

自动控制系统实验指导书

郑均忠 李文忠 编

焦作工学院电气工程系

一九九八年三月

目 录

一、自动控制系统实验的特点和要求·····	1
二、实验进行方式·····	1
三、实验报告·····	1
四、实验中安全注意事项·····	2
五、KZS—1型晶闸管直流调速实验装置介绍·····	2
六、双闭环可控硅直流调速系统实验·····	11

一、自动控制系统实验的特点和要求

自动控制系统实验课的目的旨在培养学生掌握基本的实验方法和操作技能，特别着重对学生能力的培养，包括动手能力、组织能力、数据分析能力、运用理论解决实际问题的能力等，本课程由于综合性和实践性均较强，涉及面广，实验时决不能一人单独进行，须3~5人分组协同工作，本实验是理论教学的补充与继续，而理论教学又是实验教学的基础。实验中学生们运用自控原理和自控系统方面知识，分析和解决实际系统中出现的问题。防止没有系统复习所学知识，走进实验室进行盲目操作或不知其然的照抄别人记录的实验数据的不良学风，这样既没有达到实验要求，同时还可能危及人身或仪器设备的安全。故要求同学们做好预习工作，认真阅读本实验讲义，明确实验目的与要求和实验中的注意事项，严格遵守实验室规章制度。

二、实验进行方式

⊖ 实验预习：预习是实验前的重要准备工作，是保证实验顺利进行的必要步骤，也是培养学生独立工作能力，提高实验质量与效率的重要环节，要求做到：

① 实验前应复习有关课程的章节和有关理论。

② 认真阅读实验指导书和有关实验装置的介绍，了解实验目的、内容、方法、要求和系统工作原理。

③ 明确实验过程中应注意的问题，拟出实验步骤，列出实验记录表格。

④ 实验预习分组进行，每组3~5人，每人都需预习。

⊖ 进行实验：

在实验进行中必须严肃认真，集中精力，停止与实验无关的一切活动。

1、预习检查、严格把关：实验开始前实验指导教师进行提问，检查预习情况，没有预习者，应拒绝实验。

2、分工配合、协调工作：每次实验以小组为单位进行，推选实验组长，组长负责实验安排如分配接线、起动、记录、调节负载、读表、测转速等工作，人人动手，个个主动，分工配合，协调操作，做到实验内容完整，数据正确。

3、合闸通电前首先由学生自查一遍，然后请指导教师检查，无误后方可通电。

4、按实验步骤操作、观察现象、测试数据。

5、做好实验结尾工作：实验完毕，应将记录数据交指导教师审阅，认可后才允许拆线，整理现场，导线分类整理，仪表、工具等归还原处。

三、实验报告

实验报告是实验成果的总结，也是对学生分析能力、综合能力的一次锻炼机会，为此必须独立完成，每人一份。

1、报告要求：条理清楚，简明扼要，字迹端正，图表整洁，分析认真，结论明确。

2、报告内容：① 实验名称、专业班级、组别、姓名、实验日期。

② 列出实验用机组以及主要仪表设备的型号、规格。

③ 实验目的和要求。

④ 绘出实验线路原理图。

⑤ 写出调试步骤与方法。

⑥ 整理实验数据，绘出有关曲线和波形。

⑦ 分析讨论实验中遇到的问题和心得体会。

四、实验中安全注意事项

为按时顺利完成实验内容，确保人身和设备安全，要严格遵守实验室安全操作规程，注意以下事项：

① 人体不可接触带电线路。

② 接线或拆线都必须切断电源情况下进行。

③ 学生完成接线允许合闸时，须招呼全组同学引起注意后方可合上电源，实验中如发生事故，应立即切断电源，保持故障现场，报告和协同指导教师查清原因，排除故障才可继续实验，切不可在故障未查清前，盲目合闸。

④ 实验时注意衣服、围巾、发辫以及导线等卷入电机的旋转部分，不得用手或脚去起动和停转电机，以防危险。

⑤ 电机励磁电源尽量不用中间开关，直接电源，以防失磁。

⑥ 除作阶跃起动试验外，系统起动前负载电阻必须放在最大值，给定电位器必须退回至零位后，才允许合闸起动，并慢慢增加给定，以免元件和设备过载损坏。

⑦ 在实验过程中，若突然发现电网停电，须立即切断实验装置的全部电源开关，以防电网复电后实验装置处于非正常无防备的起动状态，造成人身设备安全受到威胁。

⑧ 实验室内严禁抽烟、打闹、和骑、蹬踩在实验设备上的不良作风。

⑨ 实验室总电源由实验室工作人员操作，其他人员不许乱动。

五、KZS—1型晶闸管直流调速实验装置介绍

⊖ 装置特点：

KZS—1型晶闸管直流调速实验装置是根据拖动控制系统中晶闸管直流调速实验的要求而设计的多功能实验设备，该设备功能齐全、结构灵活、面板布局直观、接线调试方便，供直流电机组成系统时，电机的功率为3KW、220V，除组成直流调速系统外，也可进行有关晶闸管变流技术等其它实验。

经适当的组合或配以相应的配套实验装置，在本装置上可以进行以下各种实验：

① 晶闸管——电动机系统参数和环节特性测试。

② 带电流正反馈及电流截止保护的电压负反馈单闭环调速系统。

③ 带电流截止负反馈的转速单闭环调速系统。

④ 转速、电流双闭环不可逆调速系统。

⑤ 逻辑无环流可逆调速系统。

⑥ 错位(选触)无环流可逆调速系统等。

㊟ 总体结构:

本装置采用积木抽屉式结构,各单元部件可以任意组合,整个装置装在一个控制柜中,分为三只抽屉,各单元线路的输入、输出端子都接到面板接线柱上,可调电位器也可全部安装在面板上,便于接线调试,面板上画有各个独立环节的原理线路图、接线柱、电位器以及检测插孔全部装在线路的相应位置上,实验接线全部在面板上进行,直观方便、调速实验装置的面板布置图如图—1所示。

