

电力系统自动装置

# 实验指导书

田建设 编写

华北电力大学  
2007.09

## 目录

实验一 励磁调节器实验	- 1 -
1. 概述	- 1 -
1.1 实验目的	- 1 -
1.2 实验要求	- 1 -
1.3 实验设备与仪器仪表	- 1 -
1.4 关于实验内容	- 1 -
2. 励磁调节器开环实验	- 1 -
图 1-2 AVR-2 原理电路图	- 2 -
2.1 测量比较单元实验	- 3 -
2.1.1 整流和低通滤波器电路实验	- 3 -
2.1.2 正序滤过器实验	- 3 -
2.1.3 测量比较单元整组实验	- 3 -
2.2 综合放大单元实验	- 4 -
2.3 适应单元实验	- 4 -
2.3.1 适应单元实验 1	- 4 -
2.3.2 适应单元实验 2	- 5 -
2.4.1 移相电路实验	- 6 -
2.4.2 移相触发与可控整流电路联合实验	- 6 -
2.5 整组装置静态工作点测试与调整实验	- 6 -
2.6 整组装置静态工作特性测试实验	- 8 -
2.6.1 励磁调节器静态工作特性实验	- 8 -
2.6.2 励磁调节器电压给定特性实验	- 9 -
3. 发电机励磁控制闭环实验	- 9 -
3.1 发电机空载调压实验	- 10 -
3.2 发电机带载自动调压实验	- 10 -
3.3 发电机励磁控制系统其他实验	- 11 -
实验二 自动准同期装置及自动并列实验	- 12 -
1. 概述	- 12 -
1.1 实验目的	- 12 -
1.2 实验要求	- 12 -
1.3 实验设备与仪器仪表	- 12 -
1.4 关于实验内容	- 13 -
2. 自动准同期装置实验	- 13 -

2.1 利用滑差电压观察准同期条件实验 .....	- 13 -
图 2-3 ZZQ—5G 原理电路图 .....	- 14 -
2.2 合闸控制单元实验 .....	- 15 -
2.2.1 观察电路波形实验 .....	- 15 -
2.2.2 定值测试与调整实验 .....	- 16 -
2.2.3 合闸控制单元整组实验 .....	- 17 -
2.3 均频控制单元实验 .....	- 18 -
2.3.1 观察电路波形实验 .....	- 18 -
2.3.2 均频脉冲整定范围测试实验 .....	- 18 -
2.3.3 滑差过小自动增速功能实验 .....	- 19 -
2.3.4 均频控制单元整组传动实验 .....	- 19 -
2.4 均压控制单元实验 .....	- 19 -
2.4.1 电压差测量电路调整与测试实验 .....	- 19 -
2.4.2 电压差判别电路调整与测试实验 .....	- 20 -
2.4.3 均压脉冲发生器测试实验 .....	- 20 -
2.5 自动准同期装置整组实验 .....	- 21 -
3. 发电机自动准同期并列实验 .....	- 22 -
3.1 基于发电机同期仿真测试仪的自动准同期并列实验 .....	- 22 -
3.1.1 实验接线 .....	- 22 -
3.1.2 装置投运 .....	- 22 -
3.1.2“假”并列实验 .....	- 23 -
3.1.3 自动准同期并列实验 .....	- 23 -
3.2 基于动模发电机组的自动准同期并列实验 .....	- 24 -
3.2.1 实验接线 .....	- 24 -
3.2.2 自动准同期并列实验的操作步骤 .....	- 24 -
3.2.3 结束自动准同期并列实验的操作步骤 .....	- 24 -

## 实验一 励磁调节器实验

### 1. 概述

同步发电机的励磁控制是发电机运行控制中的重要内容之一。励磁调节器作为励磁控制系统中的控制器，在发电机及电力系统的运行中起着十分重要的作用。掌握典型励磁调节器的作用、构成原理，了解对基本励磁调节器实验调整的一般方法，是“电力系统自动化”课程的任务之一。前者主要通过课堂教学实现，后者则是本实验的要完成的任务，也是对前者的补充和深化。

在开始实验之前，应对实验目的、要求、实验设备和所选实验内容有较清楚的了解。

#### 1.1 实验目的

- (1) 增强对可控硅励磁调节器工作原理与作用的感性认识，掌握励磁调节器实验调整的一般方法。
- (2) 训练分析、解决问题的能力 and 动手能力。

#### 1.2 实验要求

- (1) 复习励磁调节器的工作原理。
- (2) 预习本实验指导书，对实验内容、实验方法和仪器设备有清楚的了解。
- (3) 对实验中出现的各种现象要细心观察、认真分析，并做好实验记录。
- (4) 遵守实验纪律，爱护仪器设备，注意人身和设备安全。
- (5) 认真撰写实验报告。报告内容应包括实验项目、实验记录、结果、分析及结论等。对实验中出现的的问题及其处理方法、对实验的改进意见等也可以反映在实验报告中。

#### 1.3 实验设备与仪器仪表

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| (1) AVR-2 励磁调节教学实验装置          | 1 台                                       |
| (2) 三相自耦调压器                   | 1 台                                       |
| (3) 滑线电阻器 (50 $\Omega$ / 5 A) | 1 台 (若不做大电流实验, 可改用 100 $\Omega$ / 1A 电阻器) |
| (4) 低频双踪示波器                   | 1 台                                       |
| (5) 数字或模拟万用表                  | 2 块                                       |
| (6) 动模机组及其附属设备                | 1 套 (用于闭环实验, 开环实验不用)                      |

#### 1.4 关于实验内容

利用 AVR-2 励磁调节教学实验装置可以开设的实验项目较多。它们之间既有相关性，也有独立性。由于各专业（方向）的教学要求不尽相同，实验指导教师可以根据教学要求和实验学时选择有关内容。

### 2. 励磁调节器开环实验

开环实验接线图如图 1-1 所示。AVR-2 原理电路图如图 1-2 所示。AVR-2 的测量输入端有两组，其中  $V_{GA}$ 、 $V_{GB}$ 、 $V_{GC}$  额定线电压为 380V； $V_{Ga}$ 、 $V_{Gb}$ 、 $V_{Gc}$  额定线电压为 100V。

两组输入端不能同时使用，更不能互换使用！

一般情况下推荐使用 380V 输入。两组输入最大值都不能超过 120% 额定电压。

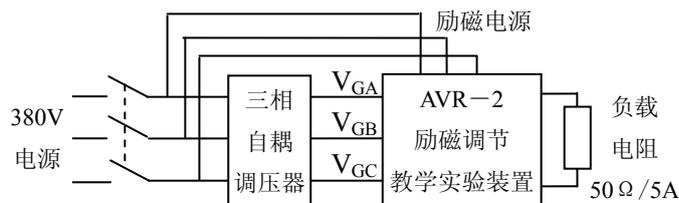


图 1-1 AVR-2 开环实验接线图

# A V R - 2 励磁调节教学试验装置

华北电力大学

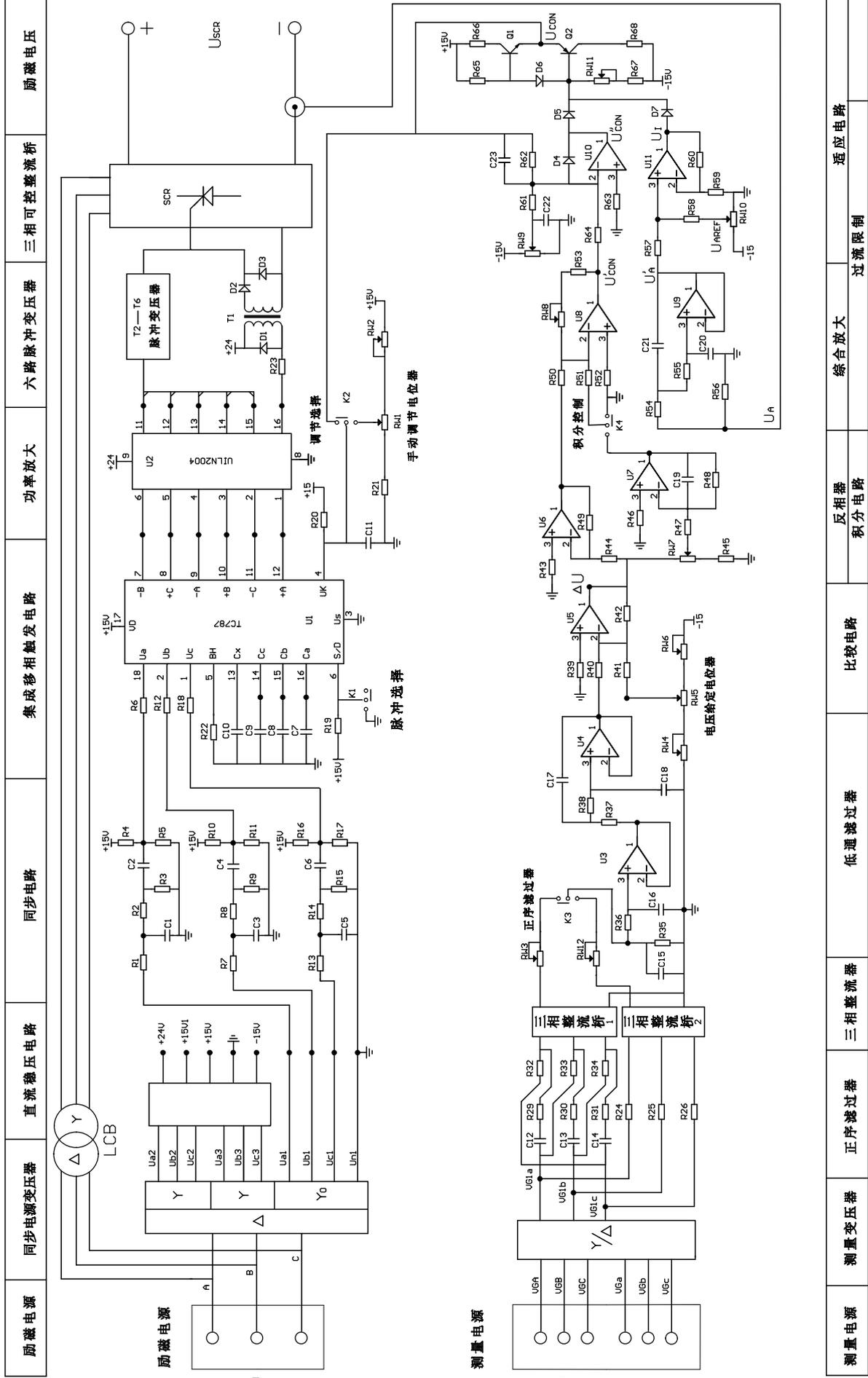


图1-2 AVR-2 原理电路图

## 2.1 测量比较单元实验

测量比较单元的任务是：测量发电机的端电压；将测量电压与给定电压相比较得到两者的偏差。

对测量比较单元的要求是：输出平稳（纹波小）、反应迅速。

本实验装置的测量比较单元由电压测量、电压给定和比较三部分电路构成。测量部分包括测量变压器、正序电压滤过器、两组整流桥电路、两组信号调理电路、低通滤波器(U4)，它们把被测三相交流电压转换为与之成正比的直流电压 ( $V_G'$ )。两组整流桥和信号调理电路由开关 K3 切换，以选择正序滤过器的投切。电压给定值  $V_{REF}$  由电压给定电位器 Rw5 对-15v 电源分压获得。比较电路(U5)为典型的反相加法器。

