

电力系统自动装置实验指导书

段俊东 王富忠编

焦作矿院电气工程系电力工程教研室

一九九三年元月

前 言

《电力系统自动装置原理》是一门理论和实践性很强的专业课，为提高学生实际动手及分析问题、解决问题的能力，并加深对理论知识的理解，我们安排了两个教学实验：《ZZQ-5自动准同期装置实验》和《ZTL-1可控硅励磁自动调节装置实验》。

由于自动化装置不断更新，为了适应今后工作需要，《电力系统自动装置原理》教材偏重各种自动装置原理方面的叙述，没有系统地完整地讲授某一个具体装置，为此，我们在实验指导书中编入上述两个装置原理和接线，使学生建立一个完整的概念，并能顺利完成这两个教学实验。为了配合实验的顺利完成，提出以下要求。

一、实验前必须预习实验装置的工作原理，并认真阅读附录的内容，未预习者不准予做实验，教师在实验前予以检查。

二、实验接线要反复检查，务必做到正确无误。

三、根据实验指导书要求，认真做好实验记录，独立完成实验报告。

四、遵守实验室规章制度，爱护仪器设备，损坏设备要按规定赔偿。

目 录

前 言

第一章 Z Z Q - 5 自动准同期装置实验	1
一、实验目的	1
二、实验要求	1
三、实验设备及仪器仪表	1
四、实验接线	1
五、实验内容及步骤	2
第二章 Z T L - 1 可控硅自动调节励磁教学实验装置实验	7
一、实验目的	7
二、实验要求	7
三、实验用仪器设备	7
四、实验内容及步骤	7
附录 I Z Z Q - 5 自动准同期装置实验	17
一、合闸部分	17
二、均频部分	29
三、均压部分	35
四、电源、出口、信号部分	38
附录 II 可控硅全晶体管自动调压器各环节的工作原理	39
一、可控硅主回路的工作原理	39
二、可控硅自动调压器控制回路的工作原理	41
附图一 Z T L - 1 变压器底板安装图	51
附图二 Z T L - 1 实验板背面接线图	52
附图三 Z T L - 1 变压器接线原理图	53

第一章 ZZQ-5 自动准同期装置实验

一、实验目的

- 1、研究正弦脉动电压和线性脉动电压的特点。
- 2、研究 ZZQ-5 各主要电路工作原理，熟悉各主要电路工作波形。
- 3、掌握 ZZQ-5 调试方法，培养分析和解决问题的能力。

二、实验要求

- 1、实验前必须搞清 ZZQ-5 自动准同期装置的工作原理，做好预习。
- 2、要正确使用和爱护实验仪器设备。
- 3、观测各主要电路工作波形，作好实验记录。
- 4、编写实验报告，实验报告内容包括：实验目的、实验接线、实验项目、实验结果分析及实验记录。

三、实验设备及仪器仪表

- | | |
|---------------------|-----|
| 1、ZZQ-5 自动准同期教学实验装置 | 一台 |
| 2、TFZY-1 同期仿真测试仪 | 一台 |
| 3、超低频双踪示波器 | 一台 |
| 4、万用表 | 一块 |
| 5、刀闸开关、按钮、导线 | 若干只 |

四、实验接线

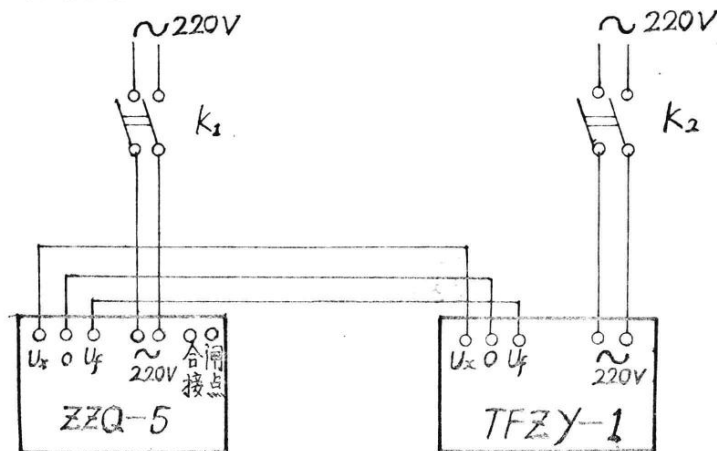


图 1-1 ZZQ-5 装置实验接线图

五、实验内容及步骤

(一) 实验装置通电

1、按图1-1检查接线是否正确无误。

2、合上 K_1 ，接通ZZQ-5装置直流稳压源的220V交流电源，用万用表在面板上各直流电源的测试孔中，分别测直流电压是否在下列允许范围内： $12V \pm 0.3V$ ， $40V \pm 1.5V$ ， $52V \pm 2.5V$ 。记录测试结果。

