

中央人民政府燃料工業部

義講班習講氣電

第四冊

中央人民政府燃料工業部
技術研究室編



燃料工業出版社

編 者 的 話

一、本書是中央人民政府燃料工業部於一九五一年七月在北京開辦的電氣講習班第一期的講義提綱。這個班的教程和主講是蘇聯專家主持的；中國工程師配合着作些專題報告。參加學習的同學都是全國各電廠的工程人員和先進工人，共計六十餘人。

二、講義的內容主要是針對目前我國電廠和電力網中存在的常易發生而以往作得不够的技術問題。

三、本書原為講授形式的資料，在原講習班共講授約兩個半月，其中包括專題報告、學員提問題和專家解答問題的時間在內。這些資料的介紹方法對於具有一般文化的參加實際工作的技術人員和工人是切合實際需要並易於接受的。

四、這個講義經過整理以後，按照內容的類別分為五冊出版：

第一冊包括同期發電機運行和檢修工作中的問題；

第二冊包括過電壓、防雷保護設備、絕緣配合等問題；絕緣試驗方法也列入本冊裏；

第三冊包括電力系統的繼電保護裝置和自動裝置等在工作中應注意的問題；

第四冊包括發電設備的保護裝置在工作中應注意的問題；

第五冊包括短路電流的計算問題。

五、本冊內「同期發電機接地保護」及「差動保護」兩篇係專家所講，由本部辦公廳編譯室根據講義譯成中文。「阻抗繼電保護」及「平

行線繼電保護」則係本室工程師根據專家所指定及自己所搜集之資料編寫而成。

六、本書出版時仍保留了原來講義的形式，因此，各篇中敘述有關問題時，可能為引述的必要而發生重複的地方；每篇所用的專名詞未必盡同，雖盡量修正，或恐仍有遺漏；熱烈希望讀者發現問題時，函寄我室，以便幫助我們改正。

中央人民政府燃料工業部技術研究室

一九五二年五月

中央人民政府燃料工業部

義講班習講氣電

第四冊

中央人民政府燃料工業部
技術研究室編

燃料工業出版社

一九五三年四月·北京

電氣講習班講義

第四冊

中央人民政府燃料工業部
技 術 研 究 室 編

燃 料 工 業 出 版 社 出 版
(北京東長安街台基廠北口)
新 華 書 店 總 經 售

編 輯：曾 志 關

校 對：符 坤 珍

書號：50-4，25開本，共169頁，定價：13,000元

一九五三年四月北京第一版（1—10,000冊）

版權所有，不許翻印

目 錄

編者的話	1
同期發電機接地保護	5
第一節 總 論	5
第二節 發電機線匝層間短路保護裝置的原理	7
第三節 同期發電機接地保護裝置的動作原理及 計算方法	12
附 錄	19
差動保護	22
第一節 概 論	22
第二節 當短路電流倍數大時，與差動繼電器之由於 不平衡電流而發生之誤動作作鬥爭	26
第三節 校驗保護變壓器所用差動繼電器的變流器 是否可用	29
第四節 主變壓器的差動繼電保護之接線法	30
附 錄	32
阻抗繼電保護	43
第一節 阻抗繼電保護的基本原理	43
第二節 不同種類故障對於測定阻抗繼電器阻抗值的 影響	48
第三節 阻抗繼電器使用方面的幾個問題	74
第四節 感應型時間-阻抗繼電器的構造、特性及 應用	80

第五節	定阻抗繼電器或高速阻抗繼電器的構造、特性、 應用及調整法.....	91
第六節	綜合特性的阻抗繼電器的構造、特性及應用...	98
第七節	距離阻抗保護——介紹兩種準標的 阻抗保護系統.....	106
平行線繼電保護.....		114
第一節	電力方向繼電器概論.....	114
第二節	電力方向繼電器接線法.....	119
第三節	橫聯電流差動與橫聯電力方向差動保護.....	124
第四節	不保護範圍.....	126
第五節	起動裝置.....	130
第六節	低電壓起動裝置.....	133
第七節	閉鎖裝置.....	135
第八節	介紹幾種蘇聯的基本保護接線圖.....	135
第九節	電力方向繼電器的不保護範圍計算方法.....	147
第十節	平行線電力方向差動保護計算舉例.....	156