### 2.1.1 整流和低通滤波器电路实验

K3 放置在正序滤过器“投”位置。调节三相自耦调压器的输出电压  $V_G$  为额定值 (380V)。用双踪示波器对照观察三相整流电路输出电压  $V_{RECI}$  波形和低通滤波器输出电压  $V_G'$  波形，记录在图 1-3 中。测量它们的电压值，记录在表 1-1 中。

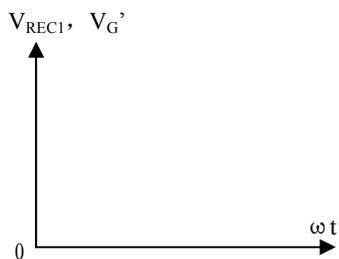


图 1-3 整流和滤波电路波形

表 1-1 整流和滤波电路测试数据

	平均值	纹波	
		有效值	峰峰值
$V_{RECI}$			
$V_G'$			

测量之前**请考虑**：怎样测量电压的平均值、有效值和峰峰值？

### 2.1.2 正序滤过器实验

当输入的三相线电压不对称时，其中就含有了负序分量。此时两组整流电路输出将会不同，没有正序滤波器的一组输出波形将畸变。如果三相电压对称，两组整流桥输出波形相似（一般如此）。此时如果要观察或检测正序滤过器的性能，就需要在输入电压中加入负序电压。怎样加入负序电压呢？

试设计一个检测该正序滤过器的实验方法，经指导教师认可后实施。该项实验报告中应包括实验方法、实验数据、分析和评价结论。

### 2.1.3 测量比较单元整组实验

(1) 测取实验数据。K3 放置在正序滤过器“投”位置。电压给定电位器 Rw5 取不同的值（即给定不同的  $V_{REF}$ ），调节三相自耦调压器的输出，获得不同的测量电压  $V_G$ ，测取测量单元的输入输出数据，填写在表 1-2 中。对每一个给定的 Rw5 值（即对应的  $V_{REF}$  值），只需测量三组数据。其中关键的是使比较器（U5）输出  $\Delta U = 0$  的那一组，然后以此为基础，上下偏移一定量即可。

**注意**： $V_G$  不允许超过 120% 额定值；各个运放不应饱和。

表 1-2 整流和滤波电路测试数据

	Rw5=____圈 $V_{REF} = \text{____} V$			Rw5=____圈 $V_{REF} = \text{____} V$			Rw5= 8 圈 $V_{REF} = \text{____} V$			Rw5=____圈 $V_{REF} = \text{____} V$			Rw5=____圈 $V_{REF} = \text{____} V$		
$V_G$ (V)															
$V_G'$ (V)															
$\Delta U$ (V)															

(2) 绘制测量单元特性曲线。利用表 1-2 中的测量数据，在图 1-4 所给的同一坐标上绘制出 3 条  $R_{w5}$  取不同值（以圈数表示）对应的特性曲线，并标出关键的数据。



图 1-4 测量单元静态特性曲线

## 2.2 综合放大单元实验

综合放大单元的作用是对多个信号按照各自的增益进行综合放大。对它的要求是线性度好，放大倍数整定方便。

放大倍数  $K_P$  可以用 6 位平拨开关  $K_5$  分挡选择（只能有 1 位在“on”的位置）。对应于  $K_5$  的①~⑥， $K_P$  分别约为 1、3、5、7、9 和 11。也可以用电位器  $R_{w8}$  在以上 6 档的基础上往大连续调整。

综合放大单元 (U8) 有两个输入信号：反相器 U6 输出的  $\Delta U$  反相信号和积分器 U7 输出的  $\Delta U$  积分信号。故放大单元输出  $U_{CON}' = -K_P (-\Delta U - K_I \int \Delta U \cdot dt) = K_P (\Delta U + K_I \int \Delta U \cdot dt)$ ，可以实现 PI 调节。但是在开环实验时积分器必须退出，否则会使  $U_{CON}'$  饱和。想想为什么？

积分器退出后， $U_{CON}' = K_P \Delta U$ 。

放大单元的实验数据记录到表 1-3。在两个饱和点附近测取的数据应适当密集一些，同时应当用示波器监视输入输出电压波形，如果波形异常，应分析原因，排除问题后再测量。

根据实验数据绘制的放大单元静态特性曲线绘制到图 1-5。

表 1-3 放大单元实验数据

输入 $\Delta U$ (V)	
输出 $U_{CON}'$ (V)	

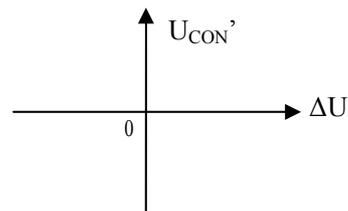


图 1-5 放大单元静态特性曲线

## 2.3 适应单元实验

适应单元的主要作用是对放大单元的输出  $U_{CON}'$  进行平移、限位变换，以适应移相触发电路的要求（参见 5.1.4）。此外还通过正竞比电路进行最大励磁电流限制。适应单元包括偏置电路、正竞比电路、最小限位角电路、射极跟随器。该单元的输出才是真正的控制电压  $U_{CON}$ 。

适应的实验可以分两步作：①不考虑最大励磁电流限制；②考虑最大励磁电流限制。

### 2.3.1 适应单元实验 1

保持测量输入电压为额定值不变。减小 SCR 的输出电流（例如使负载电阻为 50~100  $\Omega$ ），使最大励磁电流限制不起作用。电压给定电位器  $R_{w5}$  可以使  $U_{CON}'$  变化。 $R_{w9}$  可以使  $U_{CON}$  上下平移（偏置）。 $R_{w11}$  可以对  $U_{CON}$  最小值限位。

测取适应单元的输入输出数据，填写在表 1-4 中。按照表 1-4 的实验数据，在图 1-6 所给的坐标图上绘制不考虑最大励磁限制作用时的适应单元静态特性曲线。

请考虑：适应单元静态特性曲线怎样才算合适？

表 1-4 适应单元实验数据 (1)

输入 $U_{CON}'$ (V)	
输出 $U_{CON}$ (V)	

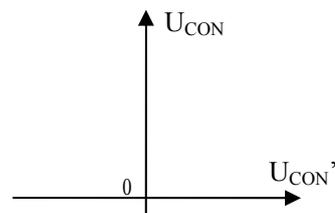


图 1-6 适应单元静态特性曲线

### 2.3.2 适应单元实验 2

本项实验的目的是考察正竞比电路和最大励磁电流限制电路的作用（升压限流作用）。

在负载电路中串接直流电流表（先要考虑好应怎样接线）监视电流。调节电压给定电位器 Rw5，使可控硅输出电压  $U_{SCR}$  约为 0V。外接电阻器约为  $10\Omega/5A$ 。用示波器监视 SCR 的输出电压。SCR 的电压波形应正常，否则要分析原因，排除故障。

实验中保持测量输入电压为额定值不变，调节电压给定电位器 Rw5，逐步增大 SCR 电压，使负载电流逐渐增大，直到电流不随 Rw5 的调节而显著增大为止（限流作用使然）。

**注意：**负载电流任何时候**不要超过 4A**！否则会烧坏电路元件。

在调节输出电压的过程中，测取负载电流  $I_L$ 、正竞比电路的两个输入（即偏置电路 U10 输出  $U_{CON}''$ 、电流比较放大器 U10 输出  $U_I$ ）和适应单元输出  $U_{CON}$  的实验数据，据填写在表 1-5 中。

限流值由电位器 Rw10 整定。限流整定值是  $U_I$  正向临界饱和点对应的负载电流值。

注：**限流整定值**出厂时已整定为 **3.5A**，实验中可以调小它，但任何时候都不能超过 3.5A。测取数据时要先找到关键点  $U_I \approx 0 < U_{CON}''$ （想一想为什么？），然后在该点两侧附近再取几点即可。

表 1-5 适应单元实验数据（2）

	Rw10=限流定值 1	Rw10=限流定值 2
负载电流 $I_L$ (A)		
输入 $U_I$ (V)		
输出 $U_{CON}$ (V)		

根据表 1-5 的实验数据，将限流电路的两条特性曲线绘制在图 1-7 中，将适应单元的竞比特性曲线绘制在图 1-8 中。将适应单元的两条竞比、限流特性曲线绘制在图 1-9 中。

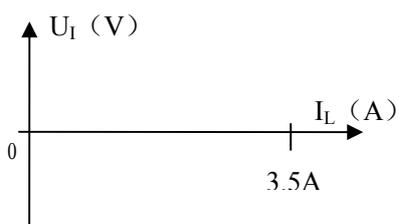


图 1-7 限流电路静态特性曲线

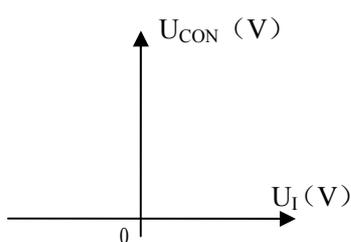


图 1-8 正竞比特性曲线

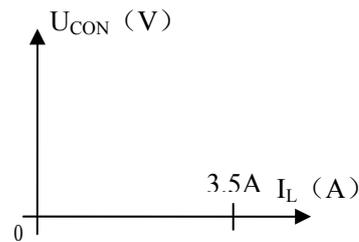


图 1-9 适应单元竞比限流特性曲线

## 2.4 移相触发单元与 SCR 主回路实验

移相触发单元的作用是把控制电压  $U_{CON}$  转换为移相触发脉冲，其移相角  $\alpha$  要与  $U_{CON}$  满足一定的函数关系。本装置的移相触发电路采用集成移相触发电路芯片 TC787。该芯片采用锯齿波移相原理，每当芯片的同步信号过 0 时，就使锯齿波回 0，在锯齿波与控制电压  $U_{CON}$  相交时产生触发脉冲。TC787 采用单一正电源供电，锯齿波是单极性的。因此要求控制电压  $U_{CON}$  也是单极性的，其动态变化范围应在锯齿波的最大最小值之间。5.1.3 中适应单元的偏置电路，就是为此而设置的。

在本装置面板图（与图 1-2 一致）上，TC787 标有  $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$  的 3 个引脚为芯片的同步信号输