3、将 U_x 、 U_f 电位器调节旋钮均旋向最小位置，合上 K_2 ，打开电源开关，数字显示为49.97Hz，否则应按一下复位键，系统电压 U_x 及发电机电压 U_f 指针应归零。数码显示为当前发电机的频率，然后调节 U_x 、 U_f 旋钮，使输出电压为80V，按一下增频键，使 $f_F = 50Hz$ 。

4、按下琴键开关，启动ZZQ-5装置。

(二) 正弦脉动电压特性测试

1、利用超低频双踪示波器观察正弦脉动电压的波形，分析其特性。示波器的输入探头 y_1 和 y_2 分别接面板上 U_F 和 U_x 接线柱，请分析为什么这两点间的电压就是正弦脉动电压 $\dot{U}_s = \dot{U}_x - \dot{U}_F$ 。

〔注〕：使用示波器时请注意以下几个问题。

(1) 示波器的输入信号衰减，开关应先打到较大值($V/div = 5$)，然后逐渐减少，以防损坏示波器。

(2) 注意确定示波器上图形横、纵坐标的位置。

(3) 对示波器上图形纵向刻度进行标定。

(4) 对示波器上图形横向刻度进行标定。

(5) 输入电压信号是80V时，应用10倍衰减信号线。

2、调节TFZY-1，使 $U_F = U_x$ ， $f_F \approx f_x$ 但相差不多，观察并记录 U_F 、 U_x 、 f_s 、 T_s 数值及正弦脉动电压的波形图。

3、调节TFZY-1使 $U_F = U_x$ ，但与项2中频率 f_F 不同，且 $f_F \neq f_x$ ，观察并记录 U_F 、 U_x 、 f_F 、 $|U_x - U_F|$ 、 T_s 数值及正弦脉动电压的波形图。

4、保持TFZY-1的频率为项3不变，调整 $U_F = 60V$ ，观察并记录 U_x 、 U_F 、 f_F 、 $|U_x - U_F|$ 和 T_s 数据及正弦脉动电压波形图。

5、根据实验结果分析正弦脉动电压中所含准同期并列条件信息的特性。

〔注〕：使用TFZY-1时请注意以下几个问题：

(1) 注意别让 U_x 或 U_F 与地发生短路。

(2) 按键的操作：

复位键：按此键后，仪器返回初始状态，数码显示为49.97Hz。

周期键：按此键后，数码显示当前系统电压频率与发电机电压频率相对应的滑差周期时间。

频率键：按此键后，数码显示当前发电机频率值。

增频键：每按一次，发电机电压频率增频 0.03Hz 。

减频键：每按一次，发电机电压频率减频 0.03Hz 。

测时键：按此键后，数码全灭，表示进入测时状态，测时显示结束后再按频率键后退出测时态。

（注：若进入测时态，不测时马上要退出可按复位键，但最好不要这样用，因为这要造成 U_x 、 U_f 电压波动一下）

（三）线性整步电压特性测试

1、用双踪示波器 Y_1 和 Y_2 探头分别接在 $ZZQ-5$ 面板上 T_{101} 和 T_{102} 集电极处测孔。 Y_{10} 接 $0V$ 电位处测试孔。测试并记录 U_x 和 U_f 正弦交流电压的波形图，分析其与原正弦电压波形关系。

2、将示波器输入端 Y_1 探头接 T_{103} 集电极处测试孔， Y_{10} 接 $0V$ 电位测试孔，测试并记录混频后的矩形波波形的，并分析矩形波宽度变化是怎样反应相角差 δ 变化的。

