

《供配电系统》 实验指导书

电子信息与电气技术实验中心

2014年2月

实 验 须 知

一、实验前准备

要想取得好的实验效果，每次实验前都应该认真阅读实验指导书，明确实验的内容、要求及步骤。对于每次使用的仪器，应该事先了解仪器的性能和用法。

二、熟悉实验对象的主要参数及结构

进入实验室后，就应该记录实验对象的铭牌，从铭牌中了解实验对象的参数。

三、记录实验设备的型号、规格和编号

必须养成良好的实验习惯，每次实验都应记录所用的设备型号、规格和编号，以备在实验数据有疑问时，可以根据记录，查出引起误差的原因。

四、接线前应合理安排电器、仪表的位置，以便于操作和读取测量数据为原则。须要操作的电器（如调压器）及须要读取数据的仪表，应放在便于操作和读数的位置，而不须要操作的变压器、互感器等可以靠里边放。

五、仪表量程要合理选择，千万不要用大量程量小电量，那样会引起很大的误差，使数据失去应有的意义。

六、在整个过程须要观察的仪表应放在靠近调节器附近，以便调节者观察，譬如安培表应靠近调压器，使调节者能看到电流的变化。

七、电路接好后，必须自己检查无误后，请指导老师检查，经老师同意后方可送电试验。

八、送电前调压器应放在输出电压为零处，送电后逐渐加大电压，这时调节者应看着安培表，调到所需的电流，绝不允许一人看电表另一人调节。

九、做远动控制之前，要告诉高压断路器附近的人离开，以免伤人。

十、实验数据必须记在事先画好的表格内，不允许乱写数据。遇到数据不正常时，应重新打表格，重新记录，数据不要涂改，每个人都要记数据。

十一、实验结束前，须对实验数据进行分析或草描曲线，确信数据是

合理的，并送指导老师检查后方可拆除电路。

注意事项：不许穿拖鞋进入供电实验室。

十二、实验报告

每个同学都应独立地对实验结果进行整理，认真编写实验报告。

实验报告内容：

- 1、实验名称、实验日期
- 2、写上班级、座号、姓名、同组姓名
- 3、实验设备
- 4、实验电路图
- 5、实验数据，特性曲线（必须用坐标纸、坐标须标明单位、曲线须光滑）
- 6、实验结论
- 7、心得体会与存在问题

实验一 高低压电器认识实验

一、实验目的

1. 了解配电用的高低压电器、变压器及成套开关设备
2. 掌握变配电所的结构及布置
3. 熟悉变电所的一次主电路

二、实验要求：

1. 听从指导老师安排，准时到达现场。
2. 参观过程，要认真听指导老师的讲解，及时做好笔记，画出相关电路图。
3. 参观过程，要注意人身及设备安全，与设备保持一定距离，按指导老师指定的线路参观，不得戏闹，不得用手去操作开关。
4. 必须穿皮鞋或胶鞋，不得穿拖鞋。

三、实验报告

参观实习结束后，必须完成以下报告：

1. 按规范画出你所参观变电所的平面布置图
2. 按规范画出你所参观变电所的一次电气主接线图
3. 写出个人体会

实验二 定时限过流保护

目的：1、熟悉继电器的构造和接线。

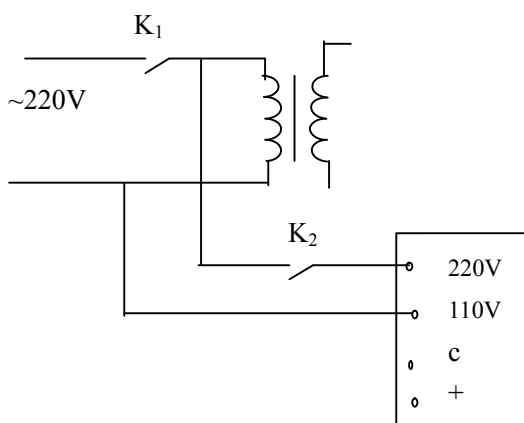
2、设计组成定时限过流保护接线。

3、掌握整定方法。

一、实验设备

| 名称 | 型号 | 规格 | 编号 |
|--------|----|----|----|
| 调压器 T1 | | | |
| 电流继电器 | | | |
| 时间继电器 | | | |
| 信号继电器 | | | |
| 中间继电器 | | | |
| 周波积算器 | | 伏 | |
| 安培表 A1 | | | |
| 滑线变阻器 | | | |

二、设计实验接线



完善实验电路应注意以下几点：

1. 因继电器线圈和接点已相连，周波积算器（+、-）端一定要接电源中线，防

止 220V 电压通到继电器这边来。

2. 动作电流（故障电流）如何模拟。

3. 参照课本相关的电路原理图，结合本实验的实际条件，去设计符合实验要求的电路图。

三、实验步骤：

1、整定 $I=0.8A$

先按继电器刻度整定 0.8A，闭合 K_1 ，调节 T1，观察电流继电器的接点，看接点闭合时电流（即 I_{OP} ），如果不满足做小量调节，使其准确在 0.8A 动作为止。