入端；标有 Ca、Cb、Cc 的 3 个引脚为芯片产生的锯齿波；标有 +A、-C、+B、-A、+C、-B 的 6 个引脚为芯片输出的 6 相移相触发脉冲；标有 Uk 的引脚为控制电压输入端。

### 2.4.1 移相电路实验

第一步，用双踪示波器，一路监视同步信号  $U_{a1}$ （或  $U_{b1}$ 、 $U_{c1}$ ），另一路监视锯齿波。两个被测信号应为同一相。将观测到的结果记录在图 1-10 (a)、(b) 中。

锯齿波的最低点对应着自然换相点。想一想为什么？（提示：励磁变压器和同步变压器均为  $\Delta/Y-1$  接线，同步变压器的输出到 TC787 的同步信号引脚间有一个相位移为  $30^\circ$  的低通滤波器。）

第二步，双踪示波器的一路监视锯齿波，另一路监视移相脉冲输出。取两个不同的控制电压值  $U_{CON1}$ 、 $U_{CON2}$ （例如 1V、2V），用万用表测量并标记在图 1-10 (b) 中。将对应的两组不同移相角的移相脉冲  $U_{+A}$  分别记录在图 1-10 (c)、(d) 中。

为观察清楚起见，可以把脉冲选择开关 K1 暂时放置在“单脉冲”位置，本项实验后再恢复到双脉冲位置（想一想为什么？）。由于没有专用测量相位差的仪表和多踪示波器，图 1-10 中波形的相位关系定性绘出即可。

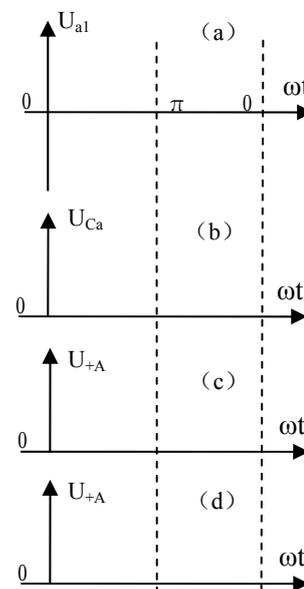


图 1-10 移相电路实验波形

请思考：三相锯齿波的相位、幅值如果不对称，原因可能在哪儿？应如何处理？

### 2.4.2 移相触发与可控整流电路联合实验

用示波器监视 SCR 三相全控桥的输出电压  $U_{SCR}$  波形，改变  $U_{CON1}$  的大小，测量输入输出实验数据，记录在表 1-6 中。数据中应当包括 SCR 的输出电压  $U_{SCR}$  从最大到到最小之间的输入输出数据，尤其是对应于  $\alpha$  为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$  等关键数据。

请注意：由于 SCR 的负载阻抗为电阻，所以当  $\alpha > 90^\circ$  时，不能符合  $U_{SCR} = 1.35U_L \cdot \cos \alpha$ 。想一想为什么？

表 1-6 移相触发与可控整流电路实验数据

输入 $U_{CON}$ (V)	
输出 $U_{SCR}$ (V)	

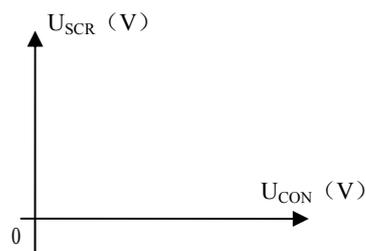


图 1-11  $U_{SCR} - U_{CON}$  特性曲线

## 2.5 整组装置静态工作点测试与调整实验

设置合适的静态工作点是为了使各单元电路在指定的范围内工作，并使各单元之间能够很好的协调配和。AVR-2 出厂时设置的静态工作点及其调整方法如表 1-7 所示，各个切换开关的功能及其出厂设置如表 1-8 所示。这些静态工作点和工作状态不是唯一的，实验时可以根据需要在不超出允许值的合理范围内调整。

表 1-7 AVR-2 静态工作点及其调整

序号	元件或参数名称	参数值或调整目标	调整部位和方法	备注
1	测量电路输出 $U_4$ ① $V_G'$	DC 10V	切换 K3 分处两个位置。 分别调整 Rw3、Rw12。	测量电压 $V_G = 380V$
2	比较电路输出 $U_5$ ① $\Delta U$	DC 0V	Rw5=8 圈, Rw4 置 $0\Omega$ 。 调整 Rw6。	以前 1 项为基础
3	综合放大电路 $U_8$ 放大倍数 $K_p$	5	K5 ③置 “on”, 其它位必须置 “off”。Rw8 阻值为最大。	K5 ①~⑥, 对应 $K_p$ 值分 别约为: 1, 3, 5, 7, 9, 11。
4	控制电压 $Q1e$ $U_{CON}$	SCR 输出电压 约为最大值的 1/2 ( $\alpha \approx 60^\circ$ )	在 $U_{11}$ ①为负值的情况下, 调整 Rw9。	以前 3 项为基础。 用示波器监视 SCR 输出电 压波形。
5	最小限位角 $\alpha_{min}$	$\alpha_{min} \leq 10^\circ$ 且无 “塌波” 现象	调整 Rw11。	用示波器监视 SCR 输 出电压波形。
6	过流限制定值	3.5A	(1) Rw5=6 圈; $V_G$ 置额定值。(2) 用 Rw5 由小到大调整输出电流升 至约 3.7A。(3)调整 Rw10, 将负 载电流限制为 3.5A。	(1) 负载电阻换为 $10\Omega/5A$ 电阻器。(2) 串接电流表 监视。(3) 调整过程中电 流不允许超过 4A !
7	手动调节电位器 Rw1 的给定范围	Rw1=10 圈时 SCR 全开放	K2 置手动位置, Rw1=10 圈。 调整 Rw2, 使 SCR 全开放且 无 “塌波” 现象。	用示波器监视 SCR 输 出电压波形。

表 1-8 AVR-2 切换开关用途及出厂设置

开关	用途	出厂设置值	开关	用途	出厂设置值
K1	单/双脉冲 选择	双脉冲	K4	积分控制 投入/退出 选择	退出
K2	自动/手动 调节 选择	自动	K5	设置放大倍数 $K_p$	5 (K5③“on”)
K3	正序滤过器 投入/退出 选择	投入			

实验中, 首先参照表 1-7、表-8 所给出的工作点测试检验当前的参数; 然后根据需要 (教师指定、后续实验要求或假设的恰当理由, 也可以选择出厂设定值) 设计出相关电路的静态工作点; 最后根据设计值调整相关的工作点。实验后将有关数据填写在表 1-9 和表 1-10 中。

表 1-9 AVR-2 静态工作点测试与调整实验数据

序号	元件或参数名称	参数值或调整目标				调整后实测值 与设计值的 相对误差 (%)
		测试条件	当前参数 实测值	设计值	调整后 实测值	
1	测量电路输出 $V_G'$					
2	比较电路输出 $\Delta U$					
3	放大倍数 $K_p$					
4	控制电压 $U_{CON}$					
5	最小限位角 $\alpha_{min}$					
6	过流限制定值					

表 1-10 AVR-2 切换开关状态及其调整

	K1	K2	K3	K4	K5
调整前状态					
调整后状态					

## 2.6 整组装置静态工作特性测试实验

本项实验把整个励磁调节器看作是一个“黑匣子”，只通过外部输入输出数据来测试它的静态性能。

### 2.6.1 励磁调节器静态工作特性实验

实验前，应检查负载电阻约为（40~100）Ω，自耦调压器“回 0”。

实验中取（2~3）组不同的放大倍数  $K_p$  和（2~3）组电压给定值（用  $Rw5$  圈数表示）；用示波器监视 SCR 的输出电压  $U_{SCR}$ ；用自耦调压器改变测量电压  $V_G$  的大小；用万用表测量输入、输出数据，记录在表 1-11 中。

测量时应注意  $U_{SCR}$  波形变化，整个测量过程中 SCR 应在其工作范围内。测量电压  $V_G$  一般不要超过 110% 额定值。测量数据中应当包括  $U_{SCR}$  临界最大值、临界最小值所对应的数据。 $U_{SCR} \sim V_G$  特性曲线是非线性的（想想为什么？），在其斜率变化大的地方测量点应适当密集一些。

表 1-11 AVR-2 静态工作特性实验数据 实测励磁电源电压：\_\_\_\_\_ V

增益	测试电压	$Rw5 = \underline{\quad\quad}$ 圈	$Rw5 = \underline{8.00}$ 圈	$Rw5 = \underline{\quad\quad}$ 圈
$K_p =$	$V_G$ (AC·V)			
	$U_{SCR}$ (DC·V)			
$K_p = 5$	$V_G$ (AC·V)			
	$U_{SCR}$ (DC·V)			
$K_p =$	$V_G$ (AC·V)			
	$U_{SCR}$ (DC·V)			

按照表 1-11 中的  $n$  组实验数据，可以绘制  $n$  条特性曲线，把它们绘制在图 1-12 所示的坐标图中。



图 1-12 励磁调节器静态工作特性曲线（ $U_{SCR} \sim V_G$  曲线）

通过这些曲线，应注意观察：不同的  $K_p$ 、不同的电压给定值，所引起的励磁调节器静态工作特性不同的变化；从中体会：励磁调节器与发电机构成闭环励磁控制系统后，静态工作特性的变化对发电机运行的影响。

### 2.6.2 励磁调节器电压给定特性实验

实验前，应检查负载电阻约为 (40~100) Ω，自耦调压器“回 0”。

实验中用示波器监视 SCR 的输出电压  $U_{SCR}$ ；用自耦调压器给定测量电压  $V_G$ （一般取额定电压）并在实验过程中保持不变。取 (1~2) 组放大倍数  $K_p$ 。用万用表测量  $U_{SCR}$  数据，记录在表 1-12 中。

测量时应注意  $U_{SCR}$  波形变化，整个测量过程中 SCR 应在其工作范围内。测量数据中应当包括  $U_{SCR}$  临界最大值、临界最小值所对应的数据。

表 1-12 AVR-2 电压给定特性实验数据 实测励磁电源电压：\_\_\_\_\_V； 实测  $V_G$ ：\_\_\_\_\_V

Kp = 5	Rw5 圈数						8.00				
	$U_{SCR}$ (DC·V)										
Kp =	Rw5 圈数										
	$U_{SCR}$ (DC·V)										



图 1-13 励磁调节器电压给定特性曲线

### 3. 发电机励磁控制闭环实验

闭环实验接线示意图如图 1-13 所示。励磁调节器的测量电压取自发电机端电压，励磁调节器的输出电压作为发电机的励磁电压，构成了闭环的励磁控制系统。图 1-13 中的动模机组通常为电动发电机组，即用直流电动机作为发电机的原动机。

