
电力系统综合实验系统设备使用 说明书

WDT-III 电力系统综合试验台说明书

编写人：刘永强

审核人：聂汉平

电气工程课程组

二〇〇六年七月

目 录

概 述.....	I
第一章 无穷大电源系统.....	5
§1.1 无穷大电源的投入操作.....	5
§1.2 无穷大电源的切除操作.....	5
第二章 原动机及其调速系统.....	7
§2.1 TGS-04 型微机调速装置.....	8
§2.2 模拟方式下的开机操作.....	10
§2.3 微机自动方式下的开机操作.....	12
§2.4 微机手动方式下的开机操作.....	13
第三章 同步发电机励磁系统.....	14
§3.1 WL-04B 微机励磁调节器.....	15
§3.2 励磁调节器开机的前准备工作.....	20
§3.3 励磁调节器运行调整的操作方法.....	21
§3.4 励磁调节器控制参数及其整定方法.....	22
§3.5 手动励磁方式的操作.....	24
第四章 同步发电机的准同期并列.....	25
§4.1 HGWT-03 微机准同期装置.....	25
§4.2 微机准同期装置操作方法.....	27
§4.3 微机准同期装置的参数整定.....	32
§4.4 手动准同期方式的操作.....	33
第五章 同步发电机的解列与停机.....	35
§5.1 同步发电机的解列操作.....	35
§5.2 同步发电机的灭磁操作.....	35
§5.3 同步发电机组的停机操作.....	36
第六章 模拟输电线路.....	37

§6.1	“不可控线路”的操作	37
§6.2	“可控线路”的操作	38
§6.3	中间开关站的操作	38
第七章	微机线路保护的整定	40
§7.1	YHB-Ⅱ型微机保护装置	40
§7.2	微机保护装置整定值设置	44
§7.3	整定值修改示例与注意事项	46
第八章	短路故障的模拟	48
§8.1	故障类型的选择与操作	48
§8.2	短路发生的操作	48
第九章		
附录一:	试验台一次系统原理接线图	42
附录二:	试验台台面布置示意图	43
附录三:	功率角指示器原理说明	44
附录四:	WL-04B 微机励磁调节器显示量的说明	46

概 述

WDT-III型电力系统综合自动化试验台，是为了适应现代化电力系统对宽口径“复合型”高级技术人才的需要而研制的电力类专业新型教学试验系统。此系统除用于试验教学以外，另可用于本、专科生的课程设计试验，也可作为研究生、科研人员的产品开发试验，还可作为电力系统技术人员的培训基地。

试验装置“一次系统原理接线图”见附录一。

综合自动化实验教学系统由发电机组、试验操作台、无穷大系统等三大部分组成（如图1所示）。



图1 WDT-III型电力系统综合自动化试验装置现场图

1. 发电机组

它是由同在一个轴上的三相同步发电机（ $S_N=2.5\text{kVA}$ ， $V_N=400\text{V}$ ， $n_N=1500\text{r.p.m.}$ ），模拟原动机用的直流电动机（ $P_N=2.2\text{kW}$ ， $V_N=220\text{V}$ ）以及测速装置和功率角指示器组成。

直流电动机、同步发电机经弹性联轴器对轴联结后组装在一个活动底盘上构成可移动式机组。具有结构紧凑、占地少、移动轻便等优点，机组的活动底盘有四个螺旋式支脚和三个橡皮轮，将支脚旋下即可开机实验。

2. 试验操作台

实验操作台是由输电线路单元、微机线路保护单元、负荷调节和同期单元、仪表测量和短路故障模拟单元等组成。其中负荷调节和同期单元是由“TGS-04 型微机调速装置”、“WL-04B 微机励磁调节器”、“HGWT-03 微机准同期控制器”等微机型的自动装置和其相对应的手动装置组成。

（1）输电线路采用双回路远距离输电线路模型，每回线路分成两段，并设置中间开关站，使发电机与系统之间可构成四种不同联络阻抗，便于实验分析比较。

（2）“YHB-Ⅲ型微机线路保护”装置是专为实验教学设计，具有过流选相跳闸、自动重合闸功能，备有事故记录功能，有利于实验分析。在实验中可以观测到线路重合闸对系统暂态稳定性影响以及非全相运行状况。

（3）“TGS-04 型微机调速装置”是针对大、中专院校教学和科研而设计的，能做到最大限度地满足教学科研灵活多变的需要。具有测量发电机转速、测量电网频率、测量系统功角、手动模拟调节、手动数字调节、微机自动调速以及过速保护等功能。

（4）“WL-04B 微机励磁调节器”其励磁方式可选择：它励、自并励两种；控制方式可选择恒 U_F 、恒 I_L 、恒 α 、恒 Q 等四种；设有定子过电压保护和励磁电流反时限延时过励限制、最大励磁电流瞬时限制、欠励限制、伏赫限制等励磁限制功能；设有按有功功率反馈的电力系统稳定器（PSS）；励磁调节器控制参数可在线修改，在线固化，灵活方便，并具有实验录波功能，可以记录 U_F 、 I_L 、 U_L 、 P 、 Q 、 α 等信号的时间响应曲线，供实验分析用。

(5) HGWT-03 微机准同期控制装置，它按恒定越前时间原理工作，主要特点如下：①可选择全自动准同期合闸；②可选择半自动准同期合闸；③可测定断路器的开关时间；④可测定合闸误差角；⑤可改变频差允许值，电压差允许值，观察不同整定值时的合闸效果；⑥按定频调宽原理实现均频均压控制，自由整定均频均压脉冲宽度系数，自由整定均频均压脉冲周期；观察不同整定值时的均频均压效果；⑦可观察合闸脉冲相对于三角波的位置，测定越前时间和越前角度；⑧可自由整定越前（开关）时间；⑨输出合闸出口电平信号，供实验录波之用。

(6) 仪表测量和短路故障模拟单元由各种测量表计及其切换开关、各种带灯操作按钮和各种类型的短路故障操作等部分组成。

实验操作台的“操作面板”上有模拟接线图，操作按钮与模拟接线图中被操作的对象结合起来，并用灯光颜色表示其工作状态，具有直观的效果。

试验数据可以通过测量仪表和 LED 数码显示得出，还可显示出同步发电机功率角 δ 、可控硅 α 角等量。同时可以通过数字存储示波器，观测到发电机电压、系统电压、励磁电压以及准同期时的脉动电压等电压波形，甚至可以观测各可控硅上的电压波形以及各种控制的脉冲波形，还可以同时观测到同步发电机短路时的电流、电压波形等。

3. 无穷大系统

无穷大电源是由 15kVA 的自耦调压器组成。通过调整自耦调压器的电压可以改变无穷大母线的电压。

试验操作台的“操作面板”上有模拟接线图、操作按钮和切换开关以及指示灯和测量仪表等。操作按钮与模拟接线图中被操作的对象结合在一起，并用灯光颜色表示其工作状态，具有直观的效果。红色灯亮表示开关在合闸位置，绿色灯亮表示开关在分闸位置，试验操作台“台体的平面布置示意图”见附录二。

在试验操作台的“操作面板”左下方有一个“电源开关”（开关对应的图中符号为“QA”），此开关向整个台体提供操作电源和动力电源，以及四台微机装置的工作电源，并给信号灯用直流 24V 稳压电源供电。

因此，在下面叙述的各部分操作之前，都必须先投入“电源开关”（向上扳至 ON），此时反映各开关位置的绿色指示灯亮，同时四台微机装置上电、数码管均能正确显示；在结束试验时，其它操作都正确完成之后，同样必须断开操作电源开关（向下扳至 OFF）。

综合自动化试验教学平台的研制，更新与加强了专业实验内容，改进了实验方法与手段，创建了一套能进行专业课程和综合研究实验的实验装置，建立一个开放式、研究性、综合型的专业实验现代教学体系，提高专业实验的教学质量和水平，更有利于培养学生综合分析问题和解决问题的能力。

此外，本装置在设计中充分发挥各设备的作用，考虑到模型操作的灵活性和方便性以及接口的通用性，在制造上符合电力系统规范，在设计中增加一些与外部联接的功能，以便对外来设备进行性能考核实验，例如：对线路保护、励磁或同期等自动装置进行考核实验，这在一定程度上扩大其使用范围。

第一章 无穷大电源系统

所谓无穷大电源可以看作是内阻抗为零，频率、电压及其相位都恒定不变的一台同步发电机，在本试验系统中，是将交流 380V 市电经 15kVA 自耦调压器，通过输电线路与实验用的同步发电机构成“一机——无穷大”的简单电力系统。

§ 1.1 无穷大电源的投入操作

在投入“电源开关”之后，自耦调压器原方已接通了动力电源，按下无穷大系统的“系统开关”的“红色按钮”，“系统开关”合上后，其“红色按钮”的指示灯亮，“绿色按钮”指示灯灭，表示无穷大母线得电，观察操作面板上“系统电压”表的指示是否为试验要求值。

调整自耦调压器的把手，顺时针增大或逆时针减少输出至无穷大母线上的电压，调整到试验的要求值（一般为 380V）后，即完成无穷大电源的投入工作，此时，可通过“系统电压”表下方对应的“电压切换”开关观测三相电压是否对称。

注意：

“电压切换”开关有三个线电压（ V_{AB} 、 V_{BC} 、 V_{CA} ）和三个相电压（ V_{AN} 、 V_{BN} 、 V_{CN} ）和关闭（OFF）共七个切换位置，监视电压表时一定要注意切换开关位置，清楚相电压或线电压额定值以免造成过电压，以下相同。

§ 1.2 无穷大电源的切除操作

无穷大电源的切除操作大多数是在试验完成之后，发电机已与系统解列，所有线路均已退出工作之后进行。

按下“系统开关”的“绿色按钮”，其“绿色按钮”的指示灯亮，“红色按钮”的指示灯灭，表示系统开关已断开，无穷大电源切除操作即告完成。

长江大学

第二章 原动机及其调速系统

原动机是一台 2.2KW 直流电动机，其励磁为恒定方式，调节其电枢电压来改变电机出力，电枢电压的供电电源是由市电 380V 交流电源通过整流变压器降压后，经可控硅整流再通过平波电抗器半波后供给的（如图 2 所示），可控硅的控制是由“操作面板”左下部的“TGS-04 型微机调速装置”完成，其开机方式有三种供选择：

- 一、模拟方式开机，它是通过调整指针电位器来改变可控硅输出电压；
- 二、微机手动开机方式，它是通过增速、减速按钮来改变发电机的转速；
- 三、微机自动开机方式，它是由微机自动将机组升到额定转速，并列之后，通过增速、减速按钮来改发电机的功率。

