

电力系统继电保护原理

实验指导书

电子信息与电气技术实验中心

2015年2月

实验一 参观校变电所

(2 学时)

一、实验目的

1. 了解校变电所的电压等级、进出线回路数量。
2. 了解校变电所的电气主接线情况。
3. 了解校变电所的继电保护的配置情况。

二、实验内容与步骤

1. 到校内 C 楼任一配电室内，先总体观察配电室的各类电气柜的类型和总体布置情况；
2. 了解每一类电气柜的名称和作用。
3. 根据电气柜的类型和布置情况，逐步画出其电气主接线，再进一步了解进出线的数量和配电的规模。
4. 了解各电气柜内配置的继电保护的情况及保护的動作原理。

实验二 微机测控装置的使用

(2 学时)

一、实验目的

1. 掌握微机测控装置的面板按键的名称和内容。
2. 学习和掌握微机测控装置的使用和调试方法。
3. 掌握使用微机测控装置进行实验的方法。

二、实验内容与步骤

1. 到电力系统继电保护实验室，先认真听取实验室指导教师讲解实验室所配置“THLWX-1 型微机线路保护监控系统”的使用和操作步骤；

2. 分组后，对照“THLWX-1 型微机线路保护监控系统”使用说明书，逐步了解如何操作菜单和实验台上的按钮和按键。

3. 待熟悉“THLWX-1 型微机线路保护监控系统”再逐步熟悉保护定值的设定和系统参数的设置，并熟悉如何按照具体实验的要求设定保护参数和实验台面板上按键以设定短路故障，进而基本掌握如何利用“THLWX-1 型微机线路保护监控系统”进行具体的实验。

实验三 微机过电流保护实验

(2 学时)

一、实验目的

- 1、掌握过电流保护的原理和整定计算的方法。
- 2、熟悉过电流保护的特点。

二、基本原理

在图 5-1 所示的单侧电源辐射形电网中，线路 L1、L2、L3 正常运行时都通过负荷电流。当 d3 处发生短路时，电源送出短路电流至 d3 处。保护装置 1、2、3 中通过的电流都超过正常值，但是根据电网运行的要求，只希望装置 3 动作，使断路器 3QF 跳闸，切除故障线路 L3，而不希望保护装置 1 和 2 动作使断路器 1QF 和 2QF 跳闸，这样可以使线路 L1

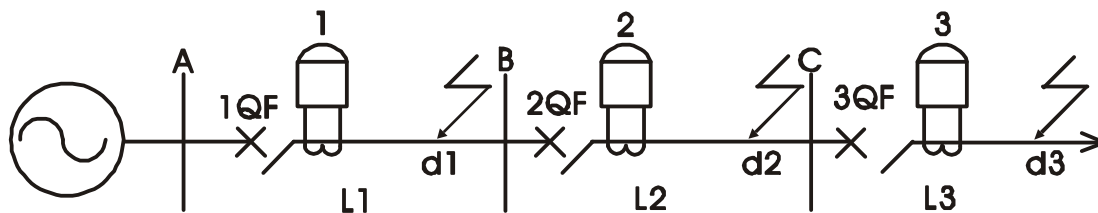


图 5-1 单侧电源辐射形电网中过电流保护装置的配置

和 L2 继续供电至变电所 B 和 C。为了达到这一要求，应该使保护装置 1、2、3 的动作时限 t_1 、 t_2 、 t_3 需满足以下条件，即

$$t_1 > t_2 > t_3$$

三、整定计算

1. 动作电流

在图 5-1 所示的电网中，对线路 L2 来讲，正常运行时，L2 可能通过的最大电流称为最大负荷电流 $I_{fh\cdot\max}$ ，这时过电流保护装置 2 的起动元件不应该起动，即动作电流 $I_{dz} > I_{fh\cdot\max}$