控制柜的上部抽屉是控制单元,包括给定器GD、转速调节器ST、电流调节器LT、电压调节器YT、绝对值放大器JF、零速封锁器LSF,电流反馈、转速反馈及过流保护环节LF—SF—GL、电流符合选择器LX、电压隔离器LG、选择触发器XC、电平检测器DJ、逻辑控制器LK、倒相器DX以及备用单元等15个独立单元。

控制柜的中部抽屉是同步电源TB,六块锯齿波触发器CF、稳压电源WY和供直流电机励磁用的220V励磁电源JC等。

控制柜的下抽屉中装有12个20A/800V的晶闸管和4个20A/800V硅态流二极管,每个元件附有熔断器保护、阻容保护和熔断器熔断指示灯。交流进线处配有一组10A/0.1A的三相交流互感器,作电流检测和控制之用,交流侧过压保护采用了压敏电阻。

在抽屉的最上面面板上装有直流侧的电压、电流表和转速表,以及主电路和控制电源的指示灯。

㊟ 主要单元的作用及工作原理:

1、给定器GD

给定器的作用是用以获得平滑调节的正、负给定电压或各种阶跃变化的电压量、给定量的原理电路如图—2所示。

① 若钮子开关 K_1 放在“正位”, K_2 放在“给定位”,调节电位器 R_{m1} 即可获得平滑调节的正给定电压,扳动 K_2 由“给定”位到“零”位,可获得正电压到0V的突跳,若由“零”位扳到“给定”位,即可获得0V到正向电压的阶跃给定。

② 若钮子开关 K_1 放在“反”位、 K_2 放在“给定”位,调节电位器 R_{w2} 即可获得平滑调节的负给定电压,若扳动 K_2 ,同样可获得0V到负电压或负电压到0V的阶跃给定。

③ K_2 放在“给定”位,扳动 K_1 可得到正电压到负电压或负电压到正电压的阶跃给定。

给定器有给定1和给定2可分别独立使用。

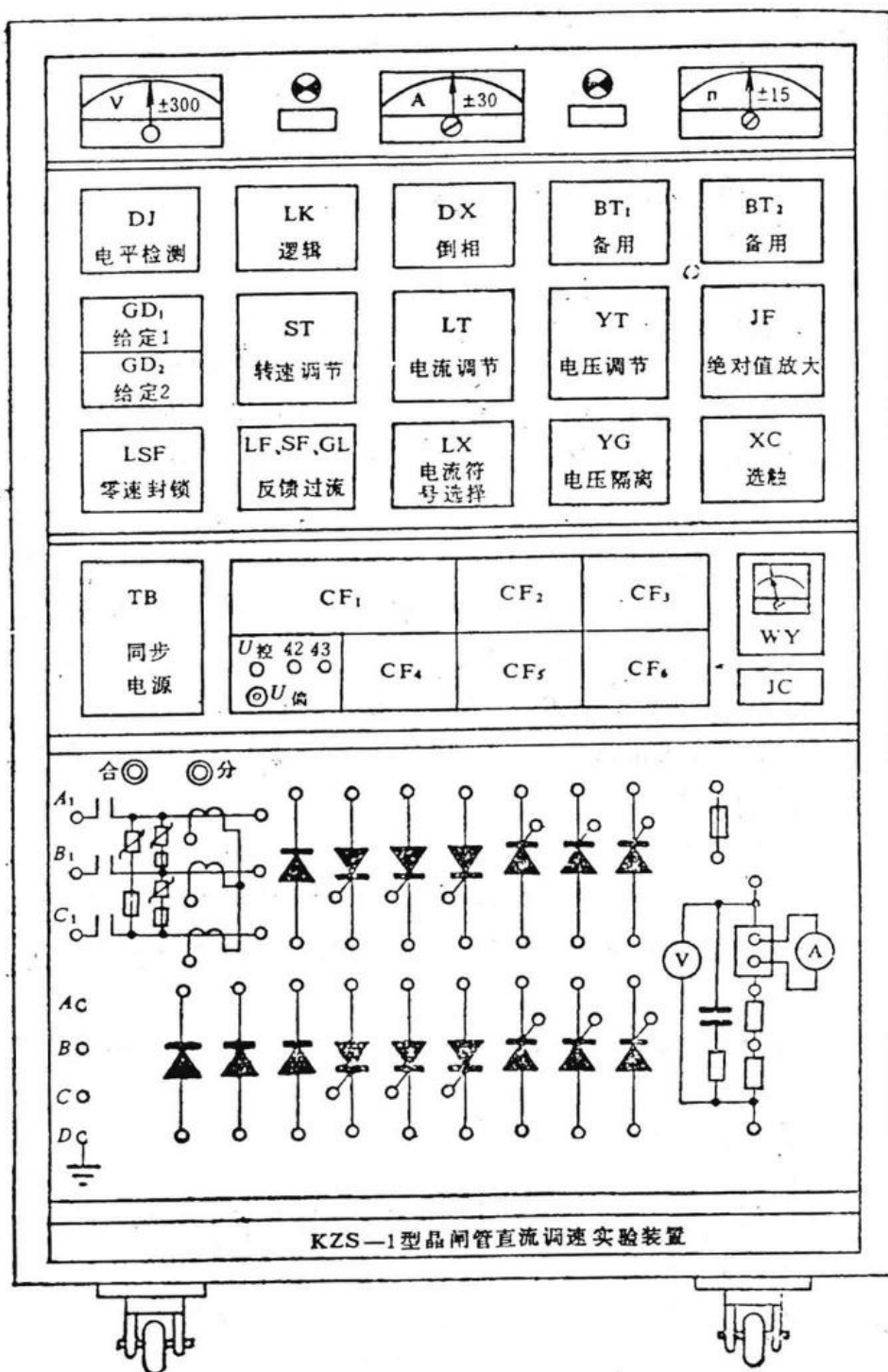


图 -1 调速实验装置面板布置图

2、转速调节器 ST

转速调节器的作用是将输入的给定和反馈信号进行加法、减法、比例、积分、微分等运算，使其输出量按某种预定的规律变化，其原理电路如图—3所示。

转速调节器采用集成电路运算放大器组成，它具有同相输入和倒相输入两个输入端，其输出电压与两个输入端电压之差成正比，集成电路运算放大器具有开环放大倍数大，零点漂移小，线性度好，输入电流小，输出阻抗小等优点，因而可以构成较为理想的调