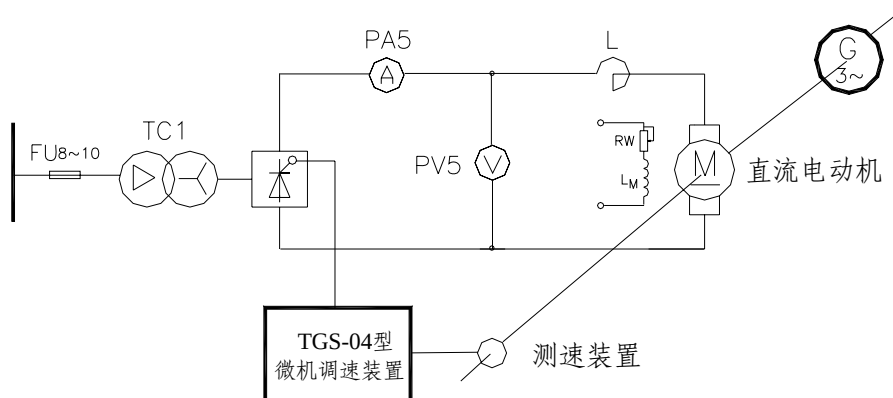


图 2 原动机系统一次接线图

发电机对无穷大系统的功率角可以从调速装置显示读得，也可以从功率角指示器中得到，功率角指示器原理说明见附录三。

§ 2.1 TGS-04 型微机调速装置

同步发电机的开机运行必须给其原动机提供一个电源，使发电机组逐步运转起来。传统方法是用人工的方法调节其电枢或者励磁电压，使发电机组升高或降低转速，达到预期的转速。这种方法已逐渐不适应现代设备的高质量要求，采用微机调速装置既可以用传统的人工调节方法，又可以跟踪系统频率进行自动的调速，这样既简单又快速地达到系统的频率，具有很好的效果。

TGS-04 型微机调速装置是针对大专院校教学和科研而设计的，能做到最大限度地满足教学科研灵活多变的需要。具有以下功能：

1. 测量发电机转速
2. 测量系统功角
3. 手动模拟调节
4. 微机自动调速
 - (1) 手动数字调节
 - (2) 自动调速
5. 测量电网频率

TGS-04 型微机调速装置面板包括：12 位 LED 数码显示器，11 个信号指示灯，6 个操作按钮和一个多圈指针电位器等（其面板图如图 3 所示），具体用途及其操作方法如下：

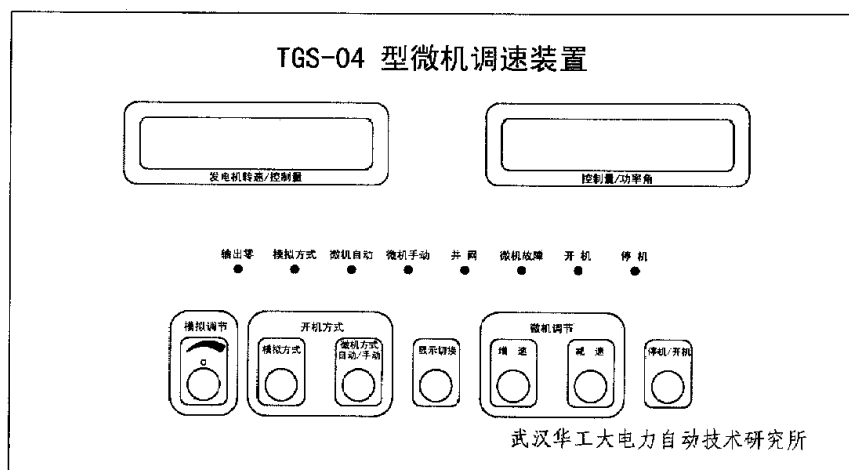


图 3 TGS-04 型微机调速装置面板图

1. 两个 6 位 LED 数码显示器

(1) 当发电机开机时，分别显示发电机转速和输出控制量（最大控制量为 10V）；（n 为转速、F 为系统频率、C 为控制量）。

(2) 当发电机并网时，分别显示输出控制量和发电机对无穷大系统的功率角。（ δ 为功率角）

2. 信号指示灯 11 个

(1) 检查输出量是否为零指示灯一个，即“输出零”指示灯，当控制量为零时亮。

(2) 开机方式选择指示灯三个，即“模拟方式”、“微机自动”、“微机手动”指示灯，当选中某一方式时，对应灯亮。

(3) 并网信号指示灯一个，即“并网”指示灯，当发电机开关合上时亮光。

(4) 装置运行指标灯一个，即“微机故障”指示灯，闪烁时表示微机调速装置运行正常。

(5) 监视测速传感器运行指示灯一个，即“光电故障”指示灯。

(6) 增减速操作指示灯二个，即“增速”、“减速”指示灯，当按增、减速按钮或者远方控制增、减速时对应指示灯亮（如微机准同期控制器发增、

减速命令)。

3. 操作按钮分 4 个区，共 6 个按钮

(1) 开机方式选择区有 2 个按钮，一个为模拟方式按钮，另一个为微机方式的自动/手动选择按钮。

(2) 显示切换按钮一个，可进行“发电机转速”、“控制量”、“功率角”之间的显示切换。

(3) 微机调节区有 2 个按钮，即为“增速”、“减速”操作。

(4) 停机/开机按钮一个，按下为开机命令，松开为停机命令。

4. 模拟调节区 1 个

模拟调节指针电位器一个，即为模拟方式下的手动调节。

注意：

指针电位器为一个多圈电位器，共可旋转十圈，此元件为易损器件，使用时要小心调节，注意其限位和原动机电流、电压表。

§ 2.2 模拟方式下的开、停机操作

2.2.1 将指针式电位器（旋钮）调整至零，在“微机调速”面板上的“开机方式”选择区，按下“模拟方式”按钮，此时“模拟方式”指示灯亮，即选择的开机方式为“模拟方式”。

微机调速装置输出为零时，即“输出零”指示灯亮。此时为“模拟方式”的手动开机作准备。

2.2.2 在“操作面板”上按下“原动机开关”的“红色按钮”，其“红色按钮”的指示灯亮，“绿色按钮”指示灯灭，表示可控硅整流装置上已有三相交流电源。

同时，可控硅冷却风扇运转，发电机测功角盘的频闪灯亮，为发电机开机作准备。

2.2.3 在“微机调速”面板上的“模拟调节”区顺时针旋转指针电位器，增

加输出量，加大可控硅导通角，此时“输出零”指示灯灭。

接着旋转电位器，可以观察“原机电压”表有低电压指示。

继续旋转电位器，可以观察到 2.5kVA 的发电机组开始顺时针启动加速，此时应观察机组稳定情况，监视发电机转速。

然后缓慢加速直至到额定转速即 1500r/min，待发电机励磁投上以后，调整发电机频率为 50Hz。

2.2.4 当发电机与无穷大系统并列以后。此时再顺时针旋转电位器，即为增加发电机输出有功功率，逆时针旋转电位器，即为减少有功功率，同时可以观测到功率角的变化。

注意：

旋转的电位器指针不能低于并列时的电位器指针位置，否则发电机向系统吸收有功功率。

2.2.5 试验完毕后的停机步骤：

首先应该将发电机输出的有功功率、无功功率调至为零。

然后将发电机与系统解列，即跳开“发电机开关”。

将发电机逆变灭磁或者跳开励磁开关灭磁。

逆时针旋转模拟调节指针电位器，使其输出为零，即“输出零”指示灯亮，这时机组速度随惯性减为零。

按下“原动机开关”的“绿色按钮”，其“绿色按钮”的指示灯亮，“红色按钮”的指示灯灭，表示原动机的动力电源已切断。

同时可控硅冷却风扇停止运转，发电机测功角盘的频闪灯灭。

在“开机方式”选择区松开“模拟方式”按钮，“模拟方式”指示灯灭，“微机自动”指示灯亮，即结束了模拟方式的开停机操作，为下一次试验作准备。

§ 2.3 微机自动方式下的开、停机操作

2.3.1 当微机调速装置的按钮全松开时，则“开机方式”选择为“微机自动方式”，此时“微机自动”指示灯亮，数码管显示“发电机转速”为零，“控制量”为零。

2.3.2 合上“原动机开关”即给三相可控整流装置供电。

2.3.3 按下“停机/开机”按钮，此时“开机”指示灯灭，则“控制量”自动增加，可控硅导通角逐渐增大，“原机电电压”表的电压值也在增大，发电机开始启动，然后逐渐逼近额定转速。

2.3.4 给上励磁电压后，当满足同期条件时，发电机与系统并列即“发电机开关”合上，“并网”指示灯亮；

当同期条件不满足时，可以通过“微机调节”区的“增速”、“减速”按钮来调节发电机转速，也可通过微机准同期控制器，自动调节发电机转速。

2.3.5 当并网成功后（冲击电流很小），数码管显示功率角接近为零；

“ $\delta=0$ ”通过“显示切换”按钮可以分别看到“发电机转速”、“可控硅控制量”、“发电机功率角”等量。

2.3.6 当需要增加或减少发电机有功功率时，可通过“增速”或“减速”按钮来改变其功率大小，此时可以看到功率角的大小变化。

2.3.7 当需要停机时，应先将发电机的有功、无功减至零；

然后将发电机与系统解列，即跳开“发电机开关”；

再将发电机逆变灭磁或者跳开励磁开关灭磁；

松开“停机/开机”按钮，此时“开机”指示灯灭，“停机”指示灯亮，控制量递减直至为零，发电机减速逐渐停止转动。

2.3.8 当发电机转速为零时，跳开“原动机开关”时，可控硅冷却，风扇停止运转，发电机测功角盘的频闪灯灭，即微机自动方式下的开停机操作结束。

§ 2.4 微机手动方式下的开、停机操作

2.4.1 在“开机方式”选择区，按下“微机方式”，则开机方式选择为微机手动方式，此时“微机手动”指示灯亮。

2.4.2 合上“原动机开关”即给三相可控整流装置供电。

2.4.3 按下“停机/开机”按钮，此时“开机”指示灯亮，“停机”指示灯灭。调速器处于待命状态。

2.4.4 在“微机调节”区按下“增速”按钮，同时“增速”指示灯亮，则调速装置显示的“控制量”增加，原动机的电枢电压也增加，发电机开始缓慢启动，转速开始上升；松开“增速”按钮，对应指示灯灭，显示的“控制量”变化停止，由于惯性的影响，发电机转速将会继续增大，逐渐稳定在某一频率，转速相对稳定。

2.4.5 继续按“增速”按钮，转速也继续上升，同时调节发电机到额定转速，然后建立电压与系统并列，“并网”指示灯亮。

2.4.6 并网以后再按“增速”、“减速”按钮则增加、减少发电机有功功率，同时也改变了发电机对系统的功率角。

2.4.7 当试验完毕，准备停机时，应先将发电机的有功、无功减至零；

然后将发电机与系统解列，即跳开“发电机开关”；

再将发电机逆变灭磁或者跳开励磁开关灭磁；

按“减速”按钮，显示的“控制量”缓慢减小，发电机转速逐渐降低，当“控制量”递减直至为零时，发电机减速，逐渐停止转动；

松开“停机/开机”按钮，并松开“微机方式”按钮；

跳开“原动机开关”即完成了微机手动方式下的开、停机操作，为下一次试验作准备。

注意：

由于惯性影响，发电机转速会滞后控制量，操作时应予以注意。

第三章 同步发电机励磁系统

本套试验装置的同步发电机有三种励磁方式可供选择（如图 4 所示）：

一、手动励磁方式，它是市电交流 220V 通过变压器降压后，经自耦调压器调至需要电压，再通过整流桥整成直流向同步发电机励磁绕组供电，励磁调节由试验人员手动操作自耦调压器来实现；

