

# 《 继电保护与自动化综合实验》

## 实 验 指 导 书

继电保护教研组 编

华北电力大学

二〇一零 年 十月

# 前 言

## 1. 实验总体目标

本实验是电气工程及其自动化专业（继电保护与自动远动技术方向）毕业前的专业综合实验。通过本实验，使学生了解线路微机保护、电力系统自动装置及变电站自动化监控系统的使用、试验、调整的基本方法，培养学生的动手能力、分析和解决实际工程问题的能力。

## 2. 适用专业

电气工程及其自动化（继电保护与自动远动技术方向）

## 3. 先修课程

本实践环节为毕业前的专业综合实验，应在学完全部专业课后进行。

## 4. 实验课时分配

实验项目	学时
实验一 微机线路保护装置认识实验	1 天
实验二 微机线路保护装置距离保护实验	1 天
实验三 微机线路保护装置零序保护实验	1 天
实验四 微机线路保护装置高频保护实验	1 天
实验五 微机自动重合闸实验	1 天
实验六 同步发电机准同期并列实验	1 天
实验七 同步发电机励磁控制实验	1 天
实验八 变电站自动化系统实验	2 天
答辩	1 天

## 5. 实验环境

实验包括微机线路保护装置实验、同步发电机准同期并列实验、同步发电机励磁控制实验、变电站自动化实验四个部分组成，分别在微机保护实验室和工程训练中心完成。

## 6. 实验总体要求

通过本环节的实践，使学生了解并掌握继电保护、电力系统自动装置以及变电站综合自动化监控系统的使用、整定、试验、分析、调整的方法。

## 7. 本实验的重点、难点及教学方法建议

本实验是一门集《电力系统继电保护原理》、《电力系统微机保护》、《电力系统自动化》、《电力系统远程监控原理》等课程相关内容的，综合性的、理论和实践并重的课程，着重培养学生动手能力、分析和解决实际工程问题的能力。本实验是继电保护及自动远动技术方向必修课，为学生将来从事继电保护的研究开发，生产制造，运行维护工作奠定基础。内容主要包括：微机线路保护，准同期并列装置试验与调整，自动调节励磁装置试验与调整，电力系统调度自动化实验，变电站综合自动化监控系统的使用、维护。

## 目 录

实验一、微机线路保护装置认识实验	4
实验二、微机线路保护装置距离保护实验	8
实验三、微机线路保护装置零序保护实验	11
实验四、微机线路保护装置高频保护实验	17
实验五、微机自动重合闸实验	19
实验六、同步发电机准同期并列实验	21
实验七、同步发电机励磁控制实验	26
实验八、变电站自动化系统实验	40

# 实验一、微机线路保护装置认识实验

## 一、实验目的

通过微机线路保护简单故障实验，掌握并理解微机保护的接线、动作特性和动作报文。

## 二、实验类型（含验证型、设计型或综合型）

综合型。

## 三、实验仪器

序号	型 号	名 称	数 量
1	MRT	继电保护测试仪	1 台
2	CSL161B	微机线路保护装置	1 台

## 四、实验原理

CSL-161 型数字式线路保护装置是以微型计算机为核心构成的以距离保护为重点的微机保护装置。用于 110KV 输电线路，具有闭锁式高频距离和高频零序方向保护、三段相间距离、三段接地距离、四段零序方向电流保护及三相一次重合闸。

本装置的硬件主要由下列部分构成：

1）交流插件（AC）：本插件将系统电压互感器、电流互感器二次侧强电信号变换成保护装置所需的弱电信号，同时起隔离和抗干扰作用。本插件设有九个模拟量输入变压器（TV 及TA），分别用于三相电压、三相电流、 $3U_0$ 、 $3I_0$ （或 $I_x$ ）及重合闸检同期用的线路抽取电压 $U_x$ 。

2）模数变换插件（VFC）：本插件共有九路电路结构完全相同的电压频率变换器，分别将交流插件输出的五路电压和四路电流变换成脉冲频率随输入模拟量幅值大小变化的脉冲量，并经快速光耦光电隔离后送至CPU 系统中的计数器计数，以实现模数转换。

3）保护CPU 插件：是整套保护装置核心部分。本插件所用单片机的总线不引出，片内包括了装置所要求的各种外设功能逻辑。其上配有存放工作程序的只读存储器（ROM），由于单片机内无 $E^2PROM$ ，因而在片外设置了一片串行 $E^2PROM$ ，利用CPU 的两根I/O 线相连，一根作串行数据线（SD），另一根作串行时钟线（SC），从而实现数据存储。本装置的单片机片内设有两个串行通讯口（UART0 及UART1），UART0 用于同装在面板上的人机对话CPU 通讯。UART1 则留作备用。

4）继电器插件（RELAY）：用于开关量输出。开出分成两种，一种是用于驱动出口及信号继电器的，此种开出的+24 伏电源都是经过继电器插件告警继电器常闭接点闭锁的；另一种用于驱动告警继电器，其+24 伏电源是不经过闭锁的。本装置设有两路告警，称告警 I 和告警 II，告警 I 用于检测到必须闭锁本CPU 开出的致命异常状况时，告警 II 用于不需闭锁开出的情况。

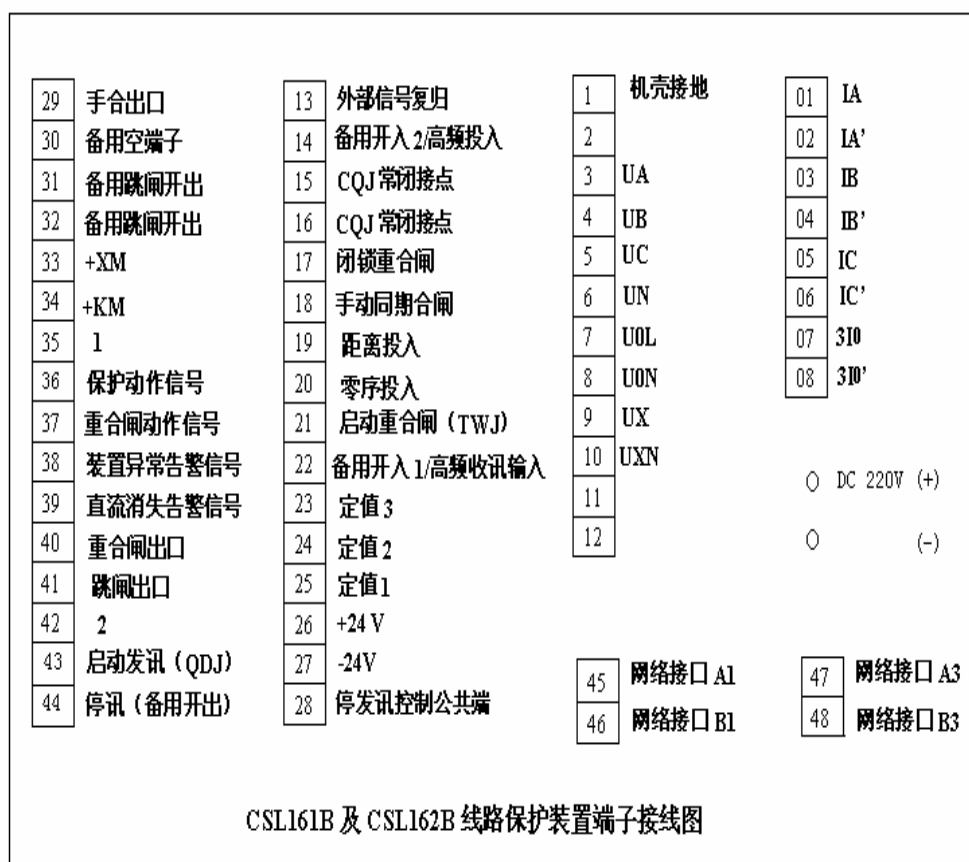
5）电源插件（POWER）：本插件为直流逆变电源插件。直流220V 和110V 电压经抗干扰滤波回路输入，利用逆变原理输出本装置需要的三组直流电压，即5V、 $\pm 15V$  及24V。

6）人机对话板（MMI）：用于输入输出管理，如：数据显示、打印，定值管理等。设有 11 个多功能的 I/O 线可以完成多种功能，本装置面板上设有六个键和一个液晶显示器。

## 五、实验内容和要求

## 1、装置通电检查，在通电检查时请注意：

- 通电情况下绝不允许插拔插件。
- 电源接线正确：MMI 板与逻辑继电器插件相连的扁平电缆方向正确，才允许通电。



图（一）CSL—161B 数字式线路保护装置外部端子图

整机通电检查：根据图（一），给保护装置接直流 220V 工作电源（DC 220V 端子或 X35、X42 号端子）。

**注意：1、经老师检查接线以后才能合闸！**

**2、关于本装置的人—机对话功能请参阅附录 II**

装置正常工作表现为：

- 面板上工作指示绿色灯亮、其它指示灯灭。
- LCD 第一行显示实时时钟，第二行轮流显示各模拟量的测量值及保护压板和定值区号等有关信息（当 KG2 中相应位置 1 时），无报警信号，则基本上可确定装置已处于正常工作状态。

## 2、装置调试实验

### 2.1、整定时间日期：

- 在 LCD 的一级菜单中选 CLK, 按<SET>键，LCD 显示时间和日期，用选择键将日期和时间调整好，按<SET>键确认。

- 按<Q>键使 LCD 回到正常状态，观察显示的日期和时间是否正确。

- 拉掉电源几分钟，然后合上，检查显示的日期和时间是否正确。

### 2.2、开入量检查：

使人机对话功能进入 VFC-VI-DI 子菜单，给各开入量输入端子分别加上+24V 电压（与

X<sub>26</sub> 端子相连)，此时，LCD 应有相应开入端子号的显示“DI：X X”。否则，检查开入量的电路或光隔芯片。开入端子号见表 1

表 1

开入端子	X19	X20	X23	X24	X25
功能	距离/过流投入	零序投入	定值 3	定值 2	定值 1

2. 3、开出传动试验：

利用面板上的人机对话功能，（或运行 PC 机调试软件），使人机对话功能进入 CTL-DOT-CPU 号——开出量编号传动，LCD 显示“DOT-N0：00”，按选择键，根据表 3 所列的开出功能的编号，输入编号，并设置密码后，在按<SET>，则装置相应的保护及重合闸动作，LCD 显示“SUCCESS TEST OUPUT ”，LCD 的保护动作和重合闸动作信号灯亮，运行监视灯闪光，相应接点动作，可用万用表测试接点闭合情况。按复归按钮退出试验。如输入 01、02 编号时，LCD 的告警灯亮，相应接点闭合。

表 3

编号	开出功能	应亮的信号灯	接点动作情况
01	保护动作调闸出口	保护动作	X34--41， x31--32
02	保护动作合闸出口	重合闸动作	X34—x40

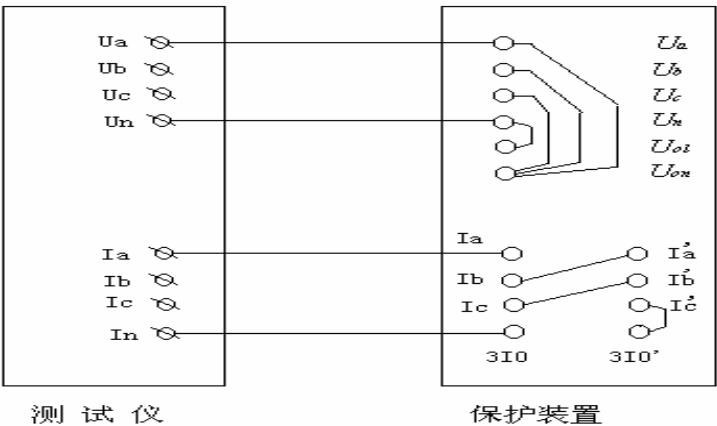
2. 4、零漂检查：装置各交流端子均开路，利用面板上的人机对话功能，（或运行 PC 机调试软件），使人机对话功能进入 VFC-DC 菜单，在 LCD 上逐项显示各模拟量输入通道的零点漂移值，要求在-0.2—+0.2（5A 额定值）范围，如不满足，可以调节 VFC 插板上的调零电位器，RW2n(n=1—9)。将各值填入表 4