节器。

2 端为给定输入端，1 端为反馈信号输入端，接在运算放大器输入端前面的阻抗为输入阻抗网络，接在倒相输入端和调节器输出端之间的网络为反馈阻抗网络，改变输入与反馈阻抗网络参数，就能得到各种运算特性。

倒相输入端与调节器输出端之间的场效应管起零速封锁作用，零速封锁时 56 端为零电平，场效应管导通，调节器输出锁零。56 端为 -15 V ，场效应管夹断，调节器投入工作。

3、电流调节器LT

电流调节器的作用与 ST 类似，在系

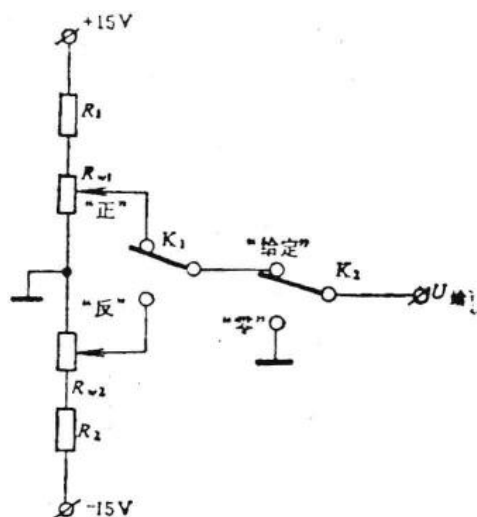


图 2-2 给定器 (GD) 原理电路图

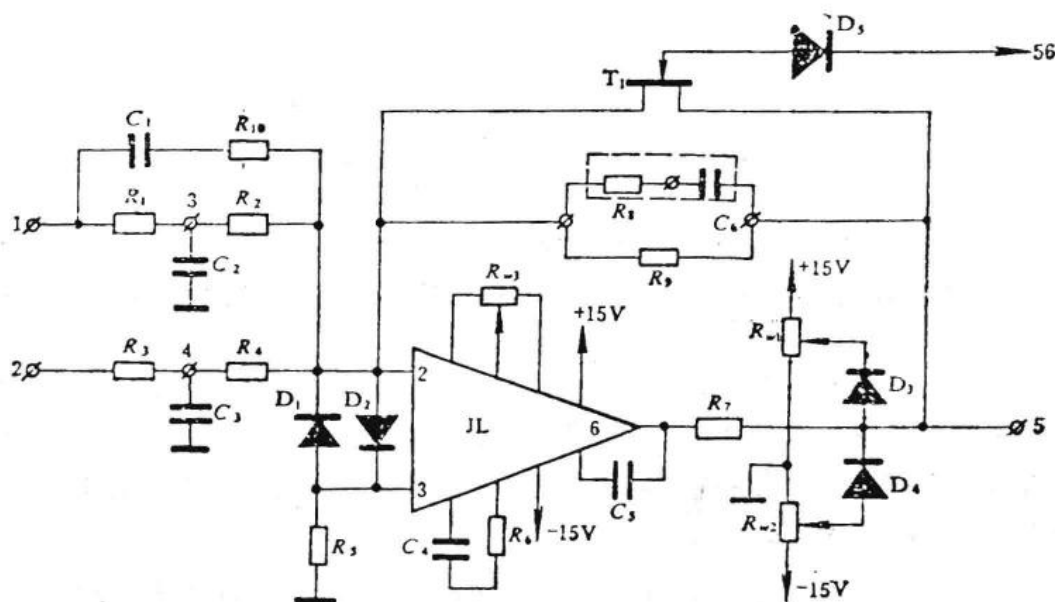


图-3 转速调节器 (ST) 原理电路图

统中起到维持电流恒定，并保证在过渡过程中维持最大电流不变，以缩短转速的调节过程。其工作原理电路如图—4所示，主要由集成运算放大器、二极管箝位外限幅电路、互补输出的电流放大级、输入阻抗网络、反馈阻抗网络以及零封电路和输入端电子开关等组成。

1 端为电流负反馈信号输入端, 6 2 端为过流保护及推 β 信号输入端, 当其输入为“1”态时, LT 输出负向限幅, 4 和 7 端为正向、反向电流给定输入端, 6 端和 9 端为正向、反向电流给定电子开关控制信号输入端, 晶体管 T_4 与 T_5 组成电子开关。

晶体管 T_2 和 T_3 构成互补输出的电流放大级, 当 T_2 、 T_3 基极电位为正时, T_3

管 (PNP 型晶体管) 截止, T_2 管 (NPN 型晶体管) 和负载构成射极跟随器, 如 T_2 、 T_3 基极电位为负时, T_2 管截止, T_3 管和负载构成射极跟随器。