二、微机它励方式，它是市电交流 380V 通过变压器降压后，经可控硅整流向发电机励磁绕组供电；

三、微机自并励方式，它是发电机机端电压通过变压器降压后，经可控硅整流向发电机励磁绕组供电。

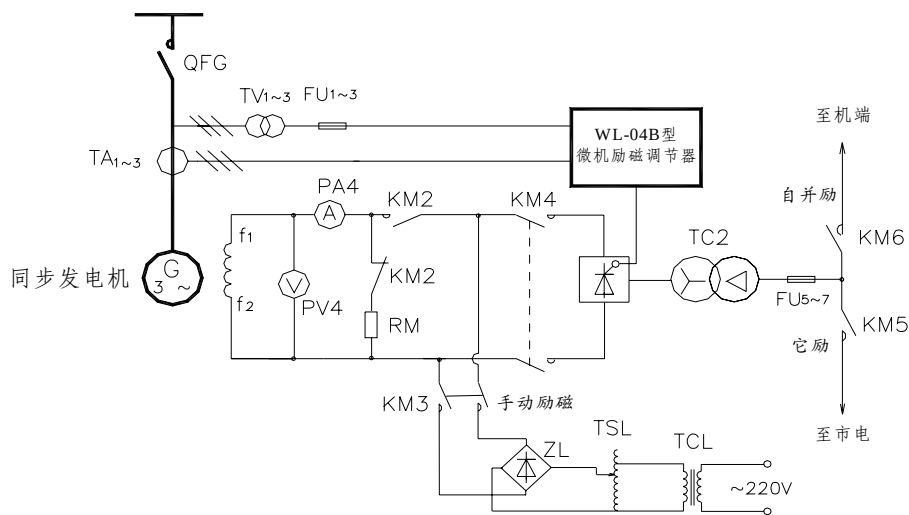


图 4 励磁系统一次接线图

在微机它励方式或微机自并励方式下，自动励磁调节任务由 WL-04B 型微机励磁调节器来承担。

§ 3.1 WL-04B 微机励磁调节器

WL-04B 微机励磁调节器是为大专院校开设《电力系统自动装置原理》、《电力系统分析》、《电力工程》等课程的教学实验而特殊设计的微机型励磁调节器。其励磁方式可选择：它励、自并励2种。

微机励磁调节器的控制方式可选择恒UF，恒IL，恒 α ，恒Q等4种。

设有定子过电压保护和励磁电流反时限延时过励限制、最大励磁电流瞬时限制、欠励限制、伏赫限制等励磁限制功能。

设有按有功功率反馈的电力系统稳定器（PSS）。

励磁调节器控制参数可在线修改，在线固化，灵活方便，能做到最大限度地满足教学科研灵活多变的需要。

具有实验录波功能，可以记录UF，IL，UL，P，Q， α 等信号的时间响应曲线，供实验分析用。

微机励磁调节器面板包括：8位LED数码显示器，若干指示灯和按钮，强、弱电测试孔以及串行通讯接口等（其面板图如图5所示），具体用途及其操作方法如下。

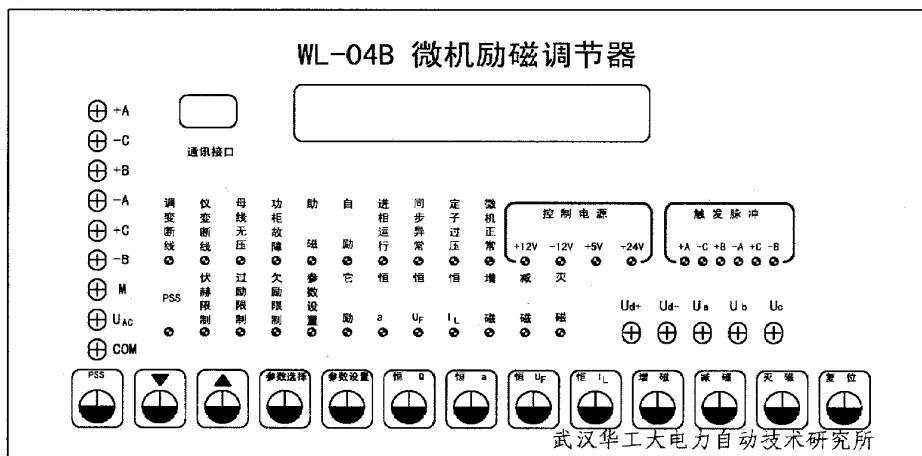


图 5 WL-04B 微机励磁调节器面板图

3.1.1 8 位 LED 数码显示器

用途1：用以显示同步发电机励磁控制系统状态量，包括：
发电机机端电压、发电机输出有功功率和无功功率
发电机励磁电压、励磁电流
发电机频率
励磁调节器输出控制角等

用途2：用以查询、修改励磁调节器的控制参数，如：
PID反馈系数
励磁限制整定值等

3.1.2 指示灯

励磁调节器面板共有 32 只指示灯，共分成三个类型。

第一类：“控制电源”指示灯

由+5V、±12V、+24V等4路电源指示灯组成

第二类：励磁调节器“输出”触发脉冲指示灯

由+A、-C、+B、-A、+C、-B等6路脉冲指示灯组成

第三类：励磁调节器工作状态指示灯22只

（1）**微机正常指示灯**：闪烁时表示微机励磁调节器运行正常；常亮或常熄表示微机励磁调节器异常。

（2）**定子过压指示灯**：发电机机端电压大于额定电压的1.26倍($380 \times 1.26 = 480\text{V}$)时，过压保护动作，同时过压指示灯点亮。

（3）**同步异常指示灯**：本微机励磁调节器工作在自并励方式时，同时采用励磁变压器和发电机电压互感器作为触发同步信号，当两路同步信号均正常时熄灭，任1路丢失时点亮。

（4）**进相运行指示灯**：当无功功率为负值时，即发电机进相运行时，指示灯亮。

（5）**自励指示灯**：励磁调节器工作在自并励励磁方式，即励磁变压器原边绕组接在发电机机端。当试验操作台的操作面板上的“励磁方式”切换开

关选择为“微机自并励”励磁方式时亮。

(6) **助磁指示灯**：自并励励磁方式下，发电机起励时由励磁调节器自动投入起励用的初始励磁，此时投助磁指示灯亮。

(7) **功柜故障指示灯**：当全控桥故障时，指示灯亮。

(8) **母线无压指示灯**：系统电压小于85%额定电压时亮。

(9) **仪变断线指示灯**：励磁调节器同时引入两路发电机机端电压互感器电压信号，分别称为调变电压UF1和仪变电压UF2（调变和仪表分别对应发电厂励磁调节器专用电压互感器和测量仪表用电压互感器），发电机电压由下式决定。

$$UF = \text{MAX} \{UF1, UF2\}$$

当两路电压相差10%时，表示电压互感器发生断线故障，如仪变电压小于调变电压10%，仪变断线灯亮。

(10) **调变断线指示灯**：当调变电压小于仪变电压10%，调变断线灯亮。

(11) **灭磁指示灯**：按灭磁按钮或发电机频率低于43Hz时灭磁指示灯亮，当发电机并网带负荷时灭磁无效。

(12) **减磁指示灯**：按减磁按钮或者远方控制减磁时亮（如微机准同期控制器发减磁命令）。

(13) **增磁指示灯**：按增磁按钮或者远方控制增磁时亮（如微机准同期控制器发增磁命令）。

(14) **恒IL指示灯**：按恒IL按钮时其指示灯亮，表示励磁调节器按恒IL方式运行，维持发电机励磁电流在给定水平上。

(15) **恒UF指示灯**：按恒UF按钮时其指示灯亮，表示励磁调节器按恒UF方式运行，维持发电机机端电压在给定水平上。

(16) **恒 α 指示灯**：按恒 α 按钮时其指示灯亮，表示励磁调节器按恒 α 方式(开环)运行，只有在它励方式下有效，自并励励磁方式不允许开环运行，所以自并励励磁方式下，按恒 α 按钮无效且它励方式转自并励时，如果原来是恒 α 方式也会自动转为恒IL方式。

(17) **它励指示灯**：励磁调节器工作在它励励磁方式，励磁变压器原边

绕组接在市电380V 电网上，试验操作台的操作面板上的“励磁方式”切换开关选择为“微机它励”励磁方式时亮。

(18) **参数设置指示灯**：修改控制器参数时，按设置按钮时亮，表示已进入参数设置状态。

(19) **欠励限制指示灯**：发电机无功过度进相，欠励限制器动作时其指示灯亮，欠励限制线是P-Q 平面四象限上的一条直线，功率运行点被限制在欠励限制线以上。

(20) **过励限制指示灯**：过励即过励磁电流，发电机励磁电流超过额定励磁电流的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倍之间按反时限原则延时动作，限制励磁电流到1.1倍以下，2.0倍以上，瞬时动作限制励磁电流在2.0倍以下，过励灯在过励限制动作时亮。

(21) **伏赫限制指示灯**：伏/赫限制用以限制发电机端电压与发电机频率之比 U_F/f_F 的上限，通常在 U_F 过大或 f_F 过小时动作，伏/赫限制动作时亮，未动作时熄。

(22) **PSS指示灯**：PSS功能投入时亮，退出时熄。

3.1.3 测试孔

励磁调节器面板共有 14 个测试孔，分成两个测试区。

第一区：弱电测试孔8个

由+A、-C、+B、-A、+C、-B等6路脉冲测试孔和1路6脉冲总合测试孔M，1路交流同步电压信号UAC，和一个弱电公共地COM组成，供示波器观察脉冲波形，脉冲相位及相位移动过程等信号。

第二区：强电测试孔(100V)5个

由三相全控桥的交流输入电压 U_a 、 U_b 、 U_c 和直流输出电压 U_{d+} 、 U_{d-} 组成，可供示波器观察波形及万用表测量电压幅值。

3.1.4 操作按钮 13 只

(1) **复位按钮**：手动强迫复位CPU，主要用于励磁调节器检修与调试，正常使用时不用。

(2) **灭磁按钮**：此按钮为带锁按钮，在发电机空载运行状态下，按下灭磁按钮，则进行逆变灭磁，但发电机并网带负荷后灭磁无效。发电机在未起励建压时，灭磁按钮由锁定状态弹出，进行起励建压命令。

(3) **减磁按钮**：发电机并网前，减磁则降低发电机电压，并网后减磁则减少发电机输出的无功功率。

(4) **增磁按钮**：发电机并网前，增磁则提高发电机电压，并网后增磁则增加发电机输出的无功功率。

(5) **恒IL按钮**：选择恒IL运行方式，维持发电机励磁电流在给定水平上；

(6) **恒UF按钮**：选择恒UF运行方式，维持发电机机端电压在给定水平上；

(7) **恒 α 按钮**：选择恒 α 运行方式表示调节器开环运行，只有在它励方式下有效；

(8) **恒Q按钮**：选择恒无功运行方式，只有在发电机并网以后，选择才有效，且原来运行方式灯熄灭，即恒IL，恒UF，恒 α 的指示灯均灭；

(9) **参数设置按钮**：正常工作状态（非参数设置状态）下，“▲”增量显示和“▼”减量显示按钮用以顺序和逆序召唤显示励磁控制系统状态变量，按【参数设置】按钮后，【参数设置】指示灯点亮，此时增量显示和减量显示按钮用作增加和减小参数数值。

(10) **参数选择按钮**：用以查询控制参数的当前数值和选择需要修改的控制参数，重复按下此按钮，则循环显示各个控制参数。

(11, 12) **“▲”增量显示和“▼”减量显示按钮**：用以顺序和逆序召唤显示励磁控制系统状态变量，在参数设置状态（【参数设置】指示灯点亮），用来增加或减小控制参数值。

