

變壓器湧浪電流引起差動保護誤動作之解析

台電供電處台電綜合研究所 吳立成

一、前言

當變壓器空載投入系統或外部故障清除後電壓恢復過程，由於電芯飽和會產生很大之激磁電流，同時此一過程電流或電壓的波形也會發生畸變，而產生諧波；在某一條件下，還可能引起電力系統諧振，造成過電壓。本文將針對湧浪電流問題做研究模擬分析，並實際以國內某電廠主變壓器，多次因鄰近機組主變壓器加壓瞬間，而差動保護電驛誤動作跳脫為例，對”湧浪電流”問題做一詳細分析。

二、系統等效模擬

在高壓或超高壓系統中，差動保護為變壓器主要保護，因其原理簡單、效果良好，且具高經濟效益；然而，變壓器在空載加壓所產生之湧浪電流，也為差動保護電驛帶來問題。於加壓時湧浪電流發生期間，因湧浪電流約變壓器負載電流之6~30倍，此時變壓器差動保護常把此電流誤認為故障電流，因此而誤動作跳脫；另外，併聯運轉中之變壓器，也可能因周

圍變壓器之空載加壓，產生之感應電流，造成誤動作，一般我們稱此電流為共感湧浪電流(Sympathetic current)；然而，雖差動保護電驛有二次諧波抑制能力，但會因其抑制量之設置多寡而有不同之結果，此問題將於下討論；最後，這些情形不但影響系統運轉，浪費資源，也給現場操作人員困擾。我們利用數位模擬之技巧，為此問題提出一些改善及試驗方法，以利現場人員對此問題之瞭解，進而將差動保護之暫態問題消除，使系統之運轉更加安全、可靠。

模擬一 161kv、200MVA 變壓器的空載加壓情形，其典型之湧浪電流如圖3所示，其湧浪電流最大值約變壓器滿載電流(717A)之 18(13KA)倍，如此大之湧浪電流對差動保護電驛來說是一大考驗，其與差動保護電驛相關問題將在下一節討論之。現今利用數位模擬之方便性，修正其模擬參數(如：CB1 之投入角、剩磁之影響等等)，以分析不同狀態下之變壓器湧浪電流之變化，以下幾個例子為各種不同條件下所模擬之結果：

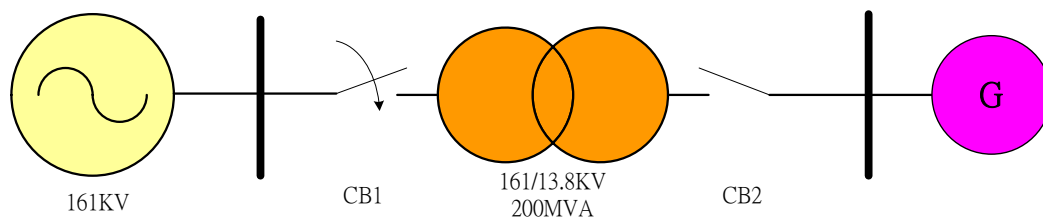


圖 2 變壓器激磁湧浪電流模擬之系統單線圖

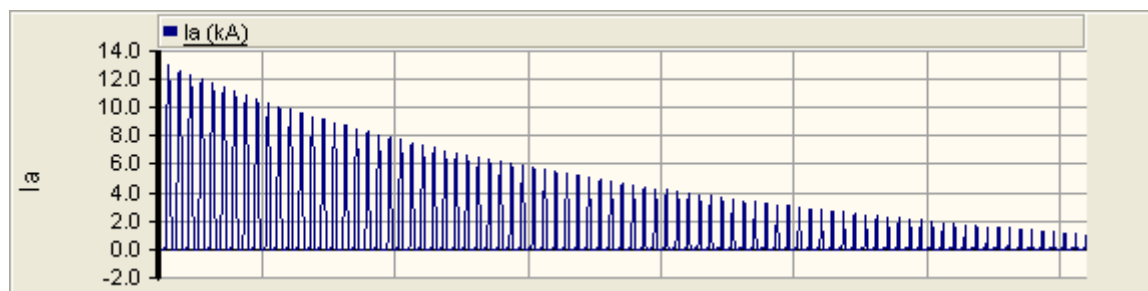
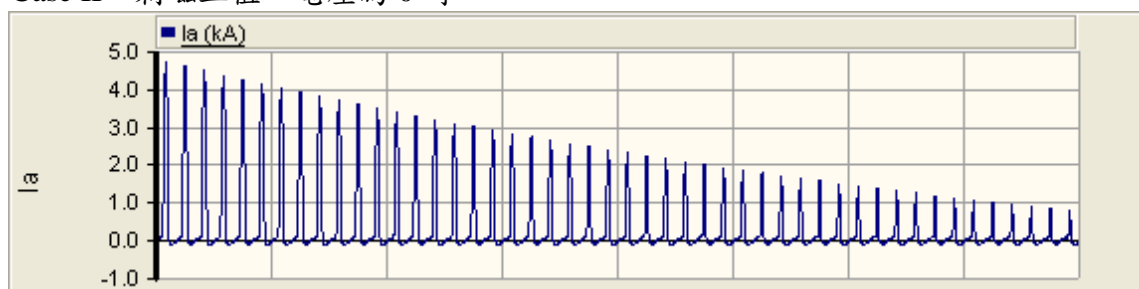