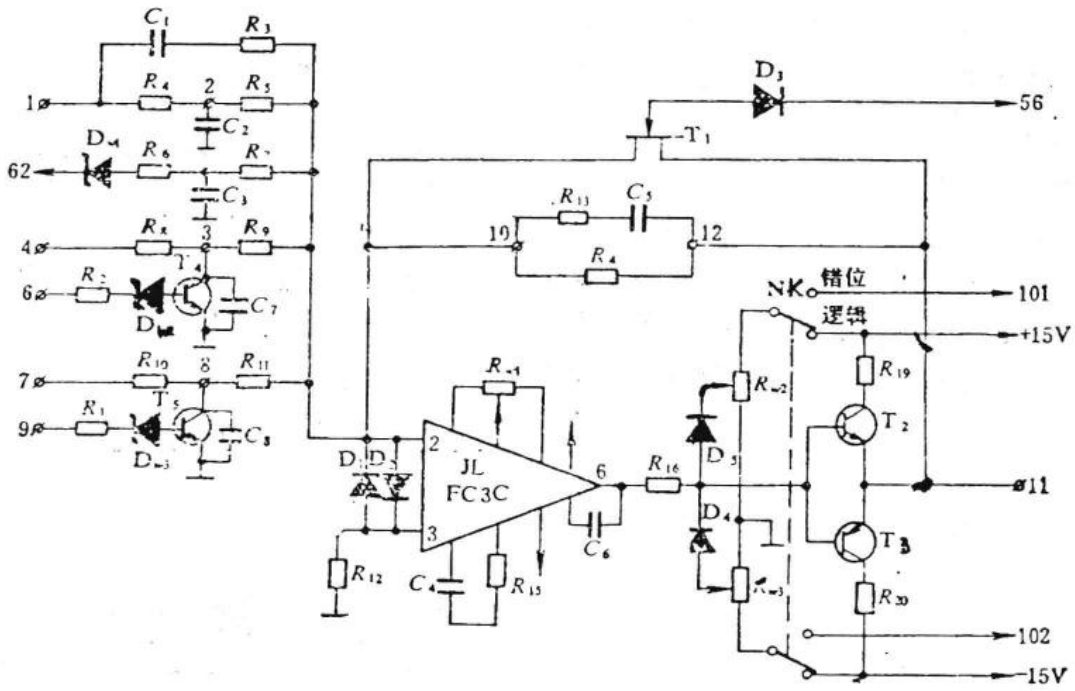


图 -4 电流调节器 (LT) 原理电路图

R_{w1} 为调零电位器, R_{w2} 调节正向输出限幅, R_{w3} 调节负向输出限幅值, 钮子开关 NK 为限幅电路的电源切换开关, 反馈网络中的场效应管是封锁调节器用的。

4、零速封锁器 L SF

零速封锁器的作用是当调速系统处于停车状态, 即转速给定电压为零, 同时转速也确为零时, 封锁系统中所有调节器, 以避免停车时各调节器零漂引起晶闸管整流电路有输出, 造成电机爬行的不正常现象。其原理电路如图—5 a 所示, 它是由两个山形电平检测和开关延时电路组成。

① L SF 的前半部分为分别由线性集成电路 JL_1 和 JL_2 组成的二个山形电平检测器, 其输入特性如图—5 b 所示, 输入电压是指 57 或 58 端子送入的电压 (钮子开关 NK 放在封锁位), 输出电压是指 JL_1 、 JL_2 的输出由检测孔 CK_3 或 CK_4 得到的电压。调整参数使输出电压突跳的几个输入电压为: $U_a = -0.2V$, $U_b = -0.07V$, $U_c = +0.07V$, $U_d = +0.2V$, 输出正向电压上限幅约为 $+12V$, 输出负向电压用二极管 D_9 和 D_{10} 箝位到 $-0.7V$ 。

② L SF 的后半部分为开关延迟电路

1) 当输入端 57 和 58 的电压绝对值均小于 $0.07V$ 时, 则二个山形电平检测器的输出均为 $+12V$ (高电平为“1”态), 与门 Y 的输出也为“1”态, 二极管 D_{11} 截止, 非门 F 的输入为“1”态, 输出为“0”态, D_{12} 导通, 使稳压管 D_w 不能击穿, 三极管截止, 则 56 端子的输出电压为 $0V$ 。

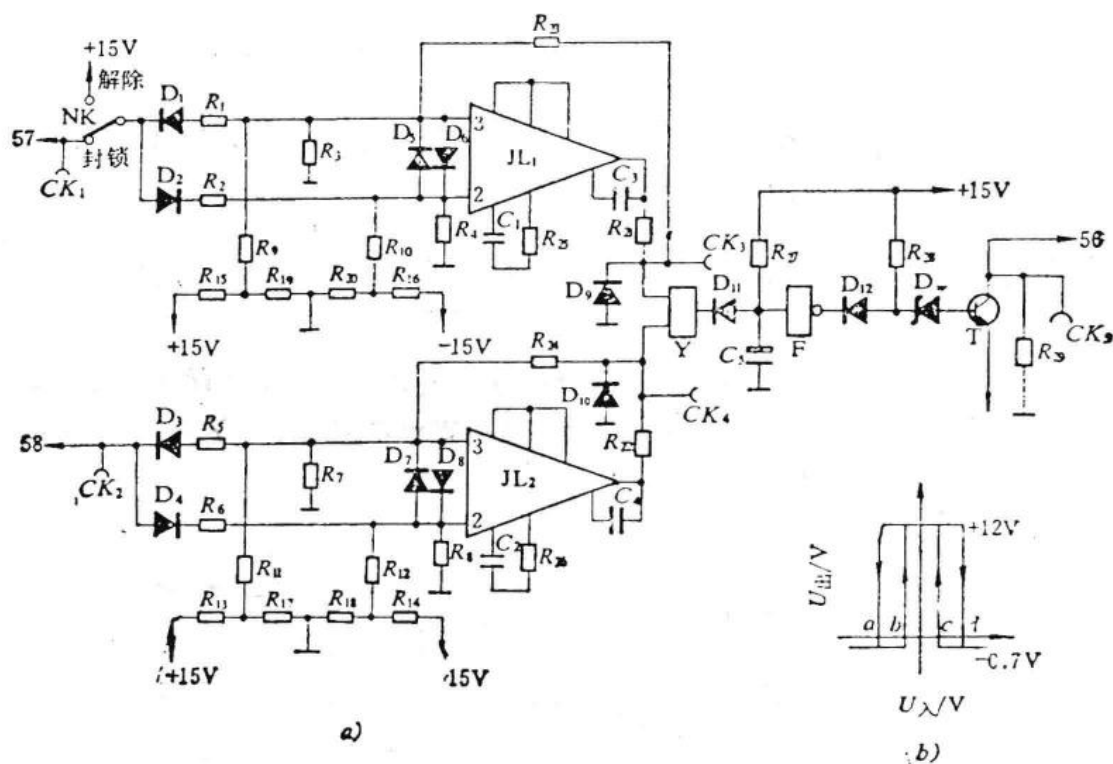


图 5: 零速封锁器 (LSP)
a) 原理电路图 b) 输入输出特性

2) 当57和58端子任意有一个输入电压的绝对值大于 $0.2V$ 时, 则山形检测器的输出有一个或二个为 $0.7V$ (低电平为“0”态), 使与门Y的输出为“0”态, D_{11} 导通, 非门F的输出为“1”态, D_{12} 截止, 稳压管 D_w 击穿导通, 使56端子的输出电压为 $-15V$ 。

