

摘要

電力系統保護協調規劃中，輸電系統方向性過電流電驛跳脫時間之設定，須考慮其方向性及主保護與後衛保護之協調性。本文旨在探討台北捷運供電系統於正常供電時，保護設備之協調性。經電腦輔助保護工程系統程式分析後，結果顯示當短路發生時，主保護與後衛保護電驛協調時間約在 0.25 秒，可滿足保護協調規劃。

During planning the coordination of power system, both direction and coordination of Transmission system relays should be considered in directional overcurrent relay's setting. This thesis addresses the protective coordination of TMRTS in normal operation. Computer Aided Protective Engineering(CAPE) which is applied to analyze the coordination. The results show that all the coordination is about 0.25 sec when fault occurred. They satisfy the protective coordination of power system.

關鍵詞 keywords

保護協調 relay coordination

輸電系統 transmission system

壹、保護協調意義

保護設備使用的目的，在被保護之線路或設備發生故障之時，應迅速將故障部分切離線路，以免故障影響其他正常線路或設備部分，而故障隔離之區域應降低至最小範圍，以尋求最佳的供電品質。為達到此目的，各保護設備的動作方式彼此間應適當加以規範，若其動作方式未能妥善規範，則一旦系統發生故障，可能不該動作的保護設備先行動作，使得停電範圍擴大，或是應該動作時卻未動作，不但可能燒毀設備，亦會危及操作人員的安全。

電力系統上有兩個或兩個以上的過電流保護設備互為串聯時，當系統發生故障，其異常故障電流由電源側流向故障點，如圖 1 所示，則較靠近故障點的保護設備 CB2 應迅速動作將故障部分自系統上切離，此稱為主保護(Primary Protection)，如果主保護設備失靈未動作，則比其接近電源端(Up-Stream)的保護裝置必需動作，此稱為後衛保護(Back up Protection)，因此，各種重要之電力設備通常均設計主保護及後衛保護，且須具備重疊保護之功能，如圖 2 所示。圖 2 中(x)點的故障位於兩個重疊的區域內，使得所有匯流排與變壓器斷路器都會跳脫。(y)點的故障只會使得匯流排斷路器跳脫。(z)點的故障會使得匯流排斷路器跳脫，並且如果線路用差動電譯保護，也會使線路 2 另一端（於圖上並未畫出）的斷路器跳脫。

貳、短路電流計算

短路電流計算之目的有三：(1)選擇足夠的啟斷容量(Interrupting Capacity)之開關設備；(2)決定開關設備之瞬間容量(Momentary Duty)；(3)設定及協調各種保護電譯的動作時間。一般於實務計算短路電流時，為考量電氣設備、線路之保護區域及各保護區域間之保護協調問題，通常會在線路串接路徑之上，選擇幾個故障點計算其短路電流大小。在電力系統最常發生之故障是單線接地故障(Single Line Ground)，其機率佔 90% 以上，而三相故障(Three Phase Ground)其故障電流最大。因此，一個電力系統至少要進行單線接地故障及三相故障之短路電流計算，以確保其斷路器或電力熔絲之啟斷容量是否足夠及各保護區域間是否協調。茲就單線接地故障及三相故障之短路電流作一介紹。

一、三相故障短路電流計算

三相故障短路電流計算，一般為求計算簡化起見，均假設於故障前，各匯流排電壓之標么值均為一、各匯流排之負載均為三相平衡。當然於學術界的研究中，為求精確計算，須根據實際負載運轉之情形進行負載潮流分析來求得故障前各匯流排三相個別之電壓。當發生三相短路故障時，其標么短路電流 I 為