3.1.5 RS232 标准通讯接口 1 个

供与PC机交换信息，利用上层监控软件，可以监视励磁控制系统的运行状况，配合实验作参数调整，进行试验录波等工作。

§ 3.2 励磁调节器开机的前准备工作

3.2.1 选择励磁方式

- (1) 在试验台的“操作面板”上，切换“励磁方式”开关，选择励磁方式；
- (2) 检查励磁调节器面板上“它励”、“自励”等指示灯指示是否正确。

注意：励磁方式的选择或变更，应在发电机未建压时进行，建压运行中不可变更励磁方式，若需要变更励磁方式，请首先灭磁，然后变更励磁方式。

3.2.2 选择控制方式

在开机前，共有三种控制方式供选择。

- (1) 恒 IL 方式起励
- (2) 恒 α 方式起励（仅在它励方式下有效）；
- (3) 恒 UF 方式起励。

3.2.3 选择起励方式

当选择恒 IL 或者恒 UF 运行方式时，发电机有自动起励和手动起励两种方式供选择。

如选择自动起励方式时，升机则在开机前将“励磁开关”合上，且将“灭磁”按钮松开，这样当发电机频率升到 47Hz 以上时，则自动起励。

如选择手动起励方式时，升机则先将“灭磁”按钮按下锁定，将发电机升到额定转速后，再合“励磁开关”，松开“灭磁”按钮，进行手动起励。

3.2.4 控制参数检查

开机前应检查控制参数是否与试验要求值相符，控制参数的整定方法参见 § 3.4 节。

§ 3.3 励磁调节器运行调整的操作方法

3.3.1 开启发电机组

按调速器使用说明启动同步发电机组（以励磁调节器选择手动起励方式为例），开机升速到额定转速后，检查励磁调节器频率显示是否正常。

3.3.2 建立发电机电压

松开“灭磁”按钮，“灭磁”指示灯熄灭，发电机开始建压。

若以恒 UF 方式运行，则自动建压到与母线电压一致（当母线电压在 85%~115%范围内），或额定电压（当母线电压在 85%~115%以外区域）。

若以恒 IL 方式运行，则自动建压到 $IL=15\%ILN$ 。

3.3.3 发电机电压的调整

发电机建压后，可操作“增磁”、“减磁”按钮升高或降低发电机机端电压。

3.3.4 发电机与系统并网

按准同期准则手动或用微机自动准同期器自动合上发电机出口开关，将发电机并入电网。

3.3.5 增减发电机功率

增减无功功率，操作“增磁”、“减磁”按钮。

增减有功功率，则需操作调速器的“增速”、“减速”按钮。

3.3.6 发电机与系统解列

解列前一般需要减负荷减到零值（有功功率和无功功率都等于零），再手动跳开发电机出口开关（发电机甩负荷试验除外）。

3.3.7 停机与灭磁

试验完毕，操作调速器减速停机，励磁调节器在频率下降到 43Hz 以下时，将会自动执行低频灭磁功能，实现逆变灭磁。

§ 3.4 励磁调节器控制参数及其整定方法

3.4.1 励磁调节器控制参数及其显示符号

励磁调节器的控制参数主要有：恒UF控制的PID参数和恒IL控制的PID参数；调差系数KQ；励磁电流过励限制启动值 GL_{IL} 等。

序号	控制参数	显示符号	含 义	典型数值	调整范围
1	KPU	HPU	电压偏差比例放大系数	040	0~80
2	KIU	HIU	电压偏差积分放大系数	002	0~50
3	KDU	HdU	电压偏差微分放大系数	015	0~50
4	KPI	HPI	励磁电流偏差比例放大系数	025	0~50
5	KII	HII	励磁电流偏差积分放大系数	002	0~50
6	KDI	HdI	励磁电流偏差微分放大系数	015	0~50
7	KPQ	Hpq	无功偏差比例放大系数	010	0~20
8	KIQ	HIq	无功偏差积分放大系数	001	0~20
9	KdQ	Hdq	无功偏差微分放大系数	000	0~20
10	KPP	Hpp	有功偏差比例放大系数	015	0 ± 127 (符号数) *
11	KIP	HIp	有功偏差积分放大系数	000	0 ± 127 (符号数) *
12	KdP	Hdp	有功偏差微分放大系数	015	0 ± 127 (符号数) *
13	Ap	AP	低励限制线的斜率	150	0~100
14	Bq	bp	低励限制线的截距	-399	$-\infty \sim 0$
15	KQ	Hq	无功调差系数	4.06	$-10 \sim +10$
16	H_{UF}	KUF	伏赫限制	1.14	$0.94 \sim 1.34$
17	GL_{IL}	9LIL	励磁电流过励限制启动值	4.95	$1.79 \sim 9$
18	Ucn	UCN	积分初值	85°	$65^\circ \sim 95^\circ$

注：* 如-3，则显示253。

换算公式：

$KPU=1.3 \times Kp$ KP比例放大系数

$KIU=0.64 \times KP/T_i$ T_i 积分时间常数

$KDU=1600 \times KP \times T_d$ T_d 微分时间常数

WL-04B微机励磁调节器显示量的说明见附录四。

3.4.2 默认（缺省）参数的恢复

（1）按【参数选择】按钮选择功能序号0，显示：CS00F—E，表示选中参数恢复功能。

（2）按【参数设置】按钮进入参数设置状态。【参数设置】指示灯亮；

（3）同时按下【增量显示】按钮和【减量显示】按钮，则完成默认参数的恢复过程。

3.4.3 修改参数的步骤

（1）按【参数选择】按钮选择所需修改的参数；

（2）按【参数设置】按钮进入参数设置状态，此时【参数设置】灯亮；

（3）若增加参数值，则按【增量显示】按钮（上三角▲），若减小参数值，则按【减量显示】按钮（下三角▼）；通常，按一次，参数增减1，若需大幅度增减，可按住按钮不放便可连续增减；

（4）修改完毕，按一次【参数设置】按钮，退出参数设置状态，此时【参数设置】灯熄。

3.4.4 参数的固化

修改后的参数如果不固化到EEPROM中去，则在掉电之后丢失。如果需要保存，则需要进行固化操作。固化操作步骤如下：

（1）按【参数选择】按钮，选择功能序号1，显示：CS01A~E，表示选中参数固化功能。

（2）按【参数设置】按钮进入参数设置状态，【参数设置】指示灯亮；

（3）同时按下【增量显示】按钮（上三角▲）和【减量显示】按钮（下三

角▼)，则完成参数固化过程。

§ 3.5 手动励磁方式的操作

当发电机启动成功后，在试验台的“操作面板”上，将“励磁方式”切换开关切向“手动励磁”方向，选定为手动励磁方式，然后将“操作面板”上的“手动励磁”旋钮逆时针调到输出最小值。按下发电机“励磁开关”的“红色按钮”，其“红色按钮”的指示灯亮，“绿色按钮”的指示灯灭，表示同步发电机励磁开关已投入，此时，可以从“励磁电流”表、“励磁电压”表和“发电机电压”表看到发电机励磁系统的工作状态。

顺时针调节“手动励磁”旋钮，则增加励磁，逆时针调节到减小励磁。

在试验过程中，根据发电机机端电压或输出无功功率大小的要求，调节“手动励磁”旋钮的位置，使满足试验要求。

手动励磁方式的停运，必须在发电机与系统解列后进行。首先，手动减负荷到零，然后解列，再将“手动励磁”旋钮逆时针旋至最小，最后按下“励磁开关”的“绿色按钮”，此时，其“绿色按钮”的指示灯亮，“红色按钮”的指示灯灭，表示发电机励磁投切开关已断开，发电机励磁绕组已停止供电，手动励磁方式的停止操作即告完成。

第四章 同步发电机的准同期并列

发电机的并列操作是在原动机启动操作，发电机励磁启动操作、无穷大电源投入操作以及输电线路开关投入操作等完成之后进行的，也就是说，在“操作面板”上的“发电机开关”两侧均有电压的情况下，才能进行发电机的并列操作。

§ 4.1 HGWT-03 微机准同期控制器

在电力系统中，同步发电机的同期并列操作是一项经常性的基本操作。不恰当的并列将导致很大的冲击电流，甚至造成损坏发电机组的严重后果。为了保证安全、快速地并列，必须借助于自动准同期控制装置，传统的模拟式自动准同期装置由于其快速性和准确性欠佳，已渐不适应现代电力系统运行的高质量要求，采用微机自动准同期装置实现同步发电机自动准同期并列操作，可以做到既安全可靠，又快速准确，现已在电力系统中得到广泛的应用。

4.1.1 HGWT-03 微机准同期装置的特点

HGWT-03 微机准同期装置是为大专院校教学目的而专门设计的全自动多功能微机准同期控制装置（其面板图如图 6 所示），它按恒定越前时间原理工作，主要特点如下：

- （1）可选择全自动准同期合闸（自动均压、均频与合闸）；
- （2）可选择半自动准同期合闸（用信号灯指示操作人员进行均压与均频操作，当条件满足时自动合闸。）；
- （3）可测定断路器的开关时间（发电机开关的合闸动作时间，可通过整定“同期开关”时间继电器来调整。）；
- （4）可测定合闸误差角（DL 主触点闭合瞬间的相角差）；
- （5）可改变频差允许值，电压差允许值，观察不同整定值时的合闸效果

(冲击电流特点及合闸准备时间的长短);

(6) 按定频调宽原理实现均频均压控制, 自由整定均频均压脉冲宽度系数, 自由整定均频均压脉冲周期; 观察不同整定值时的均压均频效果 (快速性与稳定性);

(7) 专门设置有关信号的测孔, 可以用电压表测其幅值, 或用示波器观察其波形。测孔信号有: 发电机电压 U_G 波形、系统电压 U_X 波形、脉动电压 U_S (正弦整步电压) 波形、宽度随相角差变化的“变宽脉冲”波形以及由“变宽脉冲”滤波所得的“三角波整步电压” U_{SL} 的波形, 十分有利于教学示范与教学实验;

(8) 可观察合闸脉冲相对于三角波的位置, 测定越前时间和越前角度;

(9) 可自由整定越前 (开关) 时间, 整定时间范围: $0.02s \sim 0.98s$;

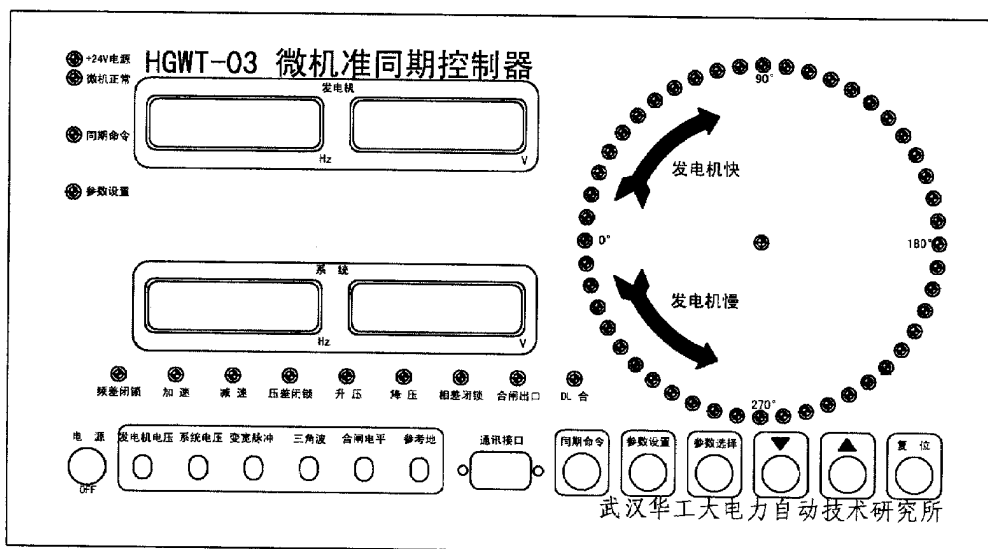


图 6 HGWT-03 微机准同期控制器的面板图

4.1.2 准同期装置的输入/输出信号说明

(1) 发电机电压、A、B 两相电压, 接自发电机机端电压互感器, 电压互感器变比为 $380V / 100V$, 参见附录一: 试验台一次系统原理接线图。

(2) 发电机母线 A、B 两相电压, 接自发电机母线上的电压互感器, 电

压互感器变比 380V / 100V。

(3) 合闸输出接点，接到发电机开关合闸回路中。

(4) 均压（升压、降压）接点，分别接励磁调节器的增磁和减磁调整回路。

(5) 均频（加速、减速）接点，分别接（直流电动机）调速器的加速和减速调整回路；

(6) 开关量输入：发电机开关辅助常开接点，用于检测断路器通断状态以及测定断路器合闸时间；同期命令接点，即同期开关信号，其作用是向微机准同期装置发布同期操作命令，主要用于远方控制或连接计算机监控系统，准同期控制器仅当收到同期命令，才检测准同期条件执行均频均压及合闸。

