

微机继电保护 实验指导书

山东理工大学

电气与电子工程学院

2015.9

实验一 数字式电流继电器特性实验

3.2.1 实验目的

- (1) 了解数字式电流继电器的常用算法。
- (2) 测试数字式电流继电器的动作值和返回值，并与模拟式电流继电器的动作值和返回值情况进行比较。

3.2.2 实验原理及实验说明

3.2.2.1 数字式电流继电器基本原理

数字式电流继电器与常规电流继电器的功能一样，都是仅反应于电流增大而动作，其动作方程为：

$$I > I_{zd} \quad (3-1)$$

其中， I 表示加入继电器的电流， I_{zd} 表示电流继电器的整定电流值。

数字式继电器一般采用傅式算法计算电流有效值。在离散系统中，用傅式算法计算基波电流有效值的方法如下：

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N i(k) \sin\left(\frac{2k\pi}{N}\right) \\ b_1 &= \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N i(k) \cos\left(\frac{2k\pi}{N}\right) \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

式中， $i(k)$ 表示电流的第 k 个采样值， N 为每基频周期内的采样点数。

则电流基频分量的幅值 I_m 可表示为 $I_m^2 = a_1^2 + b_1^2$ 。

电流基波的有效值为： $I = I_m / \sqrt{2}$ 。

3.2.2.2 实验说明

本实验中的数字式电流继电器为单相继电器，只反应 A 相电流动作，即：只有将电流施加于 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置的 A 相电流通道的时，电流继电器才动作。

由于数字式继电器的计算和动作判断均由微机程序自行判断，无外部机械元件，因此其返回系数在 1 左右，在动作值附近，继电器反复动作、返回属正常现象。

3.2.3 实验内容

3.2.3.1 实验接线

将测试仪 A 相电流信号与 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置的 A 相电流接线端连接。注意电流公共端也应连接在一起。

3.2.3.2 实验过程

(1) 程序下载

由于 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置的功能可通过在线下载程序进行配置，因此实验前必须下载需要的模块程序。本实验需要下载“电流继电器保护侧程序”和“电流继电器监控侧程序”。

注意：

TQXDB-III 多功能微机保护实验装置内部有两块 CPU 分别完成保护（逻辑）和监控功能，因此必须对两块 CPU 程序同时下载更新，否则可能运行出错！

下载程序步骤如下：

- a. 首先按住装置面板上的“ESC”键，再同时按住“RESET”键，3 秒后松开“RESET”键，再松开“ESC”键，此时装置液晶屏上显示“程序正在下载中...”的信息。
- b. 在 PC 机上运行“多功能微机保护实验装置管理程序”，点击进入“在线下载继电保护程序”模块，见图 3-4。



图 3-4 下载程序界面

点击“通讯口设置”对应的下拉框，选择与 PC 机相连的串行口（首次安装为串口 1），串行口正确打开后，才能进行程序下载。点击“下载新保护程序”按钮，选择下载程序的存放路径（路径为：“...\\ 下载程序\\特性实验下载程序\\”）（...表示多功能微机保护实验装置管理程序安装路径，默认安装路径为 C:\\Program Files\\Tq\\多功能微机保护实验装置管理程序），选择“电流继电器保护侧程序.dat”文件后进行下载，下载需要 1 分钟左右时间，下载时请勿在 PC 机上做其他操作。下载成功后，屏幕上将显示“下载成功”的提示信息。点击“下载新监控程序”按钮，选择“电流继电器监控侧程序.dat”文件进行下载。

c. 下载成功后按“RESET”键使 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置重新复位运行，如果下载正确，装置液晶屏上将显示电流继电器特性实验界面。

(2) 整定值设定

TQXDB-III 多功能微机保护实验装置保护整定值的设定方法有两种，任意选择一种均可。（一般用 b 办法设置）

a. （一般不用这种方式设置）按装置面板上的 ESC 键进入管理菜单，并输入定值。菜单详细操作可参见《TQXDB-III 多功能微机保护实验装置用户手册》，注意输入完毕后按提示保存。

b. 进入“多功能微机保护实验装置管理程序”的“继电保护特性实验”模块，如图 3-5。选择“电流继电器实验”页面，点击“通讯口设置”对应的下拉框，选择与 PC 机相连的串行口。选定“电流继电器”和“速动”选项，在文本框中输入定值后，点击“下载定值”按钮即可。



图 3-5 定值下载界面

(3) 数字式电流继电器特性测试实验

测试内容及测试方法与 DL-31 型电流继电器近似，可参考。注意开关量动作接点应选择“接点 3”（实验台内部已连接好）。测试过程记录的数据及计算数据填入表 3-1。