$$I = \frac{1.0}{Z_{busi}}$$

其中 Z_{busi} 為線路 i 之驅動點阻抗，即線路 i 中所有串接元件阻抗和。而標么電壓為 1.0

(假設故障前無負載電流)，其為線對地之電壓。

二、單相接地故障短路電流計算

單相接地故障，其與線路之零序、正序及負序阻抗有關，當發生 a 相單相接地故障時，其計算式如下

$$I_a = \frac{1.0}{Z_{i1} + Z_{i2} + Z_{i0}} * 3$$

其中 I_a 為 a 相之短路電流， Z_{i1} 、 Z_{i2} 、 Z_{i0} 則分別為線路串接阻抗之正序、負序及零序阻抗。

參、電腦輔助保護協調分析

保護協調乃電力系統設計規劃一項重要工作，也是確保電力供應安全與可靠的要素，以往利用人力方式執行保護協調設備之設定與檢討是相當浪費時間。利用電腦的強大計算能力和繪圖能力，可以節省分析時間及避免人為誤差並增加準確度。欲藉電腦來執行保護協調分析，必須先建立過電流保護設備之時間 - 電流特性曲線。過電流電驛的動作時間與通過電流大小、時間標置的設定有關，其動作時間(T)為電流(I)和時間標置(TDS)之函數。即動作時間 $T=f(TDS,I)$ ，而電力熔絲之動作時間曲線大部分為指數增加型(log-log)，以方程式表示為 $\log T=f(I)$ 。將各種保護電驛之時間函數輸入電腦，即可利用電腦來繪製各階層保護協調曲線，並探討其間是否協調。

當變壓器發生內、外部故障，會有異常大電流發生，此電流會使變壓器產生過熱及機械損害。因此變壓器之破壞特性曲線應一併考量，方能提供變壓器完整的保護，美國電機電子工程師學會(IEEE)將變壓器的破壞曲線根據額定容量分為四類如表 1 所示

類別	變壓器銘牌容量(KVA)	
	單相	三相
1	5~500	15~500
2	501~1667	501~5000
3	1668~10000	5001~30000
4	10000 以上	30000 以上

表 1 變壓器容量分類

肆、保護協調時間間隔

主保護與後衛保護的時間-特性曲線必須保持若干間隔，此時間間隔的大小隨著保護設備而有不同的考量，茲將各種過電流保護設備協調時的時間間隔(Coordination Time Interval, CTI)分述如下：

一、過電流電驛間的協調

對反時性過電流電驛(Inverse Time Over-Current Relay)而言，其協調時間間隔通常為 0.2 0.5 秒，包括

- 1.主保護斷路器一啟斷時間 (5 週波) 0.08sec
- 2.後衛保護電驛慣性動作時間 0.1 sec
- 3.安全係數 (CT 的誤差、故障電流的誤差) 0.22sec

但如果採用數位式電驛時，則慣性轉動時間的考量可以忽略之。

二、過電流電驛與熔絲間的協調：

若主保護為電驛，後衛保護為熔絲，則熔絲必須考慮其最小熔斷時間，其 CTI 通常考量為 0.3sec。反之，熔絲為主保護，電驛為後衛保護，則必須考慮其全部清除時間，CTI 亦為 0.3sec，但若熔絲總清除時間在 1sec 以下者，CTI 可降至 0.1sec。

伍、輸配電線路之過電流保護

輸配電線路的架構可以區分為輻射式(Radial Circuits)與環狀式迴路(Loop Circuits)兩種。對於輻射式線路保護設備間的保護協調設定較為容易，然而若輸電線路為環狀式時，此時必須考慮線路上的電源為單電源或雙電源，其保護協調亦較為困難。

圖 3 為典型輻射式饋線單線圖，若故障發生在 C 附近時，電驛 2 應先動作，電驛 1 跳脫時

間則應延遲一個 CTI，如此電驛 1 和電驛 2 即可協調。

圖 4 為環型輸電系統單線圖，若故障發生於點 26 時，則部分故障電流同時流經過電驛 8 與過電流電驛 6，因兩電驛相距甚近，很難斷定跳脫之優先順序，所以環形網路中之保護電驛必須具方向性。