圖 3 模擬 161KV、200MVA 變壓器較嚴厲湧浪電流之情形

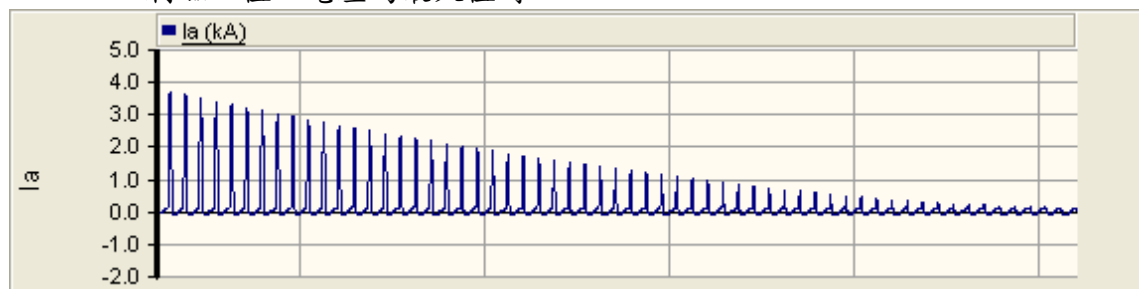
Case I：剩磁為 0，電壓為 0 或最大值時。



Case II：剩磁正值，電壓為 0 時。



Case III：剩磁正值，電壓為最大值時。



由以上第一個情況(Case I)得知，如果變壓器剩磁為零時，不管斷路器投入之角度為何？其激磁電流皆為正常狀態，無湧浪電流之出現；但如剩磁為正值，其斷路器投入角在電源電壓為最大值或零時，變壓器之湧浪電流，如第二、三個情況

(Case I、Case III)所示，其湧浪電流大小，與斷路器投入時之電源電壓大小、變壓器鐵芯中的剩磁方向及大小相關；以上所討論之問題為變壓器空載之情形，若有載之變壓器還要考慮功因問題，因剩磁與CB1 打開時之負載功因(L/R)有關係。

湧浪電流在電力系統中還要考慮研究的就是，多個變壓器併聯運轉情形，如圖 4 簡化之兩變壓器併聯運轉系統，當 TR2 於正常供電情況，TR1 因系統負載需求而投入併聯運轉，此時因 TR1 瞬間加壓所產生之湧浪電流，中含有直流(或非周期)分量，該分量經與其相鄰之變壓器的激磁電抗，使其鐵芯趨向飽和，而產生共感湧浪電流之各情況，如圖 5、圖 6 及圖 7 所示，此電流特性如下：

其共感湧浪電流與變壓器空載湧浪電流反相，即加壓之變壓器鐵芯正相飽和時，併聯運轉之變壓器反相飽和。

加壓之變壓器由初始不飽和狀態逐漸過度至飽和狀態時，共感湧浪電流

由小到大增加。

當變壓器空載湧浪電流在峰值附近時，匯流排電壓瞬時值較低，此時不產生共感湧浪電流；湧浪電流於間斷時間，運轉中之變壓器於湧浪電流的直流激磁和高電壓的作用下，產生共感湧浪電流，其湧浪電流與共感湧浪電流是正負交替產生的。