表 4： 单位： mv

Ia	Ib	Ic	3I <sub>0</sub>	Ua	Ub	Uc	U <sub>0</sub>

3、 装置测试

实验接线如图（二）。



图（二）

3. 1、 电流电压刻度检查：

- 试验前将控制字段 KG1 的 D15 置“0”，即将<模拟量输入自检、PT、CT 断线检查>退出。
- 按图接线，然后请老师检查接线。

- 按附录有关章节所述，打开测试仪。
- 在测试仪人-机对话界面设置各量。
- 测试方法见附录 I 有关章节（建议用手动试验或变频实验）

a)、将电流回路顺极性串联，通入额定电流，使人机对话功能进入 VFI—VI—子菜单，观察 LCD 显示的  $I_a, I_b, I_c, 3I_0$  有效值，要求与设置输入电流值相差不大与  $\pm 3\%$ 。如不满足，可以调节 VFC 插板上的相应电位器，RW1n (n=1—4)。将数据分别记录到表 5。

b)、将电压回路同极性并联，加上额定电压 ( $\frac{100}{\sqrt{3}}V$ )。使人机对话功能进入 VFI—VI—子菜单，在 LCD 上逐项显示  $V_a, V_b, V_c, 3V_0, V_x$  的有效值，要求与设置输入电压值相差不大与  $\pm 3\%$ 。如不满足，可以调节 VFC 插板上的相应电位器，RW1n (n=5—5)。将数据分别记录到表 5

表 5

输入电流	5A			
LCD 显示数据	Ia	Ib	Ic	3I0
输入电压	$\frac{100}{\sqrt{3}}V$			
LCD 显示数据	Ua	Ub	Uc	3U0

3. 2、电压、电流线性度检查： 实验接线如图（二）。

a) 在电流回路，每一相分别通入 10A、5A、2A、1、0.4A 电流，观察 LCD 的显示，对应每个量，将  $I_a, I_b, I_c, 3I_0$  中误差最大的数据记录表 6。

b) 在电压回路分别加入电压 80V、60V、50V、10V、5V、1V、0.4V，观察 LCD 的显示，对应每个量，将  $U_a, U_b, U_c, 3U_0$  中误差最大的数据记录表 6

表 6

输入电流	8A	5A	2A	1A	0.4A
LCD 显示数据					
输入电压	70V	50V	5V	1V	0.4V
LCD 显示数据					

要求：电压通道：80V—5V， 误差不大于 2%，其它不大于 10%

电流通道：10A—2A， 误差不大于 2%，其它不大于 10%

## 六、注意事项

- 1、保护装置供电电源（DC220V）极性不要接错。
- 2、测试完毕，使测试仪出于退出工作状态（工作状态指示灯灭）！

## 七、思考题

- 1、MRT-2000 继电保护测试仪三相电压、电流输出有何限制？跳合闸指示的作用是什么？
- 2、保护装置硬件构成主要有几部分构成？其功能是什么？
- 3、保护装置人机对话主要功能是什么？
- 4、如果保护装置电压、电流线性度误差较大，请分析其产生的原因。

## 实验二、微机线路保护装置距离保护实验

### 一、实验目的

通过微机线路距离保护实验，掌握微机距离保护的接线、动作特性和动作报文。

### 二、实验类型（含验证型、设计型或综合型）

综合型。

### 三、实验仪器

序号	型 号	名 称	数 量
1	MRT	继电保护测试仪	1 台
2	CSL161	微机线路保护装置	1 台

### 四、实验原理

#### 1、距离保护基本概念

反映故障点到保护安装处的距离——距离保护，它基本上不受系统的运行方式的影响。

距离保护分为三段式：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{I 段: } Z_{dz1}^I = (0.8 \sim 0.85)Z_{AB}, \text{ 瞬时动作} \\ \text{II 段: } Z_{dz1}^{II} = K_K^{II}(Z_{AB} + Z_{dz2}^I), t=0.5'' \\ \text{III 段: 躲最小负荷阻抗, 阶梯时限特性。} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{主保护} \\ \\ \text{———后备保护} \end{array}$$

#### 2、CSL-161B 保护装置距离保护定值整定

1) RDZ 为接地距离和相间距离 I、II、III 段公用的阻抗动作特性电阻分量定值，它的整定原则应按可靠地躲负荷整定。另外，如果负荷很轻，RDZ 一般亦不宜整定太大，因为 RDZ 整定太大时，对保护实现发展性故障时阻抗有关，防止非故障相元件误入动作区等保护逻辑时不利。一般 RDZ 应不大于二分之一 III 段电抗分量定值。

2) 重合闸选择检同期或检无压，无电压定值门槛在程序中固定，即若抽取电压小于 0.3 倍额定值时确认为无电压，若要求检同期，则抽取电压首先满足大于 0.7 倍额定值这个前提条件。

3) 突变量起动定值 IQD：该定值应保证在最小方式下故障相电流应有足够灵敏度，考虑到装置设有零序辅助启动元件，一般建议 IQD 整定在 0.2IN，IN 为电流互感器二次电流额定值。

4) 静稳破坏电流元件定值 IJW：按躲最大负荷电流整定

5) 电抗分量零序补偿系数 KX：KX=（X<sub>0</sub>-X<sub>1</sub>）/3X<sub>1</sub>

6) 电阻分量零序补偿系数 KR：KR=（R<sub>0</sub>-R<sub>1</sub>）/3R<sub>1</sub>

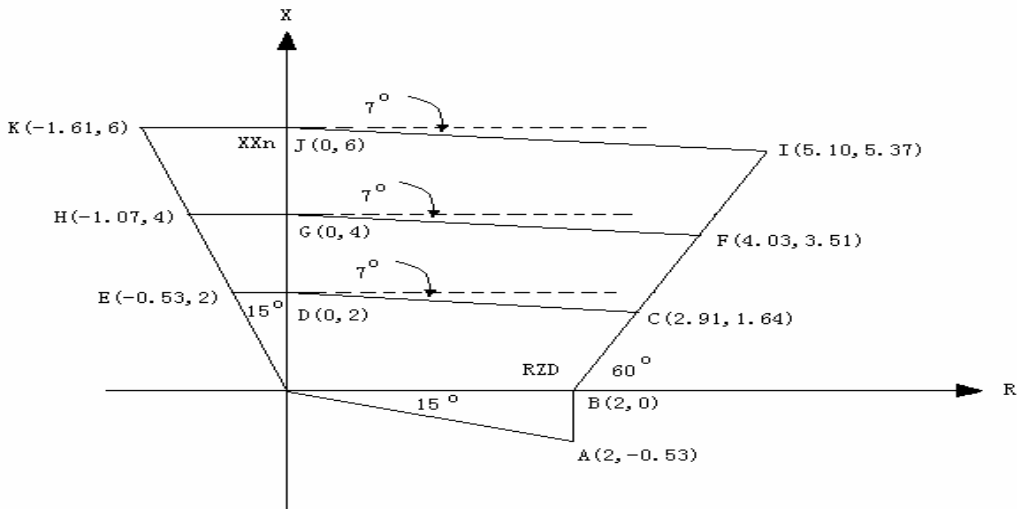
7) 线路 CT 变比：CT=一次值/（二次值×1000），例如变比为 600/5，则 CT=0.12

8) PT 变比：PT=一次值/（二次值×1000），例如变比为 110×10<sup>3</sup>/100，则 PT=1.1

CT、PT 主要用于计算电流、电压和功率的一次值，并在液晶上轮流显示。液晶上显示上述信息时，电流以千安（KA）为单位，电压以千伏（KV）为单位，功率 P、Q 分别以兆瓦（MW）和兆乏（Mvar）为单位。



9) 线路每公里的电抗值  $X_1$ :  $X_1$  主要用于计算故障点距离, 它为线路每公里电抗的一次值 (110KV 线路,  $X_1=4\Omega /KM$ )。



图（一）相间距离保护动作区

### 3、定值清单

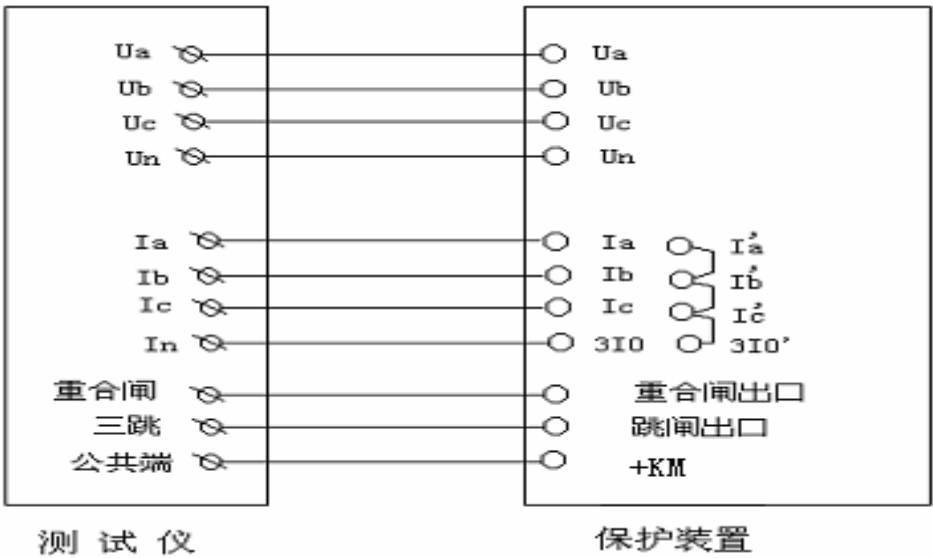
表 1 给出的整定值, 重新输入 “00” 动作区定值。

表 1

KG1=9243	KG2=8413	KG3=0000	RDZ=10 $\Omega$	XX1=2 $\Omega$	XX2=5 $\Omega$	XX3=8 $\Omega$
XD1=2 $\Omega$	XD2=5 $\Omega$	XD3=8 $\Omega$	TX2=0.5S	TX3=3.0S	TD2=1.0S	TD3=3.0S
I01=8A	I02=5A	I03=3A	I04=1.5A	T02=0.5S	T03=2S	T04=4.0S
TCH=1.0S	VTQ=20°	IQD=1A	IJW=3A	KX=0.6	KR=2.3	CT=0.12
PT=1.1	X=0.4 $\Omega$					