圖 5 為單一電源之環狀式系統單線圖，當匯流排 G 生故障時，故障電流將不會流經電驛 1 和 10，所以電驛 1 和 10 可使用非方向性過電流電驛，電驛 2 電驛 9 則由於故障電流方向不同而必須使用方向性過電流電驛，假如圖 5 中每一個匯流排都有另外一電流流入，此時電驛 1 和電驛 10 則必須使用方向性過電流電驛。

圖中箭頭方向相同的電驛之間必須互相協調。如順時鐘方向，電驛 1 必須和 3 協調，3 和 5、5 和 7、7 和 9、而 9 又必須和 1 協調。

對於單電源環狀式系統之過電流保護設備之設定，可將系統視為兩個輻射式線路組成，即順時鐘方向和反時鐘方向兩線路。先行設定某一方向之保護電驛，使之能夠協調，如圖 6 所示。首先設定順時針方向電驛 1，若故障發生於 f 時電驛 H1 動作時間為 t1，則電驛 1 動作時間須為 t1 加一個 CTI，接著設定電驛 3，如果電驛 R1 動作時間為 t2，電驛 3 的動作時間須 t2 加一個 CTI；此時由於電驛 1 為電驛 3 之後衛保護，因此電驛 1、3 之間要協調，其時間差為 CTI，所以要重新設定電驛 1，使其能與電驛 3 協調。

陸、捷運淡水 - 新店線交流供電系統保護協調分析

一、交流供電系統保護架構圖

台北捷運淡水 - 新店線交流供電系統保護方式，整個系統大概可區分四種型式如圖 7 所示，TYPE1 用於 TSS 間輸電電纜的保護，TYPE2 用於各 TSS 22.8KV 匯流排、整流子的保護，TYPE3 是主變壓器至 SSS 間線路及 22.8KV 匯流排之保護，TYPE4 是用於 BSS 的 161KV 匯流排、主變壓器的保護，由差動電驛和過流電驛組成保護系統。若依設備和電壓等級區分，則可以分為八個部份：161KV 系統保護、161/22KV 匯流排及主變壓器保護、22KV 並聯保護、TSS 之保護、環路開關(RMU)的保護、阻尼器與發電機等設備的保護。

二、保護協調時間間隔

每一保護區間均有過電流 / 過電流接地及方向性過電流 / 過電流接地保護電驛作為主、後衛保護，其時間間隔至少為 250ms，以使當故障發生時，只作動最適切之保護電驛。

三、捷運淡水 - 新店線過電流保護電驛 7SJ50 介紹

捷運淡水 - 新店線過電流保護電驛主要使用西門子公司之 7SJ50 型電驛，7SJ50 型電驛為數位式保護電驛，可應用反時限過電流保護(Inverse-Time Over-Current Protection)，7SJ50 時間電流動作特性為：

正常反時性：

$$t = \frac{0.14}{\left[\frac{I}{I_{PH}} \right]^{0.02} - 1} * TDS$$

其中：t = 跳脫時間 I_{PH} ：電流設定值
I = 實際故障電流 TDS：時間標置設定值

四、主變電站 161KV 線路保護協調分析

以興捷主變電站為例，系統簡要單線圖如圖 8 所示。

(一) 電驛設定值

EH 05/EH 01: 51 CTS : 1.2 In= I_{ph} (In=1A)

TDS : 0.25 (Normal Inverse)

EH 04/EH 02: 51/50 CTS : 1.1 In= I_{ph}

TDS : 0.20 (Normal Inverse)

Inst : 9 I_p=9.9 In

CTS : 電流標置設定值

(二) 計算

$$\text{正常滿載電流} = \frac{(25+15) * 10^3 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 161 \text{ KV}} = 143 \text{ (A)}$$

CT 選用 200 : 1

$$25 \text{ MVA TR 二次側短路時之一次側電流: } I_{SC1} = \frac{25000}{\sqrt{3} * 161 * 0.1} = 896$$

$$15 \text{ MVA TR 二次側短路時之一次側電流: } I_{SC2} = \frac{15000}{\sqrt{3} * 161 * 0.08} = 672$$