3、将探头 Y_1 接在 T_{105} 发射极处测试孔，测试并记录线性整步电压三角波形图。分析：三角波最大、最小值对应的相角差 δ 是多少？

4、根据实验结果分析正弦脉动电压与线性整步电压表征准同期并列条件的区别。

（四）恒定越前时间 t_{yJ} 的调整与测试：

1、恒定越前时间电平检测器动作电压的整定。

$$U_{t.zd} = \frac{R_{114}}{R_{114} + R_{115}} \cdot A$$

调节电位器 R_{120} ，使由 T_{106} 和 T_{107} 组成的恒定越前时间电平检测器的动作电压为 $U_{t.zd}$ 。

2、恒定越前时间 t_{yJ} 调整

（1）将导前时间倍乘档放在任何一档，例如 X_2 档，导前时间细调放在最小位置，则此导前时间整定值约为 0.2 秒，细调在 $0.1 \sim 0.2$ 秒之间变化。

（2）借助示波器观察 T_{105} 发射极三角波波形，和 T_{108} 集电极波形。当频率不同时， t_{yJ} 是否恒定，若不恒定再次调整电位器 R_{120} ，直至不同频率下 t_{yJ} 恒定为止，记录此项测试结果和波形图。用 $ZZQ-5$ 合闸接点做为被测信号，接入 $TFZY-1$ 前面板导前时间端子及地端子，按动测时键进行测试，此显示时间即为恒定越前时间。记录此结果并与上述结果做一比较。

（五）频率差检测回路调试

1、恒定越前相角电平检测器测试

调整 R_{142} 可调整恒定越前相角脉冲信号发出的时间，顺时针方向调整 R_{142} 将增大恒定越前相角值。

2、整定导前相角的方法

第一种是借助示波器进行整定，方法如下。

1）整定导前时间使 t_d 等于 t_{dL} （导前相角时间）

2) 调节发电机频率使频差等于允许频差 ($T_s = \frac{1}{\Delta f}$)。

3) 用示波器观察 $T_{108}c$ 和 $T_{115}c$, 调节 R_{142} , 使 T_{115} 和 T_{108} 同时动作, 则此时 $\delta_A = \omega_{sy} t_d$ 。

例如: $t_d = 0.2$ 秒, 调节 F_f , 使 $T_s = 5$ 秒, 这时调整 R_{142} , 若 T_{115} 和 T_{108} 同时动作, 则 $\delta_A = 14.4^\circ$ 。

第二种方法用 $TFZY-1$ 进行整定

1) 整定导前时间使 t_d 值 t_{dL} (导前相角时间)。利用导前时间的测试点, 调整电位器 R_{120} , 使 t_d 等于所需的 t_{dL} 。

2) 调节发电机频率使频差等于允许频差 ($T_s = \frac{1}{\Delta f}$)。

3) 调节 R_{142} , 使合闸信号处于发出与不发出之间, 则表示 T_{115} 和 T_{108} 同时动作, 此时 $\delta_A = \omega_{sy} t_d$ 。

(六) $ZZQ-5$ 合闸部分统调

1、在实验(五)的基础上, 观察并记录下列电位波形: (注: 整定好 t_{yJ} 和 δ_{yJ} 后就不要再动, 规定 $t_{yJ} = 0.2$ 秒, $\delta_{yJ} = 30^\circ$)。

- 1) 电压 $U_x - U_F$;
- 2) T_{101} 集电极电位 U_{101c} ;
- 3) T_{102} 集电极电位 U_{102c} ;
- 4) T_{103} 集电极电位 U_{103c} ;
- 5) T_{105} 发射极电位 U_{105e} ;
- 6) T_{108} 集电极电位 U_{108c} ;
- 7) T_{115} 集电极电位 U_{115c} ;
- 8) T_{110} 集电极电位 U_{110c} ;
- 9) T_{111} 集电极电位 U_{111c} ;
- 10) T_{119} 集电极电位 U_{119c} 。

2、调节 $TFZY-1$, 保持 $U_F = 80V$, 使 $f_s > \Delta f_{zd}$, 观察分析、记录上述各电位的波形 (此时合闸信号指示灯应不亮)。