### 4、实验接线

实验接线如图（二）。



图（二）

## 五、实验内容和要求

### 实验项目：

#### 1)、相间距离保护动作特性实验

投入距离保护，记录保护装置的动作报文并分析。

#### 2)、接地距离保护动作特性实验

投入距离保护，记录保护装置的动作报文并分析。

### 实验要求：

#### 1) 相间距离保护动作特性实验实验接线

#### 2) 实验中短路故障参数设置

#### 3) 保护动作情况记录

#### 4) 报文及保护动作结果分析

#### 5、接地距离保护动作特性实验

#### 6) 实验中短路故障参数设置

#### 7) 保护动作情况记录

#### 8) 报文及保护动作结果分析

## 六、注意事项

1) 本实验属于采用模拟突然短路的方法进行。

2) 相间接地距离元件具有记忆特性，在模拟出口短路时，短路之前应加电压，距离保护才能正确动作。

## 七、思考题

1、微机线路保护装置 161B 包括哪些功能？每个功能的工作原理是什么？与每个功能相关的整定值有哪些？

2、做一个区内三相短路实验，投入距离保护、零序保护，记录保护装置的动作报文，并进行解释。

3、总结测量阻抗保护动作特性的方法。

## 实验三、微机线路保护装置零序保护实验

### 一、实验目的

通过微机线路零序电流保护实验,掌握微机零序电流保护的接线、动作特性和动作报文。

### 二、实验类型（含验证型、设计型或综合型）

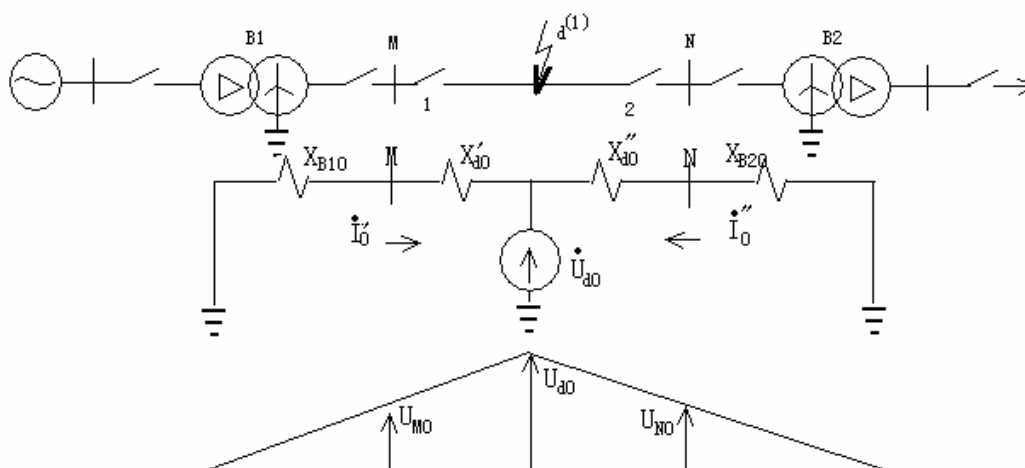
综合型。

### 三、实验仪器

序号	型 号	名 称	数 量
1	MRT	继电保护测试仪	1 台
2	CSL161	微机线路保护装置	1 台

### 四、实验原理

#### 1、电力系统接地故障时零序分量的特点

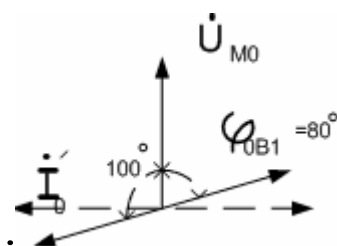


图（一）零序电压、电流分布图

- (1) 零序电压：故障点  $U_0$  最高,离故障点越远  $U_0$  越低, 变压器中性点接地处  $U_0=0$ 。
- (2) 零序电流：
  - 分布：： 中性点接地变压器的位置有关。
  - 大小：： 线路及中性点接地变压器的零序阻抗有关。
- (3) 零序功率
  - 短路点最大(与  $U_0$  相同)., 方向:与正序相反,从线路→母线。

$$(4) \varphi = \arg \frac{\dot{U}_{d0}}{\dot{I}_{d0}}$$

$$\dot{U}_{M0} = -\dot{I}_0 \bullet Z_{B10}$$



图（二）零序电压、电流之间相位关系

相位差由  $Z_{B10}$  的阻抗角决定，与被保护线路的零序阻抗及故障点的位置无关。

## 2、零序电流保护

三段式或四段式：Ⅰ段:速动保护。Ⅱ段(Ⅱ、Ⅲ段)应能有选择性切除本线路范围的接地故障，其动作时间应尽量缩短。最末一段：后备。三段式零序电流保护原理与三段式电流保护是相似的。

## 3、方向性零序电流保护

在多电源的大接地电流系统中，为保证选择性，需要装设零序功率方向元件，构成方向性零序电流保护

## 4、CSL-161B保护装置的定值管理

本装置的整定值均以数字形式存放在CPU 插件的  $E^2$  PROM 中，可同时存放八套不同的整定值(保护装置定值清单见附录二有关章节)，以适应不同的运行方式，特别是装设在旁路母线断路器上的保护，可以把八套定值分别取为可能由它代路的各不同线路的定值。除了用于综合自动化变电站的装置如CSL163B 等采用“软”开关以外，CSL160B 系列中其它装置的X23, X24, X25 三个开关量输入端子都用于“定值选择”，这些开入端子在接通+24V 电源时为“1”，否则为“0”，因而可以用一个三位开关（通常可用一个拨轮开关）构成8 种不同状态用以选择预先固化在  $E^2$  PROM中的八套定值中的任一套。

## 5、CSL-161B 保护装置控制字说明：

KG1, KG2, KG3 都是十六位二进制控制字，每个控制字相当于十六个软件功能控制开关。在定值清单中，每个控制字用四位十六进制数表示，每位十六进制数表达了四位二进制数。

KG1 控制字各位定义表 1：

表 1

位号	位取值 =1	位取值 =0	含义及作用
D0	投入	退出	零序 I 段带方向
D1	投入	退出	零序 II 段带方向
D3	投入	退出	零序 IV 段带方向
D4	投入	退出	加速零序 II 段
D5	投入	退出	加速零序 III 段
D6	投入	退出	加速零序 IV 段
D7	投入	退出	距离 I 段和零序 I 段延时 150ms 动作
D8	投入	退出	重合后瞬时加速距离 II 段
D9	投入	退出	重合后瞬时加速距离 III 段

D10	投入	退出	重合后延时 1.5s 加速距离 III 段
D11	投入	退出	距离 I、II 段不经振荡闭锁
D12	投入	退出	重合后电抗相近原理后加速
D13	IN=1A	IN=5A	CT 额定值选择
D14	投入	退出	M 键功能
D15	投入	退出	模拟量输入自检, PT、CT 断线检查

注：运行时 D14 应为“0”，D14=1 仅用于调试。运行时 D15 应为“1”，D15=0 仅用于调试。

KG2控制字主要用于重合闸及特殊保护功能控制。

KG3用于当高频保护压板投入时高频停信元件选择控制。当高频保护不用时，可整定为0000H。

举例如下：在CSL161B 保护中，如KG1=9243，它代表的十六位二进制数如表2：

表2

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1

对照表1 KG1 控制字各位定义，KG1=9243 的定义为：

D15：模拟量输入自检，PT、CT 断线检查投入；

D13：CT In=5A；

D12：重合闸后电抗相近原理后加速投入；

D9：重合闸后瞬时加速Z<sub>m</sub> 投入；D6：加速零序IV段投入；

D1：零序II 段带方向；D0：零序I 段带方向；

1) KG2 控制字主要用于重合闸及特殊保护功能控制，各位定义如表3：

表3

位号	位取值=1	位取值=0	含义及作用
D0	详见下表	详见下表	重合闸检同期方式
D1	详见下表	详见下表	重合闸检同期方式
D2	选用	不选	检同期电压相别为C
D3	选用	不选	检同期电压相别为B
D4	选用	不选	检同期电压相别为A
D5	选用	不选	检同期电压相别为CA
D6	选用	不选	检同期电压相别为BC
D7	选用	不选	检同期电压相别为AB
D8	100V	57V	抽取电压额定有效值选择
D9	投入	退出	无故障快速复归功能
D10	投入	退出	不对称故障相继速动
D11	投入	退出	双回线相继速动
D12	投入	退出	遥控检同期合闸
D13	详见下表	详见下表	循环显示控制
D14	详见下表	详见下表	循环显示控制
D15	退出方向控制	切至开口三角PT	断线情况下零序保护行为选择

对照表3 KG2 控制字各位定义，KG2=8413 的定义为：

D15：装置不引入PT 开口三角零序电压，当检测到PT 失压后，各段零序保护均取消方向控制，改为零序过流，如发生接地故障，零序保护动作后三跳，并闭锁重合闸。

D13、D13、：LCD 循环显示，不显示其他内容。

D10：不对称故障相继速动投入。

D8：抽取电压额定有效值为57V。

D4：选检同期电压相别为A 相。

D0、D1：重合闸为检同期方式。

五、实验内容和要求

1、整定值输入：

利用面板上的人机对话功能，（或运行 PC 机调试软件）,使人机对话功能进入 SET-LST-CPU 号一定值区号，按<SET>，LCD 显示 “S- NO:00 ” 再按<SET>，显示： 00 SN=00，按照定值清单（见附录 II 有关章节），按<下键>，LCD 即显示 KG1=X X X X，用选择键输入定值后，按<SET>确认。然后在选择下一项定值。在定值全部改完以后，LCD 显示 “SEND SETING,Y: SET, N: QUIT”。如要设密码，按<SET>，LCD 显示：“Are You Sure? Code 0000 ” 将 Code 0000 改为 Code X X X X(设置密码)，按<SET>，LCD 显示 “ANS Success !”，再按<SET>后显示 “SET BURN OK 00”，按<Q>键，复归正常。

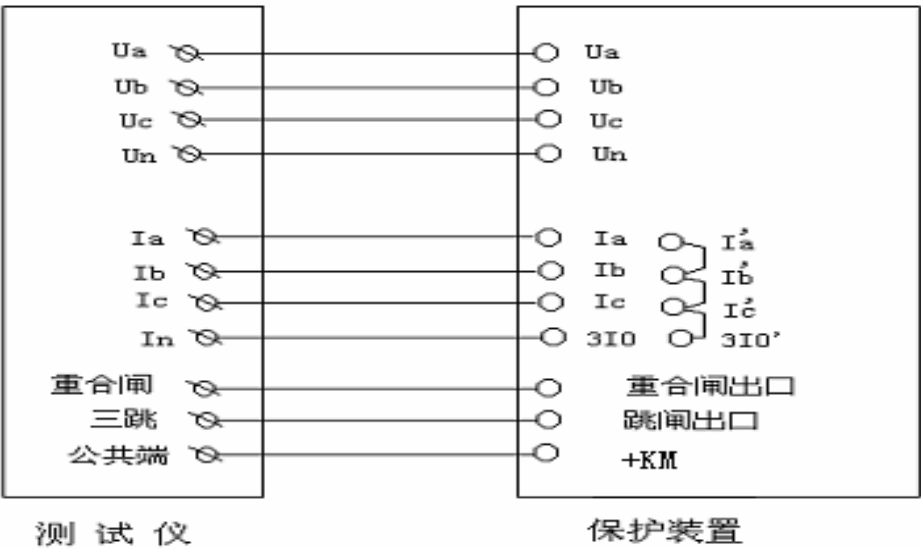
2、模拟短路故障试验：

1) 零序电流方向保护（正向短路）

按图（1）接线，按表 4 给出的整定值，重新输入 “00” 动作区定值。

表 4

KG1=400F	KG2=E210	KG3=0000	RDZ=2 Ω	XX1=2 Ω	XX2=4 Ω	XX3=6 Ω
XD1=2 Ω	XD2=4 Ω	XD3=6 Ω	TX2=0.5 ”	TX3=1 ”	TD2=0.5 ”	TD3=1 ”
I01=8A	I02=6A	I03=4A	I04=2A	T02=0.5 ”	T03=1 ”	T04=1.5 ”
TCH=1.5 ”	VTQ=30°	IQD=1.04A	IJW=6A	KX=0.6	KR=2.3	PT=1
CT=1	X1=0.4 Ω /KM					