大容量變壓器加壓時，暫態過程期間長，可能造成之共感湧浪電流持續時間也相對較長，此時差動電驛較易誤動作。

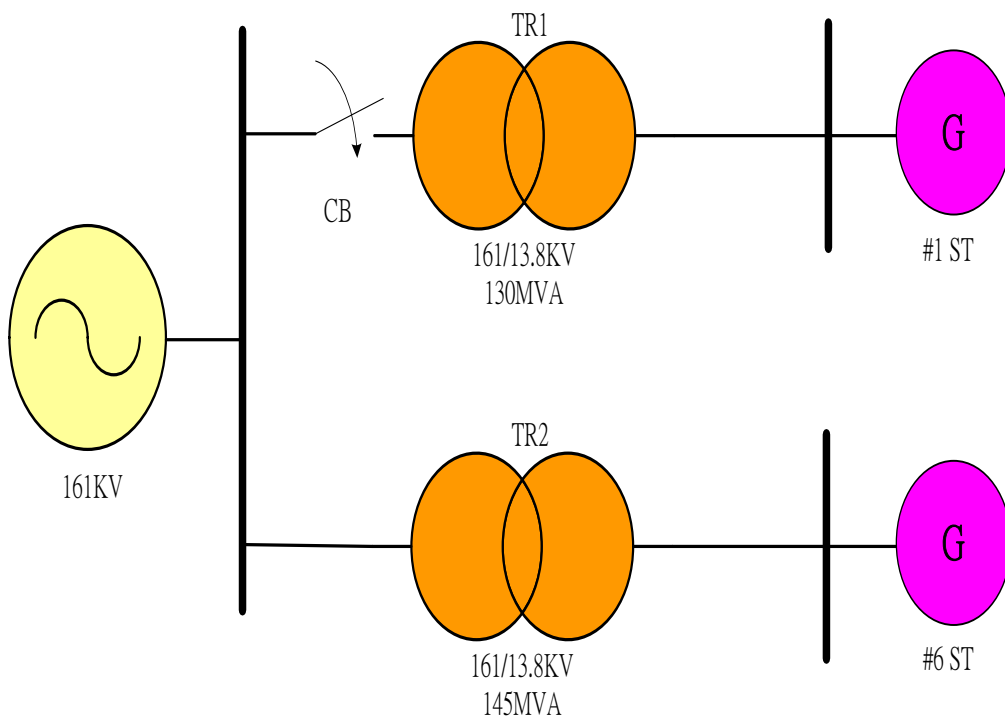


圖 4 變壓器共感湧浪電流模擬之系統單線圖

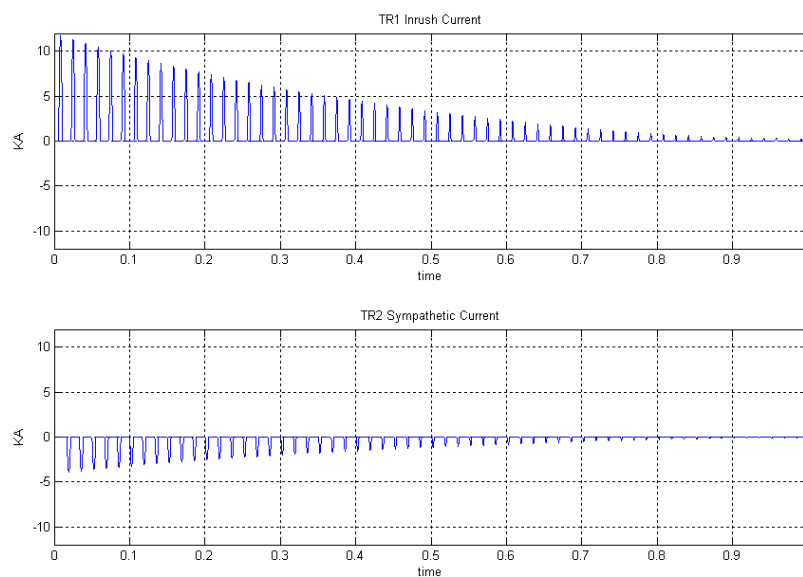


圖 5 變壓器(TR2)無負載因變壓器(TR1)加壓所產生之共感湧浪電流

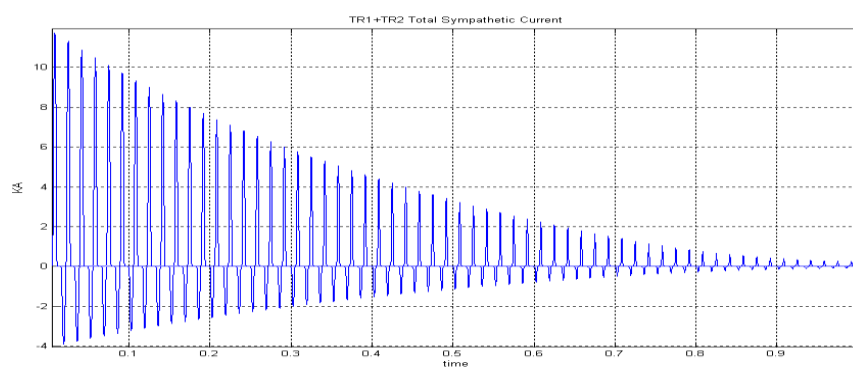


圖 6 變壓器(TR2)與變壓器(TR1)之湧浪電流和

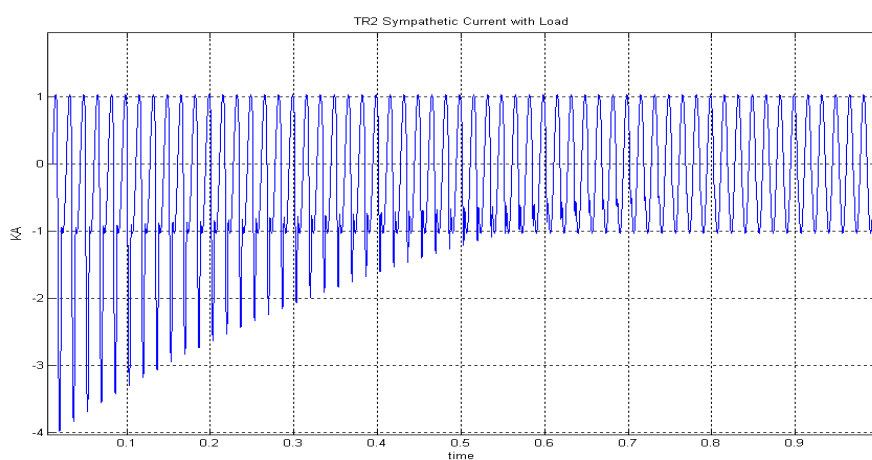


圖 7 變壓器(TR2)有載時因變壓器(TR1)加壓所產生之共感湧浪電流

三、現場實測結果分析

在國內某電廠之量測結果如圖 8、圖 9 所示，其機組主變高低壓側之電流大小相差甚少，相位差 180 度，故差電流很小；另將機組高低壓側之電流做傅立葉分析後，其高壓側主要成分為 60HZ 之系統頻率，如圖 10 所示，而低壓側主要成分為 60HZ 及少量之 120HZ 諧波電流是由

於鄰近機組主變投入所產生之共感湧浪電流成，本次量測之共感湧浪電流大小量還不足以讓保護電驛動作造成誤跳脫，若其機組主變投入條件滿足以上之模擬條件，則勢必會造成另一次之誤跳；因此，共感湧浪電流問題於系統設計及差動保護電驛設計應予以注意。