工作方式选择开关接点：分别选择全自动准同期，半自动准同期和手动准同期，接点闭合有效，默认方式为全自动准同期方式。

§ 4.2 微机准同期控制器操作方法

4.2.1 操作面板介绍

在操作面板上设有 LED 显示器、信号指示灯、LED 旋转灯光整步表、命令按钮、信号测孔等介绍如下：

1. 16 位 LED 数码显示器

主要用以显示发电机频率、发电机电压、系统频率、系统电压及准同期控制整定参数；

2. 14 只信号指示灯

它们是：+24V 电源、微机正常、同期命令、参数设置、频差闭锁、加速、减速、压差闭锁、升压、降压、相差闭锁、合闸出口、DL（断路器）合、圆心。其意义如下：

(1) +24V 电源：亮，表示+24V 工作电源正常；

(2) 微机正常：微机准同期控制器工作正常时，灯光闪烁；常亮或常熄表示控制器工作异常；

(3) 同期命令：控制器仅当收到同期命令后，才进行均压、均频及检测合闸条件，并且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。同期命令一般由运行人员通过同期开关发给控制器，也可用操作面板上的同期命令按钮给出，控制器收到同期命令，同期命令指示灯亮，微机正常灯闪烁加快；解除同期命令后，同期命令指示灯熄。

(4) 参数设置：为适应不同应用场合（断路器开关时间或长或短，调速器调节机组转速的性能以及励磁调节器调节发电机电压的性能不同，同步发电机接入电力系统的连接阻抗不同等等），准同期控制器需要灵活整定整定参数，使用时需要根据具体应用场合的实际情况选取一组最佳参数予以整定，整定完毕一般不再修改。

为防止误操作破坏原有控制参数，特设参数整定按钮和参数整定指示灯。参数整定指示灯亮，表示进入参数整定状态，此时可以修改参数；参数整定指示灯亮，表示退出参数整定状态，此时参数整定功能被闭锁；参数整定状态的进入与退出，由参数整定按钮控制，按参数整定按钮，参数整定状态的进入与退出交替出现。

(5) 频差闭锁：当频差 Δf 大于整定的允许频差 Δf_y 时，灯亮，表示频差条件不满足，合闸被闭锁；当频差 Δf 小于整定的允许频差 Δf_y 时，灯熄，表示频差条件满足。

(6) 加速：当频差 Δf 大于整定的允许频差 Δf_y 且发电机频率小于系统频率时，控制器输出加速脉冲，加灯亮；灯亮持续时间正比于频差大小及均频系数，灯亮熄周期由均频周期决定。

(7) 减速：当频差 Δf 大于整定的允许频差 Δf_y 且发电机频率大于系统频率时，控制器输出减速脉冲，减速灯亮；灯亮持续时间正比于频差大小及均频系数，灯亮熄周期由均频周期决定。

(8) 压差闭锁：当压差 ΔV 大于整定的允许压差 ΔV_y 时，灯亮，表示压差条件不满足，合闸被闭锁；当压差 ΔV 小于整定的允许压差 ΔV_y 时，灯熄，表示压差条件满足。

(9) 升压：当压差 ΔV 大于整定的允许压差 ΔV_y 且发电机电压小于系统电

压时，控制器输出升压脉冲，升压灯亮；灯亮持续时间正比于电压差大小及均压系数，灯亮熄周期由均压周期决定。

(10) 降压：当压差 ΔV 大于整定的允许压差 ΔV_y 且发电机电压大于系统电压时，控制器输出降压脉冲，降压灯亮；灯亮持续时间正比于电压差大小及均压系数，灯亮熄周期由均压周期决定。

以上加速、减速，升压、降压的调节量与其灯亮持续时间成正比。

(11) 相差闭锁：当相角 δ 大于允许越前角 δ_{yq} （允许越前角 $\delta_{yq} = \text{越前时间 } t_{yq} \times \text{滑差频率 } |\Delta\omega|$ ）灯亮，当相角 δ 小于允许越前角 δ_{yq} 灯熄。

(12) 合闸出口：当频差和电压差条件全部满足（此时微机正常灯闪烁速度进一步加快），控制器在当前相角=允许越前角的时刻发出合闸命令，此时合闸出口灯亮，合闸完毕灯熄，同时解除合闸命令，避免二次合闸，此时微机正常灯的闪烁速度恢复正常。

(13) DL（断路器）合：反映发电机开关实际状态，灯亮表示断路器合，灯熄表示断路器跳开。

(14) 圆心：位于 LED 旋转灯光整步表的中心，当准同期合闸条件（频差和电压差、相角差）全部满足时，灯亮。

3. LED 旋转灯光整步表

用 48 只发光二极管围成一个圆圈，表示 360° 相角（每点 7.5° ）。用点亮二极管的方法指示当前相角，因此当相角在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间变化时，灯光就旋转起来，如同整步表一样。如将接入准同期控制器的系统电压取自线路末端，该灯光整步表还可在发电机并入系统后指示发电机机端电压与系统电压之间的功角。

4. 操作按钮

一共有 6 个按钮，它们是同期命令、参数设置、参数选择、下三角▼、上三角▲、复位。其功用如下：

(1) 同期命令：用于向控制器发出同期命令，控制器接收到同期命令后按准同期条件进行合闸控制的状态，同期命令按钮不能解除发出的同期命令，同期命令的解除只有当控制器发出一次合闸命令后自动解除；或者“同期方

式”切换开关，切向“手动”同期方式时，同期命令自动解除。

(2) 参数设置：进入与退出参数设置状态。在参数设置状态，参数设置指示灯亮可以修改控制器的参数；退出参数设置状态，参数设置指示灯熄控制器参数被保护，防止误操作修改。

(3) 参数选择：选择需要检查与修改的参数，共有 7 个参数，即开关时间、频差允许值、电压差允许值、均压脉冲周期、均压脉冲宽度、均频脉冲周期、均频脉冲宽度。以上 7 个参数循环出现供检查或修改。

(4) 下三角▼：在参数设置状态作为参数减按钮，否则作为显示画面切换按钮。

(5) 上三角▲：在参数设置状态作为参数增按钮，否则作为显示画面切换按钮。

显示画面说明：

画面 1：发电机频率，49.9Hz； 发电机电压：103.0V；

系统频率， 50.00Hz；系统电压： 100.0V。

画面 2：频率差（发电机频率小于系统频率时为负），电压差（发电机电压小于系统电压为负）

实际频率差：-0.10Hz；实际电压差：3.0V；

允许频率差， 0.30Hz；允许电压差：5.0V。

(6) 复位：计算机复位。

5. 测试孔

为了有利于教学，特设置有关信号测试孔，供观察信号波形用。共有 6 个测试孔（含一个参考地），即发电机电压、系统电压、变宽度脉冲、（线性整步电压）波、合闸脉冲和参考地。各测试孔用途如下：

(1) 脉动电压的检测与波形观察：用交流电压表跨接于发电机电压测孔与系统电压测孔之间，可以检查脉动电压幅值变化情况（表示为电压指示表的变化），用示波器跨接电压表两端，可观察脉动电压的波形。

(2) 变宽度脉冲的检测与波形观察：用 5V 直流电压表跨接于变宽脉冲测孔与参考地之间，可检测到脉冲宽度变化情况（表示为电压表指示的变化），

用示波器跨接电压表两端，可观察变宽度脉冲的波形。

(3) 三角波的检测与波形观察：用 5V 直流电压表跨接于三角波测孔与参考地之间，可检测到三角波瞬时值变化情况，用示波器跨接电压表两端，可观察三角波的波形。

(4) 越前角和越前时间测定：用双踪示波器同时观察三角波和合闸脉冲的波形，可以观察合闸信号的发出时刻对应三角波的位置，即可检测出越前角和越前时间。

6. 电源开关

准同期控制器工作电源开关。

7. 通讯接口

与上位机通讯，实现监控功能。

4.2.2 自动准同期并列操作

当试验台的“操作面板”上的“同期方式”选择开关切换到“全自动”位置时，微机准同期装置按全自动方式工作。这时只要按一下同期命令按钮，则均压、均频、合闸等操作全由准同期控制器完成。

实验时，先通过操作面板上的“同期开关时间”来整定模拟断路器时间，即发电机开关合闸时间，然后根据整定值整定同期控制器的“越前时间”，再实际测定发电机开关实际动作时间，然后按测定的实际动作时间修正越前时间。实际时注意观察控制器均频过程及合闸冲击电流的大小。为调节机组转速大于、小于系统同步转速，调节发电机电压大于、小于系统电压，以及不同频率差和电压幅值差，观察均压均频过程。

4.2.3 半自动准同期并列操作

当试验台的“操作面板”上的“同期方式”选择开关切换到“半自动”位置时，微机准同期装置按半自动方式工作。此时准同期控制器通过指示灯的亮熄指示实验人员进行均压均频操作，或通过显示器显示发电机开关两侧频率和电压，或显示频差、电压差的大小及其方向，由实验人员判断进行均压均频操作。

当合闸条件满足时，准同期控制器发出合闸命令实现同步发电机同期并列操作。

§ 4.3 微机准同期控制器的参数整定

HGWT-03 微机准同期装置提供了七个可整定参数：越前时间、允许频率差、允许电压差、均压脉宽、均压周期、均频脉宽、均频周期以及上一次开关实际合闸时间显示。整定方法及操作步骤如下：

1. 进入参数整定状态

按参数设置按钮，参数设置指示灯亮，表示已进入参数整定状态。

2. 选择待修改的参数

按参数选择按钮，显示器循环显示以上 7 个参数的当前数值。

- | | |
|-----------------|-----------------|
| (1) 越前时间： | 参数整定范围： |
| Hg2000=1 | 0.020~0.98 |
| 7DL=0.300 | 对应 0.3 秒 (s) |
| (2) 允许频差： | 参数整定范围： |
| HG2000=2 | 0~0.4 |
| FSYH=0.33 | 对应 0.33 赫兹 (Hz) |
| (3) 允许压差： | 参数整定范围： |
| Hg2000=3 | 1~5 |
| YCYH=5.0 | 对应 5% |
| (4) 均压脉宽系数： | 参数整定范围： |
| Hg2000=4 | 10~255 |
| JY29=200 | |
| (5) 均压脉冲周期显示交换： | 参数整定范围： |
| Hg2000=5 | 0~200 |
| JYHS=127 | |
| (6) 均频脉宽系数显示交换： | 参数整定范围： |

Hg2000=6

10~255

JP29=200

(7) 均频脉冲周期显示交换:

参数整定范围:

Hg2000=7

0~200

JPHS=127

(8) 实测开关合闸时间:

参数整定范围:

Hg2000=8

JdLC dxxx 单位: 毫秒 (ms)

3. 调整参数

下三角▼: 在参数设置状态作为参数减按钮, 每次-1;

上三角▲: 在参数设置状态作为参数增按钮, 每次+1。

4. 整定完毕

按一下参数设置按钮, 参数设置指示灯熄灭, 退出参数设置状态。

注意:

1. “同期开关时间”的时间继电器, 量程选择“X1”的“sec”量程, 即与实际系统断路器动作时间相符。

2. “同期开关时间”的整定, 仅在微机准同期控制的方式下有效, 在手动准同期方式下, 只有接触器固有动作时间 30ms 左右, 不可调整。

§ 4.4 手动准同期方式的操作

当“发电机频率”接近 50Hz 且发电机开关两侧电压接近相等的前提下, 将“操作面板”上的“同期方式”选择开关切换到“手动”方式, 此时“发电机开关”两侧的电压施加到“同期表”上。若并列条件不完全满足时, “同期表”中反映两侧电压差的右侧电压表, 反映两侧频率差的左侧频率表, 便会有偏转, 而正中位置反映两侧电压相角差瞬时值的转差值指针也会旋转起来。

在两侧电压相序相同的前提下, 准同期并列的条件为并列开关两侧电压大小相等、频率相同、开关合闸时刻两侧电压相角差为零, 通过调整发电机

的电压和频率来满足准同期并列条件。

“同期表”中反映两侧电压差的电压表，若为“+”值，表示发电机电压高于系统电压；若为“-”值，则表示发电机电压低于系统电压。可以调节发电机的励磁来改变发电机电压或者调整无穷大电源调压器来改变系统电压，使两侧电压差接近为零值。

“同期表”中反映两侧频率差的频率表，若为“+”值，此时，反映两侧电压相角差瞬时值的指针会作顺时针旋转，这表示发电机频率高于系统的频率；若频率表为“-”值，指针会逆时针旋转，则表示发电机的频率低于系统的频率，使两侧频率达到相同，只有调节原动机的转速来实现。

当满足准同期并列条件时，按下“发电机开关”的“红色按钮”其“红色按钮”的指示灯亮，“绿色按钮”的指示灯灭，表示同步发电机已并入系统。

应该特别指出，按下“发电机开关”的“红色按钮”（发出合闸命令）到发电机并列开关触头接通，有一个小的时间间隔（约 30ms）。当准同期并列要并列开关触头接通的瞬间，两侧电压相角差的瞬时值为零（“同期表”的转差指针在中间位置），即合闸角为零。因此，通常要使两侧电压的频率有很小的差，使转差指针缓慢转动（通常让发电机的频率略高，指针顺时针旋转）。这样，必须在指针趋向零值而未到零值之前按下按钮，这个提前角度称为准同期并列“合闸导前角”。合闸导前角与频率差大小有关，还与开关动作时间有关。当“合闸导前角”在操作时掌握不好，合闸角将不为零，则并列时将会产生冲击（可以从发电机的有功、无功、电流、电压等表计摆动中看到）。

注意:

发电机同期并列成功后，“同期表”中的频率表、电压表均指示为零、转差指针也停在中间而不再转动。但是，“同期表”上仍施加着发电机并列开关两侧的电压（虽然完全相同），同期表按规定不允许长期带电工作，为此，必须将“同期表”退出工作，即将“同期方式”开关切换到“OFF”位置即可。

第五章 同步发电机的解列与停机

§ 5.1 同步发电机的解列操作

同步发电机的解列操作步骤与开机操作步骤是一个逆过程。首先调节发电机的励磁和原动机的功率，使发电机输出的有功和无功功率为零（或电流表为零），然后按下“发电机开关”的“绿色按钮”，其“绿色按钮”的指示灯亮，“红色按钮”的指示灯灭，表示发电机并列开关已断开，发电机已与系统解列。

§ 5.2 同步发电机的灭磁操作

发电机与系统解列后，应检查发电机的励磁在此次试验中是采用哪种方式。

如果是采用的“手动励磁”方式，则应将“手动励磁”旋钮逆时针旋至最小，然后按下“励磁开关”的“绿色按钮”，此时其“绿色按钮”的指示灯亮，“红色按钮”的指示灯灭，表示发电机励磁开关已断开，实现了发电机的灭励磁操作。

如果励磁是采用的“微机它励”或者“微机自并励”的微机自动励磁方式，则有三种灭磁方式。

1. 手动逆变灭磁

手动按下“微机励磁调节器”上的灭磁按钮，则可控硅工作在逆变状态，发电机转子实行逆变灭磁，“触发脉冲”的指示灯“+A、-C、+B、-A、+C、-B、”熄灭，此时逆变灭磁完成，然后按下“操作面板”上的“励磁开关”的“绿色按钮”，断开发电机的励磁回路，为下一次开机作准备。

2. 自动低频逆变灭磁

停机前不操作发电机励磁系统的任何按钮，当发电机频率降至 43Hz 以下时，“微机励磁调节器”会自动执行低频灭磁功能，实现自动逆变灭磁，此时可以跳开发电机的励磁开关。

3. 手动跳励磁开关灭磁

直接按“操作面板”上“励磁开关”的“绿色按钮”，此时其“绿色按钮”的指示灯亮，表示发电机的励磁开关已断开发电机的励磁绕组通过灭磁电阻进行灭磁。

§ 5.3 同步发电机组的停机操作

发电机组在停机前，应检查“微机调速装置”在此次试验中发电机组是采用哪种开机方式。

开机方式共有“模拟方式”、“微机手动方式”、“微机自动方式”三种方式供选择。

1. 模拟方式

在“模拟方式”开机情况下，则应在“模拟调节”单元逆时针缓慢旋转指针电位器，使其指针为零，此时“输出零”指示灯亮，同时可观测到“原动机电压”表的直流电压下降直至为零，待机组停止以后，按下“操作面板”上“原动机开关”的“绿色按钮”，此时其“绿色按钮”的指示灯亮，“红色按钮”指示灯灭，表示原动机的动力开关已断开，同时“冷却风扇”停止工作，功率角指示器频闪灯灭。

2. 微机方式

在“微机手动方式”或者“微机自动方式”下，松开“停机/开机”按钮即为停机状态。此时，“开机”指示灯灭，“停机”指示灯亮，控制参数递减直至变为零，发电机减速，逐渐停止转动。然后跳开“原动机开关”以及“冷却风扇”和“功率角指示器频闪灯”电源开关，为下一次开机作准备。

第六章 模拟输电线路

在实际电力系统中的远距离输电，往往采用双回路输电线路并设中间开关站来提高暂态稳定，在本试验台中输电线路按双回路来模拟，并将每回线路分成两段，也设置了中间开关站。双回输电线路接线示意图如图 7 所示。

每相的电抗参数设定为：

$$XL_1=XL_2=20\Omega; XL_3=XL_4=40\Omega。$$

短路点的 N 相对发电机中性点电抗为 8Ω ；

短路点的 N 相对无穷大电源的中性点电抗为 12Ω 。

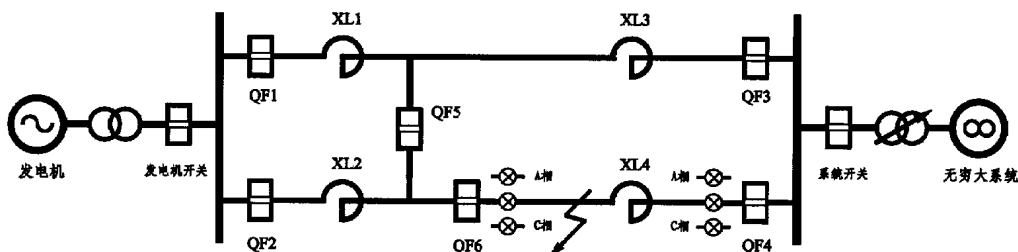


图 7 双回输电线路接线示意图

在进行暂态稳定试验时，在输电线路 XL4 上发生短路故障，继电保护要将线路 XL4 切除。即跳“QF4”、“QF6”线路开关，此开关为分相操作开关，圆形的红色指示灯分别代表“QF4”、“QF6”的 A 相、B 相、C 相的三个单相开关状态，为后面叙述方便，称该线路为“可控线路”，其它线路仅能用手动进行操作，称为“不可控线路”。

§ 6.1 “不可控线路”的操作

此线路由两端开关“QF1”和“QF3”来接入系统，按下开关“QF1”的“红色按钮”，其“红色按钮”的指示灯亮，“绿色按钮”的指示灯灭，表示开关

“QF1”已投入；按下开关“QF3”的“红色按钮”，其“红色按钮”的指示灯亮。“绿色按钮”的指示灯灭，表示开关“QF3”已投入。至此，“不可控线路”便接入到无穷大系统母线和发电机端线之间。

线路的切除操作与投入操作相似，只是按下的是两端开关“QF1”和“QF3”的绿色按钮，其指示灯的亮灭与投入操作相反而已。

§ 6.2 “可控线路”的操作

在“可控线路”上预设有短路点并在线路上装设有“YHB-Ⅲ型微机保护装置”，可控制“QF4”、“QF6”开关的跳合，对“可控线路”实现过流保护，并具备有重合闸功能。因此，为了实现非全相运行和按相切除，则“QF4”、“QF6”开关的绿色按钮具有跳闸位置的绿色指示灯，按钮旁边设有表示各相开关合闸位置的圆形红色指示灯。

与“不可控线路”的投入操作相似，分别对开关“QF4”、“QF6”、“QF2”的“红色按钮”进行操作，使之三个开关投入，即可以完成“可控线路”全线接入系统。指示灯的亮灭与“不可控线路”略有不同。“QF4”和“QF6”投入后，其“红色按钮”指示灯不亮，但两端表示各相工作的圆形指示灯亮，“QF2”投入后，其“红色按钮”指示灯亮，绿色指示灯灭。

§ 6.3 中间开关站的操作

中间开关站是为了提高电力系统的暂态稳定性而设计的，当设有中间开关站时，如果双回路中有一回路发生严重故障，则整条线路将被切除，线路总阻抗将增大一倍，这对暂态稳定是很不利的。

如果设置中间开关站，即通过开关“QF5”的投入将双回线路在由发电机端算起全长的 $1/3$ 处并联起来，则将 QF2 切除，线路总阻抗只增大 $1/3$ ；如果在 XL4 线路段发生短路时，保护将 QF4 和 QF6 切除，线路总阻抗也只增大 $2/3$ ，与无中间开关站相比，这将提高暂态稳定性。

中间开关站的设置和退出，是通过对“QF5”的相应投、切操作来完成的，对开关“QF5”的投切操作及指示灯的变化，与前面许多按钮操作的开关投切操作的叙述类似，这里就不再重复了。

长江大学

第七章 微机线路保护的整定

§ 7.1 YHB-A 型微机保护装置

YHB-A 型微机保护装置是专为实验教学设计的装置,它是采用当今先进的软、硬件技术开发的新一代微机保护产品。它主要用于电力类专业的实验教学,其主要特点是:

1. 采用高性能的 80C196 为主体,具有很好的稳定性和极高的可靠性;
2. 数码管显示各种信息,操作简单、灵活,调试方便,有利于教学活动;
3. 完善的事故分析功能。包括保护动作事件记录、事件顺序记录和保护投退—装置运行—开入记录;
4. 保护装置整定值可进行浏览和修改;
5. 装置自身具有良好的自诊断功能;
6. 封闭、加强型单元机箱结构,可分散或集中安装于开关柜或实验台上运行;
7. 现场手动跳、合闸操作,便于处理紧急事故;
8. 具有过流选相跳闸、自动重合闸功能。