图（三）实验接线

实验接线如图（三），并按下列步骤进行：

- 请老师检查接线。
- 使测试仪在工作状态。
- 在测试仪人-机对话界面设置各量。
- 测试方法见附录 I 有关章节（建议用整组实验）

投入零序方向电流保护，根据表 5 测试保护装置每一种保护项目的动作情况，记录动作时间并比较显示的报文与表中所列是否一致。

表 5

保护项目	故障类型	电流 (A)	报文	动作时间 (秒)
零序电流 方向保护	AN 瞬时接地	$I_{AN}=1.2I_{01}$	I01CK, CHCK	
	BN 瞬时接地	$I_{BN}=1.05I_{02}$	I02CK, CHCK	
	CN 瞬时接地	$I_{CN}=1.05I_{03}$	I03CK, CHCK	
	CN 永久接地	$I_{CN}=1.05I_{01}$	I01CK, CHCK, I01JSCK	
		$I_{CN}=1.05I_{02}$	I01CK, CHCK, I01JSCK	
		$I_{CN}=1.05I_{03}$	I03CK, CHCK, I03JSCK	
		$I_{CN}=1.05I_{04}$	I04CK, CHCK, I04JSCK	
		$I_{CN}=0.9I_{04}$		

注：测试仪人-机对话界面设置：

故障电抗：1  $\Omega$ ；故障电阻：1  $\Omega$ ；初始角：0°；PT 位置：母线侧；零序电阻补偿系数  $K_r=1$ ；零序电抗补偿系数  $K_x=1$ 。

## 2) 零序电流方向保护（反方向短路）

将测试仪置“停止”状态，将实验接线中 3I0 与 3I0' 对调，根据表 6 测试保护装置每一种保护项目的动作情况，记录动作时间并比较显示的报文与表中所列是否一致。

表 6

保护项目	故障类型	电流 (A)	报文	动作时间 (秒)
零序电流 方向保护	AN 瞬时接地	$I_{AN}=1.2I_{01}$	I01CK, CHCK	
	BN 瞬时接地	$I_{BN}=1.05I_{02}$	I02CK, CHCK	
	CN 瞬时接地	$I_{CN}=1.05I_{03}$	I03CK, CHCK	
	CN 永久接地	$I_{CN}=1.05I_{01}$	I01CK, CHCK, I01JSCK	
		$I_{CN}=1.05I_{02}$	I01CK, CHCK, I01JSCK	
		$I_{CN}=1.05I_{03}$	I03CK, CHCK, I03JSCK	
		$I_{CN}=1.05I_{04}$	I04CK, CHCK, I04JSCK	
		$I_{CN}=0.9I_{04}$		

- 2) 将定值  $KG1=400F$  改为  $KG1=4000$ （将零序电流方向保护改为零序电流保护），重新做表 6，比较两次测试结果。

## 六、注意事项

1、每次测试前，都必须按动一下测试仪“跳闸复位”按钮，使测试仪复位，做好下一次测试准备。

2、仔细观察保护装置面板各种指示灯的状态，如有报警显示，请阅读报文，分析原因，并及时复位。

## 七、思考题

- 1、请简述保护装置是如何实现方向性电流保护的？如何改变电流保护的方向性功能？
- 2、如果将保护装置的接线  $3I0$  与  $3I0'$  方向互换，保护装置的保护功能会有何变化？



## 实验四、微机线路保护装置高频保护实验

### 一、实验目的

- 1) 通过微机线路高频保护实验，掌握微机高频保护的接线、动作特性和动作报文。
- 2) 了解 CT、PT 断线保护的动作报文

### 二、实验类型（含验证型、设计型或综合型）

综合型

### 三、实验仪器

序号	型 号	名 称	数 量
1	MRT	继电保护测试仪	1 台
2	CSL161	微机线路保护装置	1 台

### 四、实验原理

本装置设置了高频相间距离保护和高频零序方向保护，通道方式只考虑闭锁式，不适用于允许式。高频保护投入时，22 号备用开入端子接收信输入，28 与 43、44 号端子去收发信机控制启信和停信。高频距离方向元件可以由 KG3 选择距离Ⅱ段或Ⅲ段作为动作元件，高频零序可以由 KG3 选择零序Ⅱ段或者Ⅲ段，也可以是Ⅳ段零序功率方向元件作为高频零序方向元件。

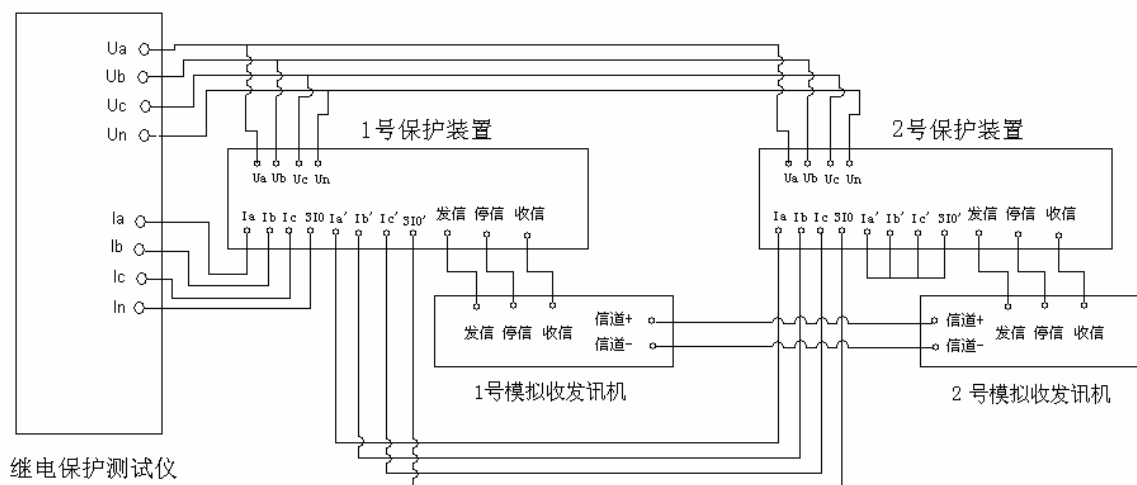
故障发生时，投入突变量选相元件，若选为相间故障，则投入高频距离，若为单相故障，则投入高频零序。高频保护在收信满 5 毫秒后若本侧判为正方向且满足停信条件，则停信。若此时对侧也停信，本侧连续 5ms 收不到闭锁信号，则立即跳闸出口。高频距离只在故障开始时投入，转入振荡闭锁后就退出。高频零序由于不怕振荡，所以在振荡闭锁中也可以投入，不过这时零序停信带 60ms 延时，以防止环网功率倒向导致高频零序误动作

备注：28 号端子（收发讯公共端）与 27 号端子（电源-端）要连通。

### 五、实验内容和要求

#### 1、高频线路保护实验

- 1) 实验接线图



图（一）实验接线

**注意：收发讯机公共端与保护装置-24V 必须相连！**

实验接线如图（一）所示，并按下列步骤进行：

- 请老师检查接线。
- 使测试仪在工作状态。
- 在测试仪人-机对话界面设置各量。

2) 实验中参数设置，高频保护的相关定值。

KG1=400F	KG2=E210	KG3=0009	RDZ=2 Ω	XX1=2 Ω	XX2=4 Ω	XX3=6 Ω
XD1=2 Ω	XD2=4 Ω	XD3=6 Ω	TX2=0.5″	TX3=1″	TD2=0.5″	TD3=1″
I01=8A	I02=6A	I03=4A	I04=2A	T02=0.5″	T03=1″	T04=1.5″
TCH=1.5″	VTQ=30°	IQD=1.04A	IJW=6A	KX=0.6	KR=2.3	PT=1
CT=1	X1=0.4 Ω /KM					

3) 投入高频相间距离保护和高频零序方向保护

4) 观察实验现象并记录实验动作报文

## 2、CT 断线实验（不做）

1) 实验中控制字及参数设置：

**KG1=400F**，KG2=E210，KG3=0009，二次侧相电压：57.7V，二次侧电流 1.0A。开始测试时，断开测试仪与保护装置间 Ia 的连线。

2) 观察实验现象并记录保护动作报文

## 3、PT 断线试验

1) 实验中控制字及参数设置：

**KG1=400F**，KG2=E210，KG3=0009，二次侧相电压：57.7V，二次侧电流 1.0A。开始测试时，断开测试仪与保护装置间 Ua 的连线。

2) 观察实验现象并记录保护动作报文

## 六、思考题

1、 总结测量高频动作特性的方法。

## 实验五、微机自动重合闸实验

### 一、实验目的

- 1) 通过微机线路自动重合闸实验，掌握微机自动重合闸的接线、动作特性和动作报文。
- 2) 了解自动重合闸的几种检同期方式

### 二、实验类型（含验证型、设计型或综合型）

综合型

### 三、实验仪器

序号	型 号	名 称	数 量
1	MRT	继电保护测试仪	1 台
2	CSL161	微机线路保护装置	1 台

### 四、实验原理

本装置重合闸可采用 4 种方式（不检定，检邻线有流，检无压，检同期），由控制字选择。重合闸后加速保护的判断中各电流保护均不带方向。

#### 1、起动回路

除本装置保护起动重合闸外，还考虑了断路器偷跳起动重合闸的方式，但不用操作把手和断路器位置不对应的接点，而是仅用 TWJ 接点。本装置设计避免了使用手动操作把手 KK 的接点，因为许多新设计的站，例如综合自动化的站可能没有此种 KK 开关，为区别手跳还是偷跳，对于有 KK 开关的站，应在手跳时使重合闸放电。

#### 2、重合闸方式由 KG2 控制字决定，如下表所示：

KG2		大电流接地系统 保护的重合闸	小电流接地系统 保护的重合闸
D1	D0		
0	0	非同期	非同期
0	1	非同期	检相邻线路有电流
1	0	检无压	检无压
1	1	检同期	检同期

3、检同期或检无压重合时，装置必须接入线路电压 UX，线路电压 UX 可以为 100 伏，也可以为 57 伏，可由控制字选择。同样线路电压的相别，也可以由控制字整定，为 UA、UB、UC、UAB、UBC、UCA 六种中的任一种。

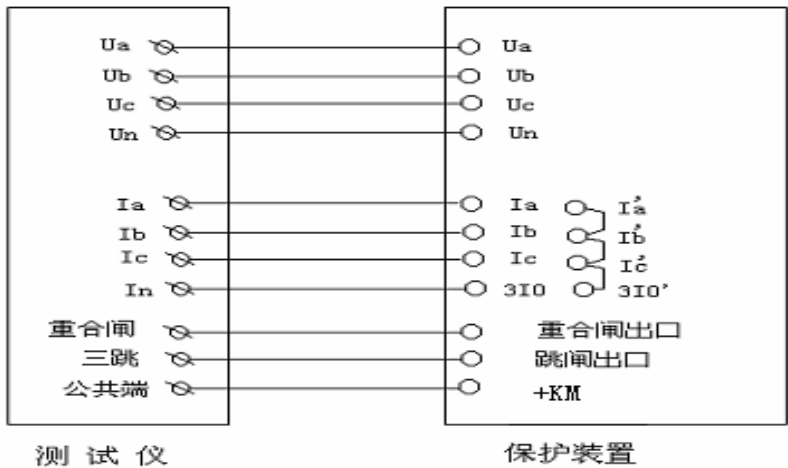
重合闸检无压重合时，无压门槛值由程序固定为 0.3 倍线路电压额定值。若为同期重合，则线路电压首先必须满足大于 0.7 倍线路额定值这个前提条件。在满足这个条件后，再检查母线电压和线路电压之间的角度小于整定的 VTQ 定值并等待重合闸延时到后同期重合闸才出口。

#### 4、低气压闭锁重合闸

本装置的 15、16 端子为用 QDJ 代替的重合闸起动继电器 CQJ 的常闭接点，它同外部压力继电器接点串联后去闭锁重合闸，这样就可以实现跳闸过程中压力暂时降低不闭锁重合闸的功能。