3、将 1 和 2 项的两组结果比较, 指出两组波形不同点。

(七) 均压回路调试

1、压差方向调试

调整 $TFZY-1$, 使 $U_F = 60V$, ($f_F = 50Hz$) 用万用表直流电压档测试压差 $U_x - U_F$ 值, 表的 $\oplus$ 端接 R_{306} 处测试孔, 表的 $\ominus$ 端接 R_{305} 测试孔, 读出并记录此电压差值, 并分析原因。

调整 $TFZY-1$, 使 $U_F = 100V$, ($f_F = 50Hz$), 测试 $U_x - U_F$, 读

出并记录此电压差值（注意此时极性相反）并分析原因。

2、调压脉冲宽度调试

调整 R_{335} 电阻，就可以改变调压脉冲宽度，顺时针调整调压脉宽旋钮 R_{335} ，使调压脉冲宽度加大。

3、调压脉冲宽度的测定

利用 $TFZY-1$ 的空接点，对升压或降压继电器的动作时间的测量，可以间接地得到调压脉冲宽度，并对调压的整定值进行调整。

（八）均频回路调试：

1、调整 $TFZY-1$ ，使 $U_F = 80V$ ， $f_F = 50.99Hz$ ($f_F > f_x$)。

2、区间鉴别电路测试。

用双踪示波器的 Y_1 探头固定，观察 T_{203} 的基极电位，即三角波电压。用 Y_2 探头依次观察 T_{204} 和 T_{206} ，集电极电位 U_{204c} 、 U_{206c} ，记录上述现象的波形。分析 T_{203} 和 T_{204} 组成的电平检测器翻转区间 δ_d 的大小，($\delta_d \approx 100^\circ$)，分析 T_{206} 截止时间， $U_{206} = 0$ 是区间鉴别回路允许合闸脉冲，观察记录允许合闸脉冲发出的角度 δ 是 50° 吗？

3、频率方向电路测试

固定 Y_2 探头接在 T_{206} 集电极， Y_1 探头接 T_{210} 集电极处测试孔，测 U_{210} ，记录 U_{206} 电压波形，观察在 T_{206} 发出允许调整脉冲时继电器 $3J$ 动作，减频灯被周期点亮，请分析此周期与 U_{206c} 脉冲周期的关系？

4、减频脉冲宽度调试：

调整电位器 R_{204} 可改变减频脉冲宽度，顺时针调整电位器 R_{240} 、 U_{210c} 处的脉冲宽度应该逐渐加大；然后，再逆时针调整电位器 R_{240} ，此脉冲宽应逐渐减少，请观察此脉冲宽度的变化，引起了什么变化？

5、减频脉冲宽度测试

利用 $TFZY-1$ 的空接点，对减频继电器的动作时间的测量，可以间接地得到均频脉冲的宽度，并对脉冲宽度进行调整。

（九）利用 $TFZY-1$ 进行自动增频、减频的闭环实验。

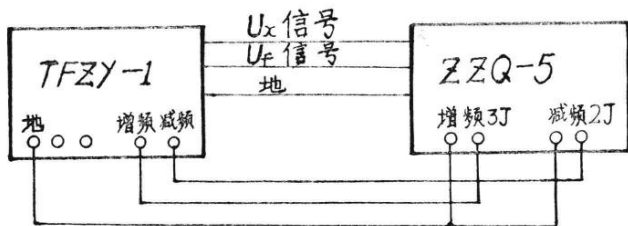


图 1-2 ZZQ-5 闭环实验接线图

按图 1-2 的接线图进行改接线，然后进行以下实验。

1、自动增频

手动减频使 F_f 频率与 F_x 频率值拉开，随着时间的推移，我们可观察到仿真仪即由 Z ZQ-5 发出的自动增频信号控制，使仿真发电机信号频率向系统频率逼近。最后相一致时，自动调整结束，请分析此现象。