表 3-1 数字式电流继电器测试数据记录表

	动作值(A)	返回值(A)	返回系数
1			
2			
3			
4			
平均值(A)			
误差(%)			
变差(%)			
返回系数			
整定值(A)			

3.2.4 思考题

比较数字式电流继电器与 DL-31 型电流继电器的返回系数，并分析两者不同的原因。

实验二 数字式电压继电器特性实验

3.3.1 实验目的

- (1) 了解数字式低电压、过电压继电器的常用算法。
- (2) 测试数字式低电压、过电压继电器的动作值和返回值，并与模拟式电压继电器的动作值和返回值情况进行比较。

3.3.2 实验原理及实验说明

3.3.2.1 数字式电压继电器基本原理

数字式电压继电器分为低电压继电器和过电压继电器，可通过控制字进行选择。

过电压继电器反应于相间电压升高而动作，其动作方程为：

$$U_{\Phi-\Phi} > \sqrt{3}U_{zd} \quad (3-3)$$

其中， $U_{\Phi-\Phi}$ 表示加入继电器的相间电压， U_{zd} 表示过电压继电器的整定电压值（用相电压表示）。

低电压继电器反应于相间电压降低而动作，其动作方程为：

$$U_{\Phi-\Phi} < \sqrt{3}U_{zd} \quad (3-4)$$

其中， $U_{\Phi-\Phi}$ 表示加入继电器的相间电压， U_{zd} 表示低电压继电器的整定电压值（用相电压表示）。

数字式电压继电器动作逻辑框图如图3-6所示。

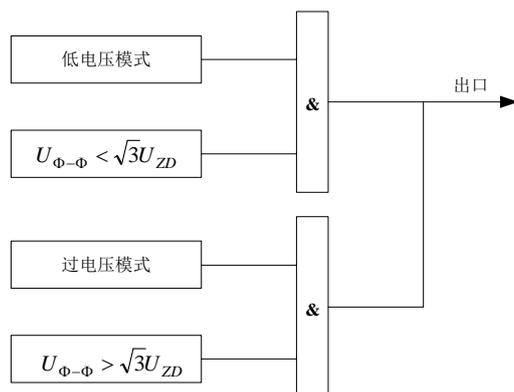


图 3-6 数字式电压继电器逻辑框图

数字式继电器一般采用傅式算法计算电压有效值。在离散系统中，用傅式算法计算基波电压有效值的方法如下：

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N u(k) \sin\left(\frac{2k\pi}{N}\right) \\ b_1 &= \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N u(k) \cos\left(\frac{2k\pi}{N}\right) \end{aligned} \right\} \quad (3-5)$$

式中， $u(k)$ 表示电压的第 k 个采样值， N 为每基频周期内的采样点数。

则电压基频分量的幅值 U_m 可表示为 $U_m^2 = a_1^2 + b_1^2$ 。

电压基波的有效值为： $U = U_m / \sqrt{3}$ 。

3.3.2.2 实验说明

数字式电压继电器仅反映 AB 相间电压动作，即：只有在 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置的 A 相电压和 B 相电压通道施加电压时，电压继电器才动作。

3.3.3 实验内容

3.3.3.1 实验接线

将测试仪 A、B 相电压信号分别与 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置的 A、B 相电压接线端连接。注意电压公共端也应连接在一起。

3.3.3.2 实验过程

(1) 程序下载

运行“多功能微机保护实验装置管理程序”软件，进入“在线下载继电保护程序”模块，对 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置进行功能配置，下载“电压继电器保护侧程序”和“电压继电器监控侧程序”。

(2) 整定值下载

可运行软件“多功能微机保护实验装置管理程序”进行整定值下载，整定界面如图 3-7（进入“继电保护特性实验”模块，并点击“其他继电器”选项卡）。当测过电压特性时，勾选“电压继电器”及“过电压”；当测低电压特性时，勾选“电压继电器”及“低电压”，输入整定值，成功打开串口后下载定值。

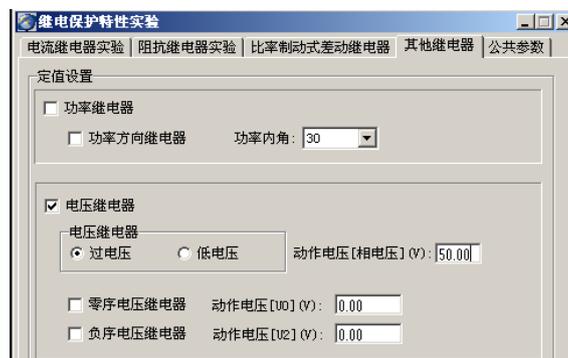


图 3-7 电压继电器整定值下载界面

整定注意：输入的电压动作值(整定值)应为相电压值。

例如：设置在过电压模式下，当整定值为 50V 时，加入继电器的 U_{AB} 必须要大于 86.6V 时，继电器才会动作。

(3) 特性测试

首先进行过电压继电器特性测试实验，测试内容及测试方法与 DY-36 型电压继电器近似，可参考。注意：开关量动作接点应选择“接点 3”（实验台内部已连接好）。

控制变量应选择“ U_{ab} 幅值”，若设置过电压继电器动作值为 50V，则变量的程控变化范围应包含 50V，例如可设置为从 40V 到 60V。

测试过程记录的数据及计算数据填入表 3-2。

表 3-2 过电压继电器特性测试(填入表格中的电压均用相电压表示)