## 五、实验内容和要求

### 1) 实验接线图



图（一）实验接线

实验接线如图（一）所示，并按下列步骤进行：

- 请老师检查接线。
- 使测试仪在工作状态。
- 在测试仪人-机对话界面设置各量。

### 3) 投入零序电流保护

4) 控制字及故障参数设置：KG1=400F，KG2=E212，KG3=0000，重合闸方式为检无压，观察实验现象并记录动作报文。

5) 控制字及故障参数设置：KG1=400F，KG2=E213，KG3=0000，重合闸方式为检同期，观察实验现象并记录动作报文。

6) 自动重合闸后加速实验，控制字设置：KG1=407F，KG2=E213，KG3=0000，观察实验现象并记录动作报文。

## 六、思考题

- 1、总结自动重合闸检同期的方式。

## 实验六、同步发电机准同期并列实验

### 一、实验目的

1. 加深理解同步发电机准同期并列原理，掌握准同期并列条件；
2. 掌握微机准同期控制器及模拟式综合整步表的使用方法；
3. 熟悉同步发电机准同期并列过程；
4. 观察、分析有关波形。

### 二、实验类型（含验证型、设计型或综合型）

综合性。

### 三、实验仪器

序号	型 号	名 称	数 量
1	WDT-III	电力系统综合自动化实验台	1 台

### 四、实验原理

将同步发电机并入电力系统的合闸操作通常采用准同期并列方式。准同期并列要求在合闸前通过调整待并机组的电压和转速，当满足电压幅值和频率条件后，根据“恒定越前时间原理”，由运行操作人员手动或由准同期控制器自动选择合适时机发出合闸命令，这种并列操作的合闸冲击电流一般很小，步。根据并列操作的自动化程度不同，又分为手动准同期、半自动准同期和全自动准同期三种方式。

正弦整步电压是不同频率的两正弦电压之差，其幅值作周期性的正弦规律变化。它能反映两个待并系统间的同步情况，如频率差、相角差以及电压幅值差。线性整步电压反映的是不同频率的两方波电压间相角差的变化规律，其波形为三角波。它能反映两个待并系统间的频率差和相角差，并且不受电压幅值差的影响，因此得到广泛应用。

手动准同期并列，应在正弦整步电压的最低点(同相点)时合闸，考虑到断路器的固有合闸时间，实际发出合闸命令的时刻应提前一个相应的时间或角度。自动准同期并列，通常采用恒定越前时间原理工作，这个越前时间可按断路器的合闸时间整定。准同期控制器根据给定的允许压差和允许频差，不断地检查准同期条件是否满足，在不满足要求时闭锁合闸并且发出均压均频控制脉冲。当所有条件均满足时，在整定的越前时刻送出合闸脉冲。

### 五、实验内容和要求

#### （一）机组启动与建压

1. 检查调速器上“模拟调节”电位器指针是否指在 0 位置，如不在则应调到 0 位置；
2. 合上操作电源开关，检查实验台上各开关状态：各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄。调速器面板上数码管在并网前显示发电机转速（左）和控制量（右），在并网后显示控制量（左）和功率角（右）。调速器上“并网”灯和“微机故障”灯均为熄灭状态，“输出零”灯亮；

3. 按调速器上的“微机方式自动/手动”按钮使“微机自动”灯亮；
4. 励磁调节器选择它励、恒 UF 运行方式，合上励磁开关；
5. 把实验台上“同期方式”开关置“断开”位置；
6. 合上系统电压开关和线路开关 QF1，QF3，检查系统电压接近额定值 380V；
7. 合上原动机开关，按“停机/开机”按钮使“开机”灯亮，调速器将自动启动电动机到额定转速；
8. 当机组转速升到 95%以上时，微机励磁调节器自动将发电机电压建压到与系统电压相等。

## （二）观察与分析

1. 操作调速器上的增速或减速按钮调整机组转速，记录微机准同期控制器显示的发电机和系统频率。观察并记录旋转灯光整步表上灯光旋转方向及旋转速度与频差方向及频差大小的对应关系；观察并记录不同频差方向，不同频差大小时的模拟式整步表的指针旋转方向及旋转速度、频率平衡表指针的偏转方向及偏转角度的大小的对应关系；2. 操作励磁调节器上的增磁或减磁按钮调节发电机端电压，观察并记录不同电压差方向、不同电压差大小时的模拟式电压平衡表指针的偏转方向和偏转角度的大小的对应关系；

3. 调节转速和电压，观察并记录微机准同期控制器的频差闭锁、压差闭锁、相差闭锁灯亮熄规律；

4. 将示波器跨接在“发电机电压”测孔与“系统电压”测孔间，观察正弦整步电压（即脉动电压）波形，观察并记录整步表旋转速度与正弦整步电压的周期的关系；观察并记录电压幅值差大小与正弦整步电压最小幅值间的关系；观察并记录正弦整步电压幅值达到最小值得时刻所对应的整步表指针位置和灯光位置；

5. 用示波器跨接到“三角波”测孔与“参考地”测孔之间，观察线性整步电压（即三角波）的波形，观察并记录整步表旋转速度与线性整步电压的周期的关系；观察并记录电压幅值差大小与线性整步电压最小幅值间的关系；观察并记录线性整步电压幅值达到最小值得时刻所对应的整步表指针位置和灯光位置。

## （三）手动准同期

### 1. 按准同期并列条件合闸

将“同期方式”转换开关置“手动”位置。在这种情况下，要满足并列条件，需要手动调节发电机电压、频率，直至电压差、频差在允许范围内，相角差在零度前某一合适位置时，手动操作合闸按钮进行合闸。

观察微机准同期控制器上显示的发电机电压和系统电压，相应操作微机励磁调节器上的增磁或减磁按钮进行调压，直至“压差闭锁”灯熄灭。

观察微机准同期控制器上显示的发电机频率和系统频率，相应操作微机调速器上的增速或减速按钮进行调速，直至“频差闭锁”灯熄灭。

此时表示压差、频差均满足条件，观察整步表上旋转灯位置，当旋转至 0o 位置前某一

合适时刻时，即可合闸。观察并记录合闸时的冲击电流。

## 2. 偏离准同期并列条件合闸

本实验项目仅限于实验室进行，不得在电厂机组上使用!!!

实验分别在单独一种并列条件不满足的情况下合闸，记录功率表冲击情况：

(1) 电压差相角差条件满足，频率差不满足，在  $f_F > f_X$  和  $f_F < f_X$  时手动合闸，观察并记录实验台上有功功率表 P 和无功功率表 Q 指针偏转方向及偏转角度大小，分别填入表 1；注意：频率差不要大于 0.5HZ。

(2) 频率差相角差条件满足，电压差不满足， $V_F > V_X$  和  $V_F < V_X$  时手动合闸，观察并记录实验台上有功功率表 P 和无功功率表 Q 指针偏转方向及偏转角度大小，分别填入表 1；注意：电压差不要大于额定电压的 10%。

(3) 频率差电压差条件满足，相角差不满足，顺时针旋转和逆时针旋转时手动合闸，观察并记录实验台上有功功率表 P 和无功功率表 Q 指针偏转方向及偏转角度大小，分别填入表 1-1。注意：相角差不要大于 30 度。

表 1-1

	$f_F > f_X$	$f_F < f_X$	$V_F > V_X$	$V_F < V_X$	顺时针	逆时针
P (kW)						
Q (kVAR)						

注：有功功率 P 和无功功率 Q 也可以通过微机励磁调节器的显示观察。

### (四) 半自动准同期

将“同期方式”转换开关置“半自动”位置，按下准同期控制器上的“同期”按钮即向准同期控制器发出同期并列命令，此时，同期命令指示灯亮，微机正常灯闪烁加快。准同期控制器将给出相应操作指示信息，运行人员可以按这个指示进行相应操作。调速调压方法同手动准同期。

当压差、频差条件满足时，整步表上旋转灯光旋转至接近  $0^\circ$  位置时，整步表圆盘中心灯亮，表示全部条件满足，准同期控制器会自动发出合闸命令，“合闸出口”灯亮，随后 DL 灯亮，表示已经合闸。同期命令指示灯熄，微机正常灯恢复正常闪烁，进入待命状态。

### (五) 全自动准同期

将“同期方式”转换开关置“全自动”位置；按下准同期控制器的“同期”按钮，同期命令指示灯亮，微机正常灯闪烁加快，此时，微机准同期控制器将自动进行均压、均频控制并检测合闸条件，一旦合闸条件满足即发出合闸命令。

在全自动过程中，观察当“升速”或“降速”命令指示灯亮时，调速器上有什么反应；当“升压”或“降压”命令指示灯亮时，微机励磁调节器上有什么反应。当一次合闸过程完

毕，控制器会自动解除合闸命令，避免二次合闸；此时同期命令指示灯熄，微机正常灯恢复正常闪烁。

#### （六）准同期条件的整定

按“参数设置”按钮使“参数设置”灯亮进入参数设置状态，（再按一下“参数设置”按钮即可使“参数设置”灯熄退出参数设置状态）共显示 8 个参数，可供修改的参数共有 7 个，即开关时间、频差允许值、压差允许值、均压脉冲周期、均压脉冲宽度、均频脉冲周期、均频脉冲宽度。另第 8 个参数是实测上一次开关合闸时间，单位为毫秒。以上 7 个参数按“参数选择”按钮可循环出现，按上三角或下三角按钮可改变其大小。改变某些参数来重复做一下全自动同期（参数整定参见《WDT-III电力系统综合自动化实验台说明书》）。

1. 整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{Hz}$ 。压差允许值 $\Delta U=3\text{V}$  超前时间  $tyq=0.1\text{s}$ ，通过改变实际开关动作时间，即整定“同期开关时间”的时间继电器。重复进行全自动同期实验，观察在不同开关时间  $tyq$  下并列过程有何差异，并记录三相冲击电流中最大的一相的电流值  $I_m$ ，填入表 1-2。

表 1-2

整定同期开关时间（s）	0.1	0.2	0.3	0.4
实测开关时间（s）				
冲击电流 $I_m$ （A）				

据此，估算出开关操作回路固有时间的大致范围，根据上一次开关的实测合闸时间，整同期装置的越前时间。在此状态下，观察并列过程时的冲击电流的大小。

2. 改变频差允许值 $\Delta f$ ，重复进行全自动同期实验，观察在不同频差允许值下并列过程有何差异，并记录三相冲击电流中最大的一相的电流值  $I_m$ ，填入表 1-3。

注：此实验微机调速器工作在微机手动方式。

表 1-3

频差允许值 $\Delta f$ （Hz）	0.4	0.3	0.2	0.1
冲击电流 $I_m$ （A）				

3. 改变压差允许值 $\Delta V$ ，重复进行全自动同期实验，观察在不同压差允许值下并列过程有何差异，并记录三相冲击电流中最大的一相的电流值  $I_m$ ，填入表 1-4。



表 1-4

压差允许值 $\Delta V$ (V)	5	4	3	2
冲击电流 $I_m$ (A)				

### (七) 停机

当同步发电机与系统解列之后，按调速器的“停机/开机”按钮使“停机”灯亮，即可自动停机，当机组转速降到 85%以下时，微机励磁调节器自动逆变灭磁。待机组停稳后断开原动机开关，跳开励磁开关以及线路和无穷大电源开关。

切断操作电源开关。

## 六、注意事项

1. 手动合闸时，仔细观察整步表上的旋转灯，在旋转灯接近 0o 位置之前某一时刻合闸。
2. 当面板上的指示灯、数码管显示都停滞不动时，此时微机准同期控制器处于“死机”状态，按一下“复位”按钮可使微机准同期控制器恢复正常。
3. 微机自动励磁调节器上的增减磁按钮按键只持续 5 秒内有效，过了 5 秒后如还需调节则松开按钮，重新按下。
4. 在做三种同期切换方式时，做完一项后，需做另一项时，断开断路器开关，然后选择“同期方式”转换开关。