2、自动减频

同 1 项操作，只是手动增频使 F_f 频率大于 F_x 频率。观察现象，并分析原因。

注：增频、减频信号的地与 T F ZY-1 同期仿真测试仪的测时地同地，应用导线连接；与 U_x 、 U_F 的地不同地，不应用导线将此地用于增频、减频的地。

第二章 ZTL-1 可控硅自动调节励磁教学实验装置实验

一、实验目的：

- 1、了解并掌握 ZTL-1 型可控硅自动调节励磁装置的工作原理
- 2、熟悉各环节的特性及整组特性

二、实验要求：

- 1、必须熟悉实验接线
- 2、认真观测各环节及整组工作波形，并作好记录，绘出曲线

三、实验用仪器设备

- | | |
|--------------------------|----|
| 1、ZTL-1 型可控硅自动调节励磁教学实验装置 | 一台 |
| 2、三相调压器 (1KVA) | 两台 |
| 3、双踪示波器 | 一台 |
| 4、负载电阻 (约 100Ω, 2A) | 一个 |
| 5、万用表 | 一块 |

四、实验内容及步骤：

各环节实验及开环整组实验，按图 2-2 接线，并参照图 2-1 装置原理图

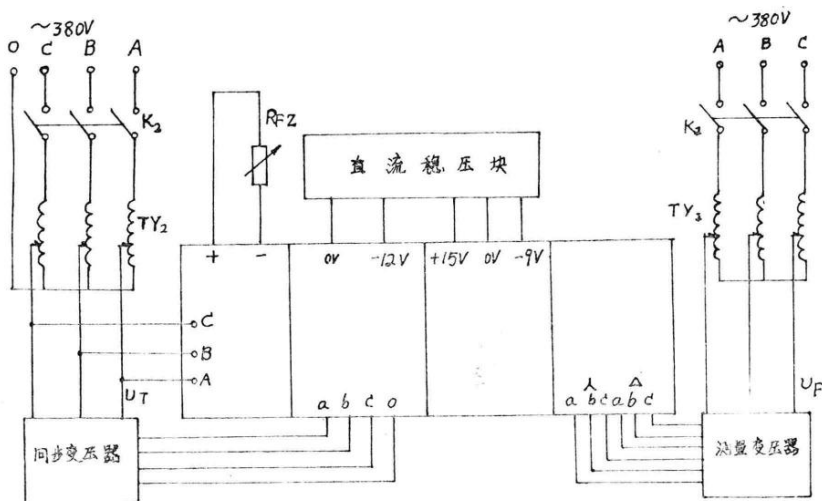


图 2-2

(一) 测量环节的实验：录制测量特性 $U_2 = f(U_1)$

1、接线见图 2-3，测量环节由测量变压器、整流桥滤波回路、整流电位器及测量桥等组成。

2、方法

首先将整定电位器 R_4 置于中间位置，（见图 2-2），逐步升高供给测量变压器的三相调压器 TY_1 的电压 U_F ，记录 U_F ， U_1 ， U_2 （通过测试孔可以直接在测量桥的输入端 U_1 和输出端 U_2 测取数据）。

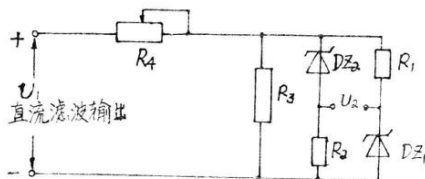


图 2-3 测量特性接线

1) 记录

R_4 置中间位置时

TY ₁ 输出	U_F			
测量桥输入	U_1			
测量桥输出	U_2			

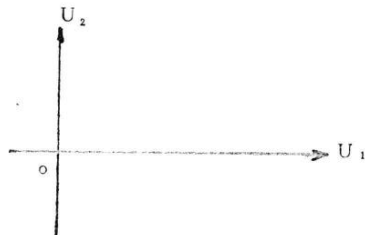
R_4 置最小位置时

TY ₁ 输出	U_F			
测量桥输入	U_1			
测量桥输出	U_2			

R_4 置最大位置时

TY ₁ 输出	U_F			
测量桥输入	U_1			
测量桥输出	U_2			

2) 绘制测量特性曲线 $U_2 = f(U_1)$



R_4 置中间位置时的测量特性曲线

3、注意事项：

- 1) TY 1 的输出 U_F 最高不要超过线电压 $U_F = 110\text{V}$ 否则造成过压烧毁电路。
- 2) 做测量特性时，注意测量桥 U_2 输出的极性及其关键电压点的测取，（取 2~3 点即可），测不同值时用什么表，及测试孔位置。

