DJDK—1 型电力电子技术及电机控制实验装置面板介绍

DJK01 电源控制屏

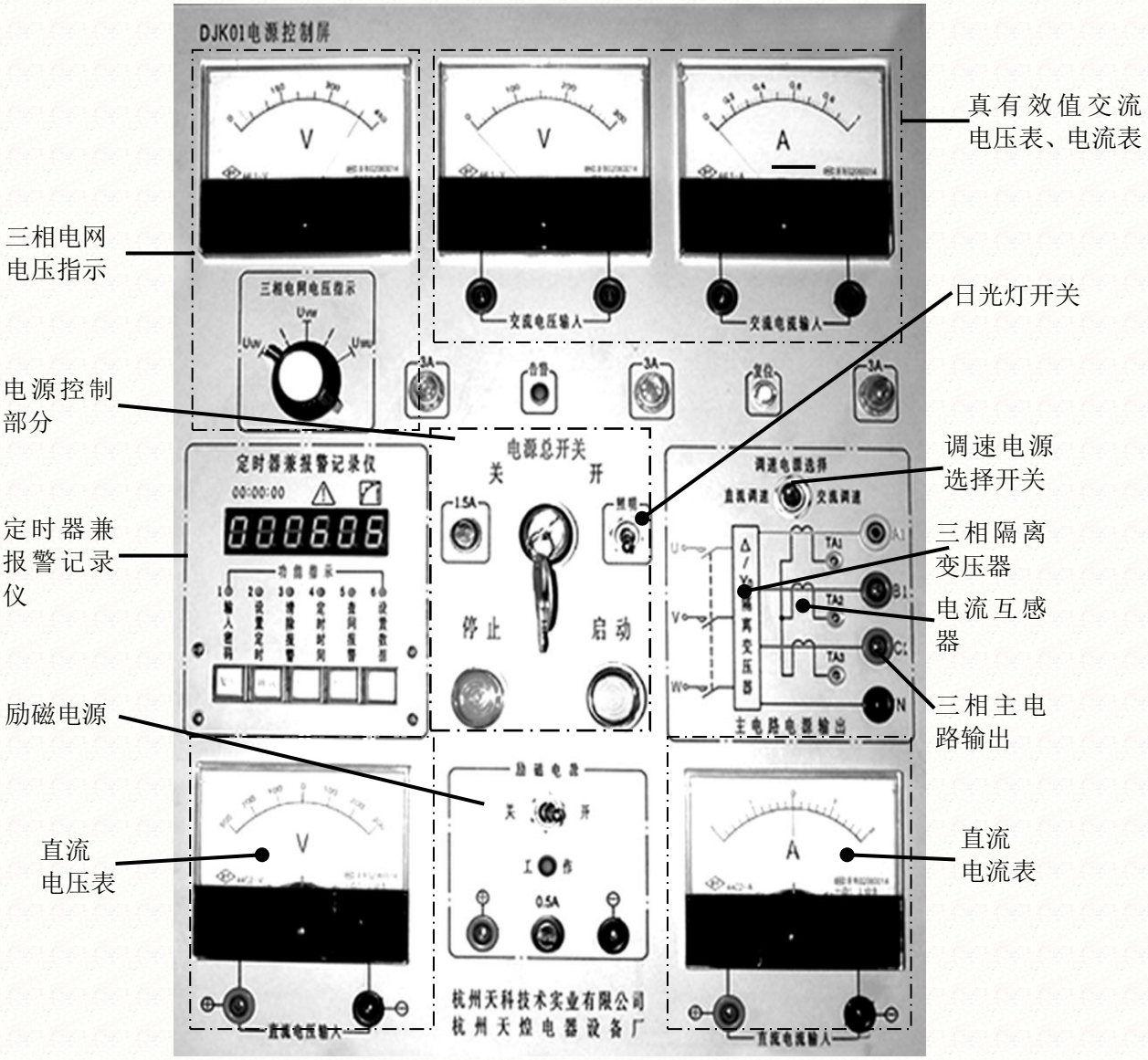


图 1-1　电源控制屏 DJK01

1、三相电网电压指示

1. 三相电网电压指示主要用于检测输入的电网电压是否有缺相的情况，操作交流电压表下面的切换开关，可以观测三相电网各线间电压是否平衡。为防止电源开关频繁动作对交流电压表的冲击，平时请将波段开关置于空挡以切除电压表。

2、定时器兼报警记录仪

平时作为时钟使用，具有设定实验时间、定时报警和切断电源等功能，它还可以自动记录由于接线操作错误所导致的告警次数。（具体操作方法详见DJDK-1型电力电子技术及电机控制实验装置使用说明书）

