

繼電保護及系統自動裝置
學習班講義

電力系統 繼電保護裝置

燃料工業出版社

繼電保護及系統自動裝置學習班講義

電力系統 繼電保護裝置

燃料工業出版社

繼電保護及系統自動裝置學習班講義
電力系統繼電保護裝置

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街總計口書局

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：廖美壁 校對：周金英

北京市書刊出版營業許可證出字第012號

書號247 * 電108 * 850×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 14 $\frac{1}{2}$ 印張 * 342千字 * 定價26,600元

一九五四年十月北京第一版第一次印刷(1—7,200冊)

版權所有★不許翻印

目 錄

出版者的話	5
第一章 繼電保護裝置設計的基本規則	6
第一節 對繼電保護裝置所提出之基本要求	6
第二節 保護裝置各元件設計之規則	7
第三節 保護裝置結線圖之主要繼電器數量及電流互感器	12
第四節 每一時限階段的數值	12
第五節 安裝電流互感器地點	13
第六節 選取電壓互感器及電流互感器的基本規則	14
第七節 電壓互感器，電流互感器二次線捲之接地裝置	16
第八節 掉牌（信號繼電器）及壓板	16
第九節 保護裝置輔助回路之電源	17
第十節 保護裝置原理接線圖的編製	18
第十一節 繼電器及其元件的符號	19
第二章 電流互感器及電壓互感器	24
第一節 電流互感器	24
第二節 電壓互感器	62
第三章 電流保護裝置	73
第一節 電流保護裝置概說	73
第二節 電流繼電器的構造特性及要求	83
第三節 電流保護的各種接線方式	100
第四節 電流速斷裝置	112
第五節 零序電流保護	127
第四章 電流方向保護裝置	140
第一節 相間電流方向保護裝置	140
第二節 接地電流方向保護	158
第五章 線路差動保護裝置	171
第一節 總 論	171
第二節 橫連差動電流保護裝置	173
第三節 橫連差動方向保護裝置	180
第四節 關於線路縱連差動保護裝置的概念	195
第五節 線路的電流平衡保護裝置	198

第六章 線路距離保護	204
第一節 動作原理	204
第二節 保護裝置的基本元件	205
第三節 限時特性	206
第四節 距離元件	208
第五節 阻抗繼電器的聯接法	215
第六節 影響距離元件工作的各種因素	220
第七節 啓動元件	224
第八節 防止系統振盪時誤動作的裝置	226
第九節 防止距離保護電壓回路斷線而誤動作的閉鎖裝置	232
第十節 距離保護裝置線路圖舉例	233
第十一節 距離保護的整定	241
第十二節 距離保護的使用	243
第七章 變壓器的保護裝置	244
第一節 變壓器的故障種類與異常運行	244
第二節 內部短路故障	244
第三節 異常運行	246
第四節 瓦斯保護裝置	247
第五節 利用電流速斷裝置的變壓器保護	251
第六節 變壓器差動保護	252
第七節 總差動保護中的不平衡電流	252
第八節 變壓器的勵磁電流	254
第九節 防止總差動保護裝置在勵磁湧流下誤動作的方法	255
第十節 帶速飽和中間變流器的差動保護裝置結線圖	256
第十一節 速飽和變流器的作用及原理	258
第十二節 速飽和變流器參數的選擇	260
第十三節 帶有平衡線圈的速飽和中間變流器	261
第十四節 帶速飽和變流器的差動保護裝置的 起動電流及靈敏係數	262
第十五節 差動電流速斷裝置	264
第十六節 帶速飽和變流器及採用帶制動特性的 繼電器所組成的差動保護裝置	265
第十七節 應用繼電器 ИДВ-211 的變壓器差動保護	266
第十八節 差動保護裝置的使用範圍及價值	273
第十九節 變壓器的短路過電流保護	274
第二十節 對於短路過電流的特殊電流保護	275
第二十一節 過負荷保護	277