励磁控制的闭环实验，涉及的知识面较宽，需要的设备和仪器仪表较多，接线也较为复杂。故实验应在做好充分准备和有教师指导的情况下进行。

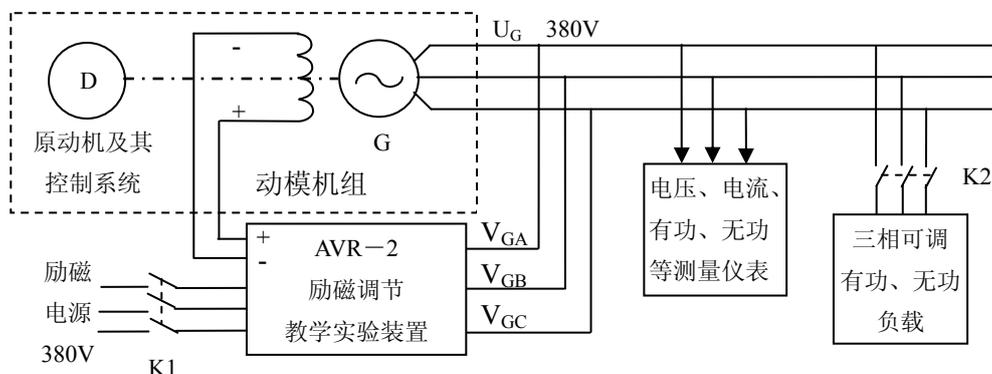


图 1-14 AVR-2 闭环实验接线示意图

### 3.1 发电机空载调压实验

实验前，开关 K1、K2 断开；AVR-2 的电压给定电位器 Rw5 放在最小位置、积分控制开关放在“退出”位置、放大倍数  $K_p$  放在预先设计好的位置（例如  $K_p=5$ ）。

实验步骤：

- (1) 启动机组，逐步增速至额定转速。
- (2) 合上开关 K1。
- (3) 用 Rw5 逐步增大电压给定值，同时通过电压表观察发电机端电压  $V_G$  的变化，并将  $V_G$ 、AVR-2 输出电压  $U_{SCR}$  和 Rw5 的对应关系记录在表 1-13 中。
- (4) 将发电机电压调至 0、断开 开关 K1、停机。
- (5) 改换  $K_p$  的数值（例如  $K_p=9$ ）。然后重复步骤（1）~（4）。

实验中可以用示波器观察 AVR-2 输出电压  $U_{SCR}$  的波形变化。

注意：发电机的端电压不要超过 120% 额定值。

表 1-13 AVR-2 发电机空载调压实验数据

$K_p=5$	Rw5 (圈)	
	$U_{SCR}$ (V)	
	$V_G$ (V)	
$K_p=9$	Rw5 (圈)	
	$U_{SCR}$ (V)	
	$V_G$ (V)	

通过本项实验，要注意体会“电压给定”在运行中的作用以及励磁调节器放大倍数  $K_p$  对调节灵敏度的影响。

### 3.2 发电机带载自动调压实验

实验前，开关 K1、K2 断开；负荷调至最小（小于 10% 额定容量）；AVR-2 的电压给定电位器 Rw5 放在最小位置、积分控制开关和放大倍数  $K_p$  放在指定位置。

实验步骤：

- (1) 启动机组，逐步增速至额定转速。
- (2) 合上开关 K1。
- (3) 用 Rw5 逐步增大发电机电压直到额定值。
- (4) 合上开关 K2，测取、记录此时发电机端电压  $V_G$  和无功功率  $Q$  的数据。
- (5) 逐步增大无功负荷，直到额定值，在此过程中测取、记录  $V_G$  和  $Q$  数据。
- (6) 按照（1）~（5）的相反顺序和过程停机。

(7) 改变  $K_p$  大小或积分单元投切状态后重复①~⑥的步骤，直到完成本项实验。

实验中可以用示波器观察 AVR-2 输出电压  $U_{SCR}$  的波形变化。

如果要投入积分单元，则积分时间常数  $T_i=1/K_i$  要合适。 $T_i$  越大则  $K_i$  越小，积分作用越弱。 $T_i$  的整定范围为 (0.1~2) S，它与  $R_{w7}$ 、 $R_{45}$ 、 $R_{47}$ 、 $C_{19}$  的关系根据电路图不难自行推导出 ( $R_{48}$  很大，可近似为开路)。 $T_i$  的整定值可以通过实验得出。

注意：发电机和负荷不要过载。

表 1-14 AVR-2 发电机空载调压实验数据

积分 单元 退出	$K_p=5$	Q (VA)	
		$V_G$ (V)	
	$K_p=$	Q (VA)	
		$V_G$ (V)	
积分 单元 投入	$K_p=5$	Q (VA)	
		$V_G$ (V)	

通过本项实验，要注意体会励磁调节器放大倍数  $K_p$  的大小和积分控制作用对自动调压精度的影响以及在实际运行中的作用。

### 3.3 发电机励磁控制系统其他实验

利用 AVR-2 励磁调节实验装置除了可以开设上述实验外，还可以开设诸如励磁控制系统空载稳定性实验、并网运行调节发电机电压无功实验、单机对无穷大系统稳定性实验等。但这些实验涉及到的知识面更宽深一些，需求的设备、仪器更多更复杂一些。实验前需要精心设计、准备。

## 实验二 自动准同期装置及自动并列实验

### 1. 概述

发电机的并列操作是对发电机的重要操作之一。掌握典型自动准同期装置的作用、构成原理，了解对其实验调整的一般方法，是“电力系统自动化”课程的任务之一。前者主要通过课堂教学实现，后者则是本实验的要完成的任务，也是对前者的补充和深化。

在开始实验之前，应对实验目的、要求、实验设备和所选实验内容有较清楚的了解。

#### 1.1 实验目的

- (1) 增强对自动准同期装置工作原理与作用的感性认识，掌握对该装置实验调整的一般方法。
- (2) 训练分析、解决问题的能力 and 动手能力。

#### 1.2 实验要求

- (1) 复习自动准同期装置的工作原理。
- (2) 预习本实验指导书，对实验内容、实验方法和仪器设备有清楚的了解。
- (3) 对实验中出现的各种现象要细心观察、认真分析，并做好实验记录。
- (4) 遵守实验纪律，爱护仪器设备，注意人身和设备安全。
- (5) 认真撰写实验报告。报告内容应包括实验项目、实验记录、结果、分析及结论等。对实验中出现的問題及其处理方法、对实验的改进意见等也可以反映在实验报告中。

#### 1.3 实验设备与仪器仪表

有两套方案可供选择，由指导教师根据设备条件选择其一。

方案一所需实验设备与仪器仪表：

- |                        |               |
|------------------------|---------------|
| (1) ZZQ-5G 自动准同期教学实验装置 | 1 台           |
| (2) FTFC-1 发电机同期仿真测试仪  | 1 台           |
| (3) 低频双踪示波器            | 1 台           |
| (4) 数字或模拟万用表           | 1 块           |
| (5) 模拟同期小盘 (MTP-1)     | 1 台 (自动并列实验用) |

方案二所需实验设备与仪器仪表：

- |                        |               |
|------------------------|---------------|
| (1) ZZQ-5G 自动准同期教学实验装置 | 1 台           |
| (2) 低频信号发生器 (或可调工频电源)  | 1 台           |
| (3) 单相自耦调压器            | 1 台           |
| (4) 低频双踪示波器            | 1 台           |
| (5) 数字或模拟万用表           | 1 块           |
| (6) 数字毫秒表              | 1 台           |
| (7) 动模机组及其附属设备         | 1 套 (自动并列实验用) |

方案二中自耦调压器与 220V 电源不能隔离，也不能对越前时间、越前相角定量测量。方案一中 (2)、(5) 项设备是准同期实验的专用设备，使用方便、安全，建议作为首选方案。

### 1.4 关于实验内容

利用 ZZQ-5G 自动准同期教学实验装置可以开设的实验项目较多。其中许多实验之间既有关联，也有相对独立性。由于各专业（方向）的教学要求不尽相同，实验指导教师可以根据教学要求和实验学时选择有关内容。

## 2. 自动准同期装置实验

采用方案一的自动准同期装置实验接线图如图 2-1 所示，FTFC-1 工作于测试仪方式。采用方案二的自动准同期装置实验接线图如图 2-2 所示。其中 ZZQ-5G 的原理电路图如图 2-3 所示。

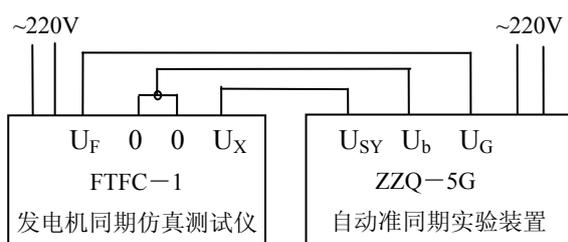


图 2-1 方案一实验接线图

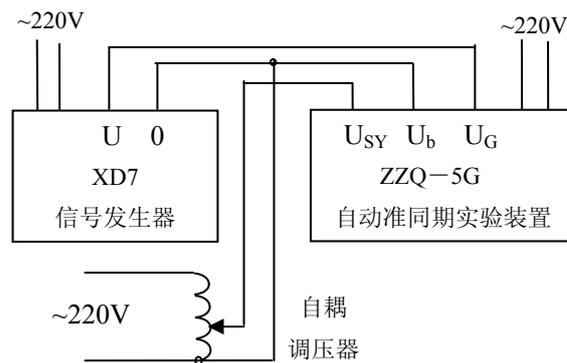


图 2-2 方案二实验接线图

### 2.1 利用滑差电压观察准同期条件实验

滑差电压也叫正弦脉动电压，其中包含了准同期并列所需的各种信息。对滑差电压进行观察实验有助于加深对准同期并列条件的理解。ZZQ-5G 中设有专门观察滑差电压的测试孔。

实验按图 2-1 或者图 2-2 接线。调整模拟系统电压的  $U_{SY}$ ，使  $U_{SY} \approx 100V$ 。

(1) 调整模拟发电机电压的  $U_G$ ，使  $U_G \approx U_{SY}$ 。调整  $U_G$  的频率  $f_G$ ，使频率差  $f_S \approx 0.1Hz$ 。用示波器观察滑差电压  $u_S$  的波形，特别要注意观察  $u_S$  包络线（幅值波）的波形。

(2) 保持  $f_S \approx 0.1Hz$ ，调整  $U_G$ ，使  $|\Delta U| = |U_G - U_{SY}| \approx 20V$ 。观察  $u_S$  的波形。

(3) 调整  $f_S \approx 0.2Hz$ ，调整  $U_G$ ，使  $|\Delta U| = |U_G - U_{SY}| \approx 0V$ 。观察  $u_S$  的波形。

(4) 将上述实验中观察到的 3 个  $u_S$  包络线波形分别画在图 2-4 所给出的坐标图中。根据  $u_S$  包络线波形的变化，分析、体会  $f_S$  和  $\Delta U$  对  $u_S$  包络线波形的影响及  $u_S$  包络线波形中包含哪些准同期并列所需要的信息。