2、测定返回系数

先增大电流，使电流继电器接点闭合，然后缓慢减小电流，记下使接点刚离开时的电流，

$I_{re} = \underline{\hspace{2cm}} A。$

计算 $K_{re} = I_{re} / I_{op} =$

$K_{re} < 0.85$ 的继电器时不能用的。

3、整定动作时限：

① 先按继电器刻度整定 $t=2$ 秒。

② 调节 $I_2=1.5I_{OP}$ （凡是测定动作时间， I_2 都应为 $1.5I_{OP}$ ，当 $I_2 < 1.5I$ 时，动作时间不稳定）

③ 先合 K_2 ，后合 K_1 ，测出保护装置的动作时间，以周波积算器读数为准，误差 < 2 秒 5%，不满足时应调整时间继电器的行程。

当误差 < 2 秒 $\pm 5\%$ 时，连续测三次，将数据记入表 1，并算出三次的平均值。

4、将电流继电器的整定值改为 0.9A，时间继电器的整定值不变，重测动作时间。

5、电流整定值不变，时间继电器整定为 5 秒，重测动作时间。

6、拆线，将继电器盖好。

四、实验报告

1. 实验名称、姓名、座号、时间、同组姓名。

2. 实验电路图

3. 实验设备

4. 实验数据

5. 回答下列问题

1) 定时限过流保护，当电流改变时，保护的動作时间有否改变？为什么？

2) 定时限过电流保护動作电流的整定原则是什么？如何整定？如何改成速断保护？

6、心得或存在问题。

实验三 常规反时限过流保护

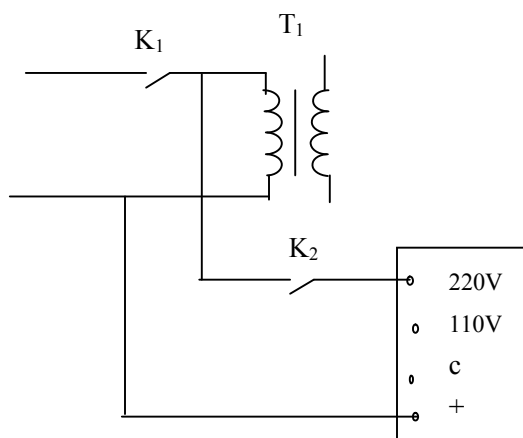
- 目的：1. 了解 GL 型继电器的结构和特性
2. 学习继电器的试验方法和整定方法
3. 利用现有的条件设计实验电路

一、实验设备：

| 名称 | 型号 | 规格 | 编号 |
|--------|----|-------------|----|
| 调压器 T1 | | KVA | / |
| 继电器 | | | |
| 电流表 | | 5/10/25/100 | |
| 周波积算器 | / | V | |
| 滑线变阻器 | | | |

二、设计实验电路

完善实验电路应注意以下几点：



1. 因继电器线圈和接点已相连，周波积算器（+、-）端一定要接电源中线，防止 220V 电压通到继电器这边来。
2. 调压器 T1 二次侧回路电流将达到 10A，应采用粗导线。
3. 考虑动作电流（故障电流）如何模拟。

4. 参照课本相关的电路原理图，结合本实验的实际条件，设计出能实现实验目的和实验要求的电路图。

三、实验内容

(一) 测定 GL 型继电器的动作电流及返回系数。

1、将整定动作电流的插销插在 4A 位置，时限标杆放在 8 秒处。

2、测定动作电流：

闭合开关 K_1 ，调节调压器 T_1 ，使流过继电器的电流从零增加，同时看扇形齿轮，当扇形齿轮与蜗杆耦合时的电流，即为继电器的动作电流，记下 $I_{op} =$ A。

3、测定返回系数：

闭合开关 K 增大电流，先使扇形齿轮与蜗杆耦合，表示继电器已动作。然后缓慢减小电流，当扇形齿轮与蜗杆分开时的电流，就是返回电流：

记下 $I_{re} =$ _____ A

计算返回系数 $K_{re} = I_{re} / I_{op} =$ / =

(二) 测定长延时的时限特性曲线： $t=f(I)$

插销插在 4A 位置，假设此时动作电流恰好为 4A，时限标杆放在 12 秒处。调节通过继电器的电流分别为 4A、6A、8A、10A 时，测定其动作时间。（速断螺丝先调到 ∞ 处）

步骤：

1、先断开 K_2 ，闭合 K_1 ，调节通过继电器的电流为 4A，并保持这时的 T_1 手柄位置不变，断开 K_1 ；再闭合 K_2 ，然后闭合 K_1 直到周波积算器停止后，断开 K_1 和 K_2 ，将周波积算器记录的周波数被 50 除，即为继电器动作时间，填入表一。

2、重复步骤 1，但电流分别调节到 4A、6A、8A、10A，测定动作时间。

当继电器电流较大时，即铝盘转得快的时候，在调节电流时，可由一位同学，用手指轻轻地挡住铝框，不让蜗杆与扇形齿轮耦合。（继电器元件细小，不可太用力）

(三) 测定短延时的时限特性曲线

整定电流仍为 4A，整定十倍动作电流的动作时间为 8 秒，重测时限特性曲线，步骤仍按（二）的步骤进行，但调节通过继电器的电流分别为 10A、8A、6A、4A 时，测定其动作时间，记入表一。

（四）整定保护时限

GL 型继电器的动作时限随电流大小而变，所以整定时限必须指出在多大的电流时的动作时间多少。本实验的条件时：

- （1）动作电流为 4A，
- （2）要求在 4A 时动作时间是 4 秒，
- （3）在 2.5 倍动作电流时速断。

步骤：1、整定动作电流：

根据条件（1）电流插销插在 4A 处。

2、整定动作时间：

调节 T1，使流过继电器的电流为 4A，然后测出在 4A 时的动作时间 t ，如果 $t > 4$ 秒，则改变时限标杆，减小扇形齿轮的行程，如果 $t < 4$ 秒，则增大扇形齿轮行程，并测定动作时间，做到电流 4 A 时其动作时间准确为 4 秒为止。到此，保持时限标杆不动，动作时间已整定完毕。