3) 当56端子输出为 $-15V$ 时, 电容 C_5 上电压接近 $0V$, 此时若电平检测器的输出均变为 $+12V$, 与门Y的输出由“0”态变为“1”态, D_{11} 截止, 由于电容两端电压不能突变, $+15V$ 电源通过 R_{27} 对 C_5 充电, 当 C_5 上电压上升到一定数值后, 非门F的输出才能由“1”态变为“0”态, 使56端输出为 $0V$ 。56端子输出由 $-15V$ 变为 $0V$ 的延时时间长短取决于 R_{27} 、 C_5 充电回路的时间常数, 其延时时间约为 $100ms$ 左右。

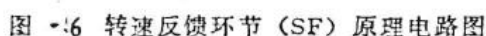
③ 钮子开关NK有二个位置, 在调速系统正常工作时放在“封锁”位, 此时56端子输出电压为零时各调节器反馈网络中的场效应管导通, 调节器被封锁。56端输出电压为 $-15V$ 时, 场效应管夹断, 各调节器解除封锁。

在各调节器作单独调试时, NK置于“解除”位, 此时 JL_1 组成的山形电平检测器输入总是 $+15V$, 56端电位总是 $-15V$, 各调节器解除封锁。

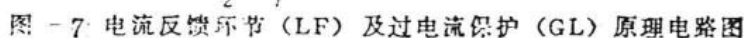
5、转速反馈环节、电流反馈及过电流保护环节(SF、LF、GL)

① 转速反馈环节 SF。转速反馈环节的作用是将测速发电机输出的电压变换成适

测速发电机的信号加在 ZS_1 、 ZS_2 两个输入端，然后分两路输出，一路经电位器 R_{W1} 到转速表，另一路由电位器 R_{W2} 的滑动端输出，作为转速反馈信号，同时也作为零速封锁时反映转速的电平信号。



② 电流反馈环节 LF: 电流反馈环节的作用是与交流电流互感器配合检测晶闸管变流器交流进线电流, 以获得与变流器电流成正比的直流电压信号、零电流信号和过电流逻辑信号等, 其原理电路如图一 7 所示。



电流互感器的输出接至输入端子 LQ_1 、 LQ_2 、 LQ_3 ，经三相桥式整流后分三路输出：

- 1) 由 R_3 、 R_4 串联后取中间信号作为零电流检测信号。
- 2) 由电位器 R_{w3} 的滑动端输出, 作为电流负反馈信号。
- 3) 由电位器 R_{w4} 的滑动端输出, 与过电流保护电路连接作为过电流信号。

③ 过电流保护 GL。当主回路电流超过整定值后，由 R_{w4} 上取得的过电流信号使稳压管 D_{w1} 击穿，三极管 T_1 由截止变为导通，继电器 J 通电动作，其常闭触点串在主回路接触器 C 的线圈回路中（见图—9），使 C 断电释放断开主电流，另外 J 的常开触点 J_2 闭合，继电器 J 自锁，常开触点 J_1 闭合使过电流信号指示灯 XD 点亮。

当过电流时,三极管 T_2 由导通变为截止,端子5输出一个高电位至电流调节器输入端,作为过电流时拉 β 的信号。

6、触发器 CF

触发器的作用是提供晶闸管门极触发脉冲，其原理电路如图—8 a 所示，此触发器采用锯齿波作为同步电压，包括有同步电压形成，移相控制、脉冲形成和放大以及输出

控制四个环节。

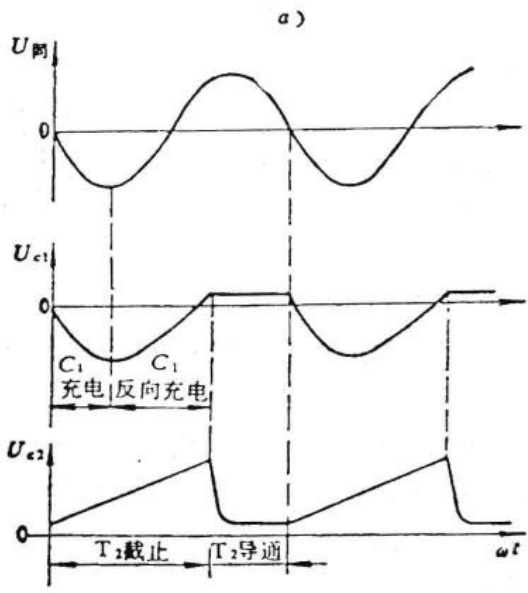
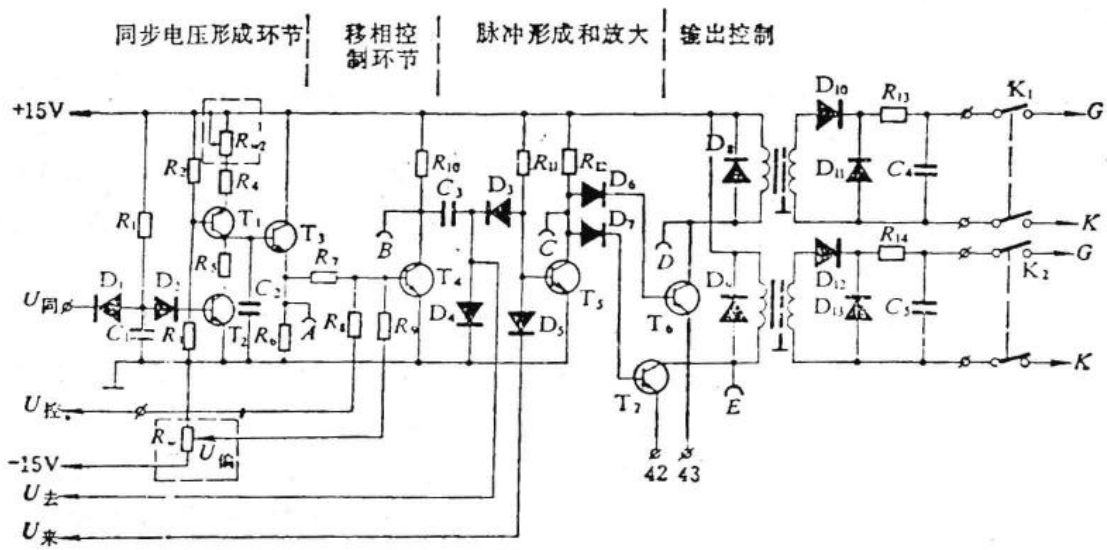