L3 上发生短路时，L2 通过短路电流 I_d ，过电流保护装置 2 的起动元件虽然会起动，但是由于它的动作时限大于保护装置 3 的动作时限，保护装置 3 首先动

作于 3QF 跳闸，切除短路故障。

故障线路 L3 被切除后，保护装置 2 的起动元件和时限元件应立即返回，否则保护装置 2 会使 QF2 跳闸，造成无选择性动作。故障线路 L3 被切除后再投入运行时，线路 L2 继续向变电所 C 供电，由于变电所 C 的负荷中电动机自启动的原因，L2 中通过的电流为 $K_{zq}I_{fh \cdot \max}$ (K_{zq} 为自启动系数，它大于 1，其数值根据变电所供电负荷的具体情况而定)，因而起动元件的返回电流 I_f 应大于这一电流，即

$$I_f > K_{zq} I_{fh \cdot \max} \quad (3-1)$$

由于电流继电器（即过流保护装置的起动元件）的返回电流小于起动电流，所以只要 $I_f > K_{zq} I_{fh \cdot \max}$ 的条件能得到满足， $I_{dz} > I_{fh \cdot \max}$ 的条件也必然能得到满足。不等式 (3-1) 可以改写成为以下的等式

$$I_f = K_k K_{zq} I_{fh \cdot \max} \quad (3-2)$$

在式 (3-2) 中， K_k 为可靠系数，考虑到电流继电器误差和计算误差等因素，它的数值取 1.15~1.25。

因为返回电流与动作电流的比值称为返回系数，即

$$\frac{I_f}{I_{dz}} = K_f$$

或

$$I_{dz} = \frac{I_f}{K_f}$$

将式 (5-2) 代入上式，就得到过电流保护动作电流的公式

$$I_{dz} = \frac{K_k K_{zq}}{K_f} I_{fh \cdot \max} \quad (3-3)$$

根据上式求得一次侧的动作电流。如果需要计算电流继电器的动作电流 $I_{J \cdot dz}$ ，那么还需计及电流互感器的变比 n_{LH} 和接线系数 K_{jx} 。电流继电器动作电流的计算公式为

$$I_{J \cdot dz} = \frac{I_{dz}}{n_{LH}} K_{jx} = \frac{K_k K_{jx} K_{zq}}{K_f n_{LH}} I_{fh \cdot \max} \quad (3-4)$$

2. 灵敏度

过电流保护装置的灵敏度用起动元件（即电流继电器）的灵敏系数 K_{lm} 的数

值大小来衡量。它是指在被保护范围末端短路时，通过电流继电器的电流 $I_{J.d}$ 与动作电流 $I_{J.dz}$ 的比值，即

$$K_{lm} = \frac{I_{J.d}}{I_{J.dz}} \quad (5-5)$$

计算时需要考虑以下几点：

- (1) 在计算过电流保护的 K_{lm} 时，应选用最小运行方式。
- (2) 对保护电网相间短路的过电流保护来说，应计算两相短路时的 K_{lm} 。
- (3) 接线方式对 K_{lm} 也有影响。
- (4) 要求在被保护线路末端短路时 $K_{lm} \geq 1.5$ 。

3. 动作时限

为了保证保护的选择性，电网中各个定时限过电流保护装置必须具有适当的动作时限。离电源最远的元件的保护动作时限最小，以后的各个元件的保护动作时限逐级递增，相邻两个元件的保护动作时限相差一个时间阶段 Δt 。这样选择动作时限的原则称为阶梯原则。 Δt 的大小决定于断路器和保护装置的性能，一般 Δt 取 0.5S。

四、实验内容与步骤

1、AB 段最大负荷电流取 0.3A, BC 段最大负荷电流为取 0.2A, 按照前面的计算原则，计算整定值，并作灵敏度校验。电流互感器变比 1: 1，三相三继电器式接线。