3、整定速断电流：

调节 T 1（调节时，一人用手指轻轻挡住铝框），使继电器的电流为 10 A，保持 T 1 手柄位置不变，断开 K_1 。

然后闭合 K_1 ，看继电器能否速断，如果不速断，就减小速断气隙，重新闭合 K_1 看能否速断，要调节到刚好 10 A 时速断，电流小于 10 A 不速断。

4、测定整定后的时限特性曲线。

保持整定值不变，将调压器 T 1 回到零，闭合 K_1 ，调节流过继电器的电流分别为 4 A、6 A、8 A、10 A、时，测出其动作时间，填入表 1。

四、按表 1 的实测数据，在坐标纸上画出三根时限特性曲线， $t = f(I)$ ，并与继电器铭牌上的曲线比较，确认无误后，将实验记录及特性曲线送老师查验，确认无误后，方可拆除实验接线，并将继电器盖好。

五、实验报告

- 1、实验名称、日期、姓名、座号、同组同学姓名。
- 2、实验接线图。
- 3、实验设备表。

4、实验数据。

5、时限特性曲线（必须用坐标纸，每小格 0.5 秒）

6、回答下列问题：

1) 实验室提供的继电器型号为 _____ 型, 可以获得的动作电流有: _____ A _____ A _____ A _____ A _____ A _____ A _____ A。

2) GL 型继电器的动作时间调整什么部位? 动作电流调整什么部位? 10 倍动作电流的动作时限是什么意思?

3) GL 型的速断电流调整什么部位? 速断电流倍数是什么意思?

7、心得或存在问题。

*周波积算器用法

周波积算器是用来计算交流电的周波累计数，应在它的接线柱（220V 和 ±）间通入 220V 交流电流，而将（c 和 ±）接在继电器接点上如图，当积算器接通电源即开始计周波数，当继电器接点闭合时，积算器可动部分被继电器接点短接，积算器停止累计，所以积算器的读数时从电源接通至继电器接点闭合这段时间的交流电流的周波数，被 50 除，商即为继电器动作秒数。

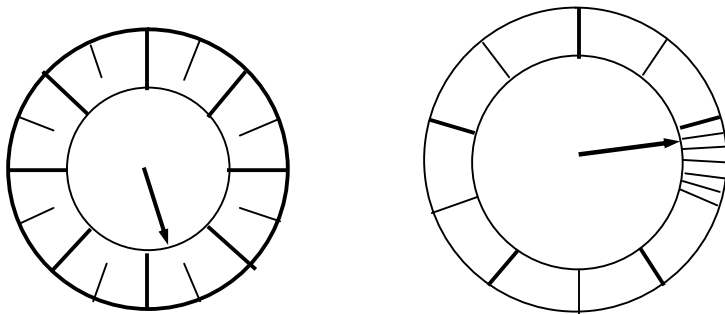
周波积算器的表面有两个指针和刻度

×1 刻度 每格一周波

×100 刻度 每格数字表示 100 周波，每小格为 50 周波。

上图表示：积算器读数为 361 周波

则时间 $t=361/50=7.22$ 秒



×100 刻度

×1 刻度

表 1 GL_____型继电器实验记录表

| 继电器电流 | 2A | 4A | 6A | 8A | 10A | 备注 |
|-------------|----|----|----|----|-----|------------------------------|
| 动作时间 (秒) | | | | | | 时限标杆放在 3 秒 |
| | | | | | | 时限标杆放在 0.5 秒 |
| | | | | | | 2 倍整定电流时动作时间为 4 秒，而且在 8A 时速断 |

表中 15 个数据都必须实测，即使速断，也要测出它的动作时间

实验四 微机线路保护装置认识试验

一、实验目的

熟悉保护装置的结构与基本功能，掌握正确开启实验装置的步骤，学会使用微机线路保护测控装置。了解外部线路的连接和保护的逻辑关系。

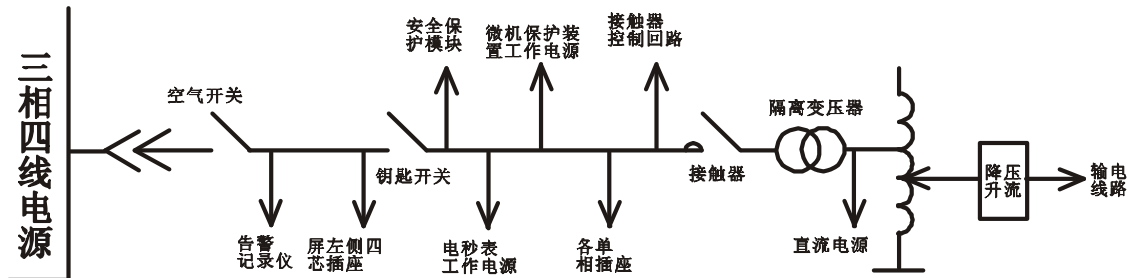
二、实验步骤

(一)开启实验装置的步骤：

1) 开启电源前，要检查控制屏下面“直流高压电源”必须置“关”断的位置。控制屏左侧面上安装的自耦调压器必须调在零位，即必须将调节手柄沿逆时针方向旋转到底。

2) 检查无误后开启“电源总开关”，告警记录仪 LED 点亮；打开钥匙开关，“停止”按钮指示灯、电源分相指示灯亮，表示实验装置的进线已接通电源，但还不能输出电压，此时在电源输出端进行实验电路接线操作是安全的。