**特别提醒：**测试时应根据被测信号的大小选择仪器、仪表的合适档位。若无把握，应先选择较大档位，再根据实际情况酌情减小。这样可以避免因超量程而损坏仪器仪表。对于万用表，还要特别注意根据被测信号的性质，如电压、电流、交流、直流等，及时变换档位。以后的测量均应如此，后面不再赘述。

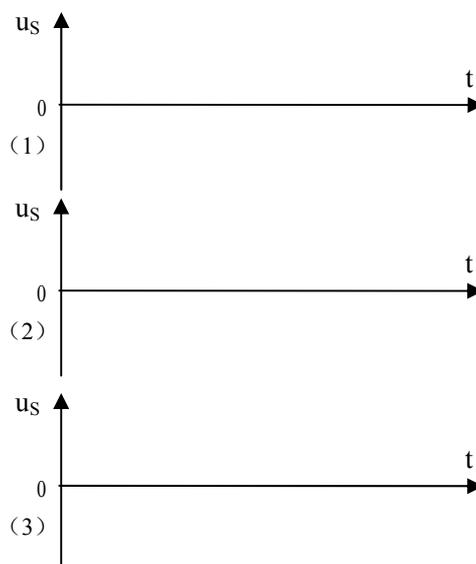


图 2-4 滑差电压的实测波形

# ZZQ-5G自动准同期教学实验装置

华北电力大学

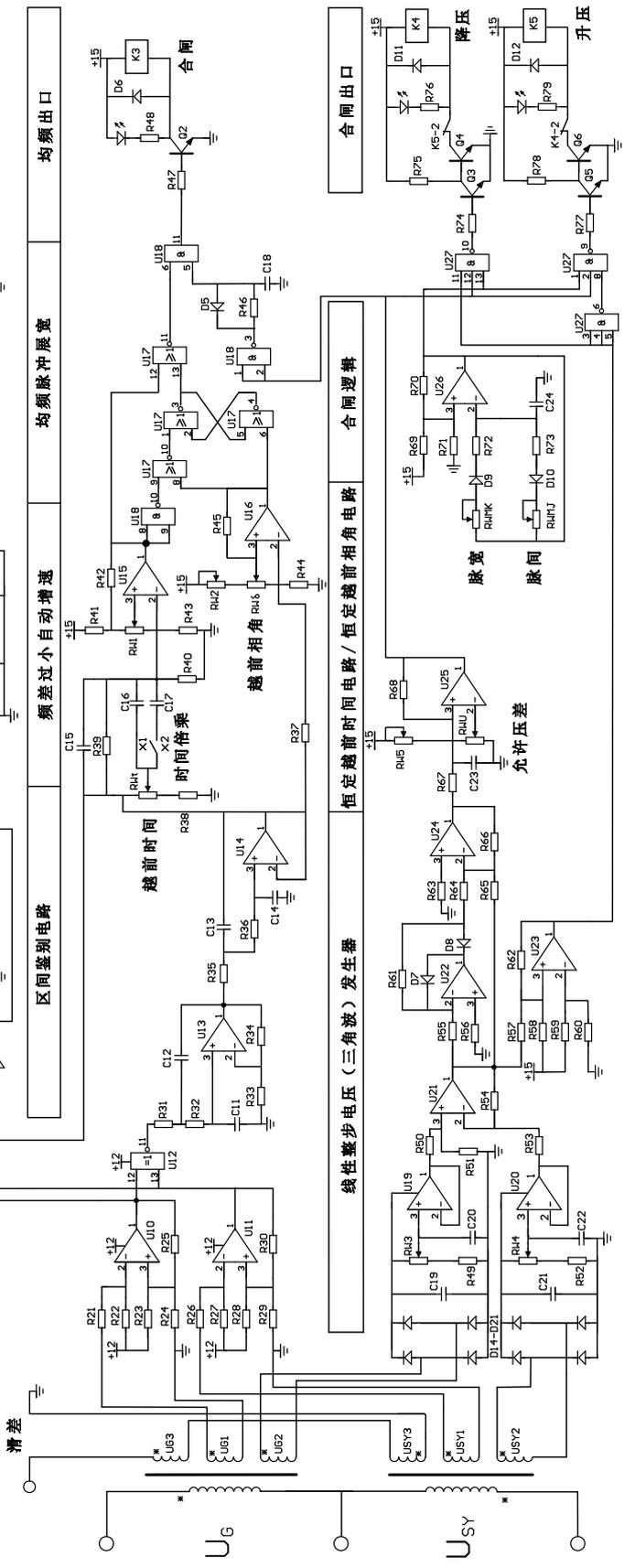
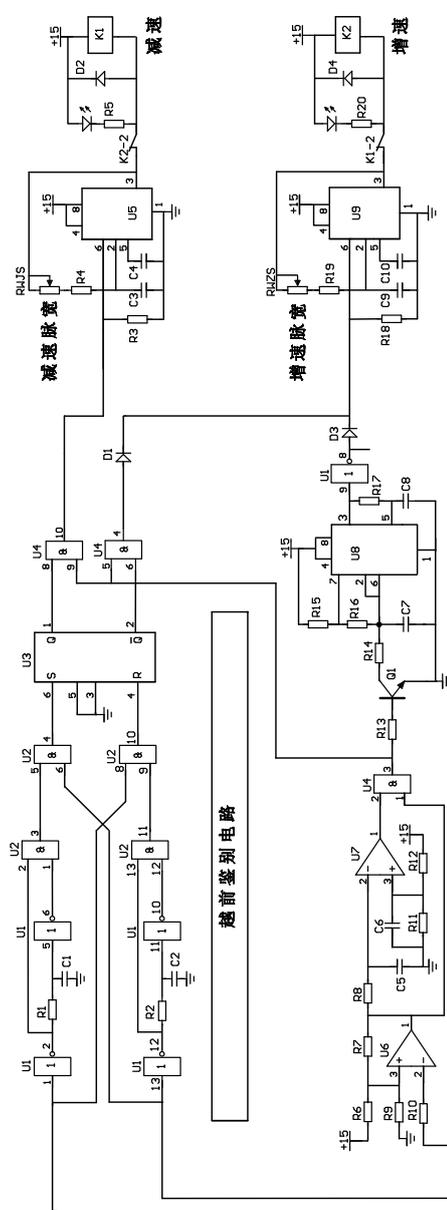
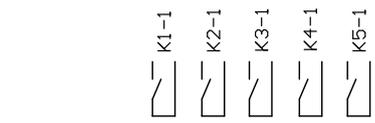
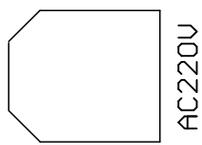


图2-3 ZZQ-5G原理电路图

## 2.2 合闸控制单元实验

### 2.2.1 观察电路波形实验

通过对电路波形或状态的观察实验可以增加感性认识，加强对准同期装置工作原理的理解。

实验按图 2-1（或图 2-2）接线。

保持  $U_G \approx U_{SY} \approx 100V$ ,  $f_s \approx 0.12Hz$  ( $T_s \approx 8s$ )。

以三角波为参照，参考下面给出的测点进行观察，并将结果记录在图 2-5 和图 2-6 中。观察时要用双踪示波器同时观测两个波形，以便确定它们的相对位置关系。

#### 2.2.1.1 线性整步电压（三角波）发生器

- (1) 正弦波信号： $U_{G1}$ 、 $U_{SY1}$
- (2) 波形变换电路： $U10①$ 、 $U11①$
- (3) 相敏电路： $U10⑩$
- (4) 低通滤波器： $U14①$

#### 2.2.1.2 恒定越前时间电路

- (5) 比例微分电路： $U15②$
- (6) 电压比较器 1： $U15①$

#### 2.2.1.3 恒定越前相角电路

- (7) 电压比较器 2： $U16①$

#### 2.2.1.4 压差闭锁电路

(8)  $U18①$  该信号是压差闭锁信号。可以把电压差调到合格与不合格两种情况观察其状态的变化。

#### 2.2.1.5 合闸逻辑与出口电路

下列电路在  $\omega_s$  合格和  $\omega_s$  不合格两种情况下，波形是不相同的，应分别观察。

- (9) 或非门： $U17⑩$
- (10) 双稳电路： $U17③$
- (11) 或非门： $U17⑪$
- (12) 与门： $U18①$
- (13) 合闸继电器状态： $K3$  接点