2、起动实验装置。将计算电流整定值存入保护装置定值区 0，BC 段时限整定 3 秒，装置其它功能闭锁。

3、运行方式设置为最小，将系统电压升至 105V。断开保护装置跳闸压板，合上断路器 1QF、2QF，在 AB 和 BC 段末端进行两相短路，记录短路电流。计算实测值与整定值的比，注意是否符合灵敏度的要求。

4、解除短路故障，连接保护装置跳闸压板，分别在 AB 和 BC 段末端进行两相短路，注意对应断路器是否相应跳闸。

5、断开微机保护装置 B 的跳闸压板，在 BC 段进行两相短路，1QF 应跳闸，但此时微机保护装置 B 应发出动作信号。

6、连接所有的跳闸压板，将保护装置 A 时限改为 2.5S，在 BC 段进行两相

短路，注意这时会出现什么情况。

五、实验报告

- 1、根据计算模型和给定的最大负荷电流值, 计算过电流保护的电流整定值, 并将计算结果填入下表。
- 2、用理论值计算灵敏度, 将计算结果填入下表。

保 护	A 保 护	B 保 护
电 流 整 定 值 (A)		
时 间 整 定 值 (S)		
理 论 灵 敏 度		
线 路 末 端 两 相 短 路 电 流 (A)		
实 测 灵 敏 度		
能 否 保 护 本 段 线 路 全 长		
能 否 保 护 下 一 线 路 全 长		

- 3、步骤 5 和 6 说明了过电流保护的什么特点? 运行方式和短路形式对过电流保护的保护区间有没有影响?

实验四 微机反时限保护实验

(2 学时)

一、实验目的

1、通过本实验进一步理解反时限保护的原理，并掌握反时限电流的整定和时限配合的方法。

2、了解微机反时限曲线模型。

二、实验说明

定时限过电流保护，在电流起动元件起动以后，它的动作时限 t 决定于时间元件的整定值，与通过它的电流 I_J 的大小无关{见图 1(a)}。

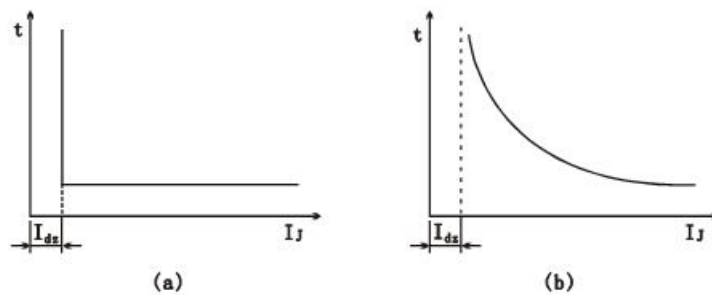


图1 过电流保护的时限特性
(a) 定时限特性； (b) 反时限特性

另一种型式的过电流保护 — 反时限过电流保护。它起动以后，动作时限与通过它的电流大小有关{见图 1(b)}，通过它的电流愈大，动作时限愈小。下面介绍反时限过电流保护的整定计算。

1. 动作电流和灵敏度

反时限过电流保护动作电流的整定计算原则与定时限过电流保护的整定相同，即正常运行时保护不起动，相邻元件短路故障切除后保护应该返回。但是，在计算动作电流时，自起动系数 K_{zq} 可以取得小一些。因为在相邻元件短路故障切除后，通过保护装置的自起动电流比短路电流来得小，反时限过电流保护的動作时限相应也增大了，所以保护装置的触点闭合前，自起动电流已下降了，它不会使保护装置发生误动作。

反时限过电流保护灵敏系数的计算方法和对它的要求，与定时限过电流保护相同。

2. 动作时限

反时限过流保护的動作時限與通過它的短路電流大小有關。因此在整定動作時限時，必須考慮短路地點和相應的短路電流數值。

例如在圖 2 所示的電網中，保護 1、2、3 都為反時限過電流保護。當在 d_1 處發生短路時，如果保護 1 的動作時限為 t_1 ，那麼保護 2 的動作時限應該這樣來整定：使保護 2 通過 d_1 處短路時的電流，它的動作時限 $t'_2 = t_1 + \Delta t$ 。這一點確定以後，然後可以利用過流繼電器的時限特性曲線求出線路 L2 和 L1 上各處短路時保護的動作時限，畫出曲線②。