3) 改变 R_4 置最小、最大位置时，仍可画出两组不同的测量特性曲线。

4、思考题：说明 R_4 对发电机的调节作用，通过其测量特性分析其整定范围。

（二）放大环节的实验：录制放大特性 $U_3 = f(U_2)$

1、接线：见图 2-4 放大环节由运算放大器和一级射级跟随器等组成。

2、方法：

首先通过测试孔，将放大环节与测量环节连接起来。测量桥的输出 U_2 做为放大环节的输入，然后调节 TY₁ 三相调压器的输出 U_F 记录 U_2 和 U_3 的数据。

1) 记录：

放大环节输入 U_2	
放大环节输出 U_3	

2) 绘制放大特性 $U_3 = f(U_2)$

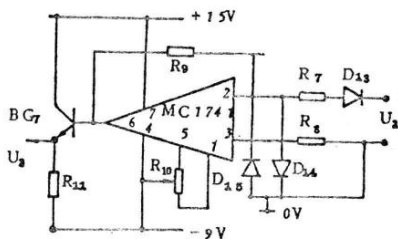
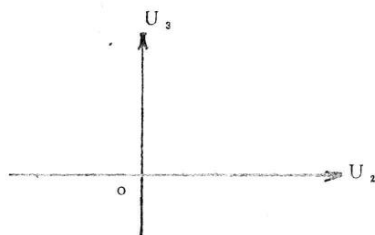


图 2-4 放大特性接线



放大特性曲线

3) 测完放大特性后恢复 TY₁，使 $U_F = 0$ 。

3、思考题：

从放大特性上可知其运算放大器的放大倍数为多少？

（三）移相触发环节及可控硅主回路的实验：

1、接线图：见图 2-5

移相触发环节由同步回路、单稳态触发回路及脉冲输出回路等组成。

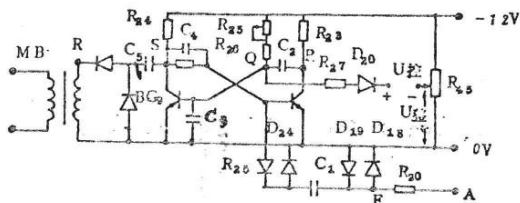


图 2-5 单稳态触发电路原理图

可控硅主回路见图 2-6。

三相半控整流桥由三个可控硅及三个二极管组成。

2、方法步骤：

1) 将测量环节、放大环节、触发环节及可控硅主回路接通。

2) 调节三相调压器 TY_2 的电压 U_T 使同步变压器输入的线电压 $U_T = 40V$ 。

3) 观察可控硅主回路输出负载 R_{Fz} 的波形为全开放状态。

4) 逐步升高三相调压器 TY_1 输出电压 U_F ，此时可控硅主回路的输出波形向全关闭方向变化。

3、 R_{45} 电位器整定：见图 2-7

为使可控硅整流能达到全控（即从全开放到全关闭）要对 R_{45} 进行整定。

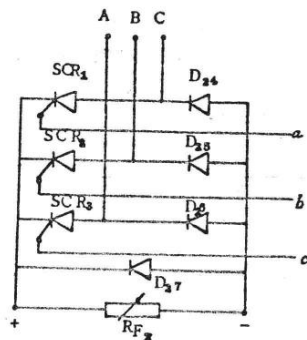
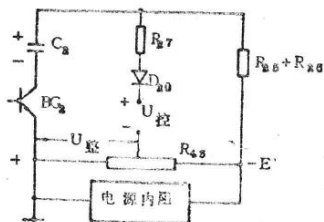
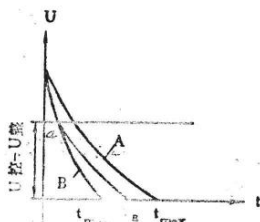


图 2-6 三相半控桥整流主回路



(a)



(b)

图 2-7 单稳态触发元件放电原理图

在实际工作中, C_2 有两条放电支路:

第一条: C_2 经 $R_{25} + R_{26}$, 因电阻较大、放电时间 $t_{m \approx x}$ 较长, 相当控制角 $\alpha \geq 180^\circ$, 从而保证可控硅元件能处于全关闭状态 (图 2-7 (b) 的曲线 A)。