注： $U \times \times$  表示元件代号，① 表示元件引脚号。下同。

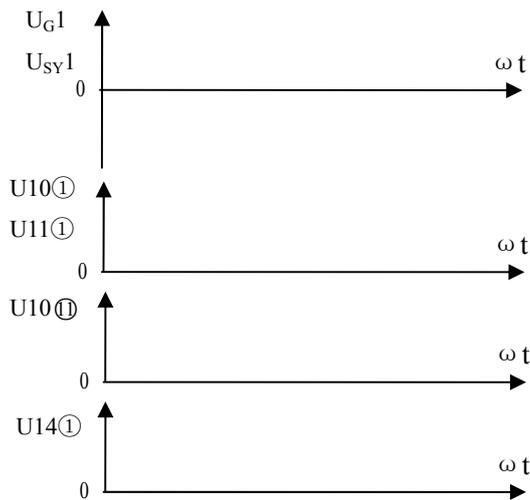


图 2-5 三角波发生器实测波形图

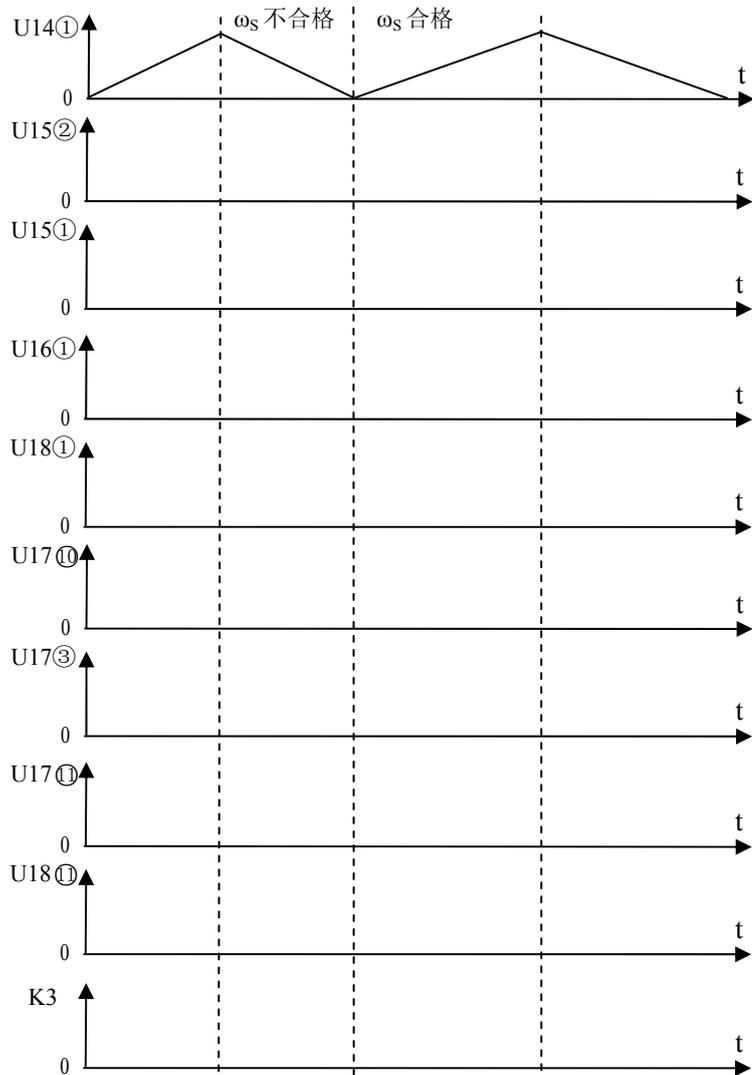


图 2-6 合闸单元电路实测波形图

### 2.2.2 定值测试与调整实验

恒定越前时间整定值和恒定越前相角整定值的“恒定性”是准同期装置最重要的性能指标。在对它们测试与调整的过程中，要注重培养动手能力和分析、解决问题的能力。

#### 2.2.2.1 恒定越前时间测试实验

按照表 2-1 给出的测试条件将恒定越前时间  $t_f$  的测试数据填写在表中。然后分析、计算它们的平均值和误差。最后给出测试结论。

越前时间  $t_f$  可用 FTFC-1 发电机同期仿真测试仪在合闸继电器 K3-1 的接点处直接测量（推荐）。若无此仪器，也可以用数字毫秒表测量越前时间电路输出端 (U15①) 的低电平脉冲宽度来近似代替  $t_f$ 。

Ts1、Ts2、Ts3 应分别调整到约 4 S、约 8 S 和约 12 S，实取的数值作为测试条件填写在表 2-1 中。

表 2-1 恒定越前时间  $t_f$  测试数据及分析

$t_{fi}$ 定值	Ts	Ts1 (S)			Ts2 (S)			Ts3 (S)			$t_f$ 平均值	最大绝对误差	最大相对误差	折合角度误差
×1	0 圈													
	5 圈													
	10 圈													
×2	0 圈													
	5 圈													
	10 圈													

平均值：同一行测试数据的算术平均值。平均值代表了该行整定值的标称值。

最大绝对误差：同一行各数据与平均值的差值，其中模值最大的一个。

最大相对误差：同一行各数据与平均值的差值，除以所在列的 Ts 值，其中模值最大的一个。

恒定越前时间  $t_f$  的合格标准：越前时间  $t_f$  整定于某一点，其实测的最大误差时间（包括因滑差周期变化引起的误差），折合成角度误差不超过  $\pm 3.6^\circ$ 。

本装置恒定越前时间  $t_f$  的整定范围为：0.1S~0.4S。

测试结论：

#### 2.2.2.2 恒定越前相角电路调整实验

由 ZZQ-5 产生越前时间的原理可知：只有当越前时间电压比较器的阈值等于比例电压的幅值时，越前时间才与频率差无关。

如果  $t_f$  不恒定，或者说误差超过了规定值，可以用电位器 Rw1 来调整电压比较器 U15 的阈值，直到  $t_f$  的误差符合要求为止。

#### 2.2.2.3 恒定越前相角定值测试实验

按照表 2-2 给出的测试条件将恒定越前相角  $\delta_A$  的测试数据填写在表中。然后分析、计算它们的平

均值和误差。分析后给出测试结论。

恒定越前相角  $\delta_A$  可用 FTFC-1 发电机同期仿真测试仪在越前相角电路输出端(U16①)处直接测量。若无此仪器,也可以用数字毫秒表先测量出越前相角电路输出端(U16①)的低电平脉冲宽度,然后除以 2,再折合成角度来近似代替  $\delta_A$  的实测值。

Ts1、Ts2、Ts3 应分别调整到约 4 S、约 8 S 和约 12 S,实取的数值作为测试条件填写在表 2-2 中。

2-2 恒定越前相角  $\delta_A$  测试数据及分析

Rw $\delta$	Ts1= (S)			Ts2= (S)			Ts3= (S)			$\delta_A$ 平均值	最大误差
1 圈											
5 圈											
10 圈											

$\delta_A$  平均值: 同一行测试数据的算术平均值。平均值代表了该行整定值的标称值。

最大误差: 同一行各数据与平均值的差值,其中模值最大的一个。

恒定越前相角  $\delta_A$  的合格标准: 越前相角  $\delta_A$  整定于某一点,其实测的最大误差相角(包括因滑差周期变化引起的误差),不超过  $\pm 3.6^\circ$ 。

本装置恒定相角  $\delta_A$  的整定范围为  $0^\circ \sim 45^\circ$ 。

测试结论:

#### 2.2.2.4 恒定越前相角电路调整实验

恒定越前相角的整定范围如果不满足要求,可以用电位器 Rw2 来调整。若反复调整仍然不行,应分析原因,排除故障后再测试。

#### 2.2.3 合闸控制单元整组实验

**题目及要求:** 设某发电机用本准同期装置并列,经过整定计算,要求恒定越前时间为 0.4S,允许频差为 0.2Hz。试在本装置上整定并试验。

**分析:** 越前时间在本装置上是用越前时间倍乘开关的位置和电位器 Rwt 的圈数整定的。

倍乘开关的位置: \_\_\_\_\_, Rwt 的圈数: \_\_\_\_\_。

ZZQ-5 用越前相角间接整定允许频差,  $\delta_A = \omega_{sy} \cdot t_f = 360^\circ \times 0.2 \times 0.4 = 28.8^\circ$ 。

Rw $\delta$  的圈数: \_\_\_\_\_。

**整定:** 将分析计算后填写在空格中定值整定于装置。

**试验:** 调整  $U_G \approx U_{SY} \approx 100V$ ,  $f_G \approx 49.7 Hz$ 。

逐步升高  $f_G$  至约 50.3 Hz。在此过程中观察并记录合闸控制单元的动作情况。

观察记录: \_\_\_\_\_。

可以再假设几组恒定越前时间和允许频差的定值,重复上述过程。

### 2.3 均频控制单元实验

实验按图 2-1（或图 2-2）接线。

调定并保持  $U_G \approx U_{SY} \approx 100V$ 。

调整频差  $f_S \approx \pm 0.15Hz$ ，即  $T_s \approx 6.6s$ 。

#### 2.3.1 观察电路波形实验

以三角波为参照，参考下面给出的测点进行观察，并将结果记录在图 2-7 中。应同时观测两个波形，以确定它们的对应关系。

##### 2.3.1.1 越前鉴别电路

(1) 越前脉冲电路：U2④、U2⑩

(2) 双稳电路：U3①、U3②

越前鉴别电路的原理是：若  $U_G$  方波下降沿对着  $U_{SY}$  方波高电平，则  $U_G$  相位超前于  $U_{SY}$ ，反之亦然。双稳把脉冲转变为电平信号。

##### 2.3.1.2 区间鉴别电路

(3) 比较器：U6①

(4) 延时反相器：U7①

(5) 与门：U4③

区间鉴别电路的原理是：先用比较器（U6）把三角波  $U_\Delta$  整形为方波，再对该方波延时反相（U7），两者相“与”即可得到区间鉴别脉冲（U4③）。区间鉴别脉冲应当出现在大约  $50^\circ$  处，实测是否如此？

##### 2.3.1.3 均频脉冲形成电路

(6) 与门：U4⑩、U4④

越前鉴别信号和区间鉴别脉冲相“与”后，就得到均频脉冲信号。

##### 2.3.1.3 脉冲展宽与驱动电路

(7) 单稳电路：U8③、U9③

对均频脉冲信号的“展宽”由“555”定时器芯片搭成的“单稳”实现。展宽的“宽度”用电位器整定。“555”芯片驱动能力强，可直接驱动后面的继电器。

#### 2.3.2 均频脉冲整定范围测试实验

分别把增速脉冲宽度整定电位器  $R_{wzs}$  和减速脉冲宽度整定  $R_{wjs}$  给到最小值和最大值，测量减速继电器 K1、增速继电器 K2 接点闭合时间的最小值和最大值，记录到表 2-3 中。

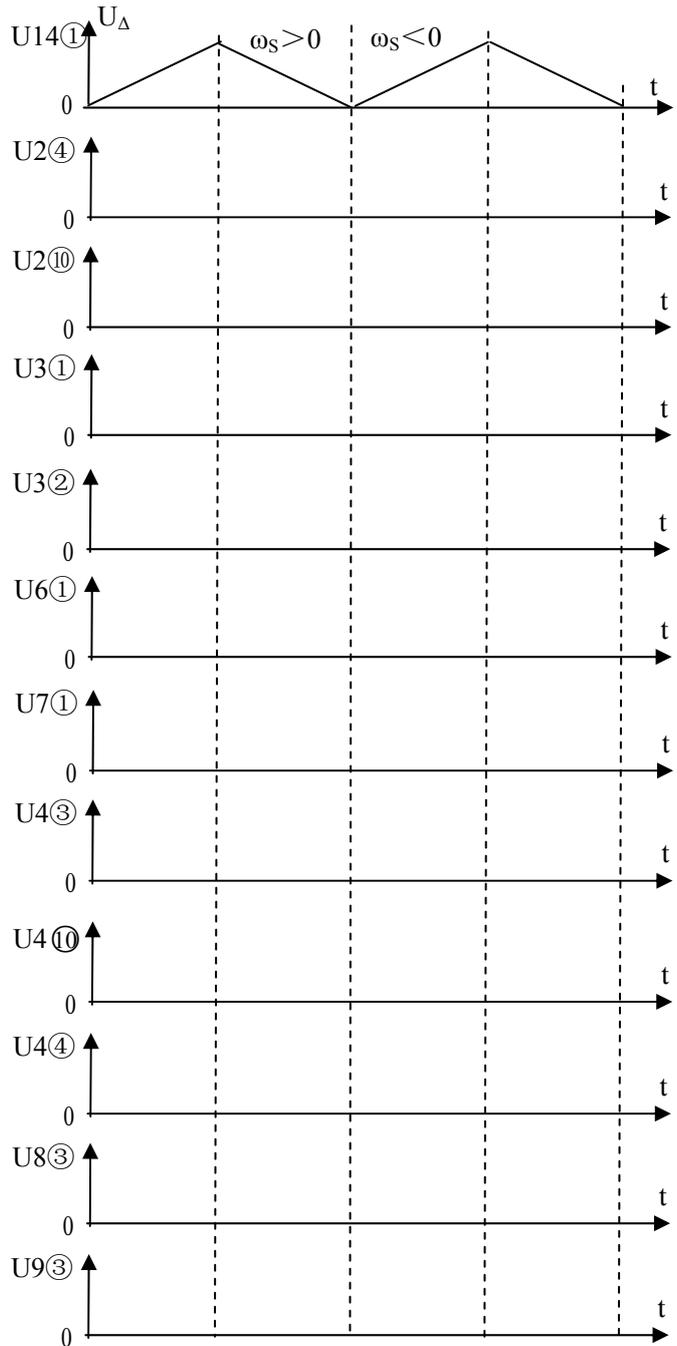


图 2-7 均频单元电路实测波形图

表 2-3 均频脉冲宽度整定范围实测值

均频继电器	均频脉冲宽度 (S)	
	最小值	最大值
K1 (减速)		
K2 (增速)		