图 - 8 触发器 (CF)

注：1. 负偏电位器 R_{w2} 六块触发板公用 1 只 2. 接线柱 $U_{\text{去}}$ 及 42、43 六块触发板并联后引出一只接线柱

① 同步电压形成· 正弦同步电压 $U_{\text{同}}$ 经 D_1 加到电容 C_1 上，在 $U_{\text{同}}$ 负半周的下降段 D_1 导通， $U_{\text{同}}$ 对 C_1 充电， C_1 的端电压 U_{c1} 跟随 $U_{\text{同}}$ 变化， $U_{\text{同}}$ 经过负向最大值之后电压回升，但由于 C_1 经 R_1 反向充电的时间常数较大，使 U_{c1} 低于 $U_{\text{同}}$ ， D_1 截止。随着 C_1 反向充电， U_{c1} 逐渐上升由负变正，当 U_{c1} 达到 $1.4V$ 左右时，三极管 T_2 才导通，故 T_2 的截止时间大于 1.80° ，达到 240° 。

由 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_{w2} 及 T_1 组成的恒流电路在 T_2 截止阶段对电容 C_2 进行恒流

充电, C_2 端电压 U_{c_2} 线性上升, 直到 T_2 导通之后通过 R_5 放电, 因此 C_2 二端形成底宽为 240° 左右的正锯齿波电压, 此电压经过 T_3 射极跟随器输出, 其波形如图—8b 所示。

② 移相控制环节。控制信号 $U_{\text{控}}$ 经 R_8 、偏移信号 $U_{\text{偏}}$ 经 R_9 、锯齿波同步信号 (T_3 射极输出信号) 经 R_7 在 T_4 基极进行综合, 并对锯齿波同步电压进行垂直控制, 当综合后合成电压 U_{b_4} (T_4 基极电压) > 0 时, T_4 由截止转为导通, T_4 集电极电位由正变为 0, 此电位的突变将通过脉冲形成环节产生脉冲, 在 $U_{\text{偏}}$ 一定的情况下改变 $U_{\text{控}}$ 的大小即能改变脉冲的相位。

③ 脉冲形成和放大。当 T_4 由截止变为导通时, 由于电容 C_3 二端电压不能突变, 于是 C_3 与 D_3 交点处产生负脉冲, 使 T_5 截止, 从而使 T_6 或 T_7 (对应 42 接地或 43 接地) 导通产生触发脉冲, 功率放大后的脉冲经脉冲变压器输出。

此触发器可以产生单脉冲或双脉冲, 通常使用双脉冲, 把触发器 $U_{\text{去}}$ 端接前面触发器 $U_{\text{来}}$ 端, 而 $U_{\text{来}}$ 端接后面触发器的 $U_{\text{去}}$ 端, 这样 C_3 产生负脉冲时, 一方面使 T_5 截止, 同时又通过 $U_{\text{去}}$ 端及前面触发器的 D_5 使前面触发器的 T_5 截止产生补脉冲, 因而形成相位差 60° 的双脉冲触发, 脉冲宽度在 15° 左右。

④ 输出控制。 T_6 、 T_7 的射极不直接接地, 而是经 42、43 端接到逻辑控制 (逻辑无环流系统) 或选择触发器 (错位无环流系统) 相应输出端, 当 42 或 43 端为低电位时, 功放管可以导通即可输出脉冲, 当出现高电位 (或悬空) 时, 功放管无法导通即脉冲封锁。

7、同步电源及操作单元 TB

稳压电源和同步电源合用一只三相变压器, 同步电源用双反星形接法, 为了获得不同相位的同步电压, 变压器一次侧有 380V 和 220V 两个抽头, 以供一次侧可以接成三角形或星形连接。稳压电源供电用三角形接线, 对减少三相变压器中三次谐波干扰有利, 另外设置一组三相零式整流电路, 作为错位无环流系统中电流调节器的限幅环节电源, 因为错位系统中电流调节器的限幅要随电源电压变化而变化。

同步电源及操作单元的原理电路如图—9 所示, JC 为三相零式整流桥, 供给电动机励磁电压用, TB 为同步变压器。

操作回路中 QA 为起动按钮、TA 为停止按钮, C 为主回路接触器, J_3 为过流继电器常闭触点, 当系统产生过电流时, 过电流环节 GL 首先把脉冲推向 β_{min} 位置, 同时过电流继电器 J 动作, 接触器 C 断电, 从而使主电路断电。

