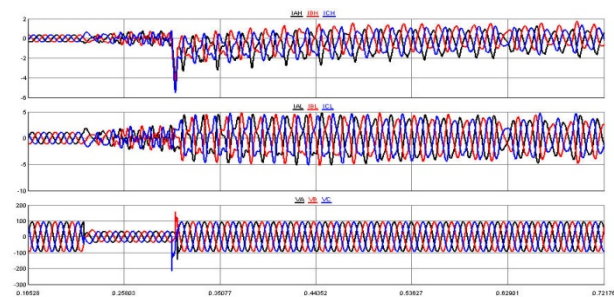


圖 17 外部 3 相短路事故(5Cycles)時風機產生低電壓穿越暫態波形

情境 6：區間外故障→外部 3 相短路事故超過穩態清除時間，使風機發生不穩定振盪，使差動電驛誤動作跳脫，如圖 18 所示。

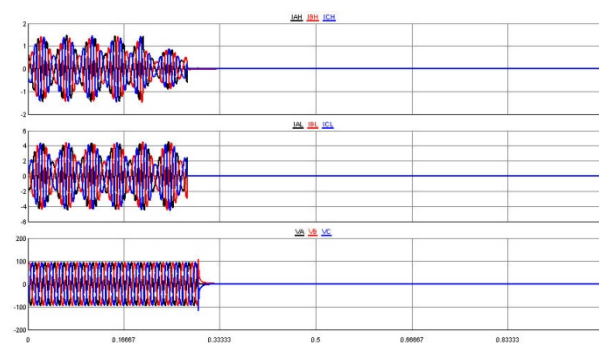


圖 18 風機發生不穩定振盪時之波形

情境 7：正常加壓(2 次諧波閉鎖設定為 Cross Phase Averaging)→主變壓器加壓時，差動保護電驛可避免誤動作跳脫，如圖 19 所示。

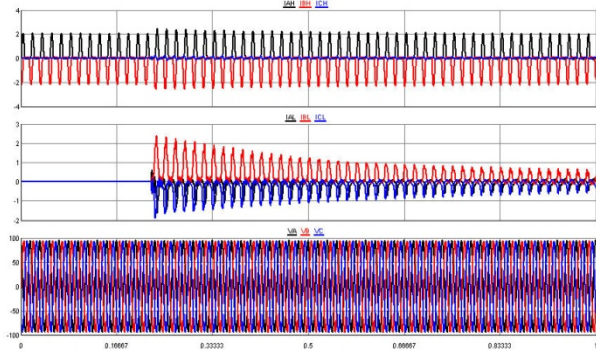


圖 19 主變壓器加壓時之波形(差動電驛 2 次諧波閉鎖設定為 Cross Phase Averaging)

由上述可知，當外部事故時，瞬間電壓驟降引起風力發電機低電壓穿越暫態現象及湧浪電流，常會使差動保護電驛發生誤動作。

四、結論

變壓器湧浪電流及 CT 飽和問題對差動電驛始終是一重要挑戰，我們可以透過 CB 投入角度之控制，降低湧浪電流之影響，如圖 20 所示。另外，有關 CT 飽和問題我們可於設計時，儘量考慮直流成份影響或改用光 CT 以避免飽和問題，光 CT 俱高精度同時可當表計及保護使用，另具 IEC61850 之 Sample Value 功能可有效節省電纜線及本身有自我檢查功能(如圖 21 所示)，可防治本身引起之故事。

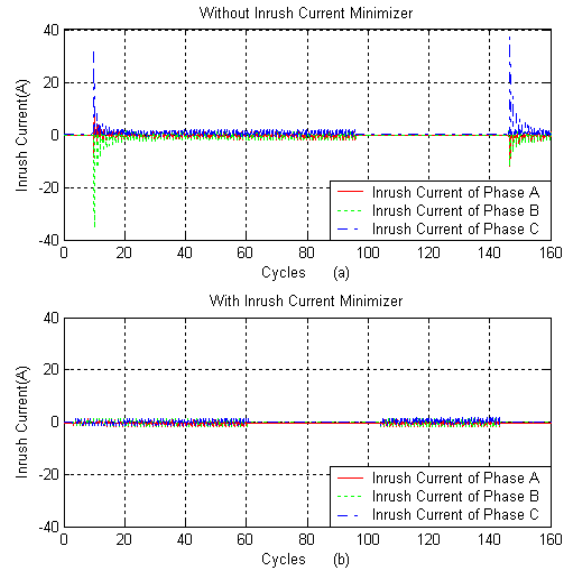


圖 20 變壓器湧浪電流透過 CB 投入角度無控制與有控制之比較

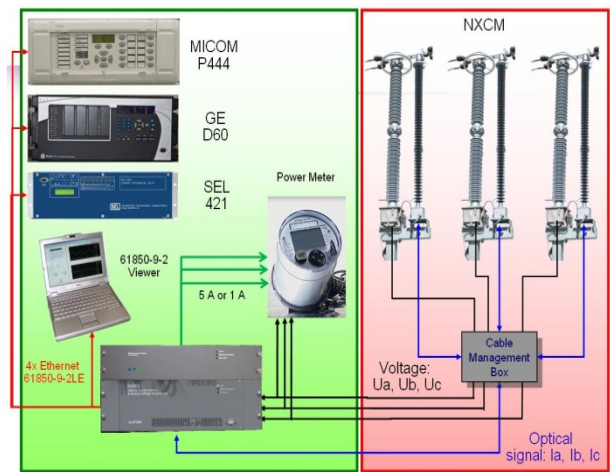


圖 21 光 CT 使用 IEC61850 與電驛連接圖

五、參考文獻

- [1] Li-Cheng Wu, Chih-Wen Liu, Ching-Shan Chen, "Modeling and Testing of a Digital Distance Relay Using MATLAB/ SIMULINK", IEEE/PES The 37th North American Power Symposium, pp. 253~259, Oct. 2005
- [2] Li-Cheng Wu, Chih-Wen Liu, Shih-En Chien, Ching-Shan Chen, "The Effect of Inrush Current on Transformer Protection", IEEE/PES The 38th North American Power Symposium, pp 100~108, Sep. 2006
- [3] WSCC RELAY WORK GROUP, "Transformer Protection Sudden Pressure Relays", OCT. 21, 1999
- [4] Ralph P Barone and Gary H Young, "Sudden Pressure Relaying Revisited", WPRC 2003
- [5] IEEE Std C37.91-2000, "guide for protective relay applications to power transformers"
- [6] ABB, "Sudden Pressure Relay Installation, Operation and Maintenance Guide"
- [7] IEEE Std C37.108-2002, "Guide for the Protection of Network Transformers"
- [8] IEEE C37.91, "Guide for Protecting Power Transformer"
- [9] W.K. Sonnemann, C.L. Wagner, G.D. Rockefeller, "Magnetizing Inrush Phenomena in Transformer Banks", AIEE Transactions, Part III, Vol. 77, Oct. 1958
- [10] John, H. Brunke, Klaus J. Fröhlich, "Elimination of transformer inrush currents by controlled switching—Part I: Theoretical considerations", Transactions on Power Delivery, Volume: 16, No.2, April 2001, Pages:276–280
- [11] John, H. Brunke, Klaus J. Fröhlich, "Elimination of transformer inrush currents by controlled switching—Part II: Application and performance considerations", Transactions on Power Delivery, Volume: 16, No.2, April 2001, Pages:281–285