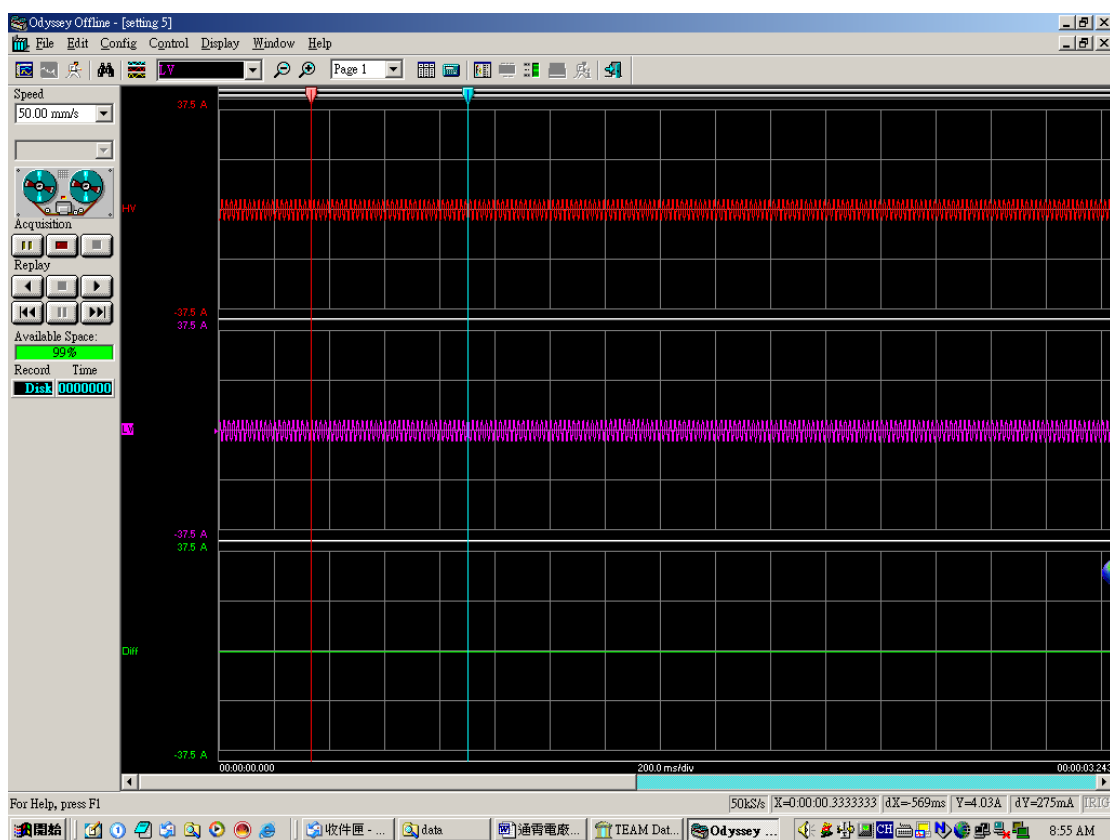


圖 8 一號機主變投入於六號機主變量測之高低壓側波形值

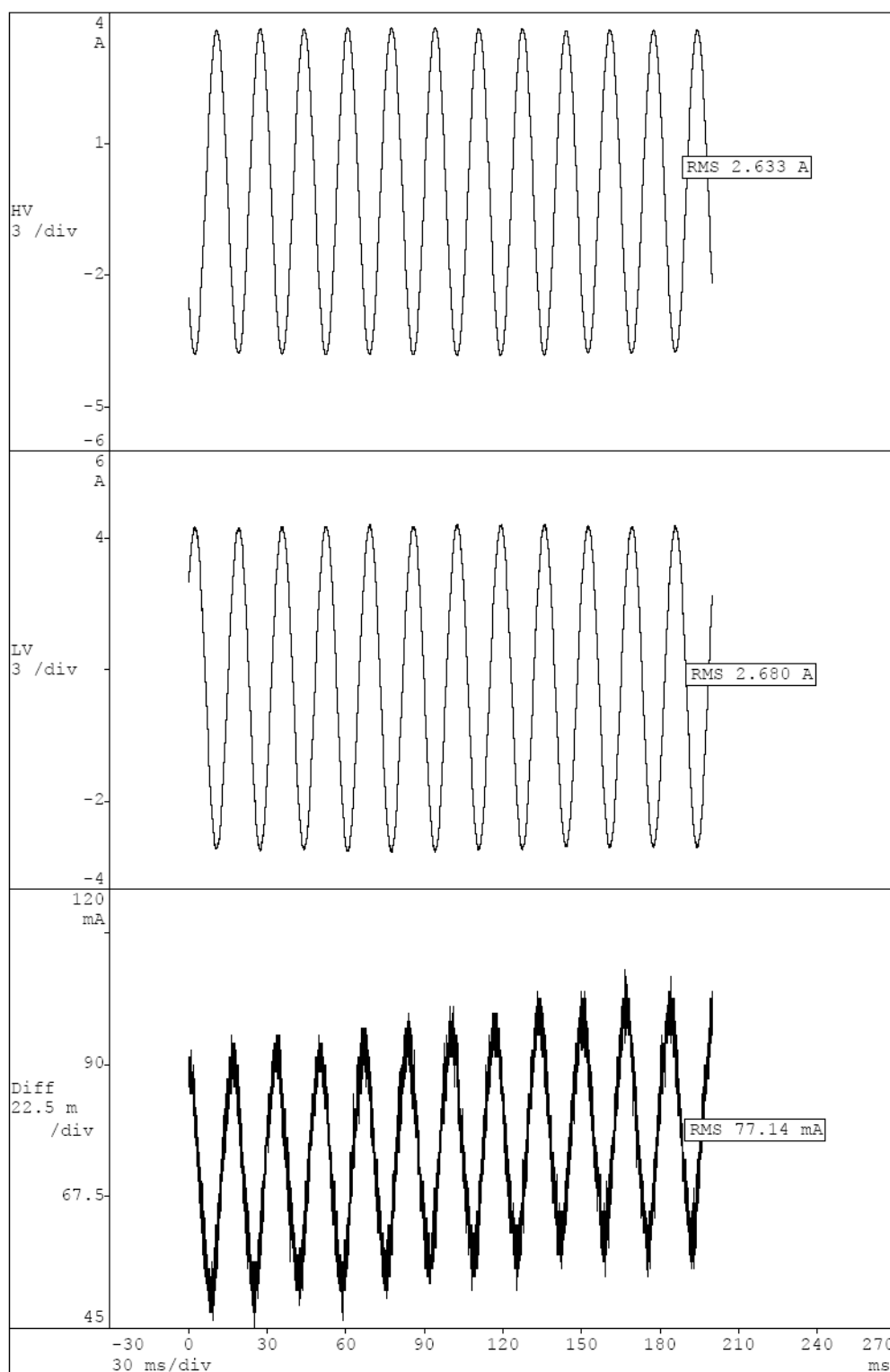


圖 9 為圖八之部份放大圖

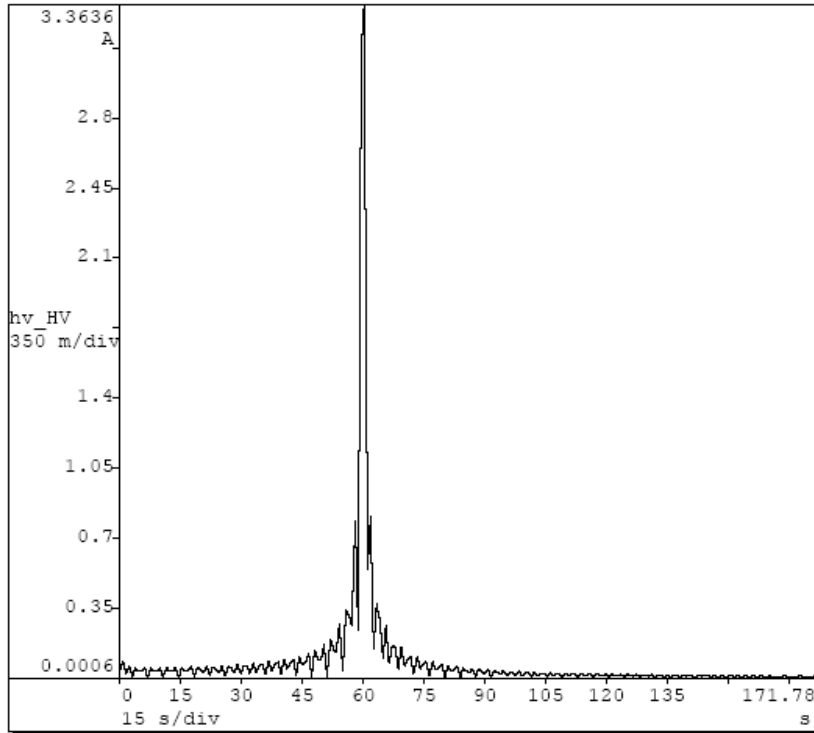


圖 10 六號機主變量測之高壓側波形值之頻譜分析

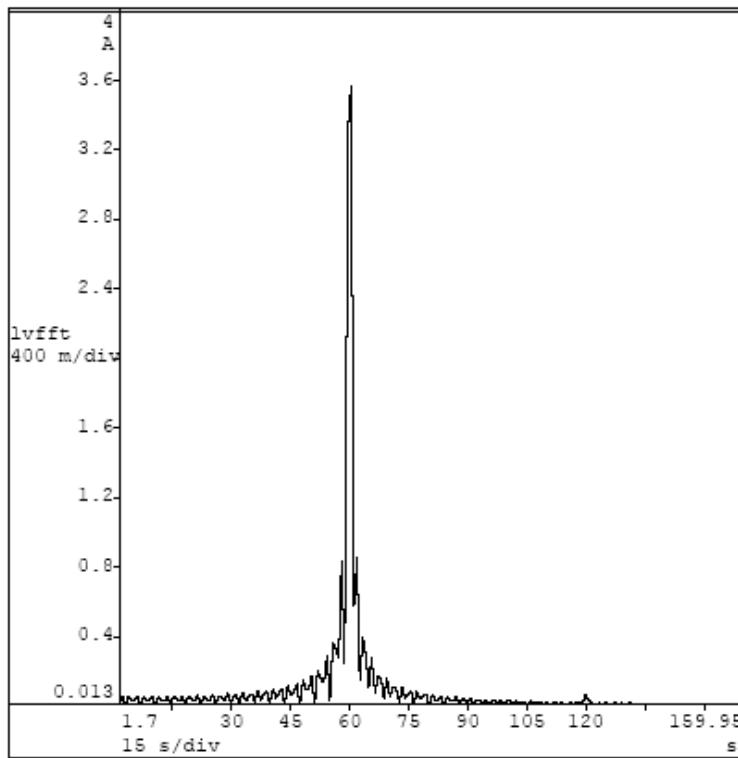


圖 11 六號機主變量測之低壓側波形值之頻譜分析