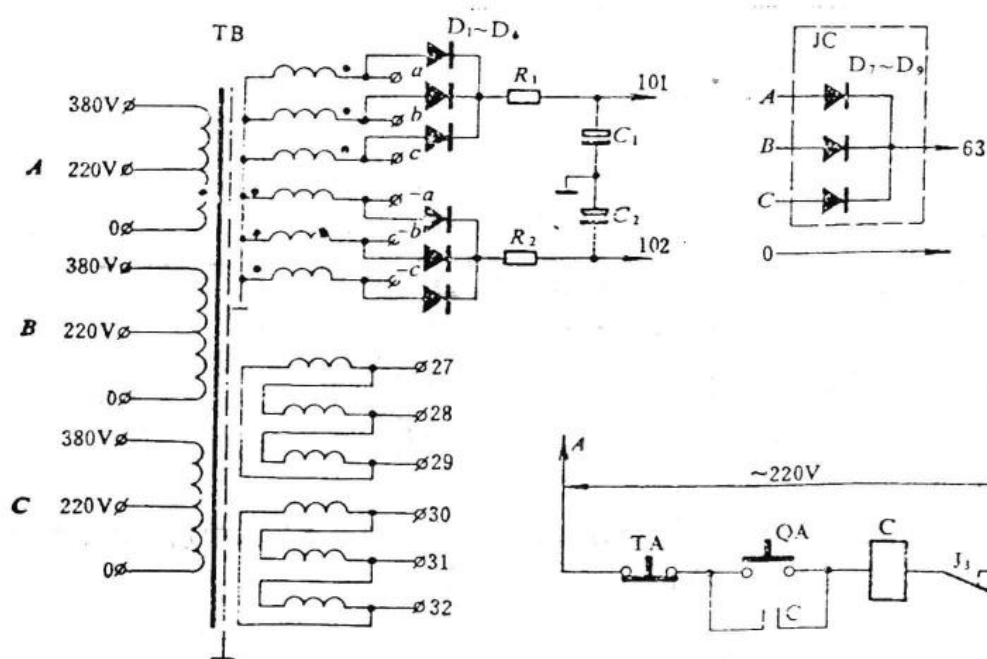


图 - 9 同步电源及操作单元 (TB) 原理电路图

六、《双闭环可控硅直流调速系统实验》

① 实验目的

- 1、熟悉并掌握双闭环系统的元件调试方法，并组成实际系统。
- 2、对系统的静特性进行研究。

② 系统的组成

控制系统由 GD、ST、LT、转速反馈 SF、触发器 CF，零速封锁 L SF 和三相全控桥组成的双闭环调速系统。

③ 实验内容和步骤

一) 实验单元部件的调试及参数测定

① 同步变压器与主回路定相序：用示波器观察主回路 a、b、c 相序与同步变压器副边一致，同步变压器接成 $\Delta/Y-11$ 。

② 触发器的整定： $U_{GD} = 0$

③ 定初始相位：停车时 $U_k = 0$ ， $\alpha_0 = 90^\circ$ ($\omega t = 120^\circ$) 方法：用双线示波器一探头测触发器 CF_1 锯齿波 A 点，另一端测双脉冲波 C 点，调偏移电压 $U_{偏}$ 值，脉冲移相定在 $\omega t = 120^\circ$ 处 (即 $\alpha = 90^\circ$) 如图—10 所示。

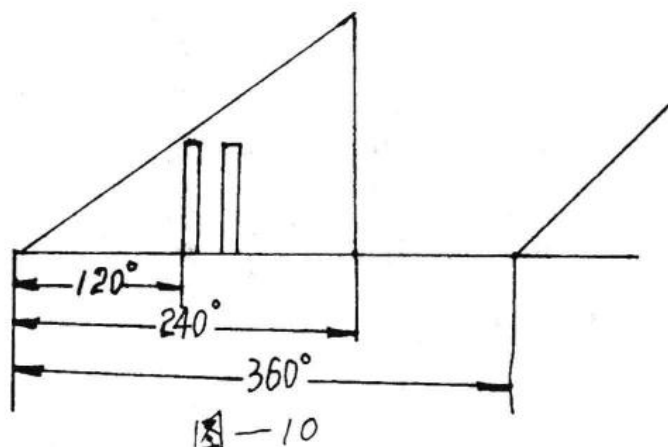
④ 锯齿波斜率整定：调节相应电位器使 $CF_1 \sim CF_6$ 六块触发器的锯齿波宽度、幅值、斜率都一致，并保证控制电压 U_k 从 0~5 V 范围内改变时双脉冲同时出现，并

能移动。

③ 电流调节器与转速调节器的调试：

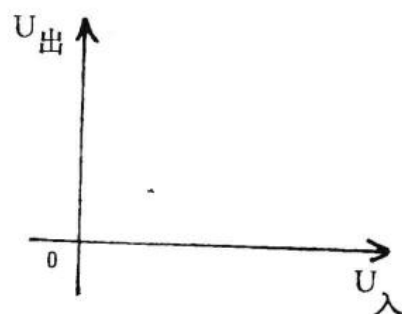
② 静态调零：将调节器输入端接地，用万用表测调节器输出端电压，调节调零电位器，直到调节器输出为零时为止。

① 正负限幅值整定：将调节器输入端接地线去掉，接到给定器输出端，将调节器输入端加入足够大的信号，使LF与ST的输出电压达到 ± 5 伏限幅。



③ 速度调节器与电流调节器静特性测试：将两调节器输入端加入 $0 \sim 5$ V电压 U_{λ} ，测量其输出电压 $U_{\text{出}}$ ，填下表并做出其静特性曲线。

U_{λ}						$-U_{\lambda}$					
$-U_{\text{出}}$						$U_{\text{出}}$					



④ 电流反馈与速度反馈量的调试：

A、电流反馈量的调试：

③ 去掉电源后，断开电机磁场，将转子堵住，系统接如图-11形式，调整给定电压 $U_{g d}$ 从零开始逐渐升高，当电枢电流达到 $1.5 I_{e d}$ 时电流反馈电压调到接近5伏。注意：调整过程要快，以防电枢过热烧坏电机。