	动作值(V)	返回值(V)	返回系数
1			
2			
3			
4			
平均值(V)			
误差(%)			
变差(%)			
返回系数			
整定值(V)			

然后进行低电压继电器特性测试实验，测试过程记录的数据及计算数据填入表 3-3。

表 3-3 低电压继电器特性测试(填入表格中的电压均用相电压表示)

	动作值(V)	返回值(V)	返回系数
1			
2			
3			
4			
平均值(V)			/
误差(%)			
变差(%)			
返回系数			
整定值(V)			

3.3.4 思考题

比较数字式电压继电器与 DY-36 型电压继电器的返回系数，并分析两者不同的原因

实验三 数字式反时限电流继电器特性实验

3.7.1 实验目的

- (1) 了解数字式反时限电流继电器的原理和算法。
- (2) 测试反时限电流继电器的三种特性曲线。

3.7.2 实验原理

反时限电流继电器的动作时限与加入继电器的电流大小相关，当电流大时，继电器的动作时限短，电流小时动作时限长。

常见的反时限特性曲线方程有三种：

$$(1) \text{ 标准反时限特性方程: } t = \frac{0.14T_p}{[(I/I_p)^{0.02} - 1]}$$

$$(2) \text{ 非常反时限特性方程: } t = \frac{13.5T_p}{[(I/I_p) - 1]}$$

$$(3) \text{ 极端反时限特性方程: } t = \frac{80T_p}{[(I/I_p)^2 - 1]}$$

式中 t 为继电器的动作时间， T_p 为继电器延时整定时间， I 为加入继电器的实际电流值， I_p 为继电器的整定电流值。

用离散形式表示的反时限电流继电器的动作方程分别为：

$$(1) \text{ 标准反时限: } \sum_{n=1}^M [(\frac{I(n)}{I_p})^{0.02} - 1] \geq 0.14 \frac{T_p}{\Delta t}$$

$$(2) \text{ 非常反时限: } \sum_{n=1}^M [(\frac{I(n)}{I_p}) - 1] \geq 13.5 \frac{T_p}{\Delta t}$$

$$(3) \text{ 极端反时限: } \sum_{n=1}^M [(\frac{I(n)}{I_p})^2 - 1] \geq 80 \frac{T_p}{\Delta t}$$

式中： M 为求和的累积次数， $I(n)$ 为第 n 个计算点的电流有效值， I_p 为继电器的整定电流值， T_p 为继电器的延时整定时间， Δt 为相邻计算点的时间间隔。

注意：数字式反时限电流继电器仅反映A相电流动作，即：只有将电流施加于TQXDB-III多功能微机保护实验装置的A相电流通时，反时限电流继电器才动作。

3.7.3 实验内容

3.7.3.1 实验接线

将测试仪的 A 相电流信号与 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置接线区的 A 相电流接线端连接。注意电流公共端也应连接在一起。

3.7.3.2 实验过程

(1) 测试反时限电流继电器的标准反时限特性曲线

实验步骤如下：

a. 程序及整定值下载

向 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置中下载“反时限电流继电器保护侧程序”及“反时限电流继电器监控侧程序”。

运行软件“多功能微机保护实验装置管理程序”进行整定值下载，输入整定电流值，选择动作曲线 1。

注意：

动作曲线 1、曲线 2、曲线 3 分别代表标准反时限特性曲线、非常反时限特性曲线和极端反时限特性曲线。

b. 特性测试

打开测试仪电源，在 PC 机上运行“继电保护特性测试系统”软件，进入“反时限电流继电器电流时间特性测试”模块。

c. “控制参数”的设置

根据反时限电流继电器的特性，加入的电流越小，其动作时间越长。因此“电流设置”中的“每步保持时间”应略大于或等于电流变化范围的起始值对应的理论动作时间。避免出现加入的电流比较小时，电流保持时间未达到其动作时间。注意：开关量动作接点应选择“接点 3”（实验台内部已连接好）。