同期發電機接地保護

第一節 總 論

當發電機內部發生接地時，活性鐵片間的絕緣可能被電弧燒燬。根據運行經驗及進行實驗的結果，在蘇聯規定了接地電流的許可值。這些許可值根據第一圖中的曲線及接地電流持續的時間而定，並以不損壞活性鐵絕緣為原則。如果接地電流不超過 5 安培的時候，根據莫斯科電力系統技術處的最近指示，並不需要將發電機自動斷開，它可以在某一段時間內帶着接地運行。根據此項條件，接地保護裝置的靈敏度可以從下面簡單的關係中求得之：

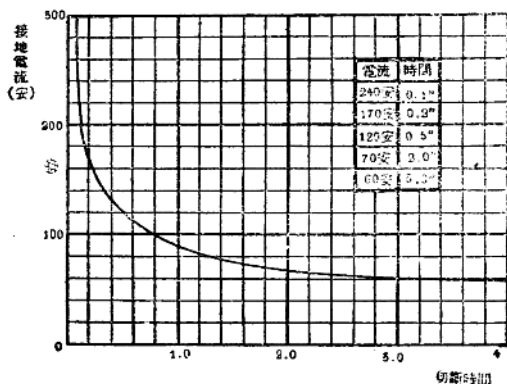
$$\text{線圈保護百分數 } N\% = \frac{I_z - I_0}{I_z} \times 100\%$$

式中 I_z —— 線捲出口發生接地時的接地電流；

I_0 —— 繼電器起動電流（一次側）。

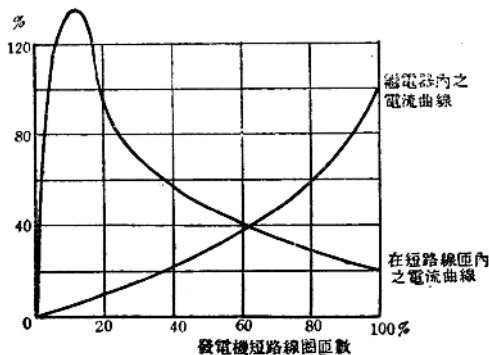
清楚的測出接地電流的數值，便可以決定發電機自動斷路的時間，和保護裝置所有的規範。例如有效電阻和繼電器的靈敏度，均可求得。同樣，在發電機直接連接至變壓器的運行情況下，如果接地電流不超過 5 安培的時候，也許可帶着接地繼續運行。然而需要記着：同期發電機的接地保護裝置，不僅保護着發電機的接地短路，同時也保護着線匝層間短路，因為這種線匝層間短路很快就要轉變為接地短路。

在發電機方面比較困難一些的，是設計用橫聯差動保護裝置保



第一圖 故障切斷時間與許可的接地電流關係曲線

護帶有並聯分枝發電機的層間短路。這種保護裝置的靈敏度被限制於5—8%，其原因是在發電機中存在有不對稱情形，在線捲及活性鐵內，由於不對稱現象產生了不平衡電流。同時與變壓器不同者，是在發電機中散漏電抗與短路後之線匝層數成一次正比，因此橫聯差