3、电源控制部分

它的主要功能是控制电源控制屏的各项功能，它由电源总开关、启动按钮及停止按钮组成。当打开电源钥匙总开关时，停止按钮的红灯亮；当按下启动按钮后，红灯灭，启动按钮的绿灯亮，此时控制屏的三相主电路及励磁电源都有电压输出。

4、三相主电路输出

三相主电路输出可提供三相交流200V/3A或240V/3A电源。输出电压的大小由“调速电源选择开关”控制，当开关置于“直流调速”侧时，A1、B1、C1输出的线电压为200V，可完成电力电子实验以及直流调速实验；当开关置于“交流调速”侧时，A1、B1、C1输出的线电压为240V，可完成交流电机调压调速及串级调速等实验。

在主电源输出回路中装有测定输出电流值的电流互感器，供电流反馈和过流保护使用，面板上TA1、TA2、TA3的三处观测点用于观测三路电流互感器输出电压信号。

5、励磁电源

在按下启动按钮后将励磁电源开关拨向“开”侧，励磁电源输出220V的直流电压，励磁电源由0.5A熔丝做短路保护，由于励磁电源的容量有限，仅作为直流电机提供励磁电流，故一般不能作为大电流的直流电源使用。

6、面板仪表

面板下部设置有±300V 直流电压表和±5A 直流电流表，精度为 0.5 级，能为可逆调速系统提供电压及电流指示；面板上部设置有 500V 真有效值交流电压表和 5A 真有效值交流电流表，精度为 0.5 级，供交流调速系统实验时使用。

电源控制屏启动程序与操作说明

1. 接通控制屏的三相四线电源。
2. 电源控制屏启动时先将总电源钥匙开关置于“开”的位置，此时机柜左右两侧的电源插座有电（220伏），机柜挂件凹槽内的电源插座有电（220伏）；此时“停止”按扭指示灯（红色）亮，“启动”按扭指示灯（绿色）灭，定时兼报警记录仪开始计时并显示时间。按动“启动”按扭，红灯灭，绿灯亮。此时，调速电源选择开关位于“直流调速”时，三相隔离变压器输出220伏电压；调速电源选择开关位于“交流调速”时，三相隔离变压器输出250伏电压。直流励磁电源电压为220伏。