7.1.1 微机保护装置面板介绍

微机保护装置的面板示意图如图 8 所示。

微机保护装置面板布置示意图分成六个区域:

1. 面板正中上层为数据信息显示屏区域;
2. 面板左上角为信号指示灯区域;
3. 面板左下角为电流波形测试区域;
4. 面板右上角为手动跳、合闸操作区域;
5. 面板右下角为装置电源开关;

6. 面板正中下层区域为保护装置进行人机对话的键盘输入区。

显示屏为数码管构成也可为液晶显示屏，当显示屏由数码管构成时，其明亮的特点尤其适用于教学装置的要求。



图 8 YHB-A 微机保护装置面板图

7.1.2 装置面板各部分的功能

1. 显示屏

微机保护的显示内容分为四个部分，即正常运行显示、故障显示、整定值浏览和整定值修改。

正常运行显示内容根据不同的保护有不同的项目，每项显示由类型代码和反映其测量大小的数据组成；

故障显示是在装置检测到故障并满足预先设定的条件后自动从正常显示状态切换到故障显示画面，本保护装置的故障显示由七个画面组成，相应记录过去七次故障数据，最近的故障画面在最上层，通过“▲”或“▼”键可浏览所有画面，且浏览过程是连续进行的，即当到达第七个故障画面时，再

按“▼”键时将显示第一个画面，当到达第一个画面时，再按“▲”键将显示第七个画面的内容，每个故障画面包含了故障的类型和故障电流的大小；

整定值浏览可观看装置的保护设置情况，但不能够修改整定值的大小；在进入整定值修改画面后，可通过使用“▲”、“▼”键可观看装置的保护设置情况，通过配合使用“+”、“-”键可修改整定值的大小或设置性质，具体操作方法见后面的装置整定值设置部份说明。

当采用数码管时，每次显示由类型代码及反映测量大小的数据组成，其相关代码如下表所示：

显示画面类型	显示屏内容及含意	
正常显示画面	1A-XXX	A 相电流幅值，XXX 表示电流幅值的大小（以下同）。
	1B-XXX	B 相电流幅值
	1C-XXX	C 相电流幅值
故障显示画面	GA-XXX	A 相过电流
	Gb-XXX	B 相过电流
	GC-XXX	C 相过电流
	GL-XXX	非单相过流
	-CH-A-	A 相重合闸
	-CH-b-	B 相重合闸
	-CH-C-	C 相重合闸
	--JS--	加速跳闸
	--┐A--	主板芯片 62256 故障
	--┐0--	主板芯片 27C256 故障
	-8255-	主板芯片 8255 故障

说明：

- (1) 数码管显示由六位组成，前三位显示表示变量的代码，后三位显示

的是其幅值大小。

(2) 过流故障保护动作时，显示的前三位构成故障的类型，后三位是保护动作时故障电流幅值的大小。

(3) 过流故障保护动作时启动显示面板上的相应指示灯。

(4) 装置故障时只显示故障代码。

2. 指示灯

在面板左上角的指示灯区域，“装置运行”指示灯反映了程序的运行状况，当此指示灯闪烁时表示程序运行正常；“操作电源”指示灯反映了操作电源的状况，当装置的出口继电器没有操作电源时此指示灯将熄灭；“A 相过流”指示灯点亮表示 A 相电流幅值超过了整定值，装置已经发出了 A 相跳闸命令；“B 相过流”指示灯点亮表示 B 相电流幅值超过了整定值，装置已经发出了 B 相跳闸命令；“C 相过流”指示灯点亮表示 C 相电流幅值超过了整定值，装置已经发出了 C 相跳闸命令；当这三个过流指示灯同时点亮时表示手动分闸操作，或发生了加速跳闸操作（这时显示屏内容为“—JS—”），或发生了非单相过流故障（这时显示屏内容格式为“GL—XXX”），或接触器位置信号变化发生持续时间没有超过 10ms，就发生了单相故障。

3. 电流波形测试区域

由“ I_A ”、“ I_B ”、“ I_C ”、“COM”四个微机电压测试孔组成故障电流测试，可用存贮示波器，记录故障时的 I_A 、 I_B 、 I_C 短路电流。

4. 手动跳合闸操作区域

由合闸、分闸和选择三个按钮组成了手动分、合闸操作区域。当同时按压“选择”按钮和“合闸”按钮时，将进行手动合闸操作，这时可将线路两侧的 6 个接触器同时合上；当同时按压“选择”按钮和“分闸”按钮时，将进行手动分闸操作，这时可将线路两侧的 6 个接触器同时分开。

5. 装置电源开关

装置电源开关位于面板的右下角。当开关打向“ON”侧时就接通了装置的工作电源，保护装置开始工作；当开关打向“OFF”侧时就断开了装置的工作电源。

作电源，保护装置停止工作。

6. 键盘输入区域

键盘输入区域位于装置的正中下层位置。它们是进行人机对话的纽带，其每个触摸按键的作用如下所示：

画面切换——用于选择微机的显示画面。微机的显示画面由正常运行画面、故障显示画面、整定值浏览和整定值修改画面组成，每按压一次“画面切换”按键，装置显示画面就切换到下一种画面的开始页，画面切换是循环进行的。

▲ —— 选择下一项按钮，主要用于选择各种整定参数单元。

▼ —— 选择上一项按钮，主要用于选择各种整定参数单元。

信号复位 —— 用于装置保护动作之后对出口继电器和信号指示灯进行复位操作。

主机复位 —— 用于对装置主板 CPU 进行复位操作。

+ —— 参数增加按钮，主要用于修改整定值单元的数值大小。

- —— 参数减小按钮，主要用于修改整定值单元的数值大小。

另一个按钮是为了进一步开发所保留的按钮，现阶段没有使用。

§ 7.2 微机保护装置整定值设置

本装置有两种定值类型：投退型（或开关型）和数值型。定值表中（或定值显示）为 ON/OFF 的是保护功能投入/退出控制字，设为“投入”时开放本段保护，设为“退出”时退出本段保护。

整定时不使用的保护功能应将其投入/退出控制字设置为“退出”。

采用的保护功能应将其投入/退出控制字设置为“投入”，同时按系统实际情况，对相关电流、电压及时限定值认真整定。

本装置中与整定值有关的显示画面有两种类型：整定值浏览和整定值修改。

在整定值浏览显示画面时，只能够通过使用触摸按键“▲”、“▼”观看整定值的设置情况，但不能够对其进行修改。

在输入密码正确的情况下可进入整定值修改显示画面，这时的整定值是可以进行修改的。进入整定值修改显示画面的方法：多次按压“画面切换”触摸按钮直到出现输入密码画面（当显示选择为数码管时，要等到出现显示[PA-]画面），再通过按压触摸按钮“+”或“-”输入密码，待密码输入好后按压触摸按键“▼”，这时，如果输入密码正确就可进入整定值修改显示画面，否则将不能够进入。

进入整定值修改显示画面的简捷方法：同时按压触摸按键“▲”和“▼”。

在进入整定值修改显示画面之后，通过按压触摸按键“▲”、“▼”可选择不同的整定项目，对投退型（或开关型）整定值，通过按压触摸按钮“+”可在投入/退出之间进行切换；对数值型整定时，通过触摸按钮“+”、“-”对其数据大小进行修改。当整定值修改完成之后，按压“画面切换”触摸键进入定值修改保存询问画面，这时，显示画面内容为“y n -”，选择按压触摸键“+”表示保存修改后的整定值；若选择按压触摸键“-”，则表示放弃保存当前修改的整定值，仍使用上次设置的整定值参数。

本装置的所有整定值参数均保存在非易失性的 E²PROM 芯片 X25043 之中。X25043 除了保存整定值参数外，它还具有低电压复位和软件看门狗的功能。

值得注意的是：

- 1. 电流显示系数和电压显示系数的数值大小是装置在出厂时已经调整好的，用户不应该对其再进行修改。**
- 2. 当装置显示画面为非正常运行画面时，若在 10 秒钟内没有对任何触摸按钮进行操作，则会自动切换到正常运行显示画面。特别是在进行整定值修改时，若被自动切换到正常运行显示画面，就意味着在此前进行的整定值修改将不起作用。**

3. 整定值参数的取值范围、步长可根据用户的要求进行。

采用数码管作显示时，整定值代码及所表示的含义见下表所示：

定值显示序号	综合自动化保护单元箱保护单元箱显示屏内容及含意
01	过流保护动作延迟时间
02	重合闸动作延迟时间
03	过电流幅值整定值
04	过流保护投切选择
05	重合闸投切选择
06	电流显示系数
PA-	微机保护单元箱新密码设置

说明：

整定值显示格式：XY-ABC

其中：XY 表示整定值显示序号；ABC 表示对应整定值的大小或性质。

§ 7.3 整定值修改示例与注意事项

通过结合综合自动化装置各单元箱的整定值的不同设置可达到实现不同实验的目的。保护装置整定值的修改比较简单，方法之一是通过“画面切换”按键进入整定值修改显示画面，在输入正确的密码后就可改变整定值的大小

或性质；方法之二是通过同时按压触摸按键“▲”和“▼”就可直接进入整定值修改显示画面，再通过按“▲”或“▼”键到达准备修改的显示参数，通过“+”或“-”键进行。例如，要修改重合闸动作时间为 1.5 秒，可依下面的步骤进行：

1. 同时按压触摸按键“▲”和“▼”直接进入整定值修改显示画面，这时显示画面为“01--XXX”（XXX 为过流保护动作时间）；

2. 按压触摸按键“▼”，使显示画面为“02--XXX”（XXX 为上次设置的重合闸延时时间）；

3. 按压触摸按键“+”或“-”键，使显示画面中的 XXX 为 1.5 秒；

4. 按压触摸按键“画面切换”键，这时显示画面应为“y n-”（它提醒操作人员：选择按压触摸按键“+”键，就可保存已经修改了的整定值；选择按压触摸按键“-”键，就表示放弃当前对整定值参数进行的修改，继续使用上次设置的整定值。）；

5. 按压触摸按键“+”键，保存对整定值参数所作的修改。不管所选择的按键是“+”键、还是“-”键，按键后的显示画面应为正常显示的第一个画面。

整定值修改完成之后，可通过整定值浏览画面观察修改后的参数设置情况。

注意事项：

1. 在做单相故障和重合闸实验时，单相故障的时间应该选择在接触器合闸 10 秒之后进行，否则，在故障发生时将会跳三相，并显示“GL-XXX”，且不会进行重合闸操作。

2. 本装置中，非单相故障，或接触器合闸后 10 秒内的单相故障，满足跳闸条件时将同时分开三相接触器，且不能够进行重合闸操作。

3. 重合闸操作进行后，若故障仍存在，装置将发出加速跳闸命令，同时分开三相接触器。

第八章 短路故障的模拟

§ 8.1 故障类型的选择与操作

短路类型共有单相接地、两相短路、两相短路接地和三相短路四种，通过“操作面板”上与模拟接线图结合在一起的四个名为“A相”、“B相”、“C相”、“N相”的自锁按钮分别操作四个开关，使其接通或断开，便可组合出上述四种短路类型来。