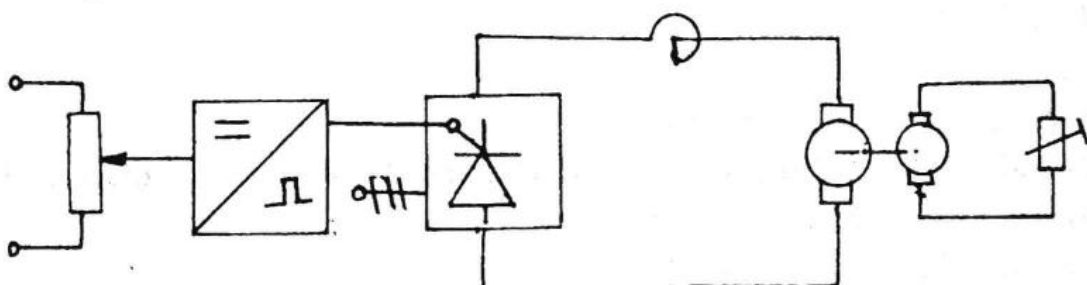
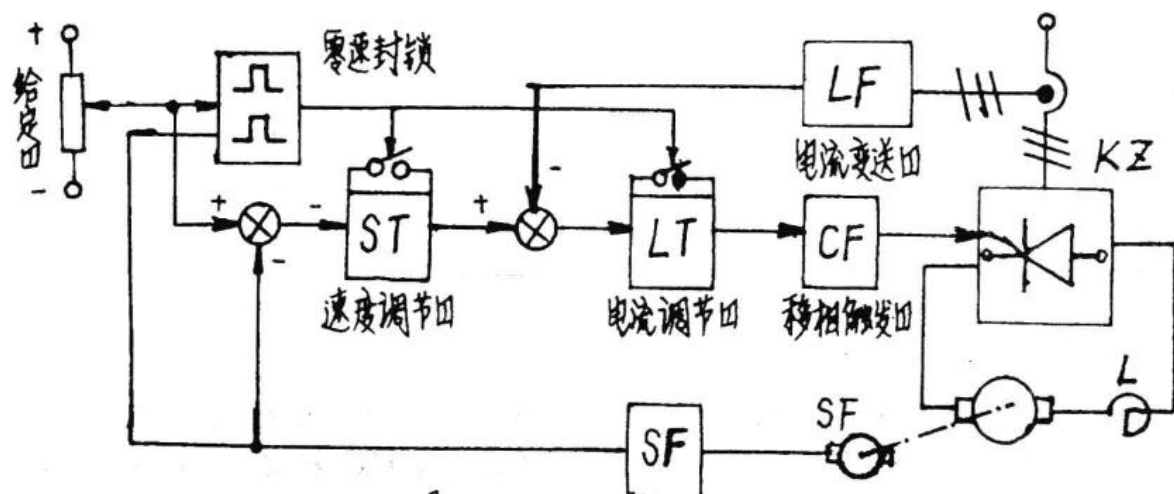


图-11

⑥ 注意反馈极性应与 $U_{g i}$ 相反，形成负反馈。

B、速度反馈量的调试：去掉电源后接上电机励磁电源。当电机达到额定转速时，反馈电压 $U_{f n}$ 接近5伏，注意反馈电压极性。

⑤ 励磁回路电压：调节励磁回路电阻，使电机励磁绕组两端电压达到额定值为止。



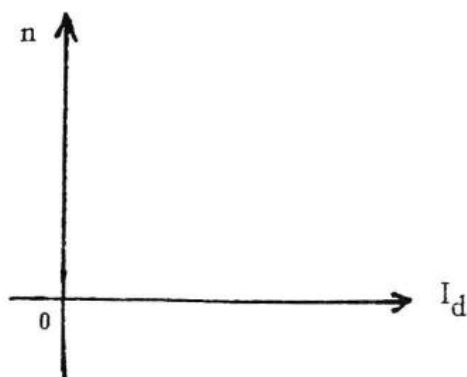
图—12

二) 系统调试：按图—12 接成不可逆调速系统。

A、系统开环实验：

按原理图接好线，将电流与速度反馈断开，电动机处于空载，慢慢增加给定电压 U_{gd} ，电机达到额定转速时，增加电机负载，分别测出转速 n 和负载电流 I_d ，使 I_{fz} 达到电流 I_{ed} 。填表并绘出机械特性曲线。

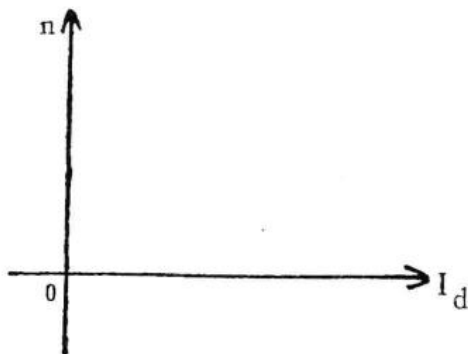
n									
I_d									



B、系统闭环实验：

接上电流和速度反馈线，使系统构成双闭环（注意反馈线极性），用上述同样方法测出 n 和 I_d 对应值，并绘出机械特性曲线。

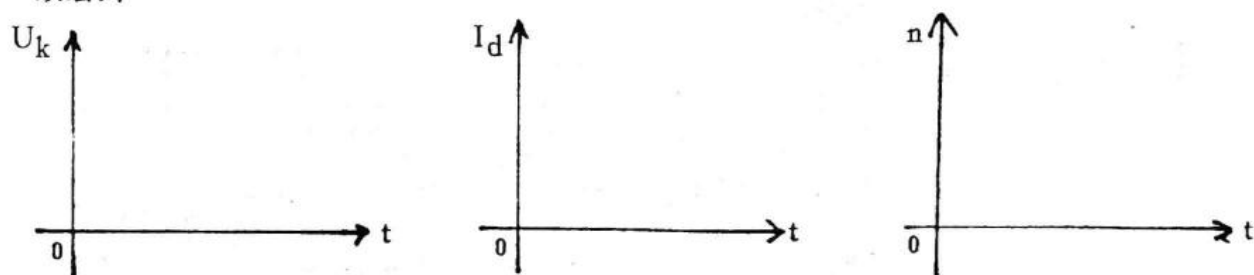
n									
I_d									



三) 用示波器观察以下几处波形：

$$U_k = f(t), \quad I_d = f(t), \quad n = f(t)$$

系统接成双闭环，然后突加给定电压5伏，用示波器慢扫描挡观察变化波形，并大致绘出。



④ 本实验注意事项：

① 在实验柜中，控制回路接地点与主回路不共地，切不可短接。

② 主回路整流变压器（三相调压器）线电压不得超过220V，否则会击穿晶闸管。

③ 用双线示波器同时观察两个波形，示波器的地线必须接在同电位上，否则将通过示波器地线烧毁系统柜。