3) 按下“启动”按钮，“启动”按钮指示灯亮，只要调节自耦调压器的手柄，在输出口 U、V、W 处可得到 0~450V 的线电压输出，并由控制屏上方的三只交流电压表指示。当屏上的“电压指示切换”开关拨向“三相电网输入电压”时，三只电压表指示三相电网进线的线电压值；当“指示切换”开关拨向“三相调压输出电压”时，三表指示三相调压输出之值。



装置电源简图

4) 按下“启动”按钮后，可打开直流操作电源，向微机保护装置控制回路和信号回路或向电磁继电器提供直流电源。

5) 实验中如果需要改接线路，必须按下“停止”按钮以切断交流电源，保证实验操作的安全。实验完毕，须将自耦调压器调回到零位，将“直流高压电源”的电源开关置于“关”断位置，最后，需关断“电源总开关”。

(二)微机测控保护装置认识实验

1 装置面板

1.1 指示灯

装置有六个指示灯，从左至右依次是运行灯、告警灯、跳闸灯、合闸灯、跳位灯、合位灯，除运行和跳位指示是绿灯，其余是红灯，通过信号灯，可以判别装置的当前状态，具体意义如下：

运行灯：保护正常运行情况下每秒闪烁一次，如果该灯不闪烁可判断保护不工作；

告警灯：在改变当前设置或有保护、告警、遥信事件时该灯亮；

跳闸灯：指示保护（手动）跳闸动作；

合闸灯：指示保护（手动）合闸动作；

跳位灯：控制回路没有断线时，判别断路器处于跳位；

合位灯：控制回路没有断线时，判别断路器处于跳位；

1.2 键盘

本装置有 12 个按键，通过显示菜单进行按键操作，可查看装置的基本信息和状态、测量的保护电量及其计算数据、实现系统设置及定值修改等功能，按键的意义如下：

↑：方向键，上移一行（或一屏）；

↓：方向键，下移一行（或一屏）；

←：方向键，左移一列（或一屏）；

→：方向键，右移一列（或一屏）；

＋：加减键，+1（或选择控制型定值）；

－：加减键，-1（或选择控制型定值）；

↵：确认当前操作；

ESC：取消当前操作并返回上一级菜单；

RST：信号总复归；

I、√：按下“I”，且口令正确，按“√”进行手动合闸操作；

0、√：按下“0”，且口令正确，按“√”进行手动分闸操作；

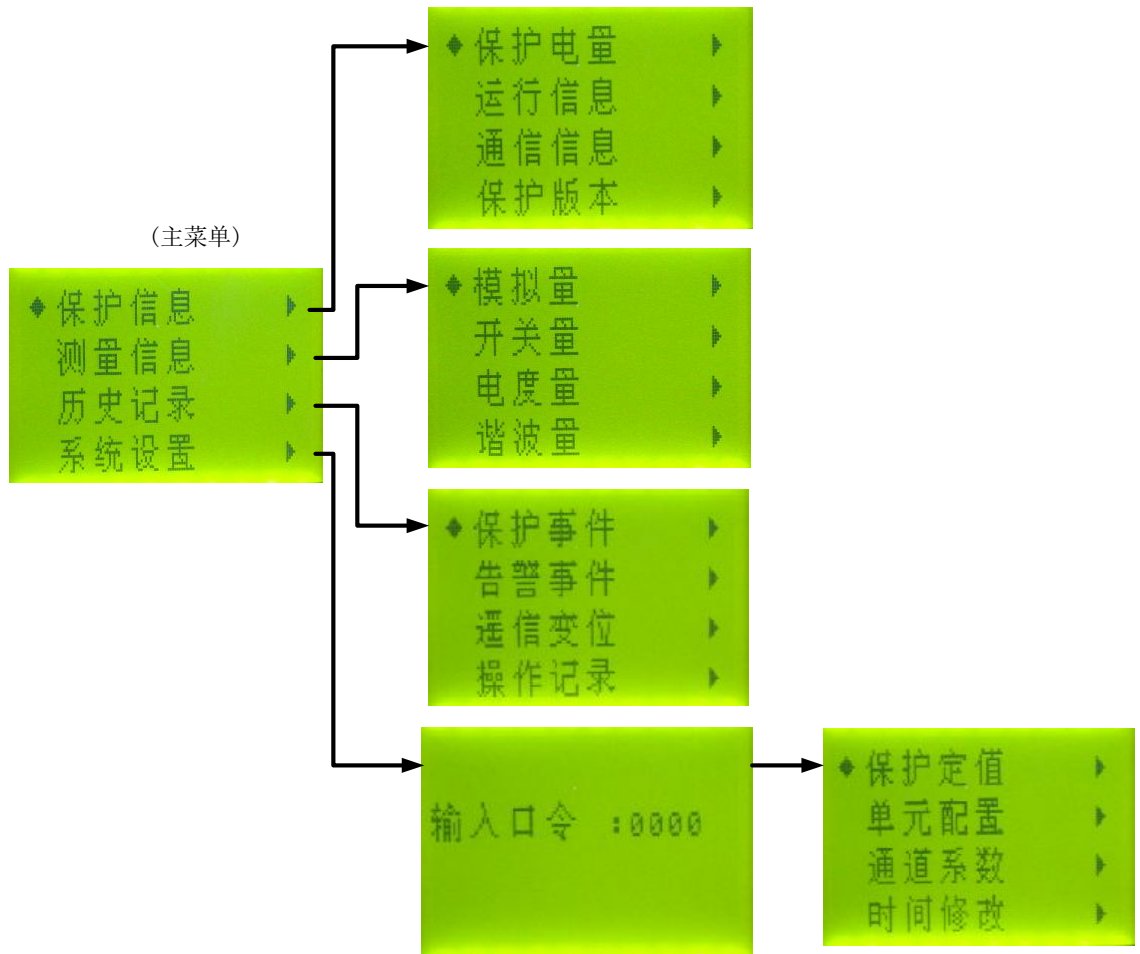
1.3 液晶

装置采用宽温型大屏幕液晶显示器，显示信息量大，界面友好。为延长液晶的使用寿命，可以在菜单“系统设置”下级菜单“单元配置”中“显示方式”项，设置液晶显示方式为“自动关”。设置为该显示方式，如果在一定时间内无键盘操作，