### 2.3.3 滑差过小自动增速功能实验

ZZQ-5 采用比例脉冲方式调节机组转速，即每个滑差周期只发一次调速命令。如果滑差过小甚至为 0，将迟迟不能合闸。“滑差过小自动增速”功能就是为了打破这种“僵持”局面而设置的。

调节发电机频率  $f_G$ ，使  $f_G$  略微高于  $f_{SY}$  一点点，例如高出 (0~0.02) Hz。这样，正常的增速功能本不应当动作。如有动作，必是“自动增速”功能所为。

检查“自动增速”的动作情况及动作周期。动作正常否：\_\_\_\_\_，动作周期约为：\_\_\_\_\_。

### 2.3.4 均频控制单元整组传动实验

调节  $U_G$  的频率，在  $\omega_s < 0$  和  $\omega_s > 0$  两种情况下，观察增速、减速动作情况。记录到表 2-4 中。

改变电位器  $R_{wzs}$  和  $R_{wjs}$  的阻值，可观察增、减速继电器接点闭合时间的长短（即调节量的大小）。改变频差大小，可观察到动作频度的变化。

表 2-4 均频单元动作情况记录

均频继电器	增速、减速动作情况	
	$\omega_s < 0$	$\omega_s > 0$
K1 (减速)		
K2 (增速)		

## 2.4 均压控制单元实验

实验按图 2-1 或者图 2-2 接线。保持频差  $f_s \approx 0.1\text{Hz}$  (即  $T_s \approx 10\text{s}$ )。调整  $U_G \approx U_{SY} \approx 100\text{V}$ 。

### 2.4.1 电压差测量电路调整与测试实验

- (1) 调定并保持  $U_G = U_{SY} = 100\text{V}$ 。
- (2) 调整  $R_{w4}$ ，使  $U_{20} \textcircled{1} = 10\text{V}$ 。调整  $R_{w3}$ ，使  $U_{21} \textcircled{1} = 0\text{V}$ 。
- (3) 测试  $U_{19} \textcircled{1}$ 、 $U_{24} \textcircled{1}$ 、 $U_{23} \textcircled{1}$  各点的电位并记录到表 2-5 中。
- (4) 参照表 2-5 给出的测试条件调整  $U_G$ ，测量表中各个测点的数据并记录到表 2-5 中。

表 2-5 电压差测量电路测试记录  $U_{SY} = 100\text{V}$

测点含义	测点	$U_G$							最大相对误差
		85 V	90 V	95 V	100 V	105 V	110 V	115 V	
$k U_G$	$U_{19} \textcircled{1}$								
$k U_{SY}$	$U_{20} \textcircled{1}$				10 V				
$\Delta U = k U_G - k U_{SY}$	$U_{21} \textcircled{1}$				0 V				
$ \Delta U $	$U_{24} \textcircled{1}$								
$\text{SIGN}(\Delta U)$	$U_{23} \textcircled{1}$	$U_{23} \textcircled{1} = 0, U_G$ 临界值:				$U_{23} \textcircled{1} = 1, U_G$ 临界值:			

(4) 根据表 2-5 中的测试数据，可以分析计算出  $|\Delta U|$  及其它测点的误差。试写出相对误差表达式并计算之，计算结果填写在表 2-5 中。

各参数相对误差表达式：

### 2.4.2 电压差判别电路调整与测试实验

#### 2.4.2.1 电压差判别电路调整实验

设：允许电压差的整定最大为 15%。在此条件下对电路调整、测试。

(1) 保持  $f_s \approx 0.1\text{Hz}$ ,  $U_{SY} = 100\text{V}$ ,  $U_G = 85\text{V}$ 。将允许电压差整定电位器  $R_{wu}$  调到 10 圈位置。

(2) 缓慢调节电位器  $R_{w5}$ , 使比较器的输出  $U_{\Delta U}$  ( $U_{25}$ ) 临界变为高电平 (用示波器监视)。

(3) 保持  $R_{wu}$  和  $R_{w5}$  不变, 先将  $U_G$  调回到约 90V, 再缓慢降低  $U_G$ , 直到  $U_{\Delta U}$  临界变为高电平。测量此时的  $U_G$  值, 记为  $U_{G1}$ 。若  $U_{G1} \neq 85\text{V}$ , 再继续微调  $R_{w5}$ , 重复校验, 直到满足要求。这样就使得本装置允许电压差整定值最大为 15%,  $R_{wu}$  每一圈的定值级差为 1.5%。

校验中应注意  $U_{25}$  构成的电压比较器设有正反馈电阻, 所以比较器的动作值和返回值略有差别。

#### 2.4.2.2 电压差判别电路测试实验

(1) 调节  $f_s \approx 0.1\text{Hz}$ ,  $U_{SY} = 100\text{V}$ ,  $U_G \approx 100\text{V}$ 。将允许电压差整定为 3% ( $R_{wu}$  在 2 圈位置)。

(2) 缓慢降低  $U_G$ , 直到比较器的输出  $U_{\Delta U}$  ( $U_{25}$ ) 临界变为高电平 (可用示波器监视)。将此时的  $U_G$  值记录到表 2-6 中。

(3) 将允许电压差再分别整定为 6%, 9%, 12%, 15%。重复步骤 (2)。

(4) 再次将允许电压差分别整为 3%, 6%, 9%, 12%, 15%。将  $U_G$  从 100V 开始, 按从低向高方向缓慢调节, 完成表 2-6 第二行数据的测试。

表 2-6 允许电压差整定值测试记录及误差计算结果  $U_{SY} = 100\text{V}$

	允许电压差整定值% ( $R_{wu}$ 圈数)					最大相对误差 $\text{Max}\{( U_{Gi}-100 -\text{整定值})/100\}$
	3 (2)	6 (4)	9 (6)	12 (8)	15 (10)	
使 $U_{\Delta U}$ 临界为 1 的 $U_G$ 值 ( $<100\text{V}$ )						
使 $U_{\Delta U}$ 临界为 1 的 $U_G$ 值 ( $>100\text{V}$ )						

(5) 误差计算与分析：根据表 2-6 的测试数据, 计算出允许电压差整定值的最大相对误差。最大相对误差小于 1.5% 为合格。

引起误差的原因分析：

减小误差的措施：

### 2.4.3 均压脉冲发生器测试实验

(1) 调节  $f_s \approx 0.1\text{Hz}$ ,  $U_G \approx U_{SY} \approx 100\text{V}$ 。将允许电压差整定为 6% ( $R_{wu}$  在 4 圈位置)。用示波器监视均压脉冲发生器的输出  $U_{26}$ 。

(2) 把脉冲宽度整定电位器  $R_{wMK}$  分别给到最小和最大, 测量并记录脉冲宽度时间。

(3) 把脉冲间隔整定电位器  $R_{wMJ}$  分别给到最小和最大, 测量并记录脉冲间隔时间。

表 2-7 均压脉冲发生器测试记录

脉冲宽度 (S)		脉冲间隔 (S)	
$R_{wMK}$ 最小	$R_{wMK}$ 最大	$R_{wMJ}$ 最小	$R_{wMJ}$ 最大

## 2.5 自动准同期装置整组实验

实验任务：

- (1) 按照给定的并列条件定值整定准同期装置；
- (2) 定性检查准同期装置的动作性能。

并列条件定值为：恒定越前时间：0.2S，允许频差：0.15Hz，允许电压差：6%。

实验步骤：

(1) 将定值换算为相应的定值开关位置或给定电位器的位置，换算后的定值填写在表 2-8 中。将这些换算后的定值整定于装置。

越前时间的最大整定值（×2、10 圈）、越前相角的最大整定值（10 圈）、允许电压差的最大整定值（10 圈）均按前面 2.2 节、2.4 节中的实测值计。如果未作前述实验而直接作本项实验，则可以按照越前时间的最大整定值为 0.4S、越前相角的最大整定值为 45°、允许电压差的最大整定值为 15% 计算。

表 2-8 并列条件整定值换算

越前时间		越前相角	允许压差
倍乘开关	Rwt 圈数	Rwδ 圈数	Rwu 圈数

- (2) 实验按图 2-1（或图 2-2）接线。

把增速脉宽、减速脉宽，均压脉宽、均压脉间、均给到最小值。

调定  $U_{SY} = 100V$ ， $U_G \approx 90V$ ， $f_G \approx 49.7Hz$ 。

此刻，由于发电机侧的电压、频率均低于允许值，故准同期装置的升压继电器和增速继电器应动作。

- (3) 缓慢升高  $U_G$ ，直到升压继电器不动作（可通过升压指示灯观察）。说明此时电压差已经合格。

(4) 更为缓慢地升高  $f_G$ ，随着频差的减小，滑差周期逐步变长（可用示波器监视滑差电压或通过滑差指示灯的明暗周期观察）。

当频差小于允许值时，合闸继电器应当在相角差为 0 之前（滑差指示灯由亮刚变暗时）动作，发出合闸命令。

在现场实际中，发出合闸命令后，并列任务已完成，同期装置就应退出运行。但我们是教学实验，如需要，可以连续或反复实验。

- (5) 如果继续升高电压或频率，当超过整定的允许值后，降压或减速继电器应动作。可试之。

实验完成后，给出装置动作性能是否正常的结论。如果异常，还应说明异常现象、分析可能原因。

定性检查结论：

### 3. 发电机自动准同期并列实验

用 ZZQ-5G 进行发电机自动准同期并列实验，有两种方案。一是用 FTFC-1 发电机同期仿真测试仪，二是动模机组。本实验一般应在前面实验基础上进行。当然，如果准备充分，也可直接进行。

#### 3.1 基于发电机同期仿真测试仪的自动准同期并列实验

##### 3.1.1 实验接线

FTFC-1、ZZQ-5G、MTP-1 在断电状态下按照图 2-8 接线。图中虚线部分属内部连接示意，细实线部分是要外部连接的连接线，共 19 根（含端子间的连线）。接好线后应核查，确保无误。FTFC-1 工作于仿真方式时，可以模拟实际发电机组调压、调速等方面的特性。MTP-1 内设置了模拟断路器及其控制回路和简化的同期二次系统。