这四个自锁按钮的特点是：按下按钮，按钮自锁，其红色指示灯亮，代表对应的开关被投入；再按一下按钮，使其弹起复位且指示灯灭，表示对应的开关被断开，也就是说，自锁按钮的按动可以产生两个控制动作。

§ 8.2 短路发生的操作

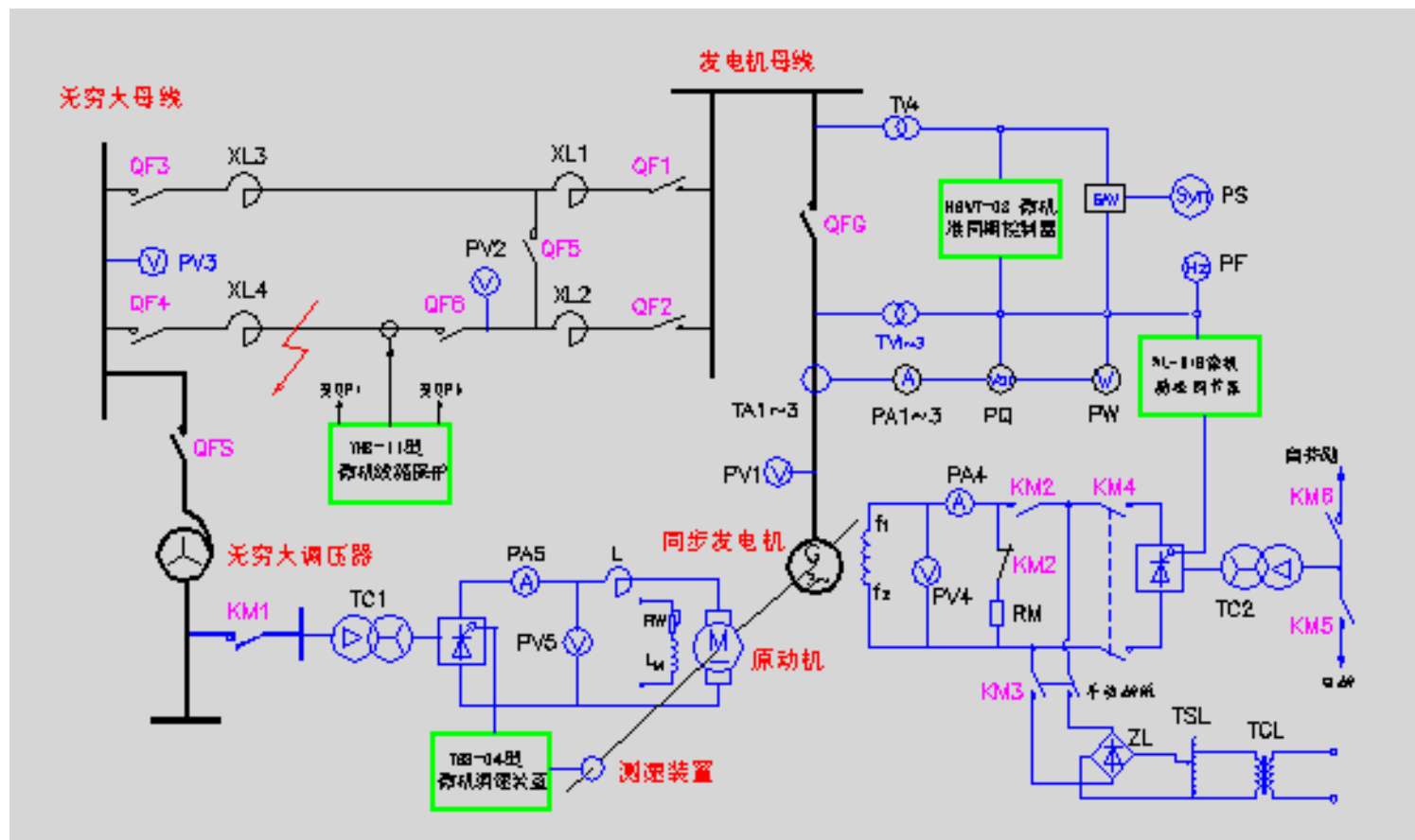
从“操作面板”的模拟图上可以看到，由于“短路”开关并未投入，因此，短路故障尚未“发生”。

发生短路应在调整好试验电力系统的运行状态以后才出现的，因此，此项操作也是在调整好电力系统进行短路试验所要求的运行状态（例如发电机输出的有功、无功、电压、无穷大系统电压等）后才做的。

“短路”按钮是一个自复位按钮，当按下“短路”按钮，表示短路开关投入，即发生短路故障（在短路类型选择已完成的前提下）。短路故障发生后，启动“短路时间”继电器，达到整定时间后自动切除故障。故在按下“短路”按钮之前一定要整定好“短路时间”，看清楚“sec（秒）”和“min（分）”的选择以及对应的“×1”和“×10”的选择，并将微机线路保护装置整定好。

注意事项:

1. 电力系统的故障一般都是以“秒”为单位,故障时间继电器应选择“sec”的位置,当量程选为($\times 1$)时即最大故障时间为1";当量程选为($\times 10$)时,则最大故障时间为10";
2. 故障时间的整定一定要与微机线路保护的整定相配合。
3. 当操作失误故障无法消除时,可迅速将已选择的故障类型开关复位,使“A相”、“B相”、“C相”、“N相”开关均复位,即“短路”开关无法真正工作。



附录一：试验台一次系统原理接线图



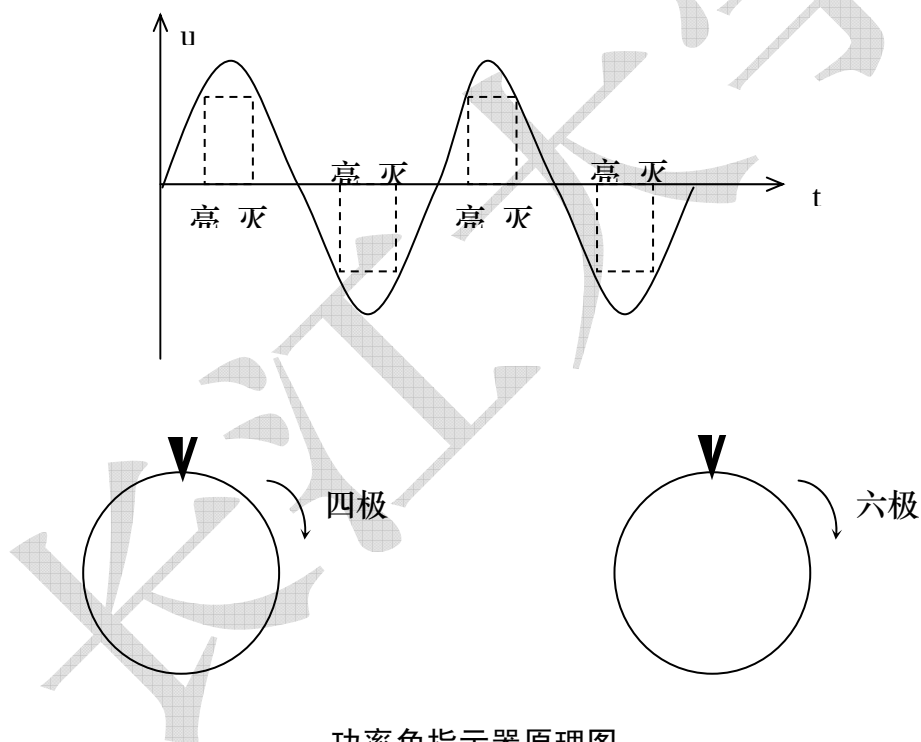
附录二：试验台台面布置示意图

附录三：功率角指示器原理说明

同步发电机组装有功率角指示器装置，用它来测量发电机电势与系统电压之间的相角 δ ，即发电机转子相对位置角。

一般实验室是采用闪光测速原理来测量功角 δ 。即在发电机轴上固定一个圆盘，根据发电机的极数，在圆盘上画上相应数量的箭头，如发电机是四极的或者六极，则在圆盘上相应画上四箭头或者六箭头（如图所示）。

闪光灯采用普通日光灯管，因为日光灯管要在两端电压达到一定值时，才会放电发光，因此，加上交流电压时它便按交流电压的频率变化而闪光。正常时，由于所加交流电压较高，闪光持续时间较长。如果控制交流电压频率的幅值或使之波形变为尖峰波，则闪光持续时间缩短，只有它在电压达到



功率角指示器原理图

最大值时刻才闪光。这样，日光灯管的闪光时刻便可以代表所施电压的相位，并且转盘箭头清晰。

另外闪光灯的电源是从“无穷大电源”取得的，所以闪光灯的频率是系统频率，因为闪光灯是发闪的。电压高时最亮，否则熄灭，因此一秒钟内有100个最亮点，100个不亮点，当最亮时，人的眼睛能看到箭头，否则看不见。

如果电机的旋转一周所需的时间与闪光灯两次闪光的间隔时间相等或整数倍，则箭头每次到达同一位置时便能看见它。这样，我们便可看见箭头好像停在一个地方不动。我们称此时发电机电压频率与无限大电源频率同步。

如果电机的旋转速度小于同步转速时，即每当闪光最亮时，箭头没有达到前一个最亮瞬间所处的位置，因此箭头如像往后倒退；反之如果电机的旋转速度大于同步转速，则箭头好似往前转一样。每分钟向前转的转数，就表示每分钟大于同步转速的转数。

当发电机与系统并网以后（冲击电流很小），即发电机电势 E_q 与系统电压 U_s 的频率同相，则功率角 $\delta=0$ ，此时箭头所指位置，表示为 $\delta=0$ 的位置。调整机架上的刻度盘，将零刻度值对准箭头，即为功角测量调零。

当增加发电机有功功率输出时，功角 δ 将增大到 $\delta=\delta_0$ 的值，即发电机电势 E_q 超前系统电压 U_s 。当箭头转到 E_q 为最大值的位置时，而电压 U_s 尚未到达最大值，日光灯不闪光，所以看不到箭头，要等箭头再转一个角度后，电压 U_s 才达到最大值，即日光灯闪亮，我们便看见箭头指向新位置，这新的位置与原来 $\delta=0$ 的位置间的夹角，便是功角 δ_0 ，刻度角都是按该发电机的电角度来刻划的，所以可以直接从刻度盘上读出 δ 的电角度值。

附录四：WL-04B 微机励磁调节器显示量的说明

WL-04B 微机励磁调节器的显示量共有 19 个：

1. 发电机机端电压给定值 U_G	U9	380.0
2. 发电机机端电压基准值 U_B	Ub	380.0
3. 发电机机端电压励磁专用电压互感器测量值 U_1	U1	380.0
4. 发电机机端电压仪表用电压互感器测量值 U_2	U2	380.0
5. 发电机端电压	UF	380.0
6. 发电机并列母线电压 U_S	US	100.0
7. 发电机励磁电流给定值 I_{LG}	IL9	1.00
8. 发电机励磁电流 I_L	ILdC	1.00
9. 发电机励磁电压 U_L	UL	20.0
10. 发电机频率 F	F	50.00
11. 发电机输出有功功率 P	P	16000
12. 发电机无功功率给定值 Q_G	q9	1200
13. 发电机输出无功功率 Q	q	1200
14. 发电机低励限制	qL	0.00
15. 全控桥控制角 α	LL	80.1
	IA	3.000
16. 发电机 A 相电流 I_A		

17. 发电机 B 相电流 I_B	I b	3.000
18. 发电机 C 相电流 I_C	I c	3.000
19. 发电机出口对无穷大系统功率角	d d	20.0

长江大学

长江大学