将关闭装置的液晶显示。再次有键盘操作或装置上电重新启动时自动启动液晶显示。

2 菜单操作

为了便于进行人机交流，本保护装置采用树状中文菜单结构，菜单结构如下图所示。从主菜单可以选择进入下一级子菜单，各个子菜单设下一级菜单；树状菜单结构，明确显示各条信息，各级菜单设有提示符，通过提示符，操作面板按键可访问装置提供的当前状态和采集电量显示等信息，并可进行系统参数读取和修改等功能。



2.1 保护信息

保护信息菜单下主要是有关线路保护的一些信息，有四个分级菜单。

2.1.1 保护电量

该菜单显示各种保护电量信息。

- 1) 电流：I_a、I_b、I_c（三相电流）、3I₀（零序电流）

2) 电压: U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} (线电压)、 $3U_0$ (零序电压)、 U_x (同期电压)

2.1.2 运行信息

第一行显示装置当前运行定值区;

第二行显示保护的当前状态;

第三行显示重合闸的当前状态以及充电指示;

第四行显示告警信息, 当有多项告警信息时, 可通过“↓”键查看信息内容。

2.1.3 通信信息

显示装置各个通讯接口的工作状况, 由此可判别装置的通信是否正常,

2.2 测量信息

测量信息菜单主要是一些测量信息, 包括模拟量、开关量、电度量、谐波量。

2.2.1 模拟量

进入该菜单可以看到如下的信息:

1) 电压: U_a 、 U_b 、 U_c (相电压); U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} (线电压)

2) 电流: MI_a 、 MI_b 、 MI_c (测量电流)

3) 频率: f

4) 功率: P 、 Q 、 $\cos\Phi$

5) 直流量: DC

6) 零序电流、电压: $3I_0$ 、 $3U_0$

7) 同期电压: U_x

2.2.2 开关量

开关量显示 16 路开入量和 16 路保护定值投退的当前状态。

2.3 系统设置

系统设置是指对装置各类参数的设置, 须输入正确口令, 如果口令错误, 虽然也可进入下级菜单, 但只可查看参数, 而无权限修改参数和设置定值;

2.3.1 保护定值

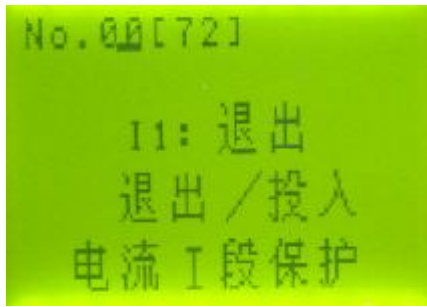
保护定值菜单是对保护的各各种定值进行设定、修改, 下有四个下级菜单:

2.3.1.1 定值区号

进入该定值区, 用‘+’, ‘-’键选择将要运行的定值区, 不同的定值区可以存放不同的定值, 通过定值切换可以方便的进行定值的选择。

2.3.1.2 定值修改

保护定值分为控制型和数值型两种, 修改操作相同。定值显示画面如下图所示:



第一行显示要修改的定值项序号；

第二行显示整定值的定值项简称以及相应状态；

第三行显示定值整定范围或控制型定值选择项；

第四行显示该定值项名称；

定值整定步骤：

1. 输入定值序号，完成后按“←”键；此时光标停留在第二行；

2. 光标在第二行，此时有两种类型的操作：

对控制型定值：用“+”、“-”键选择“投入”、“退出”等内容；

对数值型定值：用“+”、“-”键输入具体数值，整定值须在允许范围内；操作完成后，按“←”键光标跳到第一行，此时可输入新的定值序号；如果要选择下一项定值，按“↓”键；如果要选择上一项定值，按“↑”键。

3. 重复步骤 1、2 可完成所有定值项的整定；

4. 按“ESC”键，返回上级菜单，按下一菜单“定值存贮”进行修改后定值的存贮，如果存贮正确，则返回上级菜单，同时点亮告警灯；如果定值内容不正确，点亮告警灯，告警事件里显示“定值出错”。

下表是所有的定值选项：

2.3.1.3 定值存贮

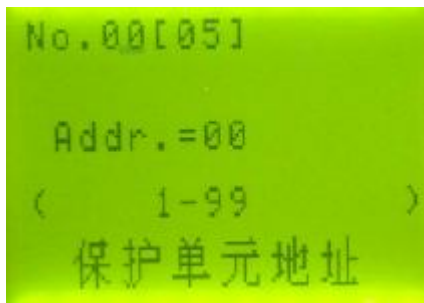
对修改后的定值进行存贮，如果存贮正确，则返回上级菜单，同时点亮告警灯。

2.3.1.4 定值切换

如果修改了定值区，则须按此菜单进行定值区的切换，如果切换成功，则定值区号改变，同时点亮告警灯，将定值区修改信息存入历史记录中的操作记录；如果所选定值有错，装置给出错误信息，保护继续在原来的定值区运行。