第八章 發電機的繼電保護裝置	278
第一節 帶低電壓閉鎖的過電流保護裝置及 過負荷信號裝置	278
第二節 縱聯差動保護裝置	284
第三節 橫聯差動保護裝置	291
第四節 靜子線捲的接地保護裝置	295
第五節 轉子回路兩點接地的保護裝置	303
第六節 過電壓保護裝置	307
第九章 母線保護裝置	308
第一節 總 論	308
第二節 電流保護原理	311
第三節 距離保護原理	312
第四節 差動保護原理	315
第五節 母線接地保護	327
第六節 母線差動保護用電流互感器的選擇及 其與繼電器盤的連接法	329
第十章 發電機——變壓器組及線路 ——變壓器組的保護	330
第一節 發電機——變壓器組保護的特點	330
第二節 在發電機——變壓器組的發電機電壓系統中，發電機 中性點接地方式的選擇	330
第三節 發電機——變壓器組中發電機的接地保護	334
第四節 發電機——變壓器組中發電機的零序過電壓保護裝置 的動作電壓及靈敏度	335
第五節 發電機——變壓器組差動保護的特點	336
第六節 發電機——變壓器組過電流保護的特點	339
第七節 線 路——變壓器組保護的特點	339
第十一章 電動機保護	341
第一節 導 言	341
第二節 過負荷保護	343
第三節 低電壓保護	346
第四節 多相短路和單相接地保護	354
第五節 同期電動機及同期調相機保護的特點	357
第十二章 對稱分量濾過器	361
第一節 對稱分量的基本觀念	361
第二節 零序電壓及電流濾過回路	364

第三節	正序及負序電壓與電流濾過回路	366
第四節	附錄：負序濾過器的試驗方法	372
第十三章	繼電保護裝置的試驗	376
第一節	試驗用儀表	376
第二節	繼電器試驗前一般檢查工作及注意事項	376
第三節	過電流繼電器試驗	379
第四節	電壓繼電器試驗	384
第五節	時間繼電器	387
第六節	補助繼電器試驗	389
第七節	電力方向繼電器試驗	389
第八節	差動繼電器試驗	395
第九節	負序保護裝置試驗	406
第十節	週波繼電器試驗	410
第十一節	電流互感器特性試驗	412
第十二節	保護裝置整組試驗	412

出版者的話

本書是中央人民政府燃料工業部電業管理總局在東北舉辦第一次全國繼電保護與電力系統自動裝置學習班所用的講義，內容均按蘇聯專家所指定的提綱並參考蘇聯先進資料編譯而成。書中第一章「繼電保護裝置設計的基本規則」係蘇聯專家佛米喬夫(А. Л. Фомицев)所寫，其餘十二章係由鄭琛、胡道濟、王祖蓮、丁寄屏、劉金鐸、周天善、羅經南、鄭奎璋、吳伯堅、王梅義、謝寶炎等同志編譯而成的。他們所根據的資料是：1950年斯大林獎金的獲得者索洛維夫(И. И. Соловьев)著「力能系統自動化」，1952年斯大林獎金的獲得者斐多塞夫(А. М. Федосеев)著「電力系統繼電保護」，中央人民政府燃料工業部和蘇聯電站部所制訂的各種規程。

本書詳盡地敘述了電力系統中的電流方向、線路差動、線路距離、發電機的繼電器、變壓器、電動機等保護裝置及繼電保護裝置的試驗。它是從事繼電保護裝置的技術人員的實用參考書，並可作為大學電機系參考教材。