## 七、思考题

1. 相序不对(如系统侧相序为 A、B、C、为发电机侧相序为 A、C、B)，能否并列？为什么？
2. 电压互感器的极性如果有一侧(系统侧或发电机侧)接反，会有何结果？
3. 准同期并列与自同期并列，在本质上有何差别？如果在这套机组上实验自同期并列，应如何操作？
4. 合闸冲击电流的大小与哪些因素有关？频率差变化或电压差变化时，正弦整步电压的变化规律如何？
5. 当两侧频率几乎相等，电压差也在允许范围内，但合闸命令迟迟不能发出，这是一种什么现象？应采取什么措施解决？
6. 在  $f_F > f_X$  或者  $f_F < f_X$ ,  $V_F > V_X$  或者  $V_F < V_X$  下并列，机端有功功率表及无功功率表的指示有何特点？为什么？

## 实验七、同步发电机励磁控制实验

### 一、实验目的

1. 加深理解同步发电机励磁调节原理和励磁控制系统的基本任务；
2. 了解自并励励磁方式和它励励磁方式的特点；
3. 熟悉三相全控桥整流、逆变的工作波形；观察触发脉冲及其相位移动；
4. 了解微机励磁调节器的基本控制方式；
5. 了解电力系统稳定器的作用；观察强励现象及其对稳定的影响；
6. 了解几种常用励磁限制器的作用；
7. 掌握励磁调节器的基本使用方法。

### 二、实验类型（含验证型、设计型或综合型）

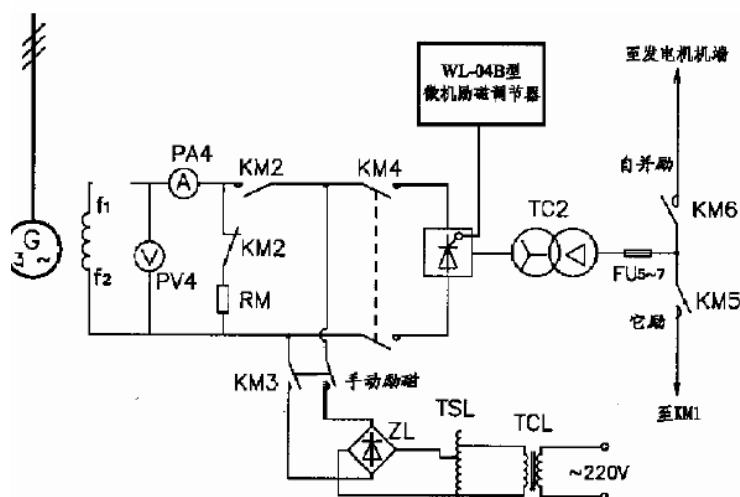
综合性。

### 三、实验仪器

序号	型号	名称	数量
1	WDT-III	电力系统综合自动化实验台	1台

### 四、实验原理

同步发电机的励磁系统由励磁功率单元和励磁调节器两部分组成，它们和同步发电机结合在一起就构成一个闭环反馈控制系统，称为励磁控制系统。励磁控制系统的三大基本任务是：稳定电压，合理分配无功功率和提高电力系统稳定性。



注：SAV为切换开关

图 1 励磁控制系统示意图

实验用的励磁控制系统示意图如图 1 所示。可供选择的励磁方式有两种：自并励和它励。当三相全控桥的交流励磁电源取自发电机机端时，构成自并励励磁系统。而当交流励磁电源取自 380V 市电时，构成它励励磁系统。两种励磁方式的可控整流桥均是由微机自动励磁调节器控制的，触发脉冲为双脉冲，具有最大最小  $\alpha$  角限制。

微机励磁调节器的控制方式有四种：恒  $U_F$ （保持机端电压稳定）、恒  $I_L$ （保持励磁电流稳定）、恒  $Q$ （保持发电机输出无功功率稳定）和恒  $\alpha$ （保持控制角稳定）。其中，恒  $\alpha$  方式是一种开环控制方式，只限于它励方式下使用。

同步发电机并入电力系统之前，励磁调节装置能维持机端电压在给定水平。当操作励磁调节器的增减磁按钮，可以升高或降低发电机电压；当发电机并网运行时，操作励磁调节器的增减磁按钮，可以增加或减少发电机的无功输出，其机端电压按调差特性曲线变化。

发电机正常运行时，三相全控桥处于整流状态，控制角  $\alpha$  小于  $90^\circ$ ；当正常停机或事故停机时，调节器使控制角  $\alpha$  大于  $90^\circ$ ，实现逆变灭磁。

电力系统稳定器——PSS 是提高电力系统动态稳定性能的经济有效方法之一，已成为励磁调节器的基本配置；励磁系统的强励，有助于提高电力系统暂态稳定性；励磁限制器是保障励磁系统安全可靠运行的重要环节，常见的励磁限制器有过励限制器、欠励限制器等。

## 五、实验内容和要求

### （一）不同 $\alpha$ 角（控制角）对应的励磁电压波形观测

- （1）合上操作电源开关，检查实验台上各开关状态：各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄；
- （2）励磁系统选择它励励磁方式：操作“励磁方式开关”切到“微机它励”方式，调节器面板“它励”指示灯亮；
- （3）励磁调节器选择恒  $\alpha$  运行方式：操作调节器面板上的“恒  $\alpha$ ”按钮选择为恒  $\alpha$  方式，面板上的“恒  $\alpha$ ”指示灯亮；
- （4）合上励磁开关，合上原动机开关；
- （5）在不启动机组的状态下，松开微机励磁调节器的灭磁按钮，操作增磁按钮或减磁按钮即可逐渐减小或增加控制角  $\alpha$ ，从而改变三相全控桥的电压输出及其波形。

注意：微机自动励磁调节器上的增减磁按钮键只持续 5 秒内有效，过了 5 秒后如还需要调节，则松开按钮，重新按下。

实验时，调节励磁电流为表 1 规定的若干值，记下对应的  $\alpha$  角（调节器对应的显示参数为“CC”），同时通过接在  $U_d+$ 、 $U_d-$ 之间的示波器观测全控桥输出电压波形，并由电压波形估算出  $\alpha$  角，另外利用数字万用表测出电压  $U_{fd}$  和  $U_{AC}$ ，将以上数据记入下表，通过  $U_{fd}$ 、 $U_{AC}$  和数学公式也可计算出一个  $\alpha$  角来；完成此表后，比较三种途径得出的  $\alpha$  角有无不同，分析其原因。

表 2-1

励磁电流 $I_{fd}$	0.0A	0.5A	1.5A	2.5A
显示控制角 $\alpha$				
励磁电压 $U_{fd}$				
交流输入电压 $U_{AC}$				
由公式计算的 $\alpha$				
示波器读出的 $\alpha$				

(6) 调节控制角大于 90 度但小于 120 度, 观察全控桥输出电压波形, 与课本所画波形有何不同? 为什么?

(7) 调节控制角大于 120 度, 观察全控桥输出电压波形, 与课本所画波形有何不同? 为什么?

## (二) 同步发电机起励实验

同步发电机的起励有三种: 恒  $U_F$  方式起励, 恒  $\alpha$  方式起励和恒  $I_L$  方式起励。其中, 除了恒  $\alpha$  方式起励只能在它励方式下有效外, 其余两种方式起励都可以分别在它励和自并励两种励磁方式进行。

恒  $U_F$  方式起励, 现代励磁调节器通常有“设定电压起励”和“跟踪系统电压起励”的两种起励方式。设定电压起励, 是指电压设定值由运行人员手动设定, 起励后的发电机电压稳定在手动设定的电压水平上; 跟踪系统电压起励, 是指电压设定值自动跟踪系统电压, 人工不能干预, 起励后的发电机电压稳定在与系统电压相同的电压水平上, 有效跟踪范围为 85%~115%额定电压; “跟踪系统电压起励”方式是发电机正常发电运行默认的起励方式, 而“设定电压起励”方式通常用于励磁系统的调试试验。

恒  $I_L$  方式起励, 也是一种用于试验的起励方式, 其设定值由程序自动设定, 人工不能干预, 起励后的发电机电压一般为 20%额定电压左右; 恒  $\alpha$  方式起励只适用于它励励磁方式, 可以做到从零电压或残压开始由人工调节逐渐增加励磁, 完成起励建压任务。

### 1. 恒 $U_F$ 方式起励步骤

- (1) 将“励磁方式开关”切到“微机自励”方式, 投入“励磁开关”;
- (2) 按下“恒  $U_F$ ”按钮选择恒  $U_F$  控制方式, 此时恒  $U_F$  指示灯亮;
- (3) 将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下, 此时灭磁指示灯亮, 表示处于灭磁位置;
- (4) 启动机组;

(5) 当转速接近额定时, (频率 $\geq 47\text{Hz}$ ), 将“灭磁”按钮松开, 发电机起励建压。注意观察在起励时励磁电流和励磁电压的变化(看励磁电流表和电压表)。录波, 观察起励曲线, 测定起励时间, 上升速度, 超调, 振荡次数, 稳定时间等指标, 记录起励后的稳态电压和系统电压。

上述的这种起励方式是通过手动解除“灭磁”状态完成的, 实际上还可

以让发电机自动完成起励，其操作步骤如下：

- (1) 将“励磁方式开关”切到“微机自励”方式，投入“励磁开关”；
- (2) 按下“恒 UF”按钮选择恒 UF 控制方式，此时恒 UF 指示灯亮；
- (3) 使调节器操作面板上的“灭磁”按钮为弹起松开状态（注意，此时灭磁指示灯仍然是亮的）；
- (4) 启动机组；
- (5) 注意观察，当发电机转速接近额定时（频率 $\geq 47\text{Hz}$ ），灭磁灯自动熄灭，机组自动起励建压，整个起励过程由机组转速控制，无需人工干预，这就是发电厂机组的正常起励方式。同理，发电机停机时，也可由转速控制逆变灭磁。

改变系统电压，重复起励（无需停机、开机，只需灭磁、解除灭磁），观察记录发电机电压的跟踪精度和有效跟踪范围以及在有效跟踪范围外起励的稳定电压。按下灭磁按钮并断开励磁开关，将“励磁方式开关”改切到“微机它励”位置，恢复投入“励磁开关”（注意：若改换励磁方式时，必须首先按下灭磁按钮并断开励磁开关！否则将可能引起转子过电压，危及励磁系统安全。）本励磁调节器将它励恒 UF 运行方式下的起励模式设计成“设定电压起励”方式（这里只是为了试验方便，实际励磁调节器不论何种励磁方式均可有两种恒 UF 起励方式），起励前允许运行人员手动借助增减磁按钮设定电压给定值，选择范围为 0~110% 额定电压。用灭磁和解除灭磁的方法，重复进行不同设定值的起励试验，观察起励过程，记录设定值和起励后的稳定值。

## 2. 恒 IL 方式起励步骤

- (1) 将“励磁方式开关”切到“微机自励”方式或者“微机它励”方式，投入“励磁开关”；
- (2) 按下“恒 IL”按钮选择恒 IL 控制方式，此时恒 IL 指示灯亮；
- (3) 将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下，此时灭磁指示灯亮，表示处于灭磁位置；
- (4) 启动机组；
- (5) 当转速接近额定时（频率 $\geq 47\text{Hz}$ ），将“灭磁”按钮松开，发电机自动起励建压，记录起励后的稳定电压。起励完成后，操作增减磁按钮可以自由调整发电机电压。

## 3. 恒 $\alpha$ 方式起励步骤

- (1) 将“励磁方式开关”切到“微机它励”方式，投入“励磁开关”；
- (2) 按下恒  $\alpha$  按钮选择恒  $\alpha$  控制方式，此时恒  $\alpha$  指示灯亮；
- (3) 将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下，此时灭磁指示灯亮，表示处于灭磁位置；
- (4) 启动机组；
- (5) 当转速接近额定时（频率 $\geq 47\text{Hz}$ ），将“灭磁”按钮松开，然后手动增磁，直到发电机起励建压；