注意：“每步保持时间”选择示例：设动作电流整定值 $I_p = 1A$ ，动作时间整定值 $T_p = 0.1s$ ，则设置的电流动作范围起始值应大于 1A，否则继电器不会动作。假设电流动作范围起始值设为 1.5A，如果是测试标准反时限特性曲线，则其对应的理论动作时间为：
 $t_{I=1.5} = 0.14T_p / [(I/I_p)^{0.02} - 1] = 0.14 * 0.1 / [(1.5/1)^{0.02} - 1] = 1.719s$ ，则“每步保持时间”可设为 2s。

点击“开始试验”按钮使测试仪按所做设置发出电流，测试不同电流下继电器的动作时间。并将测试结果显示在界面上，记录相关动作数据。测试完成后，可按“曲线观察”按钮显示特性曲线，直观了解被测试装置的动作特性。

(2) 测试反时限电流继电器的非常反时限特性曲线

实验步骤如下：

a. 整定值下载

保持动作定值和动作时限不变，仅将动作特性改为非常反时限特性曲线即选择动作曲线 2。

b. 特性测试

同上。

注意：

如果是测试非常反时限特性曲线，则其对应的理论动作时间为：

$$t_{I=1.5} = 13.5T_p / [(I/I_p) - 1] = 13.5 * 0.1 / [(1.5/1) - 1] = 2.7s, \text{ 则“每步保持时间”可设为 } 3s.$$

(3) 测试反时限电流继电器的极端反时限特性曲线

实验步骤如下：

a. 整定值下载

保持动作定值和动作时限不变，仅将动作特性改为极端反时限特性曲线即选择动作曲线 3。

b. 特性测试

同上。

注意：

如果是测试极端反时限特性曲线，则其对应的理论动作时间为：

$$t_{I=1.5} = 80T_p / [(I/I_p)^2 - 1] = 80 * 0.1 / [(1.5/1)^2 - 1] = 6.4s, \text{ 则“每步保持时间”可设为 } 7s.$$

把测得的三种特性曲线的动作数据按 $t = f(I)$ 画在同一个坐标图中进行比较。

3.7.4 思考题

反时限电流继电器相比电流继电器具有哪些优点？一般用在哪些场合？

实验四 数字式差动继电器特性实验

3.5.1 实验目的

- (1) 了解数字式差动继电器的算法。
- (2) 测试数字式比率制动差动继电器的比率制动曲线特性。

3.5.2 实验原理及实验说明

3.5.2.1 数字式差动继电器基本原理

比率制动式差动继电器的动作电流是随外部短路电流按比率增大,既能保证外部短路不误动,又能保证内部短路有较高的灵敏度。同时考虑躲开正常运行时差动回路中的不平衡电流,其动作方程可表示为:

$$(I_d > I_{d.min}) \cap (I_d > KI_r) \quad (3-7)$$

其中, I_d 表示计算所得的差动电流, $I_{d.min}$ 表示差动继电器的起动差流整定值即门槛电流, I_r 表示计算所得的制动电流, K 表示比率制动系数整定值。比率制动式差动保护制动特性曲线如图 3-8。

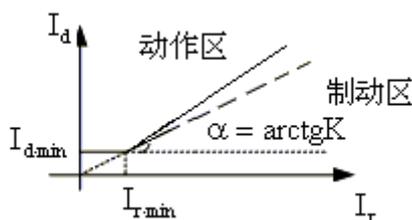


图 3-8 比率制动式差动保护制动特性曲线

3.5.2.2 实验说明

A 相电流作为差动继电器的 1 侧电流, C 相电流作为差动继电器的 2 侧电流。差动电流 I_d 和制动电流 I_r 的表达式分别为:

$$\dot{I}_d = \dot{I}_A + \dot{I}_C, \quad \dot{I}_r = \frac{\dot{I}_A - \dot{I}_C}{2} \quad (3-8)$$

3.5.3 实验内容

3.5.3.1 实验接线

将 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置的 A、C 相电流接线端分别与测试仪的对应相电流端子相连。电流公共端也应连接在一起。

3.5.3.2 实验过程

(1) 程序下载

运行“多功能微机保护实验装置管理程序”软件，进入“在线下载继电保护程序”模块，对 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置进行功能配置，下载“差动继电器保护侧程序”和“差动继电器监控侧程序”。

(2) 整定值下载

进入“多功能微机保护实验装置管理程序”软件的“继电保护特性实验”模块，整定数字式差动继电器门槛值为 2A，比率制动系数为 0.5。

(3) 特性测试

本实验主要是测试数字式差动继电器的比率制动曲线特性。

按“LCD-4 型差动继电器特性实验”同样的方法测试数字式差动继电器的比率制动特性曲线，记录测得的数据 I_d 和 I_r ，填入表 3-7，按“曲线观察”按钮显示特性曲线，直观了解比率制动特性。注意：开关量动作接点应选择“接点 3”（实验台内部已连接好）。