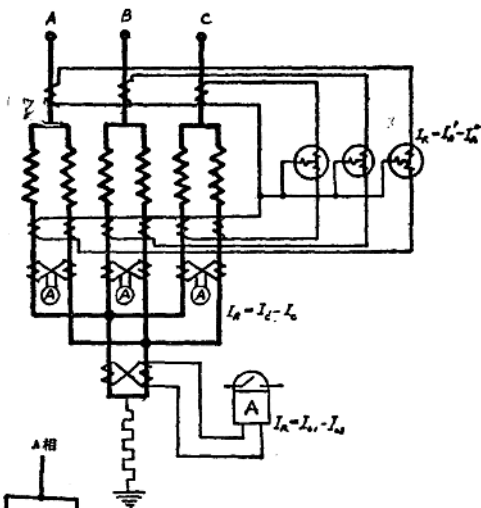
第二圖 層間短路電流曲線

動保護內電流之上升較慢，如第二圖所示。同時也必須知道，在容量小的發電機裏，沒有並聯的分枝線捲；而使用專設的儀表變壓器來保護線匝層間短路，效果甚低，費用甚昂，因此也沒有被普遍採用。根據以上所述，一般把接地保護裝置視為與縱連差動保護裝置同等，是因為縱連差動保護也是當線匝層間短路轉變為接地短路後將發電機斷開。運行經驗證明：當發電機發生故障的時候，接地保護比較其他保護動作的次數較多，並且預防了發電機的嚴重損毀。現代的發電機一般是用線條式線捲製成，這種電機裏幾乎沒有相間的線匝層間短路，而時常遇到的是接地故障。屬於例外的短路僅在發電機線捲端部產生，即當外部線路網內所發生之若干倍大的短路電流經過線捲時產生。

第二節 發電機線匝層間短路保護裝置的原理

一、帶有並聯分枝線捲的發電機

帶有並聯分枝線捲的發電機之保護，一般是使用橫聯差動保護方法，如第三圖所示。橫聯保護的缺點為其費用較昂，因在每一相的縱聯保護方面，要用三個變流器，而不似一般僅用兩個。比較合理的橫聯差動保護應該利用發電機中性線的零序電流差動作保護裝置。使用這種保護甚至可以在發電機遇到發生一層線匝短路的時候，也起保護作用。選擇橫聯保護起動電流的時候，應當以在最惡劣的條件下所發生之不平衡電流為出發點。一般選定繼電器的起動電流為最大不平衡電流的3—5倍，已經認為很充分。橫聯保護不需要時限，因為它是差動式的保護。給予橫聯差動保護一點動作時間（0.1—0.2秒），可能是因為需要應付變流器內在過渡過程中所發生的不平衡電流的關係。

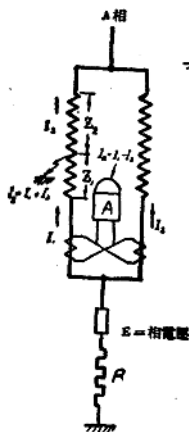


第三圖 橫聯差動保護裝置接線圖

如果橫聯保護裝置安裝在發電機中性線時，就可能當故障發生在各相時對接地短路電流產生不動作的範圍。相反地，也就是橫聯保護裝置安裝在發電機各相並當故障發生在發電機中性線時，橫聯保護對於這樣的接地短路電流就不靈敏。

橫聯接地保護靈敏度之校驗(第四圖)：如果在發電機之某一點上絕緣對外殼發生故障的時候，在差動繼電器中經過的電流是：

$$i = (I_1 - I_2) \frac{1}{N} \dots \dots \dots (1)$$



第四圖 並聯分枝式發電機接地電流的分佈

式中 i ——差動繼電器中的電流；

N ——變流器的變流比。

在故障點的接地短路電流為：

$$I_1 + I_2 = I_Z = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{E}{R}$$

式中 E ——相電壓；

R ——接地電阻。

根據電流 I_1, I_2 與並聯電阻 $Z_1, (2Z_2 + Z_1)$ 成反比的關係，可以求出它們的適當值，也就是：

$$I_1 = \frac{2Z_2 + Z_1}{2(Z_1 + Z_2)} \cdot I_Z \dots\dots\dots (2)$$

$$I_2 = \frac{Z_1}{2(Z_1 + Z_2)} \cdot I_Z \dots\dots\dots (3)$$

將此二方程式代入(1)時可得：

$$i = \frac{1}{N} (I_1 - I_2) = \frac{1}{N} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{E}{R} \dots\dots\dots (4)$$

用 K 代替 $\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$ ，並使繼電器的電流 i 等於其起動電流 i_0 ，代入(4)，成為正規的二次方程式，即：

$$K^2 - K + \frac{NRi_0}{E} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

這個二次方程式的二個根表示兩個點上的 K 值。如果在這兩個點上產生接地短路，橫聯差動保護系統內的電流和繼電器的起動電流相等。這二個點是橫聯差動保護裝置對於接地保護的兩個極限值，它們限制橫聯差動保護裝置對於接地保護的動作範圍。

$$K_1 = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{i_0 NR}{E}} \dots\dots\dots (6)$$

$$K_2 = \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{i_0 N R}{E}} \dots\dots\dots (7)$$