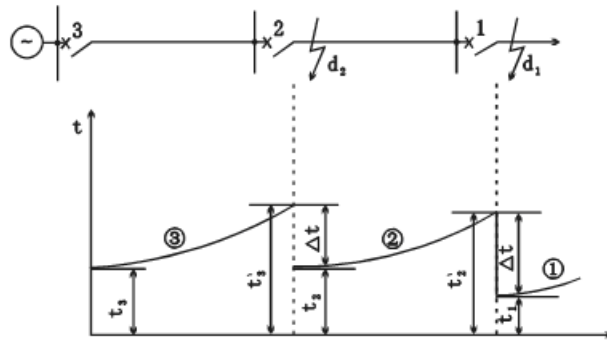


圖 2 反時限電流保護動作時限的配合

從曲線②看出，當在 d_2 發生處短路，保護 2 的動作時限 t_2 ，那麼保護 3 的動作時限應該這樣來整定：使保護 3 通過 d_2 處短路的電流，它的動作時限 $t'_3 = t_2 + \Delta t$ 。這一點確定以後，然後可以利用過電流繼電器的時限特性曲線求在 L3 和 L2 上各處短路時保護的動作時限，畫出曲線③。

由於感應型過電流繼電器的鋁質圓盤轉動有慣性，所以相鄰元件短路電流切除後，繼電器返回稍有延時，再由於動作時間誤差也比較大，因此在採用感應型過電流繼電器時，時限階段 Δt 要比定時限過電流保護取得大一些，一般取 0.6~0.7S。

從圖 11-2 所示的時限特性曲線②和曲線③可見，採用反時限過電流保護以後，切除短路故障比較快一些。但是，由於反時限過電流保護的動作時限相互配合比較複雜，在有些情況下（例如在最小運行方式下式者經過較大電弧電阻而短路時，短路電流比較小），動作時限要增大，因此在高壓線路上不被採用，主要用在電動機保護和低壓配電線路和配電變壓器的保護方面。

3. 原理接線圖

图 3 表示采用感应型过电流继电器的电流保护的原理接线图。由于过电流继电器已有掉牌信号指示，因此不再装信号继电器。

最后指出，在使用感应型过电流继电器的无时限电流速断保护部分时，考虑到它的起动电流误差比较大，所以在整定计算时可靠系数要取得大一些，一般为 1.5~1.6。

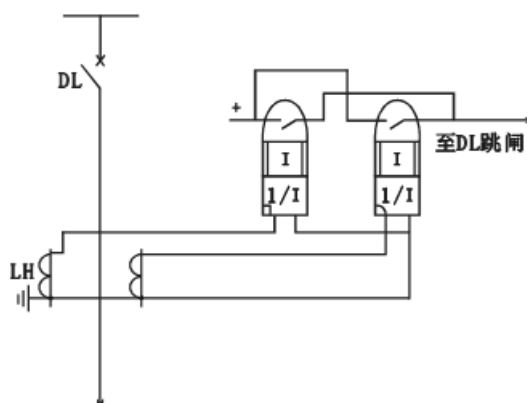


图 3 采用感应型过流继电器的电流保护原理接线图

由于反时限电流保护在原理上与很多负载的故障特性相接近，因此，在很多场合下它比定时限电流保护具有更为优越的保护性能。大多数被保护元件的过电流允许通过时间与其电流值的大小成反比例关系，即电流越大，所允许通过的时间越短。为了充分发挥被保护元件的效益，又不致因长时间过热造成损坏，显然定时限保护不能满足这种实际的需要。因为定时限要么过早地切除被保护元件，要么就是元件早已损坏方才动作。因此必须安装具有反实现特性的过流保护。随着微机技术的发展，目前微机型反时限过电流继电器广泛取代了传统的电磁式反时限过电流继电器。