保持设置的动作门槛值不变，比率制动系数设置为 0.4，重复特性测试实验。

表 3-7 不同比率制动系数下的差动与制动电流值

制动系数 K	第 1 组		第 2 组		第 3 组		第 4 组		第 5 组		第 6 组		第 7 组	
	I_d	I_r												
0.5														
0.4														

将不同比率制动系数下的记录数据在同一个坐标中画图得到的曲线 $I_d=f(I_r)$ ，并进行比较。

3.5.4 思考题：

比较数字式差动继电器和常规差动继电器的动作曲线。

实验五 35kV 微机线路保护实验

3.20.1 实验目的

- (1) 掌握 35kV 线路保护的配置。
- (2) 掌握 35kV 线路保护的整定方法。
- (3) 了解电流电压速断保护基本原理。

3.20.2 实验原理及实验说明

3.20.2.1 保护配置

35kV 微机线路保护的配置包括：三段电流保护（可选择带方向）；电流电压联锁速断保护；反时限电流保护；专门的后加速段保护；三相一次重合闸；反应单相接地的零序电压元件。

电流电压联锁速断保护是由过电流元件和低电压元件共同组成的保护，只有当电流、电压元件同时动作时保护才能动作跳闸。其动作逻辑如图 3-33。其中 $I_{\phi.\max}$ 表示 A、B、C 三相电流的最大值， $U_{\phi-\phi}$ 表示任意两相间电压， $I_{IU.zd}$ 表示电流定值， $U_{IU.zd}$ 表示低电压定值（用相电压表示）。

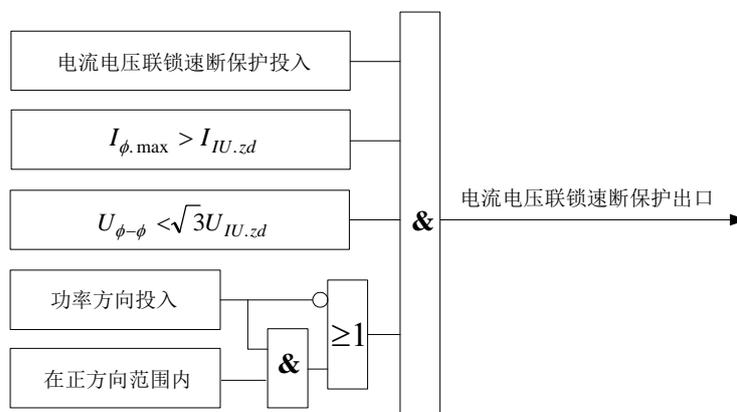


图 3-33 电流电压联锁速断保护逻辑框图

3.20.2.2 实验说明

本实验系统出厂时提供了一组 35kV 线路保护实验模型，如图 3-34。各元件基本参数已标示在模型上。35kV 线路保护安装于 A 变电站 3QF 处，从 3TA 二次侧获取电流，控制 3QF 动作。通过向 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置下载 35kV 线路保护程序构成 35kV 线路保护。

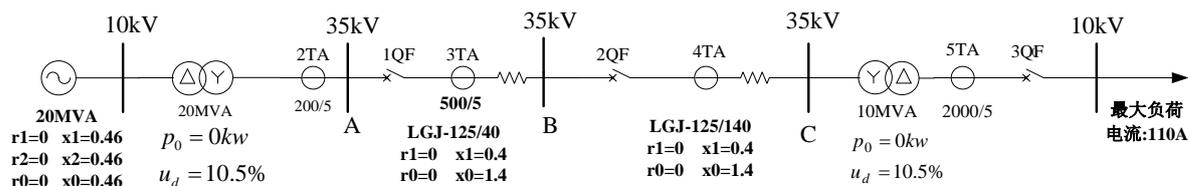


图 3-34 35kV 微机线路保护实验一次系统图

3. 20. 3 实验内容

3. 20. 3. 1 实验接线

将 TQXDB-III 多功能微机保护实验装置的三相电流接线端与成组保护接线图上 3QF 处电流互感器二次侧三相电流插孔相连，装置的三相电压接线端与 A 母线电压互感器二次侧插孔相连，装置的跳、合闸接线端分别与 3QF 处的跳、合闸插孔相连。装置的跳、合位端子分别与 3QF 的两个辅助触点：常开触点、常闭触点相连，装置的跳合位公共端与两个辅助触点的另外一端相连。注意：电流电压公共端也应分别连接在一起。

注意：

实验台上的保护实验模式切换开关应拨到“独立模式”，否则保护无法获取电流信号！

3. 20. 3. 2 程序及整定值下载

(1) 程序下载

运行“多功能微机保护实验装置管理程序”软件，进入“在线下载继电保护程序”模块，分别下载“35kV 线路保护装置保护侧程序”和“35kV 线路保护装置监控侧程序”模块到实验装置中。