A 電驛跳脫時間 (於 896 (A))

$$I_{SC1} \div \text{CT 比} \div \text{CTS} = 896 \div (200/1) \div (\text{CTS}=1.2) = 3.733$$

$$\text{以公式計算跳脫時間 } t = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_{PH}}\right)^{0.02} - 1} * TDS = 1.31 \text{ sec}$$

B 電驛跳脫時間 (在 896A)

$$I_{SC1} \div \text{CT 比} \div \text{CTS} = 896 \div (200/1) \div (\text{CTS}=1.1) = 4.07$$

以公式計算跳脫時間

$$t = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_{PH}}\right)^{0.02} - 1} * TDS = 0.9834 \text{ sec}$$

瞬間跳脫值=9 Ip=9.9 In=9.9 × 200(A)=1980(A)

A 電驛與 B 電驛間之 CTI 為

$1.31(\text{sec}) - 0.9834(\text{sec}) = 0.3266(\text{sec})$ 。因此，可以

獲得保護協調。

圖 9 為於 ISC1 故障電流時，A 電驛與 B 電驛間之保護協調曲線圖

五、22.8KV 牽引電力配電系統保護協調分析

(一) 華捷主變電站 TSS~R17~R20~R16

捷運淡水 - 新店線供電系統於正常供電時為一幅射式線路，圖 10 為華捷主變電站至 R17 牽引動力變電站間之保護協調線路圖。當系統線路正常時，斷路器 CB 17 為 OPEN，CB 16 為 CLOSE，假如三相短路故障電流發生於 f₂，則斷路器 CB 17 變為 CLOSE，CB 16 為 OPEN，此狀況電流方向為 B，因此保護協調只需探討方向性過電流電驛 [67] 中之 4、5、6、7，及過電流電驛 1、2 過電流保護設備 1-2-4-5-6-7 之保護協調如圖 11 所示 (圖 12 為西門子公司所模擬之保護協調曲線圖)。由圖 11 可知主、後衛保護動作時間間隔皆大於 0.25 sec，符合保護時間間隔，因此可獲得保護協調。

(二) 興捷主變電站 TSS~G07~R12

圖 12 為興捷主變電站至 G07 牽引動力變電站間之保護協調線路圖。當故障發生於 f 時，其故障電流方向為 a，因此保護協調只需探討方向性過電流電驛 [67] 中之 4、5、6，及過電流電驛 1、2 過電流保護設備 1-2-4-5-6 之保護協調如圖 13 所示，由圖 13 可知主、後衛保護動作時間間隔皆大於 0.25 sec，符合保護時間間隔，因此亦可獲得保護協調。

柒、結論

在電力系統裡，各種意外事故所造成的故障，須靠良好的保護電驛運用故障時之異常狀態，適時可靠的動作，並選擇遮斷有關斷路以隔離故障區域，使故障限制於最小區域範圍，同時也可使正常部份繼續不斷的供電，以維持整個電力系統之穩定運轉。因此，系統保護電驛、斷路器、PT、CT 及相關控制迴路必須經常維持在良好的狀態，以備不時之需。而電驛保護之設計技術，可以說是一種藝術，主後衛保護間須取得協調。在實務設計時，保護設備如斷路器放斷時間、保護電驛動作特性及計量器 (PT、CT) 之誤差，都是必需要考慮的重要因素。

本稿經由總工程司室蕭永豐審查

捌、參考資料

- [1] 一個快速解弱值網目工業配電系統三相短路故障電流的方法，邱天基，台電工程月刊，第 586 期，pg56~71
- [2] 視窗化電腦輔助配電系統，蔡奇生，電機技師，第 64 期， pg115~124
- [3] 數位電驛介紹，彭雲將，電機月刊，一九九六年十一月號，pg147~149
- [4] 線路用整套型數位電驛介紹，白義和，台電工程月刊，第 515 期，pg30~40
- [5] 經濟部專業人員研究中心保護協調分析講義，87,8
- [6] 303 標淡水 - 新店線，西門子保護協調分析(REALY COORDINATION STUDY)
- [7] 303 標林錦聰電機機師送審台電計算書