微机保护中反时限过流保护通常是基于式 (4-1) 的时间 t —电流 I 反时限特性：

$$I^r \cdot t = K \quad (4-1)$$

式中， K 为常数。 r 根据保护不同场合而取不同的值：一般在保护线路首端和末端短路时电流变化较小的情况下，常采用定时限过流保护。定时限可以认为是一种特殊的反时限特性，即 $r = 0$ ；而在线路首末端短路时电流变化较大的情况下，

则采用非常反时限特性，即 $r = 1$ ；通常输电线路采用一般反时限，即 $0 < r < 1$ ；反映过热状态的过流保护，在与熔断器配合的场合则采用特别反时限特性，即 $r = 2$ 。

目前普遍采用的是基于 BS142. 1966 和 IEC 255-4 标准的四条反时限曲线，分别为一般反时限、强反时限、超反时限、长反时限，其通用表达式如下：

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_{opr}}\right)^\alpha - 1} \quad (4-2)$$

其中：

t ：以秒为单位的动作时间；

k ：时间系数（整定值）；它的整定应由“当短路电流为 I 时，装置的动作时间为 t ”推算得到。

I ：测量电流；

I_{opr} ：电流动作定值。整定时应躲过可能的最大负荷电流。

四条曲线的陡度不同，其陡度由 α 和 β 共同决定。

不同类型曲线 α 和 β 值

反时限类型	α	β
一般反时限	0.02	0.14
强反时限	1.0	13.5
超反时限	2.0	80.0
长反时限	1.0	120.0

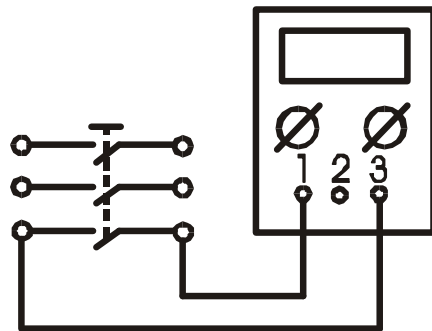


图 4

不难看出，这种模型在电流极大时对应延时时限极小，而在过流整定值附近时对应延时时限极大，这样在累加时间精度及与定时限保护的配合方面都存在缺陷。在后面设计的反时限与过电流综合保护实验就是试图解决在整定值附近延时时限极大的问题。

三、实验内容与步骤

1、对于输电线路模型，拟订采用反时限（为方便计算，采强反时限）保护，请根据上面说明，计算整定保护装置 A 和 B 动作电流和时间值。

2、起动实验控制屏，将整定值存入保护装置。装置其它保护功能退出。

3、运行方式设置为最大，分别在 AB 段和 BC 段从末端至首端进行三相短路，记录短路电流、短路位置、分断时间（电秒表设置为连续方式，按下短路按钮同时启动电秒表，断路器跳开的同时断开电秒表，如图 11-4），至少取六点，输电线路首末两点的短路实验一定要做。

4、断开保护装置 B 的跳闸压板，在 BC 段末端进行短路，调整短路点位置，找到短路电流等于保护装置 A 电流整定值的点，允许稍有偏差。断开短路开关，重新在该点进行一次短路，记录分断时间。

四、实验报告

1、写出整定电流和时间的计算过程。

2、将步骤 3 中记录的数据填入下表，并绘出分断时间与短路电流的关系曲线。

段	A B 段						B C 段					
序号	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
短路位置												
短路电流												
分断时间												

3、比较线路首端短路时的分断时间和电流稍大于整定电流值时的分断时间，同时根据上面的曲线，评价这种保护的优缺点。