(2) 整定计算

按照模型参数进行整定值计算，注意模型参数为一次侧参数，在进行整定计算后，注意将一次侧参数转换成二次侧参数。

二次电流整定值=(一次电流整定值)/ n_{TA} ，二次电压整定值=(一次电压整定值)/ n_{TV} ，其中 n_{TA} 为保护安装处电流互感器的变比， n_{TV} 为保护安装处电压互感器的变比。

注意：

电流电压联锁速断保护的电压整定值用相电压值表示！

(3) 整定值下载

运行软件“多功能微机保护实验装置管理程序”，进入“微机继电保护综合实验”模块进行整定值下载。或者直接按装置面板上的“ESC”键进入菜单进行整定。

3. 20. 3. 3 保护范围测试实验

(1) 只投入三段电流保护，不投入电流电压联锁速断保护和重合闸。

设置线路 AB 及 BC 上各点发生瞬时性三相短路和两相短路故障，测试各保护动作范围，

填入表 3-26。

(2) 只投入电流电压连锁速断保护、电流 II 段及电流 III 段保护，不投入电流 I 段保护。

设置线路 AB 及 BC 上各点发生瞬时性三相短路和两相短路故障，测试各保护动作范围，填入表 3-26。

3.20.3.4 电流电压连锁速断保护与重合闸配合实验

投入电流电压连锁速断保护、电流 II 段、电流 III 段保护及重合闸，不投入电流 I 段保护。后加速保护定值整定为比 III 段定值略大一些，时间整定为 0.05s。

在线路 AB 上距离 A 点 30% 处设置瞬时性三相短路故障，将保护及重合闸动作时间记录下来，填入表 3-27。

注意：实验前，应首先确认断路器处于合闸状态，装置面板上的“充电”指示灯亮。

表3-26 35kV线路保护范围记录表

	保护类型	保护范围
三相短路	电流电压速断	AB 线路全长___%+BC 线路全长___%
	电流速断	AB 线路全长___%+BC 线路全长___%
	限时电流速断	AB 线路全长___%+BC 线路全长___%
	定时限过电流保护	AB 线路全长___%+BC 线路全长___%
两相短路	电流电压速断	AB 线路全长___%+BC 线路全长___ %
	电流速断	AB 线路全长___%+BC 线路全长___%
	限时电流速断	AB 线路全长___%+BC 线路全长___%
	定时限过电流保护	AB 线路全长___%+BC 线路全长___%

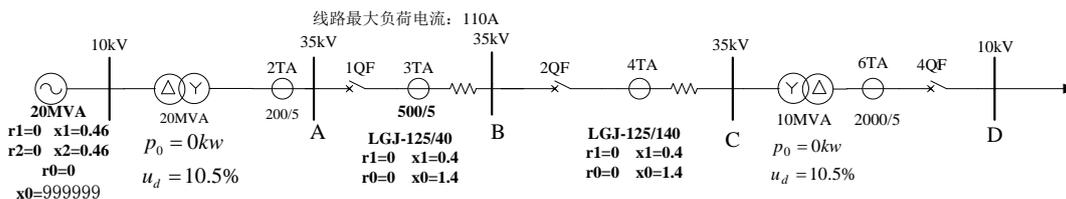
表 3-27 电流电压连锁速断保护与重合闸动作时间记录表

故障点和故障类型	何种保护动作	保护动作时间(ms)	重合闸启动时间(ms)
AB线路上距离A点30%处 发生瞬时性三相短路			

3.20.4 思考题：

- (1) 电流电压速断保护与电流速断保护在整定计算上有何不同？
- (2) 电流电压速断保护与电流速断保护范围有何不同？

35kV 微机线路保护综合实验整定计算



取基准容量 $S_B = 20MVA$, $U_{BI} = 35kV$

计算各元件归算到 35kV 侧的有名值

$$X_G = 0.46 * \frac{10^2}{20} * \left(\frac{35}{10}\right)^2 = 28.175 \text{ 欧}$$

$$X_T = 0.105 * \frac{35^2}{20} = 6.43 \text{ 欧}$$

$$X_{AB} = 0.4 * 40 = 16 \text{ 欧}$$

$$X_{BC} = 0.4 * 140 = 56 \text{ 欧}$$

发电机电势归算至 35KV 侧为: $E' = E \times 35/10 = 10.5 \times 35/10 = 36.75KV$

系统等效阻抗为: $X_S = X_G + X_T = 34.605 \text{ 欧}$

在 AB 线路末端发生短路时, 等效短路阻抗 $X_{\Sigma,B} = X_G + X_T + X_{AB} = 50.605 \text{ 欧}$

在 BC 线路末端发生短路时, 等效短路阻抗 $X_{\Sigma,C} = X_G + X_T + X_{AB} + X_{BC} = 106.605 \text{ 欧}$

a. 短路计算汇总 (均为 TA 一次数值)