由於本書係許多譯者編譯而成，譯文筆調甚難一致，不妥之處恐所難免，希望讀者提出意見和批評，以便改正。

第一章 繼電保護裝置設計的基本規則

第一節 對繼電保護裝置所提出之基本要求

電力系統的運行對繼電保護裝置有下列各主要要求：

1. 動作選擇性，
2. 速動，
3. 靈敏，
4. 可靠。

設計時，對保護裝置之速動方面必須特別注意：

1. 減少繼電保護裝置動作時間，就能減小故障對用戶停電所發生之影響。

電力系統裏發生短路時，可能產生很大之電壓降。這時，電動機之轉距減小，因此轉數也減小，而電力網裏所需要之電流却增大。

如果在供電的電力系統裏電壓急劇不斷地下降，電動機可能完全停止轉動。

蘇聯電站部研究結果說明：電動機，於系統裏短路消除之後，要恢復正常工作時，與故障線段切斷之快慢有很大關係，與系統裏電壓恢復得快慢也有很大關係。

系統之故障線段切斷得愈快，電動機轉數之減少也較小，因此電力網所需要之電流的上昇程度也減小。同時線路裏所需要之電流減小，就促使系統裏之電壓降也減小，因而使電動機之端電壓增大。

系統裏電壓恢復得愈快。用戶電動機之正常轉數也就恢復得愈快。

運行經驗說明：所有電動機，甚至就負荷方面來說處於極嚴重狀況下之電動機（如活塞式之壓縮機），於端電壓全部消失時，只能支持0.2秒鐘。

假使電力網裏發生短路時，電壓降下的時間不大於 0.2 秒，則安裝於用戶之電動機一個也不需要切斷。

假使故障切斷的時間大於 0.2 秒時，則部分與電力網聯接之電動機應被切斷。故障切斷之時間愈大，則這部分要切斷之電動機愈多。

在某些情況下，減少電力網裏電壓降低之時間及保持週波數是極必要的（如：當電力網裏接入紡織廠時）。

2. 加速切斷短路可以增加系統的穩定限度，計算中說明：縮短掉開的時間，任何時均可以使送電容量之極限增大，並且可以避免並列運行之發電機解列。

3. 減少掉開時間可以減小系統故障元件之破壞範圍。

用速動保護裝置時，即使產生很大電流之短路，所遺留之故障痕跡也並不大，這樣就減少了修理項目。

4. 加速切斷故障，可以減少用戶停電之可能性。

足夠快地切斷故障線路，使故障線路自動重合成爲可能。使用速動保護裝置時，線路保持通路狀況之可能性，較使用帶大時限之保護裝置時，顯然增大。

第二節 保護裝置各元件設計之規則

要解決各種具體情況下保護裝置最適合之電流的問題，在於選擇保護裝置的下列三種主要元件的最適當之電流的問題：

- (1) 起動元件，
- (2) 限時元件，
- (3) 電力方向元件。

2-1 起 動 元 件

起動元件的作用，係當保護範圍內發生故障，或當被保護之設備運行方式不正常時，使保護裝置動作。

保護裝置起動元件之主要形式有下列各種：

- (1) 過電流起動元件，

- (2) 低電壓起動元件,
- (3) 低阻抗起動元件,
- (4) 過電力起動元件。

不是在穩定極限左右運行的穩定電力系統，起動元件可以根據下列一般情況進行選擇：

過電流起動元件是最簡單的，所以在任何情況下，只要故障電流數值足夠使它動作時，皆可採用之。

低電壓起動元件及低阻抗起動元件能於保護之線路裏電流小於額定值時起反應作用，故當故障電流不足以使過電流起動元件動作時，可以採用之。

低電壓起動元件。一般不可能僅由一種低電壓繼電器組成，而需要輔助的繼電器，如過電流繼電器。

從低電壓元件及低阻抗起動元件之特性曲線比較中，可以作出下列結論：

(1) 爲了使低電壓起動元件動作，必須要保護裝置裝設地點之電壓低於某原規定之數值；對於低阻抗起動元件，却可以使它於額定電壓下，遇被保護線路之電流值大於規定限度時（如過負荷時）即行動作。因此，低阻抗起動機構之特性曲線 $z_{p.m}=f(i_p)$ 必須在一定的過電流值下與工作阻抗特性曲線 $z_{p.0}=f(i_p)$ 相交，這一過電流值是指起動元件在正常電壓下應該動作的過電流