四、湧浪電流之分析討論

圖 12 為一般差動保護之基本架構，其基本原理是利用變壓器兩側電流平衡法則，當兩側電流不平衡產生之差電流值達電驛始動時，差動電驛發出跳脫信號隔離故障。

由差動原理知，當變壓器空載投入系統時，所產生之湧浪電流或相鄰併聯變壓器所感應之共感湧浪電流，皆只流過變壓器之一側。湧浪電流從模擬結果圖 13 經傅立葉頻譜分析後，如圖 14 所示其二次諧波約基本波之 82%，現今一般變壓器之正常湧浪電流約 10~20%；此為國內一般變壓器差動保護之二次諧波抑制多設定在 15% 之主要原因。

只要有湧浪電流存在，就會含有二次諧波及高次諧波，如再經比流器(Current Transformer)變換後，其二次諧波含量會更高。如此一來，我們使用含二次諧波抑制型之差動電驛，做為變壓器之主保護，多年來一直成果良好；然而，另一類型之共感湧浪電流，因其二之諧波成份，並不是在共感湧浪電流最大時最大，且隨共感湧浪電流衰減而增大，所以含二次諧波抑制之差動電驛還是會因此而誤動作。另外，其共感湧浪電流之零序分量常會經由變壓器中性線構成回路，其零序分量如夠大時也可能造成過電流電驛(51Z)誤動作跳脫。