在 AB 线路末端发生三相短路, 短路电流为:

$$I_{d.B.\max} = \frac{E'}{\sqrt{3} * X_{\Sigma,B}} = \frac{36.75}{1.732 * 50.605} = 0.419kA$$

在 AB 线路末端发生两相短路, 短路电流为: $I_{d.B.\min} = \frac{E'}{2 * X_{\Sigma,B}} = \frac{36.75}{2 * 50.605} = 0.363kA$

在 BC 线路末端发生三相短路, 短路电流为:

$$I_{d.C.\max} = \frac{E'}{\sqrt{3} * X_{\Sigma,C}} = \frac{36.75}{1.732 * 106.605} = 0.199kA$$

在 BC 线路末端发生两相短路, 短路电流为: $I_{d.C.\min} = \frac{E'}{2 * X_{\Sigma,C}} = \frac{36.75}{2 * 106.605} = 0.172kA$

b. 电流保护 1 段定值计算及校验

动作电流: $I'_{pu} = K'_k I_{d.B.\max} = 1.2 * 0.419 = 0.5028kA$, 其中 K'_k 取 1.2

灵敏度校验:

求出最小运行方式下发生两相短路时的保护范围:

$$L_{MIN} = \frac{1}{X_1} \left(\frac{E'}{2I'_{pu}} - X_{S.\max} \right) = \frac{1}{0.4} \left(\frac{36.75}{2 * 0.5028} - 34.605 \right) = 4.85 \text{ 公里}$$

$$\frac{L_{MIN}}{L} = \frac{4.85}{40} = 0.121 < 15\%, \text{ 不满足灵敏度要求, 可不投入电流 1 段。}$$

c. 电流电压联锁速断保护定值计算及校验

正常运行方式下取保护区为 $L_1 = 0.75 L_{AB}$

$$I_{pu} = \frac{E_{\phi}'}{X_S + X_0 L_1} = \frac{36.75}{1.732 * (34.605 + 0.75 * 16)} = 0.455 \text{ kA}$$

$$U_{pu} = \sqrt{3} I_{pu} X_0 L_1 = 1.732 * 0.455 * 0.75 * 16 = 9.4567 \text{ kV}$$

灵敏度符合要求。

d. 电流保护 2 段定值计算及校验

$$B \text{ 点安装的电流 1 段保护定值 } I'_{pu.B} = K'_k I_{d.C.\max} = 1.2 * 0.199 = 0.2388 \text{ kA}$$

$$I''_{pu} = k''_k * I'_{pu.B} = 1.1 * 0.2388 = 0.262 \text{ kA} \quad k''_k \text{ 取 } 1.1$$

$$\text{灵敏度校验 } k_{lm} = \frac{I_{d.B.\min}}{I''_{pu}} = \frac{0.363}{0.262} = 1.385 > 1.3 \text{ 满足灵敏度要求}$$

$$\text{时限要求为 } t''_1 = t'_2 + \Delta t \quad \Delta t = 0.5 \quad t'_1 = 0.5 \text{ S}$$

e. 电流保护 3 段定值计算及校验

最大负荷电流为 $110 \text{ A} = 0.11 \text{ kA}$ 。

$$\text{电流 III 段定值: } I'''_{pu} = \frac{k_k * k_{zq}}{k_h} * I_{f.\max} = \frac{1.15 * 1}{0.95} * 0.11 = 0.133 \text{ kA}, \quad k'''_k \text{ 取 } 1.15, \text{ 由于系统}$$

中无电动机, 自启动系数取 1, 由于采用微机保护装置, 返回系数较高, 取 0.95。

灵敏度校验:

作为近后备时, 利用最小运行方式下本线路末端两相金属性短路时, 流过保护的电流校

$$\text{验 } k_{lm} = \frac{I_{d.B.\min}}{I'''_{pu}} = \frac{0.363}{0.133} > 1.3, \text{ 满足灵敏度要求。}$$

作为远后备时, 利用最小运行方式下相邻线路末端发生两相金属性短路时电流保护的灵

$$\text{敏系数 } k_{lm} = \frac{I_{d.C.\min}}{I'''_{pu}} = \frac{0.172}{0.133} > 1.2, \text{ 满足灵敏度要求。}$$

f. 将定值转化为二次侧数值

计算方法:

$$\text{二次电流整定值} = (\text{一次电流整定值}) / n_{TA}$$

$$\text{二次电压整定值} = (\text{一次电压整定值}) / n_{TV}$$

n_{TA} 为 TA 变比, 此模型为 500/5; n_{TV} 为 TV 变比, 此模型为 35*1000/100

$$\text{电流 1 段二次定值: } 0.5028 \text{ kA} / 100 = 5.03 \text{ A}$$

电流 2 段二次定值： $0.262\text{kA}/100=2.62\text{A}$

电流 3 段二次定值： $0.133\text{kA}/100=1.33\text{A}$

电流电压联锁速断电流二次定值： $0.455\text{kA}/100=4.55\text{A}$

电压二次定值（转换为相电压值）： $9.4567\text{kV}\cdot 100/35000/1.732=15.6\text{V}$

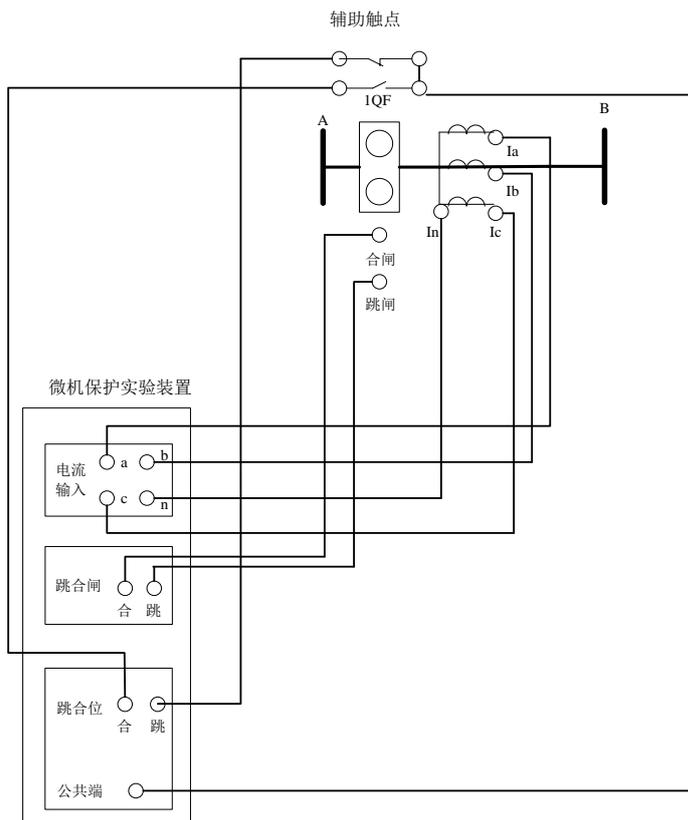
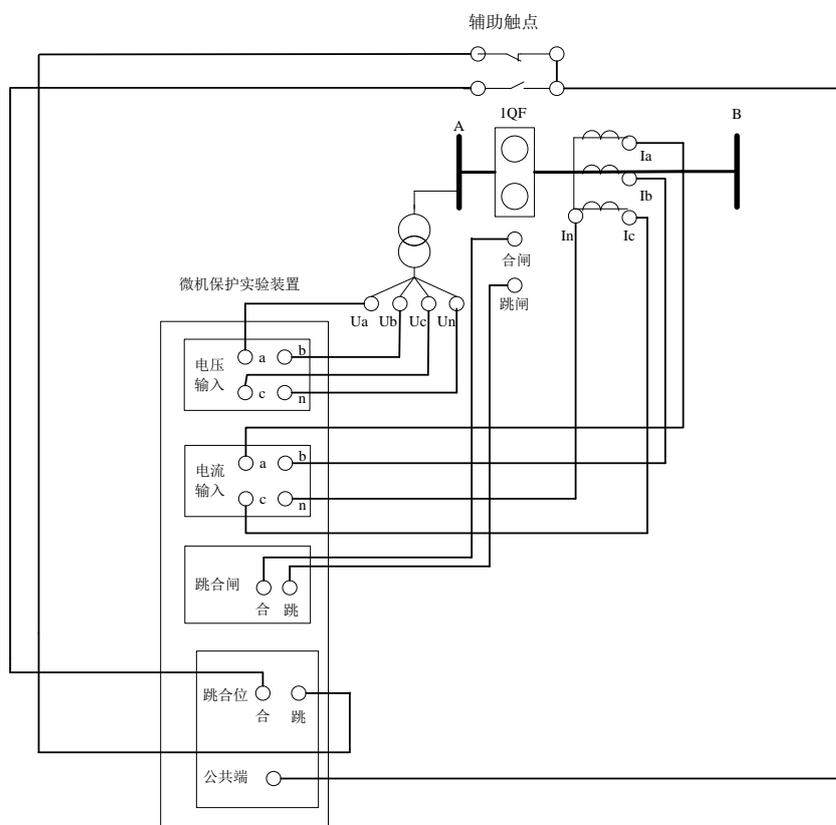


图 3-2 成组微机保护实验原理图(以 10kV 线路保护实验为例)



110kV 微机线路保护实验接线图