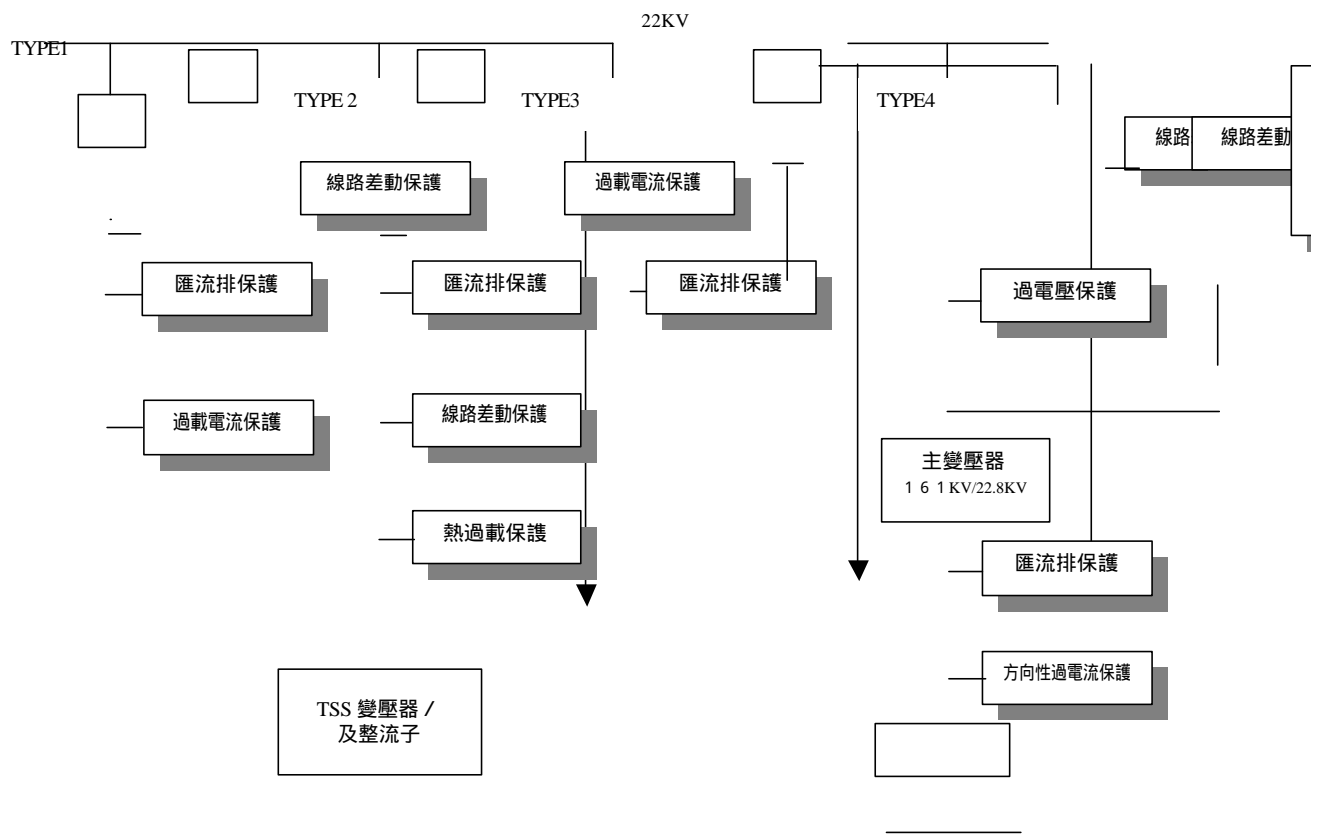


圖 7