(6) 注意比较恒  $\alpha$  方式起励与前两种起励方式有何不同。

### (三) 控制方式及其相互切换

本型微机励磁调节器具有恒 UF，恒 IL，恒 Q，恒  $\alpha$  等四种控制方式，分别具有各自特点，请通过以下试验自行体会和总结。

#### 1. 恒 UF 方式

选择它励恒 UF 方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ~55HZ，记录频率与发电机电压、励磁电流、控制角  $\alpha$  的关系数据；

表 2-2

发电机频率	发电机电压	励磁电流	励磁电压	控制角 $\alpha$
45Hz				
46Hz				
47Hz				
48Hz				
49Hz				
50Hz				
51Hz				
52Hz				
53Hz				
54Hz				
55Hz				

#### 2. 恒 IL 方式

选择它励恒 IL 方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ~55HZ，记录频率与发电机电压、励磁电流、控制角  $\alpha$  的关系数据；

表 2-3

发电机频率	发电机电压	励磁电流	励磁电压	控制角 $\alpha$
45Hz				
46Hz				
47Hz				
48Hz				
49Hz				
50Hz				
51Hz				
52Hz				
53Hz				
54Hz				
55Hz				

3. 恒  $\alpha$  方式

选择它励恒  $\alpha$  方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ~55HZ，记录频率与发电机电压、励磁电流、控制角  $\alpha$  的关系数据；

表 2-4

发电机频率	发电机电压	励磁电流	励磁电压	控制角 $\alpha$
45Hz				
46Hz				
47Hz				
48Hz				
49Hz				
50Hz				
51Hz				
52Hz				
53Hz				
54Hz				
55Hz				

## 4. 恒 Q 方式

选择它励恒 UF 方式，开机建压，并网后选择恒 Q 方式（并网前恒 Q 方式非法，调节器拒绝接受恒 Q 命令），带一定的有功、无功负荷后，记录下系统电压为 380V 时发电机的初始状态，注意方式切换时，要在此状态下进行。改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、励磁电流、控制角  $\alpha$ ，无功功率的关系数据；

表 2-5

系统电压	发电机电压	发电机电流	励磁电流	控制角 $\alpha$	有功功率	无功功率
380V						
370V						
360V						
350V						
390V						
400V						
410V						

将系统电压恢复到 380V，励磁调节器控制方式选择为恒 UF 方式，改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、励磁电流、控制角  $\alpha$ ，无功功率的关系数据；

表 2-6

系统电压	发电机电压	发电机电流	励磁电流	控制角 $\alpha$	有功功率	无功功率
380V						
370V						
360V						
350V						
390V						
400V						
410V						

将系统电压恢复到 380V，励磁调节器控制方式选择为恒 IL 方式，改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、励磁电流、控制角  $\alpha$ ，无功功率的关系数据；

表 2-7

系统电压	发电机电压	发电机电流	励磁电流	控制角 $\alpha$	有功功率	无功功率
380V						
370V						
360V						
350V						
390V						
400V						
410V						



将系统电压恢复到 380V，励磁调节器控制方式选择为恒  $\alpha$  方式，改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、励磁电流、控制角  $\alpha$ ，无功功率的关系数据；

表 2-8

系统电压	发电机电压	发电机电流	励磁电流	控制角 $\alpha$	有功功率	无功功率
380V						
370V						
360V						
350V						
390V						
400V						
410V						

注意：四种控制方式相互切换时，切换前后运行工作点应重合。

## 5. 负荷调节

调节调速器的增速减速按钮，可以调节发电机输出有功功率，调节励磁调节器的增磁减磁按钮，可以调节发电机输出无功功率。由于输电线路比较长，当有功功率增到额定值时，功角较大（与电厂机组相比），必要时投入双回线；当无功功率到额定值时，线路两端电压降落较大，但由于发电机电压具有上限限制，所以需要降低系统电压来使无功功率上升，必要时投入双回线。记录发电机额定运行时的励磁电流，励磁电压和控制角。

将有功、无功减到零值作空载运行，记录发电机空载运行时的励磁电流，励磁电压和控制角。了解额定控制角和空载控制角的大致度数，了解空载励磁电流与额定励磁电流的大致比值。

表 2-9

发电机状态	励磁电流	励磁电压	控制角 $\alpha$
空载			
半负载			
额定负载			

### （四）逆变灭磁和跳灭磁开关灭磁实验

灭磁是励磁系统保护不可或缺的部分。由于发电机转子是一个大电感，当正常或故障停机时，转子中贮存的能量必须泄放，该能量泄放的过程就是灭磁过程。灭磁只能在空载下进行（发电机并网状态灭磁将会导致失去同步，造成转子异步运行，感应过电压，危及转子绝缘）。三相全控桥当触发控制角大于  $90^\circ$  时，将工作在逆变状态下。本实验的逆变灭磁就是利用全控桥的这个特点来完成的。

#### 1. 逆变灭磁步骤：

- （1）选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒  $U_F$ ”；
- （2）启动机组，投入励磁并起励建压，增磁，使同步发电机进入空载额定运行；

(3) 按下“灭磁”按钮，灭磁指示灯亮，发电机执行逆变灭磁命令，注意观察励磁电流表和励磁电压表的变化以及励磁电压波形的变化。

## 2. 跳灭磁开关灭磁实验步骤:

- (1) 选择微机自并励励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用恒  $U_F$ ;
- (2) 启动机组，投入励磁并起励建压，同步发电机进入空载稳定运行;
- (3) 直接按下“励磁开关”绿色按钮跳开励磁开关，注意观察励磁电流表和励磁电压表的变化。

以上试验也可在它励励磁方式下进行。

## (五) 伏赫限制实验

单元接线的大型同步发电机解列运行时，其机端电压有可能升得较高，而其频率有可能降得较低。如果其机端电压  $U_F$  与频率  $f$  的比值  $B=U_F/f$  过高，则同步发电机及其主变压器的铁芯就会饱和，使空载激磁电流加大，造成发电机和主变过热。因此有必要对  $U_F/f$  加以限制。伏赫限制器工作原理就是：根据整定的最大允许伏赫比  $B_{max}$  和当前频率，计算出当前允许的最高电压  $U_{Fh}=B_{max}*f$ ，将其与电压给定值  $U_g$  比较，取二者中较小值作为计算电压偏差的基准  $U_b$ ，由此调节的结果必然是发电机电压  $U_F \leq U_{Fh}$ 。伏赫限制器在解列运行时投入，并网后退出。

### 实验步骤:

- (1) 选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒  $U_F$ ”;
- (2) 启动机组，投入励磁起励建压，发电机稳定运行在空载额定以上;
- (3) 调节原动机减速按钮，使机组从额定转速下降，从 50Hz~44Hz;
- (4) 每间隔 1Hz 记录发电机电压随频率变化的关系数据;
- (5) 根据试验数据描出电压与频率的关系曲线，并计算设定的  $B_{max}$  值（用限制动作后的数据计算，伏赫限制指示灯亮表示伏赫限制动作）。做本实验时先增磁到一个比较高的机端电压后再慢慢减速。

表 2-10

发电机频率 $f$	50Hz	49 Hz	48 Hz	47 Hz	46 Hz	45 Hz	44 Hz
机端电压 $U_F$							

## (六) 同步发电机强励实验

强励是励磁控制系统基本功能之一，当电力系统由于某种原因出现短时低压时，励磁系统应以足够快的速度提供足够高的励磁电流顶值，借以提高电力系统暂态稳定性和改善电力系统运行条件。在并网时，模拟单相接地和两相间短路故障可以观察强励过程。

### 实验步骤:

- (1) 选择“微机自励”励磁方式，励磁控制方式采用“恒 UF”；
- (2) 启动机组，满足条件后并网；
- (3) 在发电机有功和无功输出为 50%额定负载时，进行单相接地和两相间短路实验，注意观察发电机端电压和励磁电流、励磁电压的变化情况；观察强励时的励磁电压波形；

表 2-11

表 2-11

方 式 类 型 电 流 值	自 励		它 励	
	单相接地短路	两相间短路	单相接地短路	两相间短路
励磁电流最大值				
发电机电流最大值				

- (4) 采用它励励磁方式，重复 (1) ~ (2)，并完成后面的思考题。

#### (七) 欠励限制实验

欠励限制器的作用是用来防止发电机因励磁电流过度减小而引起失步或因机组过度进相引起定子端部过热。欠励限制器的任务是：确保机组在并网运行时，将发电机的功率运行点(P、Q)限制在欠励限制曲线上方。

欠励限制器的工作原理：根据给定的欠励限制方程和当前有功功率 P 计算出对应的无功功率下限： $Q_{min}=aP+b$ 。将  $Q_{min}$  与当前 Q 比较，若： $Q_{min}<Q$ ，欠励限制器不动作； $Q_{min}>Q$ ，欠励限制器动作，自动增加无功输出，使  $Q_{min}<Q$ 。

#### 实验步骤：

- (1) 选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒 UF”；
- (2) 启动机组，投入励磁；
- (3) 满足条件后并网；
- (4) 调节有功功率输出分别为 0，50%，100%的额定负载，用减小励磁电流(按“减磁”按钮)或升高系统电压的方法使发电机进相运行，直到欠励限制器动作(欠励限制指示灯亮)，记下此时的有功 P 和无功 Q；(5) 根据试验数据作出欠励限制线  $P=f(Q)$ ，并计算出该直线的斜率和截距；如果减磁到失步时还不能使欠励限制动作时可以用提高系统电压来实现。

表 2-12

发电机有功功率 P	欠励限制动作时的 Q 值
零功率	
50%额定有功	
100%额定有功	

#### (八) 调差实验

1. 调差系数的测定

在微机励磁调节器中使用的调差公式为（按标么值计算） $U_B = U_g \pm K_Q \cdot Q$ ，它是将无功功率的一部分叠加到电压给定值上（模拟式励磁调节器通常是将无功电流的一部分叠加在电压测量值上，效果等同）。

实验步骤：

- （1）选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒  $U_F$ ”；
- （2）启动机组，投入励磁；
- （3）满足条件后并网，稳定运行；
- （4）用降低系统电压的方法以增加发电机无功输出，记录一系列  $U_F$ 、 $Q$  数据；
- （5）作出调节特性曲线，并计算出调差系数；