第二条: C_2 经 R_{27} 、 D_{20} 、U 控、U 整, 其阻值较小, 放电时间 $t_{m \approx n}$ 较短, 相当控制角 $\alpha = 0^\circ$, 从而保证可控硅元件能处于全开放状态 (图 2-7 (b) 曲线 B)。

以上两条支路, 哪条是主要放电支路, 放电时间是多少, 要看 U 控、U 整及电容 C_2 上的电压 U_{c2} 的情况而定。

当 $U_{c2} \geq U_{\text{控}} - U_{\text{整}}$ 时, 电容 C_2 经两支路同时放电, 放电过程进行的较快, 由于 R_{27} 支路, 放电时间常数甚小, 所以放电过程主要在 R_{27} 支路进行, 故按图 2-7 (b) 的曲线 B 放电至 a 点, 在点 a 时 $U_{c2} = U_{\text{控}} - U_{\text{整}}$, 因而 U_{c2} 经 R_{27} 支路电路停止。

当 $U_{c2} \leq U_{\text{控}} - U_{\text{整}}$ 时, C_2 只能经 $R_{25} + R_{26}$ 支路放电, 这时放电过程按图 2-7 (b) 曲线 A 的规律进行, 一直到 C_2 放电终了 t_a 触发器翻转, 输出触发脉冲。

由于电容 C_2 上的初始电压 U_{c2} 为一定值 E, 因此改变 U 控 - U 整的大小, 就可以改变放电时间的长短, 从而可以控制可控硅元件的触发角 α 的大小。

当 R_{45} 整定好以后 U 整就不再改变了, 所以 U 控的变化将能直接改变触发脉冲的角度 α 。

一般令 $U_{\text{控}} = U_{\text{整}}$ 时 $\alpha = 0^\circ$ 可控硅元件全开放;

$U_{\text{控}} - U_{\text{整}} \approx E$ 时 $\alpha \geq 180^\circ$ 可控硅元件全关闭。

所以 U 整的大小要根据调节器的各元件的特性加以整定以达到可控硅整流为全控。

4、移相触发环节, 移相特性的测试, $\alpha = f(U_{\text{控}})$

方法: 见图 2-7

1) 接入 U_K (即 U_3) 电压, 并整定 $U_{\text{整}} = 9V$ 左右;

2) 调整 U_K 电压值, 使 $(U_K - U_{\text{整}})$ 值在 $0 \sim 12V$ 范围内固定一点。

3) 用示波器观察 C_2 , Q 点波形, 并用示波器的时标测取 C_2 , Q 点放电至 0, 所用的时间 t_0 。

记录: $U_{\text{整}} = 9V$

U_K	9 V	12 V	15 V	18 V	21 V
$U_K - U_{\text{整}}$					
t_0					

$$\theta = \omega t_0 = \frac{360}{0.02} t_0$$

θ ——为移相电路, 相对于同步电压的移相角

$$\alpha = \theta - 30^\circ - \gamma$$

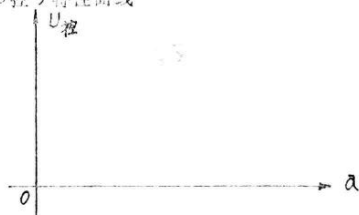
30° ——为相电压超前自然换相点的角度

γ ——同步变压器接线组别的补偿角

对 $\Delta/\Delta - 6$ 接线, $\gamma = 0^\circ$

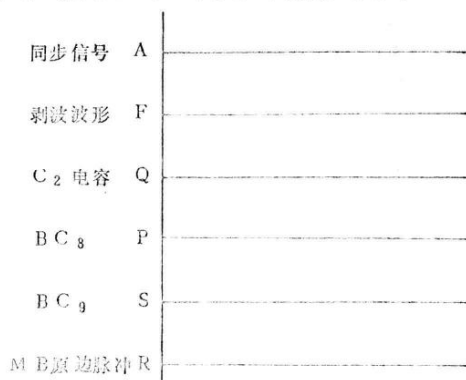
对 $\Delta/\Delta - 5$ 接线, $\gamma = 30^\circ$