如果根號內的數值等於或大於零，那就表示橫聯差動保護對於接地短路的保護範圍等於零。這樣就可能根據發生接地短路時繼電器起動電流 $i_0 < \frac{E}{4 R N}$ 而動作的條件，決定橫聯差動保護裝置起動電流的最大值。例如：當

$$N = \frac{100}{6} = 20 \qquad I = \frac{E}{R} = 200 \text{ 安培}$$

$$i_0 < \frac{1}{4} \times 200 \times \frac{1}{20} = 2.5$$

如果起動電流規定在 1 安培的時候，則橫聯差動保護對於發電機接地短路的保護界限當為：

$$K_1 = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - 1 \times \frac{20}{200}} \cong 0.9 \text{ (90\%)}$$

$$K_2 = \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} - 1 \times \frac{20}{200}} \cong 0.1 \text{ (10\%)}$$

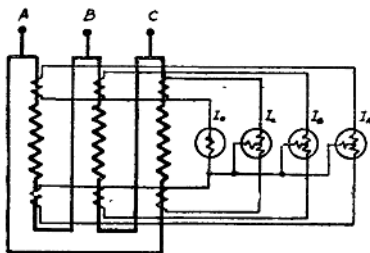
也就是說，被保護的發電機線捲數為 $90\% - 10\% = 80\%$ 。

同時必須要注意，一般在橫聯差動保護回路裏的不平衡電流是由於活性鐵、線捲本身、間隙及其他等處的不對稱情形而產生的基本運行週波的不平衡電流。

二、線捲連接為三角形的發電機

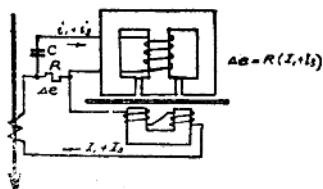
如果發電機線捲連接成三角形，並且保護裝置按第五圖所示情形安裝的話，就可以很容易的用零序電流作用於過電流繼電器的方法來保護線匝層間短路。然而發電機電壓內一般有諧波存在，故當線捲連接成三角形的時候，線捲內將產生第三諧波的循環電流，因此，在中性線上有着很大的第三諧波電流。第三諧波電流值可能

達到規格電流的 10—15%，所以應當使線匝層間保護靈敏度低些，以便使它的起動電流較第三諧波電流的最大值高出兩三倍，而這第三諧波電流的最大值正當轉子電流最大的時候。爲了在這種情況之下使繼電器不因第三諧波電流而動作，可以將繼電器對於高諧波作成不靈敏的，如第六圖所示之方法。從繼電器向量圖中可以很顯明地



第五圖 三角形接線發電機的保護裝置接線圖

看到，可使第三諧波電流的力矩成爲零，或者甚至由於在繼電器裏



第六圖 繼電器接線及向量圖

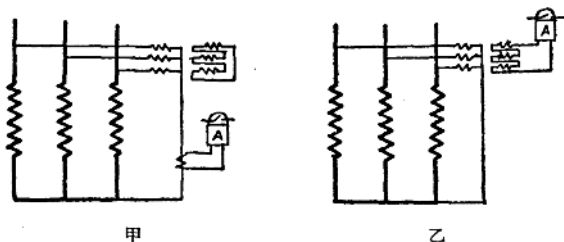
產生適當的相位角的關係，使它成爲制動的。從圖中可以看到用適當的變更電容 C 的方法，可以使 α_1 與 α_3 兩個角的變動範圍很大。

按照第六圖所示的現狀 α 角是正值，而在高諧波方面的一些角是負值，因此力矩的方向也不同。在此種情形下，不要使高諧波電流的力矩很大，以免使保護裝置靈敏度降低。

三、線捲連接爲星形且不帶並聯分枝的發電機

線捲連接爲星形且不帶並聯分枝的發電機的線匝層間保護裝置，其原理與發電機橫聯差動保護的原理相同，就是使用專設的輔

助變壓器產生對稱星形電壓，並在它的中性線與發電機的中性線間連接繼電器，如第七圖所示。爲了避免無益的高諧波電流使繼電器動作，可連接濾波器，以便使高諧波電流很難經過繼電器。