2.3.2 单元配置

单元配置菜单是五个内容的设置，修改设置完毕后，按“ESC”键，系统将提示是否存贮定值，如再按“←”键进行定值存贮或按“ESC”放弃当前所作的修改，保持原有设置不变。



1) 保护单元地址:

当本装置通过 CAN 网与变电站综合自动化系统相连时, 需要输入本装置的设备地址。设备地址在一个系统内必须是唯一的。

2) 显示方式:

LCD 的显示方式有自动关和常显示, 为了提高液晶的使用寿命, 可以将显示方式设置为自动关, 这样在没有键盘操作时, 液晶可自动关闭。

3) 电压接线方式:

确定电压的接线方式是三角形接线还是星形接线。

4) 电能计数方式:

确定电能的计数方式是脉冲接入、电表接入还是保护累计。

5) 保护口令:

原先的口令输入正确后, 才能进行口令的修改。装置出厂时口令为: 0000。

三、整定实验

在保护装置中任选一段电流保护, 其它保护功能退出, 将电流整定值设置为 0.8A, 时间定值设为 3S。将系统电压升至 100V, 在线路末端进行三相短路, 向线路阻抗减小方向调整短路点位置, 直至短路电流达 1A 为止。此时, 保护装置将发出跳闸脉冲, 这就是一个最简单的电流动作试验。装置只判断电流大小, 根据整定时限, 延迟跳闸脉冲发出时间。

四、实验报告

1. 写出认识实验的心得或体会,有何建议?
2. 写出整定实验的实验过程的具体工作步骤.

实验五 微机定时限过电流保护

（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

1. 一次接线概述：

下图为实验装置的一次接线图，且在以后的保护整定中作为计算模型。

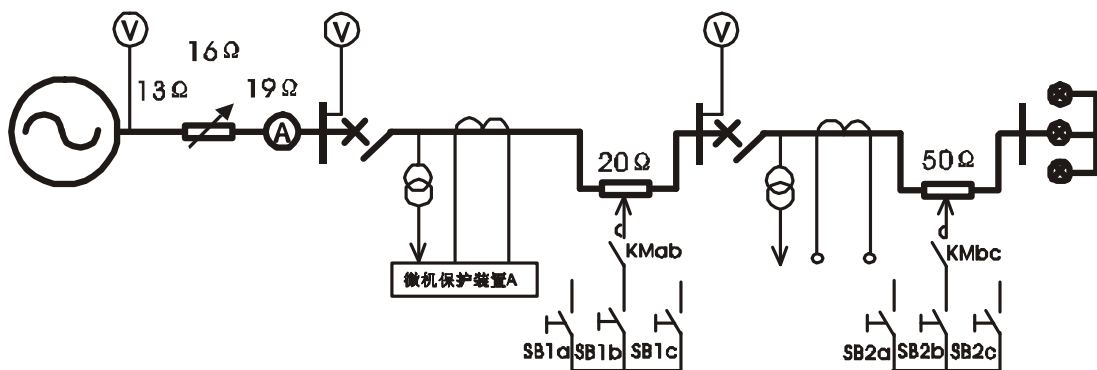


图 5-1 一次接线图计算模型

最大运行方式——系统阻抗 13Ω ；

最小运行方式——系统阻抗 19Ω ；

正常运行方式——系统阻抗 16Ω ；

AB 站间阻抗 20Ω ，BC 站间阻抗 50Ω 。

A 站采用微机保护装置进行保护（线已接好），B 站可选用微机装置或电磁继电器保护。可用导线将跳、合闸压板接通或断开，控制其跳闸或合闸出口。线路故障类型设置中，黄色带灯自锁按钮发光表示对应触点闭合，任意两个触点闭合可模拟两相短路，三个触点全闭合可模拟三相短路。红色带灯自锁按钮发光表示短路接触器动作。

实验中对第二回线进行短路实验时，注意电流互感器不能开路，因为此时的一次电流全部成为励磁电流，将使原边等效电抗值增大；导致实际电流值与计算值相差较大。由于一次线路电压取自隔离变压器副边，且线电压不会超过 $140V$ ，实验装置电流互感器副边开路不会导致过电压。对人身、设备基本没有危害。

保护实验中，可将系统电势调至 105V（比输电线路额定值高 5%），整定时按一次电压 100V 来计算。

2. 实验原理描述：

在图 4-1 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 和 L2 继续送电至变电所 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

$$t_1 > t_2 > t_3$$

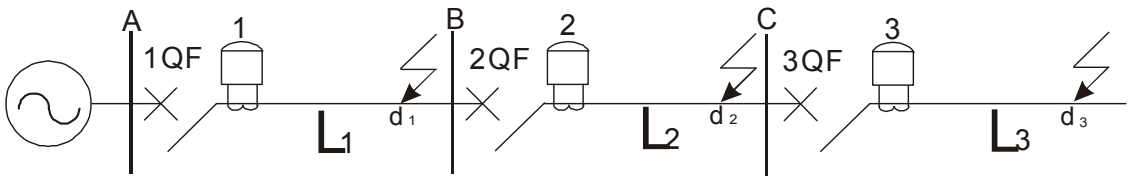


图 5-2 单侧电源辐射形电网中过电流保护装置的配置

（三）整定计算

1. 动作电流

在上图所示中，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 $I_{l\cdot\max}$ ，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 $I_{op} > I_{l\cdot\max}$

L3 上发生短路时，L2 通过短路电流 I_k ，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 $K_{zq}I_{l\cdot\max}$ (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)，因而启动元件的返回电流 I_{re} 应大于这一电流，即

$$I_{re} > K_{zq}I_{l\cdot\max} \quad (5-1)$$

由于电流继电器（即过流保护装置的启动元件）的返回电流小于启动电流，所以只要 $I_{re} > K_{zq}I_{l\cdot\max}$ 的条件能得到满足， $I_{op} > I_{l\cdot\max}$ 的条件也必然能得到满足。