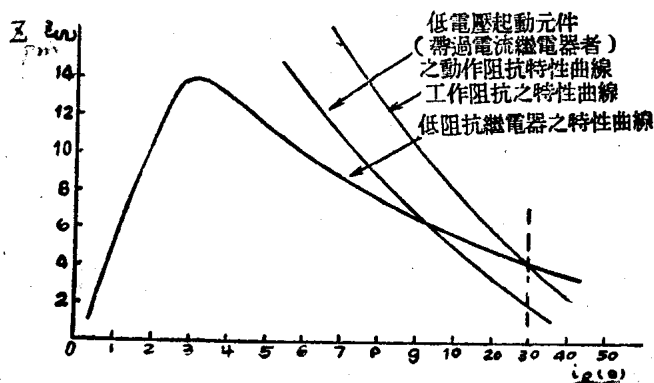


圖1 低電壓起動元件（帶過電流繼電器者）之動作阻抗特性曲線

值。

(2) 小電流時，低電壓起動元件之靈敏度較低阻抗起動元件之靈敏度強。

(3) 利用帶直線特性曲線之低阻抗起動元件，很容易製成變壓器二次側之短路不靈敏的保護。

現今之低阻抗繼電器，其動作電流等於額定電流之30—60%。如用低電壓起動元件起動時，起動電流可以取得更小（達額定電流之10%以下）。

在何種具體情況下，必須使用何種起動元件的問題，必須於設計時，根據對起動元件所提出之要求而解決之。在類同之情況下，應偏重於採用能保證保護裝置接線圖最簡單之起動元件。

設計110千伏幹線之距離保護裝置時，應採用低阻抗起動元件。

22—66千伏之配電線路裏，時常採用過電流起動元件。

過電力起動元件，係爲了簡化接線圖，而希望將起動元件及電力方向元件同置於一過電力繼電器內時使用之。但是，這樣使用方法，照例是不允許的，因爲這種使用方法將使電力方向元件的作用減低，因此擴大了死區範圍。所以只有在某些特殊情況下，才允許使用過電力起動元件。

例如：在中性點不接地或在補償接地的系統裏，當接地電流小時，適於使用此種起動元件作爲單相接地保護（帶零序濾波器者）。

此種情況下，繼電器端鈕上之零序電壓，根據故障地點離繼電器安裝地點遠近之不同而形成的變化將是很小，並且過電力繼電器在電力方向方面可以有足夠之靈敏度。

在接近穩定極限之情況下運行的電力系統裏，必須儘量使起動元件於振盪時防止保護裝置動作。

由於所有各種起動元件都不能防止保護裝置於振盪時產生不正確的動作，故設計時，必須對受振盪之系統採用適當的特殊裝置，這種特殊裝置的輔助起動元件是防止保護裝置因振盪而動作

的（採用閉鎖）。

2-2 限 時 元 件

限時元件的用途，是人為地增加保護裝置動作時間。當保護裝置之瞬間動作不能保證正確之動作及有選擇性之動作時使用之。

限時元件有兩種：

（1）定限時元件，即當人為產生的時限固定不變時；

（2）反限時元件，即當人為產生的時限，決定於繼電器端鈕上之電氣數值時。

關於限時元件電流之問題，必須根據各種具體情況，按現有之條件而解決之。

如設備在電力系統最高運行方式^①及最低運行方式兩種情況下的短路電流相差很大，不希望採用反時限起動元件用來保護這種設備（例如在聯接電廠之輸電幹線上）。

相反，與一次變電所聯接的，在最高和最低運行方式的兩種情況下短路電流的變化相差不大之中等電壓（6—10千伏）的饋電線上，最好使用反時限起動機構。

2-3 電力方向元件

電力方向元件的作用，是在規定之電力方向下閉鎖保護裝置之動作。

有電力方向元件之保護裝置叫做方向保護裝置，當非方向保護裝置不能保證正確之動作及有選擇性之動作時採用之。

照例，電力方向元件，都是用電力方向繼電器來擔任。

以某些型式之距離保護裝置之歐姆表當作電力方向元件——是不適當且不希望的。

^① 最高方式（МАКСИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ）即在一切相同的條件下、短路電流最大時的方式，也就是系統內工作之發電機數量最多時的方式。最低方式之解釋與此相反。