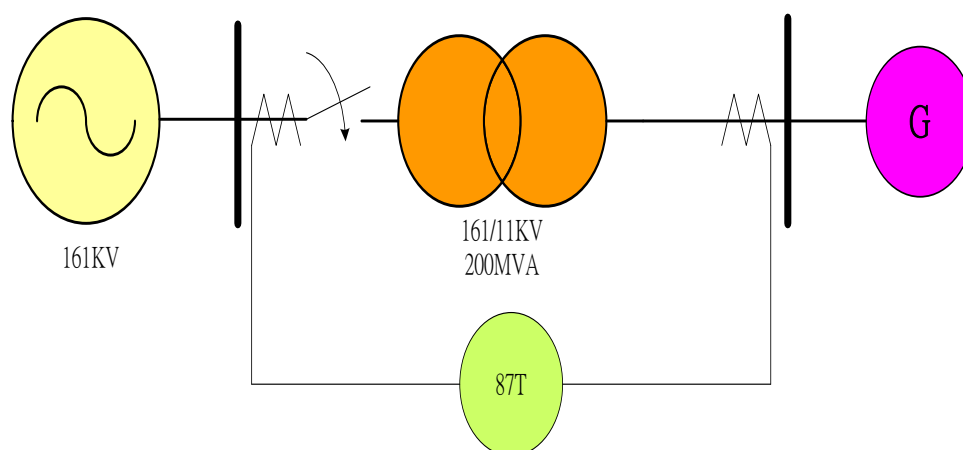


圖 12 變壓器差動保護之單線圖

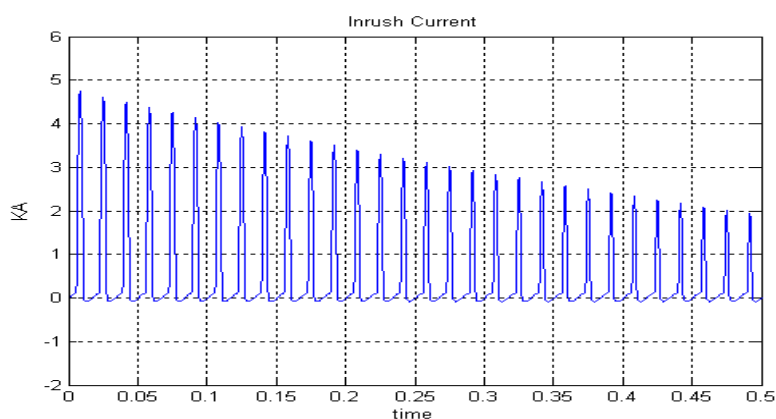


圖 13 一變壓器 161KV、200MVA 空載投入典型之湧浪電流

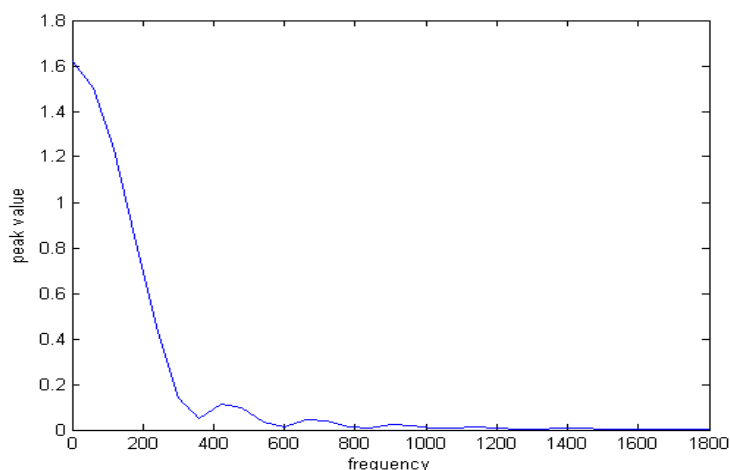


圖 14 變壓器湧浪電流之頻譜展開

解決共感湧浪電流引起變壓器差動保護動作誤跳脫之方法有三，其分述如下：

在差動保護電驛標置設定，有依據其被保護變壓器之空載湧浪電流條件下，解決二次諧波電流不可靠制動，將二次諧波抑制量調低，是可以使共感湧浪電流不造成差動電驛動作，但如此一來會造成內部故障時延時跳脫或不跳脫，而使被保護元件受更嚴重之傷害或擴大事故範圍；因此，此方式還待差動電驛之構造及原理改進。

在滿足選擇性之前題下，調高差動電驛之標置值，是一防治共感湧浪電流引起變壓器差動保護誤動作之好辦法。

共感湧浪電流通常由兩併聯變壓器之中性點構成迴路，因此一變壓器在併聯加壓時，將另一運轉中之變壓器中性點接地拉開，也可防治電驛誤動作發生。

五、結論

由以上之詳細說明探討，我們從模擬

及實測結果可清楚瞭解，變壓器湧浪電流及相鄰併聯變壓所感應之共感湧浪電流，常會使差動變壓器保護電驛誤跳脫，為了讓系統運轉更穩定、可靠及安全，其已於分析討論一節中做了詳細說明，並提出改善之道。

六、參考文獻

- [1] Gomez-Morante, M.; Nicoletti, D. W.; "A wavelet-based differential transformer protection", Power Delivery, IEEE Transactions on , Volume: 14 , Issue: 4 , Oct. 1999 Pages:1351 - 1358
- [2] Stringer, N.T.; Lawhead, L.; Wilkerson, T.; Biggs, J.; Rockefeller, G. D. , "Testing and performance of transformer differential relays" , IEEE , Volume: 3 , Issue: 4 , July-Aug. 1997 Pages:36 - 42 .
- [3] Cheng, C.L.; Lin, C.E.; Hou, K.C.; Hsia, Y.F. , "Effective suppression method of three-phase transformer's inrush cur-

- rent” , IEEE , 2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering .
- [4] Saied, M.M., “A study on the inrush current phenomena in transformer substations”, IEEE , Volume: 2 , 30 Sept.-4 Oct. 2001 Pages:1180 - 1187 vol.2
- [5] Yabe, K., “Power differential method for discrimination between fault and magnetizing inrush current in transformers”, IEEE Transactions on , Volume: 12 , Issue: 3 , July 1997 Pages:1109 – 1118
- [6] Bronzeado, H.; Yacamini, R.,” Phenomenon of sympathetic interaction between transformers caused by inrush transients”, IEE , Volume: 142 , Issue: 4 , July 1995 Pages:323 – 329
- [7] Fuchs, E.F.,” Discussion of "No-load losses in transformer under overexcitation/inrush-current conditions: tests and a new model", Power Delivery, IEEE Transactions on , Volume: 18 , Issue: 2 , April 2003 Pages:648 - 649.