第七圖 不帶並聯分枝星形接線的發電機線匝層間短路保護裝置接線圖

根據以上所述可以作一結論：如果發電機沒有並聯的分枝線捲且按星形連接時，爲了保護線匝層間短路而裝設的保護裝置是很複雜，效果低而又昂貴的，因此在實際上不採用這種方法而裝設接地短路保護裝置。

第三節 同期發電機接地保護裝置的動作原理及計算方法

一、電力型差動接地保護

電力型差動接地保護裝置用於與母線直接連接而母線上接有很多饋電線的發電機。保護裝置的計算並不複雜。接地電流可用下列方程式表示之：

$$\alpha = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad I_Z = \frac{\alpha E_0}{R_0} \dots \dots \dots (8)$$

如果方向繼電器是電力型的，也就是說它的力矩 $M = EI \cos \phi$ 的時候，此力矩將由接地電阻 R 所分出的電力來表示，因此可以寫出

下列等式:

根據 $\cos \phi = 1$

$$\text{所以 } ei N_c N_p = \frac{E_\phi \alpha}{R_0} E_\phi \alpha = \frac{(E_\phi \alpha)^2}{R_0} \dots\dots\dots (9)$$

式中 ei ——繼電器的起動電力;

N_c ——變流器的變流比;

E_ϕ ——相電壓;

N_p ——變壓器的變流比;

R_0 ——接地電阻。

從方程式 (9) 中可以求出代表發電機未被保護的線捲匝數的百分數(α):

$$\alpha^2 = \frac{ei N_c N_p R_0}{E_\phi^2} \qquad \alpha = \sqrt{\frac{ei N_c N_p R_0}{E_\phi^2}}$$

$$\text{例如 } N_c = \frac{4,000}{5} = 800 \qquad N_p = \frac{10,000}{100} = 100$$

$$ei = 1 \text{ 伏安} \quad R_0 = 40 \text{ 歐姆} \quad E_\phi = \frac{13,800}{\sqrt{3}} = 8,000 \text{ 伏}$$

$$\text{則 } \alpha = \sqrt{\frac{1 \times 800 \times 100 \times 40}{8,000^2}} = \sqrt{0.05} = 0.224 = 22.4\%$$

必須記住, 保護裝置的靈敏度實際上要小一些, 因為在零序濾波器的變流器裏有分流情形。實際上電力型繼電器的電流當為:

$$i_r = i_z \frac{Z_0/3}{Z_0/3 + Z_R} = i_z K$$

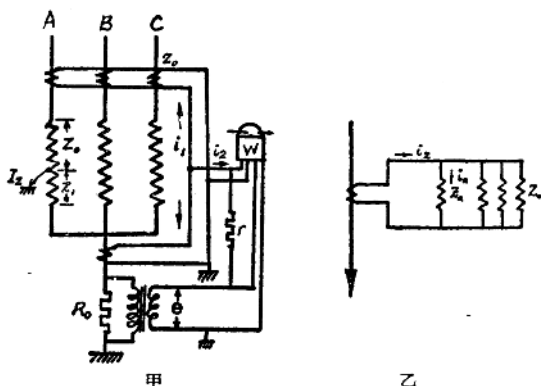
式中 i_z ——中性線之上變流器之二次電流;

$$K \text{——分散係數} = \frac{Z_0/3}{Z_0/3 + Z_R}$$

$Z_{0/3}$ ——零序濾波器的阻抗；

Z_R ——電力型繼電器電流線圈的阻抗。

選擇第八圖中電阻 r 的條件，是需要使繼電器內產生一個制動電流，這電流應當與使接點趨向閉合之電流的方向相反，以便避免



第八圖 電力型差動接地保護裝置接線圖

保護裝置因環流而引起誤動作，因此需要使保護裝置靈敏度減低。

用此種制動方法時，保護裝置之靈敏度可用下列公式計算之：

$$\alpha = \sqrt{\frac{ei N_c N_p}{E_{\phi}^2 \left(\frac{1}{R_0} - \frac{N_c}{r N_p} \right) K}}$$

此公式之演證詳附錄內（第20頁）。

例：採取前例之數值，假定 $r = 5,000$ 歐姆（未考慮分散係數，

假定 $K = 1$ ）

$$\alpha = \sqrt{\frac{ei N_c N_p}{E_{\phi}^2 \left(\frac{1}{R_0} - \frac{N_c}{r N_p} \right)}}$$