不等式（4-1）可以改写成为以下的等式

$$I_{re} = K_k K_{zq} I_{l\cdot\max} \quad (5-2)$$

在式（4-2）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

$$\frac{I_{re}}{I_{op}} = K_{re} \quad \text{或} \quad I_{op} = \frac{I_{re}}{K_{re}}$$

将式（4-2）代入上式，就得到过电流保护动作电流的公式

$$I_{op} = \frac{K_k K_{zq}}{K_{re}} I_{l\cdot\max} \quad (5-3)$$

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 $I_{j\cdot op}$ ，那么还需计及电流互感器的变比 K_i 和接线系数 K_w 。电流继电器动作电流的计算公式为

$$I_{j\cdot op} = \frac{I_{dz}}{nLH} K_{jx} = \frac{K_k K_w K_{zq}}{K_{re} K_i} I_{l\cdot\max} \quad (5-4)$$

2. 灵敏度

过电流保护装置的灵敏度用启动元件（即电流继电器）的灵敏系数 S_p 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_{KA} 与动作电流 $I_{j\cdot op}$ 的比值，即

$$S_p = \frac{I_{KA}}{I_{J.op}} \quad (5-5)$$

计算时需要考虑以下几点：

- (1) 在计算过电流保护的 S_p 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 S_p 。
- (3) 接线方式对 S_p 也有影响。
- (4) 要求在被保护线路末端短路时 $S_p \geq 1.5$ 。

3. 动作时限

为了保证保护的选择性，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 。 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，分别在 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?

实验六 反时限保护实验

（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

微机保护中反时限过流保护通常是基于式（4-6）的时间 t —电流 I 反时限特性：

$$I^r \cdot t = K \quad (6-1)$$

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：

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(I/I_{opr}\right)^\alpha - 1} \quad (6-2)$$

其中： t ：以秒为单位的动作时间；

k ：时间系数（整定值）；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 |

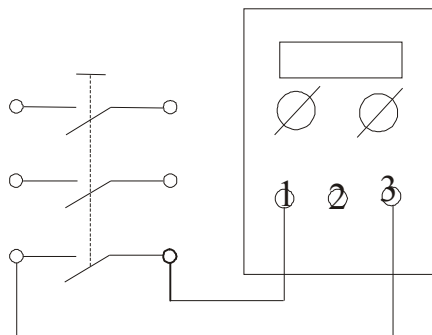


图 6-1

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 4-3），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。

实验七 微机速断保护

一、实验目的

- 1、掌握无时限电流速断保护的原理、计算和整定的方法。
- 2、熟悉无时限电流速断保护的特点。

二、基本原理

在电网的不同地点发生相间短路时，线路中通过电流的大小是不同的，短路点离电源愈远，短路电流就愈小。此外，短路电流的大小与系统的运行方式和短路种类也有关。

在图 6-1 中：①表示在最大运行方式下，不同地点发生三相短路时的短路电流变化曲线；②表示在最小运行方式下，不同地点发生两相短路时的短路电流变化曲线。

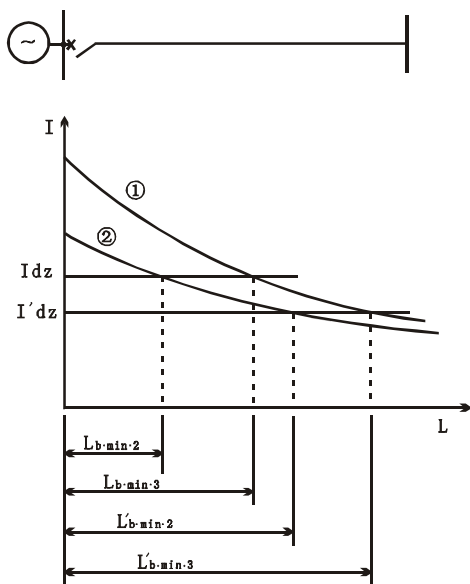


图6-1 电流速断保护范围的确定

如果将保护装置中电流起动元件的动作电流 I_{dz} 整定为：在最大运行方式下，离线路首端 $L_{b \cdot \max \cdot 3}$ 处发生三相短路时通过保护装置的电流，那么在该处以前发生短路，短路电流会大于该动作电流，保护装置就能起动。对在该处以后发生的短路，因短路电流小于装置的动作电流，故它不起动。因此， $L_{b \cdot \max \cdot 3}$ 就是在最大运行方式下发生三相短路时，电流速断的保护范围。从图 6-1 可见，在最小运行方式下发生两相短路时，保护范围为 $L_{b \cdot \min \cdot 2}$ ，它比 $L_{b \cdot \max \cdot 3}$ 来得小。

如果将保护装置的动作电流减小，整定为 I'_{dz} ，从图 6-1 可见，电流速断的保护范围增大了。在最大运行方式下发生三相短路时，保护范围为 $L_{b \cdot \max \cdot 3}$ ；在最小运行方式下发生两相短路时，保护范围为 $L_{b \cdot \max \cdot 2}$ 。由以上分析可知，电流速断保护是根据短路时通过保护装置的电流来选择动作电流的，以动作电流的大小来控制保护装置的保护范围。