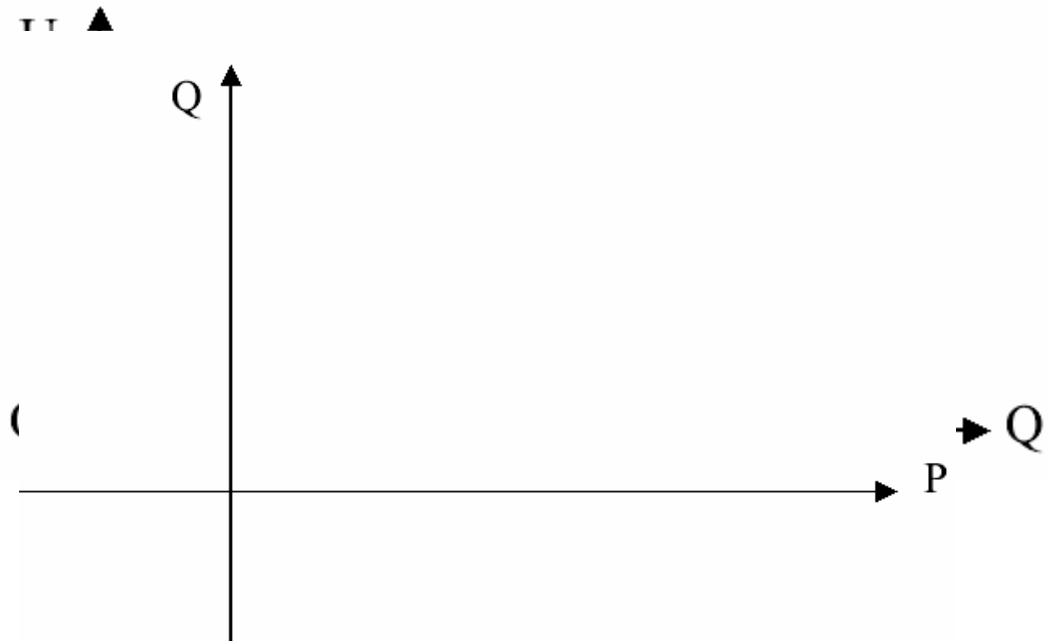
表 2-13

	发电机机端电压 $U_F$	发电机无功输出 $Q$
1		
2		
3		
4		
5		

2. 零调差实验

设置调差系数=0，实验步骤同 1。

用降低系统电压的方法以增加发电机无功输出，记录一系列  $U_F$ 、 $Q$  数据，作出调节特性曲线。



### 3. 正调差实验

设置调差系数=4%，实验步骤同 1。

用降低系统电压的方法以增加发电机无功输出，记录一系列  $U_F$ 、 $Q$  数据，作出调节特性曲线。

### 4. 负调差实验

设置调差系数=-4%，实验步骤同 1。

用降低系统电压的方法以增加发电机无功输出，记录一系列  $U_F$ 、 $Q$  数据，作出调节特性曲线。

表 2-14

K=0		K=+4%		K=-4%	
$U_F$	Q	$U_F$	Q	$U_F$	Q

### （九）过励磁限制实验

发电机励磁电流超过额定励磁电流 1.1 倍称为过励。励磁电流在 1.1 倍以下允许长期运行，1.1~2.0 之间按反时限原则延时动作，限制励磁电流到 1.1 倍以上，2.0 倍以下，瞬时动作限制励磁电流在 2.0 倍以上。过励限制指示灯在过励限制动作时亮。

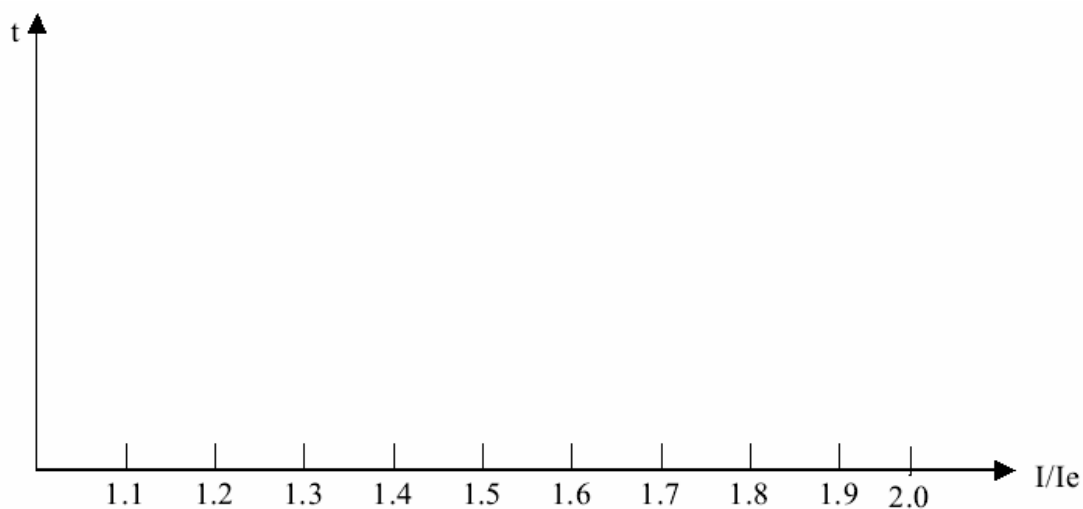
实验步骤：

(1) 选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒  $U_F$ ”；

(2) 启动机组，投入励磁；

(3) 用降低额定励磁电流定值的方法模拟励磁电流过励（注：无法使励磁电流真正过励，你有办法吗？），此时限制器将按反时限特性延时动作，记录励磁电流值和延时时间，观察过励限制器动作过程；

(4) 描出励磁限制特性曲线， $t = f\left(\frac{I}{I_e}\right)$ ；



(5) 做本实验时需要改变过流整定值。

表 2-15

额定电流整定值  $I_e = \underline{\hspace{2cm}}$

励磁电流实际值 $I$	过励倍数( $I/I_e$ )	延时时间( $t$ )

#### (十) PSS 实验

PSS (电力系统稳定器) 的主要作用是抑制系统的低频振荡。它的投入对提高电力系统的动态稳定性有非常重要的意义。

实验步骤:

- (1) 选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒  $U_F$ ”；
- (2) 启动机组，投入励磁；
- (3) 满足条件后并网，稳定运行；
- (4) 在不投入 PSS 的条件下，增加发电机有功输出，直到系统开始振荡，记下此时的机端电压、有功输出和功角（由调速器的显示器读数）；
- (5) 在投入 PSS 的条件下，增加发电机有功输出，直到系统开始振荡，记下此时的机端电压、有功输出和功角；

(6) 比较 PSS 投和不投两种情况下的功率极限和功角极限有何不同。

表 2-16

	单回输电线		双回输电线	
	PSS 投	PSS 不投	PSS 投	PSS 不投
机端电压 $U_F$				
发电机有功 $P$				
功角 $\delta$				

#### (十一) 停机灭磁

发电机解列后，直接控制调速器停机，励磁调节器在转速下降到 43HZ 以下时自动进行逆变灭磁。待机组停稳，断开原动机开关，跳开励磁和线路等开关，切除操作电源总开关。

### 六、注意事项

1. 手动合闸时，仔细观察整步表上的旋转灯，在旋转灯接近 0o 位置之前某一时刻合闸。
2. 当面板上的指示灯、数码管显示都停滞不动时，此时微机准同期控制器处于“死机”状态，按一下“复位”按钮可使微机准同期控制器恢复正常。
3. 微机自动励磁调节器上的增减磁按钮按键只持续 5 秒内有效，过了 5 秒后如还需调节则松开按钮，重新按下。
4. 在做三种同期切换方式时，做完一项后，需做另一项时，断开断路器开关，然后选择“同期方式”转换开关。

### 七、思考题

1. 三相可控桥对触发脉冲有什么要求？
2. 为什么在恒  $\alpha$  方式下，必须手动“增磁”才能起励建压？
3. 比较恒  $U_F$  方式起励、恒  $I_L$  方式起励和恒  $\alpha$  方式起励有何不同？
4. 逆变灭磁与跳励磁开关灭磁主要有什么区别？
5. 为什么在并网时不需要伏赫限制？
6. 比较在它励方式下强励与在自并励下强励有什么区别？
7. 比较在它励方式下逆变灭磁与在自并励下逆变灭磁有什么差别？
8. 比较单回线路和双回线路有功功率与功角的关系有何变化，线路电压降落与无功功率的关系有何不同？
9. 比较四种运行方式：恒  $U_F$ 、恒  $I_L$ 、恒  $Q$  和恒  $\alpha$  的特点，说说他们各适合在何种场合应用？对电力系统运行而言，哪一种运行方式最好？试就电压质量，无功负荷平衡，电力系统稳定等方面进行比较。

# 实验八、变电站自动化系统实验

## 一、实验目的

通过变电站自动化系统实验，了解变电站自动化系统的结构和工作原理，掌握变电站自动化系统的操作。

## 二、实验类型（含验证型、设计型或综合型）

综合性。

## 三、实验仪器

序号	型号	名称	数量
1	MRT	继电保护测试仪	1 台
2	CSL161	微机线路保护装置	2 台
3	CSL200E	微机测控单元装置	2 台
4	研华	工控机及变电站监控软件	
5		模拟断路器	2 台

## 四、实验原理

### 1、遥测、遥信采集实验

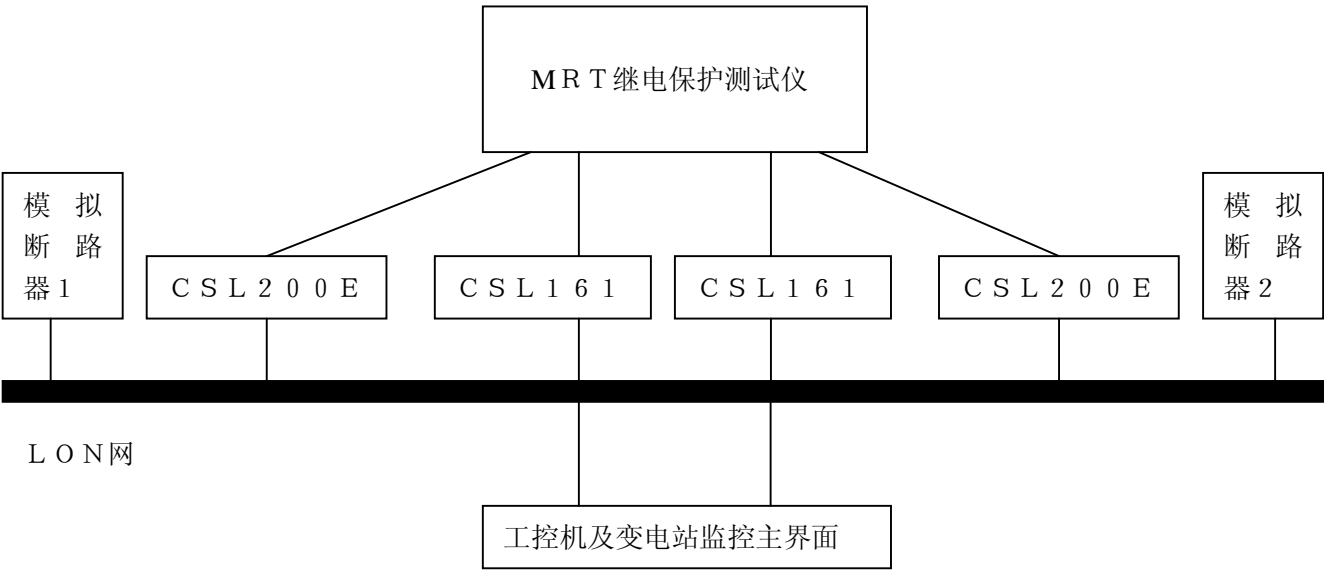
通过 MRT 给变电站自动化系统输入模拟电压和电流，在变电站监控主站上监视采集到的模拟量。改变外部输入开关量的状态，记录监控主站的数据。

### 2、遥控实验

通过变电站自动化系统的监控主站输出开关量控制信号，记录实验现象并进行分析。

### 3、保护动作实验

设置 MRT 参数使保护装置动作，记录实验现象并进行分析。



## 五、实验内容和要求



### 1、遥测、遥信采集实验

实验过程：

在测试仪变频实验界面进行模拟量输入： $U_a=U_b=U_c=57.7V$ ； $I_a=I_b=I_c=1.0A$  按下 K115 (39) 开关。

实验现象记录：

实验结果分析：

### 2、遥控实验

实验过程：

在变电站监控主站上发出合、分断路器 111 操作命令。

实验现象记录：

实验结果分析：

### 3、保护动作实验：

实验过程：

在测试仪整组实验中选择 X-R 方式，设置故障参数：故障类型：A-B-C 三相短路，故障性质：永久型故障，故障电流：2A，故障电阻： $2\Omega$ ，初始角：0。开始测试，记录报文

## 六、注意事项

## 七、思考题

1、变电站自动化系统的结构是怎样的？

2、变电站自动化系统中，遥测、遥信、遥控功能是如何实现的？