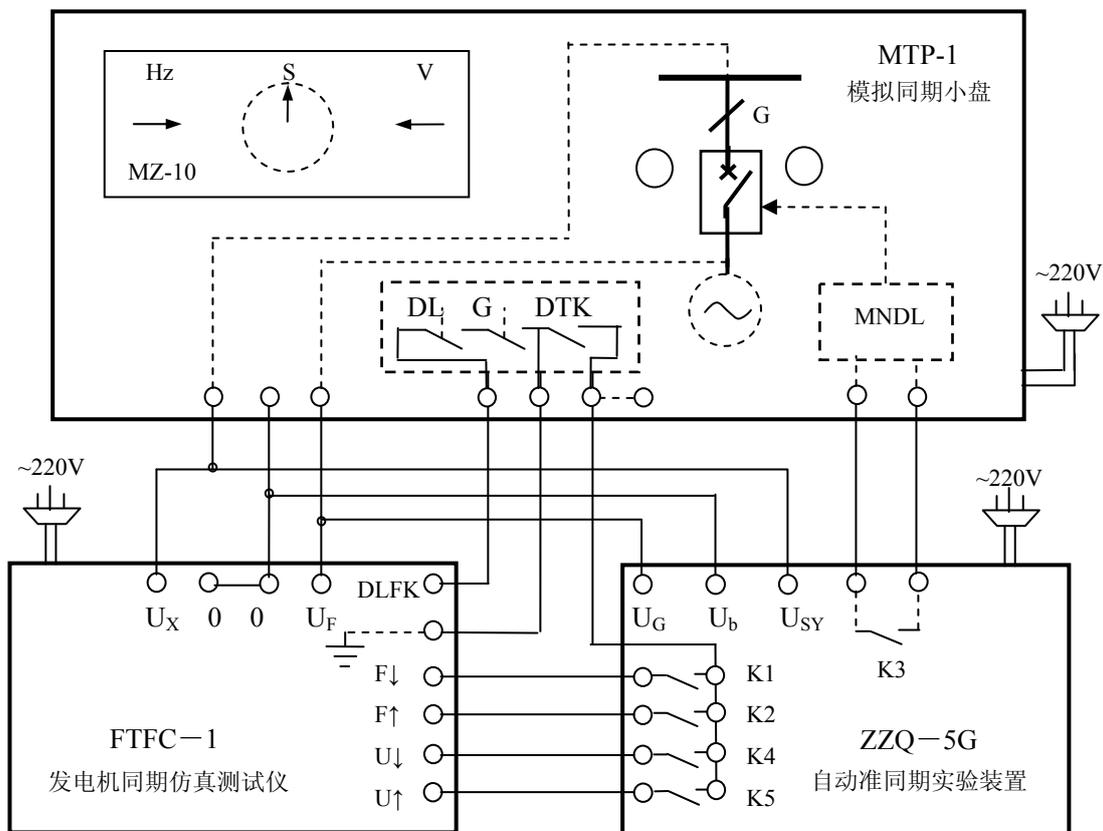


图 2-8 基于发电机同期仿真测试仪的自动准同期并列实验接线图

##### 3.1.2 装置投运

###### 3.1.1.1 投运前的准备

(1) MTP-1: 断开隔离开关 G 和自动同期开关 DTK; 手动同期开关 STK 置“粗略”位置; 模拟断路器合闸时间预置在 0.1S~0.4S 中的一档。

(2) FTFC-1: 按下工作方式开关, 使发电机同期仿真测试仪工作于“仿真”方式。

(3) ZZQ-5G: 按照步骤(1)中预置的断路器合闸时间, 整定恒定越前时间; 按整定的恒定越前时间和预先设计好的允许频率差定值, 整定恒定越前相角; 按预先设计好的允许电压差定值整定允许电压差。将均压脉宽、均压脉间、均频脉宽暂时都调到中间位置。

### 3.1.1.2 装置投运

(1) 给 MTP-1 接通电源。通电后可手动空合、空跳几次，以确认其完好。

(2) 给 FTFC-1 接通电源。手动调节 FTFC-1 的电压约为 90V、频率约为 49.6Hz。此时 MTP-1 中组合同期表的电压差表、频率差表 均应向下偏离平衡位置，而整步表指针处于随机位置。

(3) 投入整步表。将 Z MTP-1 中的手动同期开关 STK 置于“精确”位置。此时整步表针应当逆时针旋转。

(4) 给 ZZQ-5G 通电。此时如果频率差或电压差不合格，ZZQ-5G 应当发出均频或均压命令。但由于 DTK 处于断开位置，FTFC-1 接收不到这些命令，所以 FTFC-1 输出的电压、频率并不改变。

### 3.1.2 “假”并列实验

将 DTK 置“投入”位置，隔离开关 G 仍保持断开状态。

DTK 闭合后，发电机仿真器即可接收到 ZZQ-5 发来的“升压”、“增速”命令。仿真器模拟实际发电机组的动态行为响应命令。通过同期表或仿真器自身的显示器，可以观察到“发电机”的电压和频率随之逐渐变化，电压差和频率差逐渐减小。当然，如果均压、均频脉冲过窄或者过宽，有可能出现会出现“机组”不响应或者调节振荡的现象。此时应当及时调整均压脉冲或者均频脉冲的“宽度”。

当调节到电压差和频率差都满足前面整定的准同期条件后，ZZQ-5G 会按照恒定越前时间发出合闸命令，断路器随后闭合。但这时整步表指针仍将继续旋转。这是因为隔离开关 G 处在断开状态，断路器合闸后，“发电机”与“系统”之间并没有在电气上并联，故称之为“假”并列。

可以把假并列看作是“真”并列的“实战演习”。假并列可以发现存在的问题而不致损坏设备，在现场实际中也常被作为检验同期系统的手段。在假并列的过程中，应注意观察各设备运行是否正常、同期装置发出的调节量（即脉冲宽度）是否恰当、断路器合闸瞬间相角差是否过大等。若有异常或不当之处应及时处理或调整。

假并列合闸后，如果一次没有看清楚，需要重复的话，只需断开 DTK，手动跳开断路器，稍后再次合上 DTK 即可。

如果要结束实验，退出的顺序是：将 STK 置“粗略”位置；将 DTK 置退出位置；手动跳开断路器。按通电的相反顺序断开装置电源即可。

### 3.1.3 自动准同期并列实验

相对于“假”并列而言，本项实验就是“真”并列。真并列实验一般应在假并列未见异常之后进行。真并列的具体操作步骤与假并列唯一不同之处，是要在合上自动同期开关 DTK 之前，先合上隔离开关 G。

其后的自动操作过程与假并列类似，只是当 ZZQ-5 发出合闸命令、断路器合闸之后，“发电机”与“系统”之间就真正并列，进入同步运行状态。这时，整步表的指针停止在相角差为 0 的位置不动，仿真器的显示器也会显示“发电机”的频率、电压与“系统”侧相同。

并列成功后，若要重复实验，只需断开 DTK，手动跳开断路器，稍后再次合上 DTK 即可。

结束实验的顺序是：将 STK 置“粗略”位置；将 DTK 置退出位置；手动跳开断路器，按通电的相反顺序断开装置电源即可。

### 3.2 基于动模发电机组的自动准同期并列实验

#### 3.2.1 实验接线

用 ZZQ-5G 对动模机组进行自动准同期并列操作实验，还需要机组调速与励磁控制器、断路器控制回路、同期系统二次系统等附属设备。关于动模机组及其调速与励磁控制、断路器控制回路、同期系统二次系统等详细原理及接线，可参阅相关资料。

基于动模发电机组的自动准同期并列实验接线示意图如图 2-9 所示。

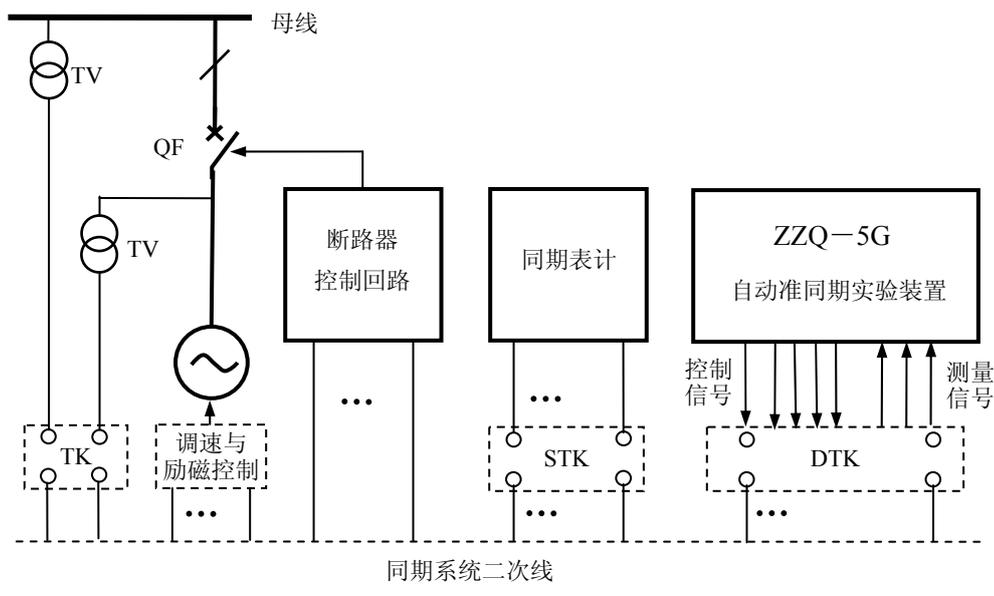


图 2-9 基于动模发电机组的自动准同期并列实验接线示意图

#### 3.2.2 自动准同期并列实验的操作步骤

- (1) 整定好 ZZQ-5G 的恒定越前时间、允许频率差、允许电压差、均频脉宽、均压脉宽等定值。
- (2) 启动机组，并将转速调节到接近同步转速、电压调节到接近母线电压。接通 ZZQ-5G 电源。
- (3) 接通同期开关 TK，将发电机和系统电压引到同期二次系统。
- (4) 将手动同期开关 STK 置于“粗略”位置。此时同期表计中的电压表和频率表将指示两侧的电压差和频率差。通常在电压差不大于 10%，频率差不大于 0.25Hz 的情况下，将 STK 置于“精确”位置。此时整步表被投入，指针开始旋转。
- (5) 将自动同期开关 DTK 置于接通位置，发电机和系统电压信号被接入同期装置。

此时 ZZQ-5G 将按照预先整定好的压差、频差定值，检测同期条件、发出均压、均频命令，自动调节机组的电压、转速。直到电压差和频率差都符合并列条件时，ZZQ-5G 按照预先整定好的恒定越前时间发出合闸命令。合闸命令通过断路器控制回路将断路器闭合，机组被并入电网。至此自动准同期并列操作完成。

#### 3.2.3 结束自动准同期并列实验的操作步骤

按照 3.2.2 中步骤 (2) ~ (5) 的相反顺序到停机。