三、整定计算

在图 6-1 所示的电网中，如果在线路上装设了无时限电流速断保护，由于它的动作时间很小（小于 0.1S），为了保证选择性，当在相邻元件上发生短路时，则不允许电流起动元件动作的。因此，不论在哪种运行方式下发生哪种短路，保护范围不应超过被保护线路的末端。也就是说，无时限电流速断保护的起动电流

$$I_{dz}^1 > I_{d \cdot \max}^{(3)}$$

$$\text{或} \quad I_{dz}^1 = Kk I_{d\cdot\max}^{(3)} \quad (7-1)$$

在式(6-1)中, Kk 为可靠系数, 考虑到计算 $I_{d\cdot\max}^{(3)}$ 采用的是次暂态电流而没有计及短路电流中的非周期性分量的影响、电流继电器误差和计算误差等因素, 因此它的数值取 $1.2 \sim 1.3$ 。

无时限电流速断保护的灵敏度是用保护范围的大小来衡量。对于保护相间短路的无时限电流速断保护来说, 在最大运行方式下发生三相短路时, 它的保护范围 $L_{b\cdot\max\cdot 3}$ 最大; 在最小运行方式下发生两相短路时, 它的保护范围 $L_{b\cdot\max\cdot 2}$ 最小。从图 6-1 可见, 根据动作电流 I_{dz}^1 和在不同地点发生短路时的短路电流变化曲线, 可以求得 $L_{b\cdot\max\cdot 3}$ 和 $L_{b\cdot\max\cdot 2}$ 的大小。一般要求 $L_{b\cdot\max\cdot 3}$ 不小于被保护线路全长的 50%, $L_{b\cdot\min\cdot 2}$ 不小 15%~20%。

无时限电流速断保护的 protection 范围也可以用解析法进行计算。在最大运行方式下保护范围 $L_{b\cdot\max\cdot 3}$ 末端发生三相短路时, 短路电流 $I_{d\cdot\max}^{(3)}$ 与动作电流 I_{dz}^1 相等。即

$$I_{d\cdot\max}^{(3)} = I_{dz}^1$$

$$\text{或} \quad \frac{E''_{\varphi}}{X_{X\cdot\min} + x_1 L_{b\cdot\max\cdot 3}} = K_k \frac{E''_{\varphi}}{X_{X\cdot\min} + x_1 l}$$

从上式可以求得

$$L_{b\cdot\max\cdot 3} = \frac{1}{K_k} \left[l - \frac{(K_k - 1) X_{X\cdot\min}}{x_1} \right] \quad (7-2)$$

在最小运行方式下保护范围末端 $L_{b\cdot\max\cdot 2}$ 末端发生两相短路时, 短路电流 $I_{d\cdot\min}^{(2)}$ 与动作电流 I_{dz}^1 相等, 即

$$I_{d\cdot\min}^{(2)} = I_{dz}^1$$

或

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{E''_{\varphi}}{X_{x\text{-max}} + x_1 l_{b\text{-min}\cdot 2}} = K_k \frac{E''_{\varphi}}{X_{x\text{-min}} + x_1 l}$$

从上式可以求得

$$L_{b\cdot \max\cdot 2} = \frac{1}{K_k} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} l - \frac{K_k X_{x\text{-max}} - \frac{\sqrt{3}}{2} \bullet X_{x\text{-min}}}{x_1} \right] \quad (7-3)$$

E''_{φ} — 系统的次暂态电势(相);

$X_{x\text{-min}}$ — 最大运行方式下的系统电抗;

$X_{x\text{-max}}$ — 最小运行方式下的系统电抗;

x_1 — 被保护线路每公里的电抗;

l — 被保护线路的全长(Km)。

从式(6-2)可见: 线路长度一定, 系统容量愈大(即 l 一定, $X_{x\text{-min}}$ 愈小), 保护范围愈大; 反之, 系统容量一定, 线路愈长(即 $X_{x\text{-min}}$ 一定, l 愈长), 保护范围愈大。从式(6-3)可见: 最大、最小运行方式相差愈小(即 $X_{x\text{-min}}$ 与 $X_{x\text{-max}}$ 的差值愈小), 保护范围愈大。

因此, 电流速断保护适用于系统容量较大, 或被保护线路较长或系统运行方式变化较小的场合。

四、实验内容与步骤

1、根据整定原理和计算模型, 计算 A 站和 B 站无时限电流速断保护的整定值。

2、校验电流速断保护的灵敏度。如果灵敏度不够, 可将线路在最大运行方式下 80% 处短路时的二次电流作为整定值。

3、起动实验装置, 将计算值存入保护装置, 装置其它保护功能退出。

4、运行方式设置为最大，系统电势调至 105V，分别在 AB 和 BC 段末端进行三相短路。观察保护装置是否动作。

5、最大运行方式下，在 BC 段末端进行三相短路，将短路点缓慢向首端移动，装置动作时止，注意此时短路点的位置。

6、最小运行方式下，在 BC 段进行两相短路，将短路点从大于 80% 处缓慢向减小方向调整，装置动作时停止。观察此时的短路点位置。

7、在 AB 段线路进行试验，方法同步骤 4 和 5，注意记录数据。

五、实验报告

1、写出整定值计算和灵敏度校验过程。

2、将实验数据填入下表

| 保 护 | A 保 护 | B 保 护 |
|----------------|-------|-------|
| 电 流 整 定 值 (A) | | |
| 理论灵敏度 (最大方式三相) | | |
| 理论灵敏度 (最小方式两相) | | |
| 实测灵敏度 (最大方式三相) | | |
| 实测灵敏度 (最小方式两相) | | |
| 能否保护线路全长 | | |
| 能否作为后备保护 | | |

3、运行方式和短路方式对无时限电流速断保护距离有何影响？