使用有電力方向元件之保護裝置時，應滿足下列各要求：

(1) 保護裝置的死區（被保護之回路裏的一部分，當該部分發生故障時，繼電器不動作）——必須儘可能小。

(2) 應防止由於無故障相電流之影響（或由於其他因素之影響）而使保護裝置發生不正確之動作。

此時必須注意下列各點：

1. 電力方向繼電器之死區，可能係由於引到繼電器之電力較該繼電器之動作電力為小，從這一點來說，應使繼電器之動作電流儘量小到最低數值，而繼電器之接線圖應保證引到繼電器之電力儘可能大到最高數值。

2. 於故障瞬間，流經保護回路之無故障相裏之電流，可能由許多原因所產生，如：（一）當自多端供電時，各發電機之電動勢不相等，（二）帶負荷的情況下與電力網聯接着，（三）同期電機之振盪以及其他等等。

為了滿足上述要求，於設計任何有電力方向元件之保護裝置接線圖時，應解決下列各問題：

(1) 應採用何種電力方向繼電器：單相的，兩相的或是三相的；

(2) 電力方向繼電器之連接圖應當怎樣？

(3) 繼電器應根據什麼而起反應？

根據 $u_p i_p \cos \varphi_p$, $u_p i_p \sin \varphi$ 或 $u_p i_p \cdot \cos(\varphi + \alpha)$ ；

電力方向元件最好用單相或三相之電力方向繼電器製成。不希望用兩相的繼電器。

單相繼電器。可以作用於各種故障時，（包括單相接地在內）都能起反應之保護裝置的電力方向元件。

三相繼電器可以用作反應除兩相接地以外的各種故障（包括單相接地在內）的保護裝置之電力方向元件，但先決條件，是當通向電力方向繼電器的電壓可能經起動元件之接點，而接到繼電器內時。

如用三相繼電器以減小三相接地時不動作範圍，或用三相繼

電器以簡化保護裝置結線圖，都是非常適當的。

電壓直接通向電力方向繼電器之保護裝置中，只有當僅作為相間短路保護時，才建議用三相繼電器。

假使結線圖只作為單相接地保護，最完善的方法是用反應於零序電力(W_0)之電力方向繼電器作為電力方向元件。

第三節 保護裝置結線圖之主要繼電器數量及電流互感器

正常保護三相回路時，最好在各相上安裝本相之保護裝置，即保護裝置之結線圖，必須由三套與交流回路連接之主要繼電器，以及三套電流互感器組成。

但是，在許多情況下，也可以用所謂簡化之保護裝置，即用電流互感器數量及繼電器數量均縮減了的保護裝置結線圖（如：用兩個電流互感器及兩個繼電器的過電流保護裝置結線法，用兩個電流互感器及一個接在電流差上的繼電器的結線方法等等）。