绘出 $\alpha = f(U_{\text{控}})$ 特性曲线



5、观察并记录触发环节的各主要工作点的电位波形

方法: 使 $U_T = 40\text{ V}$, $U_F = 100\text{ V}$ 只改变 R_4 即可。

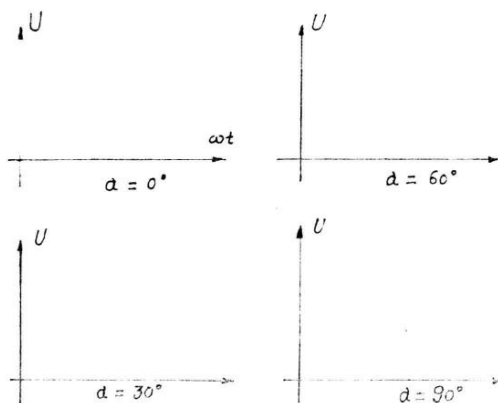


$\alpha =$ 时触发环节工作波形

6、观察记录可控硅在不同触发角 α 时主回路输出波形。

α 角应满足从 $30^\circ \sim 210^\circ$ 的要求

如波形三相不对称, 可调节 R_{25} 电位器即可。



在不同触发角下的三相半控桥整流波

7、记录触发角 α 与可控硅输出电压 U_L 的关系

方法：同 6，维持 $U_r = 40\text{ V}$ ， $U_r = 100\text{ V}$ ，只改变 R_4 即可。

记录：不同 α 角下的输出电压

α	
U_L	

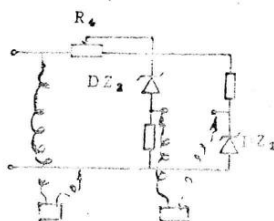
2) 绘出曲线 $U_L = f(\alpha)$

触发角与输出电压的关系

8、用示波器观察波形时，防止造成短路的说明。

双踪示波器两路测试线地线是示波器内部连码一起的，当使用双踪示波器，观察电路波形时，应慎重防止通过示波器地线造成短路，否则可能造成电路工作不正常或烧毁电路。举例说明：

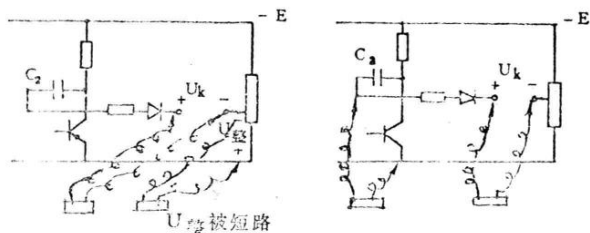
1)



DZ1 被短路

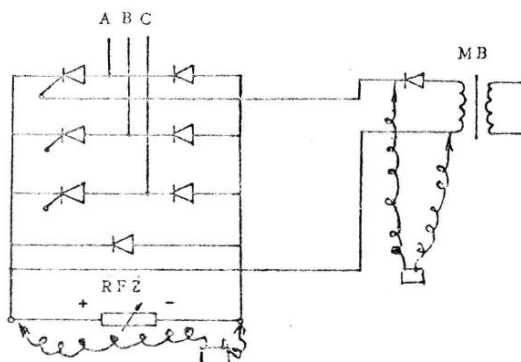
后果：烧坏元件，造成电路工作不正常

2)



后果：电路工作不正常，严重时烧毁电源或印刷电路

3)



R_{FZ} 被短路，负载短路，可控硅二极管，引线都有可能被烧坏

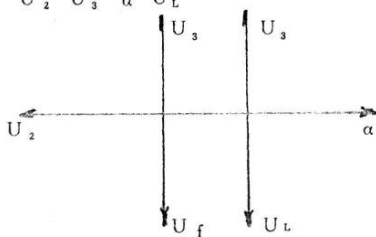
(四) 升环调速实验：

目的：模拟发电机电压的变化，看可控硅输出的大小。

方法：将 R_4 置于中间位置，然后合上 K_2 使 TV_2 的输出 $U_r = 40V$ ，再合上 K_1 逐步升高 TV_1 的输出，记录 $U_F, U_1, U_2, U_3, \alpha, U_L$

记录：

U_L	
U_1	
U_2	
U_3	
α	
U_L	



各环节特性曲线的配合

最后可以绘出各环节特性曲线的配合