簡化的保護裝置結線圖有下列缺點：

(1) 在不裝變流器之一相上的電流，不能使保護裝置有所反應。

(2) 在很多情況下，當發生多相故障時，保護裝置不夠可靠。

(3) 在很多情況下，保護裝置很複雜。

保護裝置簡化結線圖，只用作保護不很重要之元件(設備)，和作為備用保護裝置，以及於使用此種結線圖後，能夠有很大的節約，同時又不致引起保護裝置之過度複雜。

由於保護裝置之簡單結線圖較正常結線圖不可靠，而其經濟的實質一般也不大，故不允許在發電機及變壓器上使用簡化結線圖之保護裝置。

對保護 35 千伏或 35 千伏以上之幹線，簡單結線圖只允許用作備用保護裝置。

第四節 每一時限階段的數值

每一時限階段數值，首先與所採用之繼電裝置及遮斷器之性

能有關。

使用時限特性曲線不够穩定，惰性誤差較大（有反限時特性之電流繼電器）之繼電裝置，及本身掉閘時間很大之遮斷器時，——時限階段應增大。

時限階段可以按下列公式求得：

$$t = k(t_1 + 2t_2 + t_3)$$

此處， t_1 ——由受到掉閘衝擊時到斷弧瞬間之遮斷器動作時間；

t_2 ——整個保護裝置時限的最大可能誤差的時間；

t_3 ——惰性誤差之時間；

k ——安全係數。

時限階段（在其他一切相同的情況下），與繼電科工作人員的熟練，以及電力系統繼電保護技術運行之一般水平，有很大之關係。

電力系統裏最常用之時限階段（考慮到所採用之繼電器及儀表裝置之準確性），為0.5—0.7秒。

於設計繼電保護裝置時，總希望有最小之時限階段，但上面所指之時限階段的下限（0.5秒）只有於繼電科工作人員有足夠之熟練資歷，調整繼電器極小心，並且有必要之測量儀表（準確之電氣秒表）時才可用之。

第五節 安裝電流互感器地點

在很多情況下，保護裝置之電流互感器適於裝在遮斷器及母線之間。

如此安裝電流互感器時，當遮斷器發生任何故障，保護裝置都要動作，並且在很多情況下，不需要切斷母線即能處理事故（如當遮斷器外側之套管發生故障時）。

但是，當電流互感器較遮斷器還要不可靠時，這一優點便要失掉。此時，所有安裝在遮斷器及母線間之電流互感器的事故都成為母線事故。

這種優點於下列情況時也不成立，即當遮斷器上之故障，根

據發電機並列運行穩定之條件，必須用最小之時間來消除時。

因為近代的大型油入遮斷器，一般都有裝在遮斷器各套管上之（套管式）電流互感器（蘇聯製之油入遮斷器上，每一套管有兩個裝在上面的獨立之電流互感器）；這樣給設計母線或變壓器之差動保護裝置時，將遮斷器連接在速動保護裝置範圍以內，提供了良好的條件。

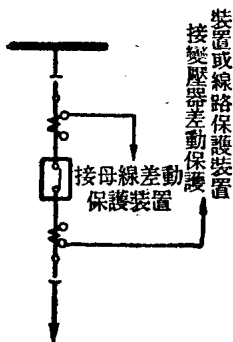


圖 2

於必要安裝母線之差動保護裝置時，而遮斷器上又無附裝之電流互感器，則必須在匯流母線相反之另一側，安裝一套個別獨立的電流互感器，使遮斷器連接在母線差動保護裝置之動作範圍內。

如有兩套電流互感器時，最好將其安裝在遮斷器兩側。

第六節 選取電壓互感器及電流互感器的基本規則

從繼電保護來說，對電流互感器的要求與所採用之繼電器種類及保護裝置之接線圖有關。在繼電保護裝置主要電流方面，對於電流互感器所提出之要求如下。

6-1 定限時之過電流保護裝置

當電流 $I = I_{p.m}$ （繼電器動作電流）時，電流之允許誤差為 10%。角度之誤差沒有什麼作用。

假使電流互感器在電流方面之誤差很大，適於用測量繼電器內的電流與一次電流之關係，來規定繼電器之動作電流。

6-2 反限時之過電流保護裝置

當電流之範圍為自 $I_{p.m}$ 至 $I_{p.s}$ 時（即當 $I = I_{p.m} \sim I_{p.s}$ 時），電流之允許誤差——10%。

此處 $I_{p.s}$ ——二次電流，於這電流時，繼電器特性曲線之