在实验过程中，严禁将主电路输出端及电流互感器输出端短路，以免发生意外。

3. 实验完毕，应先关闭挂件低压电源开关，再切断励磁电源，然后按动“停止”按扭开关，切断主电路电源，最后，将钥匙开关置于“关”的位置，切断总电源。

DJK02（晶闸管主电路）

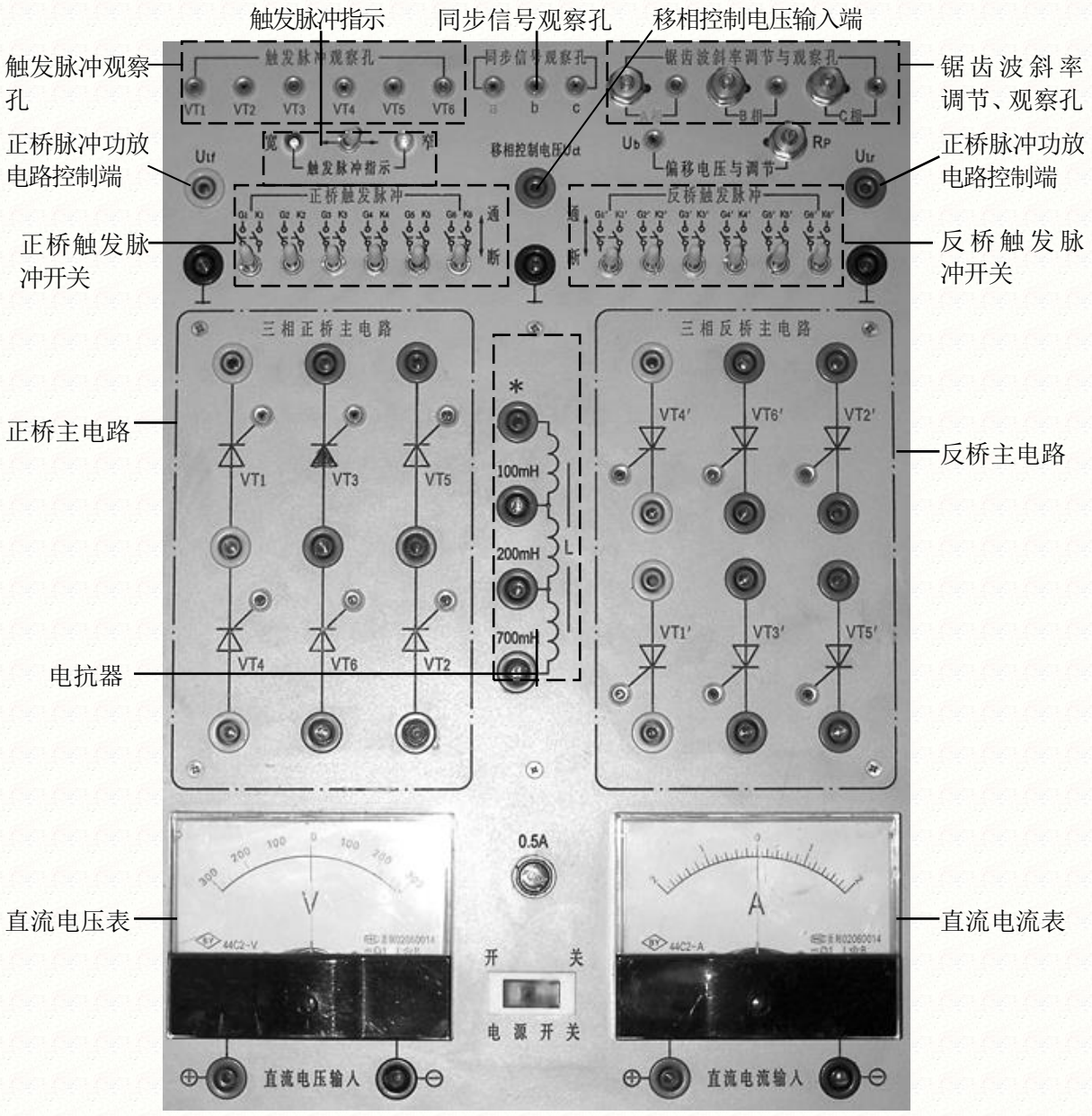


图 1-2 晶闸管主电路控制屏 DJK02

1、正、反桥钮子开关

从正、反桥脉冲输入端来的触发脉冲信号通过“正、反桥钮子开关”接至相应晶闸管的门极和阴极。面板上共设有十二个钮子开关，分为正、反桥两组，分别控制对应的晶闸管的触发脉冲；开关打到“通”侧，触发脉冲接到晶闸管的门极和阴极；开关打到“断”侧，触发脉冲

被切断；通过钮子开关的拨动可以模拟晶闸管失去脉冲的故障情况。

2、三相正、反桥主电路

正桥主电路和反桥主电路分别由六只 5A/1000V 晶闸管组成；其中由 VT1～VT6 组成正桥元件（一般不可逆、可逆系统的正桥使用正桥元件）；由 VT1′～VT6′组成反桥元件（可逆系统的反桥以及需单个或几个晶闸管的实验可使用反桥元件）；所有这些晶闸管元件均配置有阻容吸收及快速熔断丝保护，此外正桥还设有接成三角形的压敏电阻，用于过压吸收。

3、平波电抗器

实验主回路中所使用的平波电抗器装在电源控制屏内，有 3 档电感量可供选择，分别为 l00mH、200mH、700mH（各档在 1A 电流下能保持线性），可根据实验需要选择合适的电感值。

4、直流电压表及直流电流表

面板上装有±300V 的直流电压表、±2A 的直流电流表，均为中零式，精度为 1.0 级，为可逆调速系统提供电压及电流指示。

5、移相控制电压 Uct 输入及偏移电压 Ub 观测及调节

U_{ct}及U_b用于控制触发电路的移相角。在一般的情况下，我们首先将U_{ct}接地，调节U_b，以确定触发脉冲的初始位置，在确定初始触发角之后再调节控制电压U_{ct}，这样确保移相角不会大于初始位置。如在逆变实验中初始移相角$\alpha=150^o$定下后，无论怎样调节U_{ct}，都能保证$\beta>30^O$，防止出现逆变颠覆的情况。

6、正、反桥脉冲功放电路控制端

正、反桥脉冲功放电路分别由U_{lf}和U_{lr}控制，将U_{lf}和U_{lr}接地，则相应的脉冲功放电路工作，晶闸管上有脉冲；若U_{lf}和U_{lr}悬空，则晶闸管上无脉冲。

7、触发脉冲指示

在触发脉冲指示处设有钮子开关，用于选择触发脉冲类型，开关拨到左边，绿色发光管亮，在触发脉冲观察孔处可观测到后沿固定、而前沿可调的宽脉冲链；开关拨到右边，红色发光管亮，触发电路产生互差60^o的双窄脉冲。

8、同步信号观测孔、锯齿波斜率调节与观测孔

同步信号是从电源控制屏内获得，屏内装有Δ/Y接法的三相同步变压器，和主电源输出同相，其输出相电压幅度为15V左右。同步信号和锯齿波产生电路已经在挂箱内部连接好，打开挂件的电源开关，可用示波器在同步信号观察孔观察到同步信号。同步信号经锯齿波产生电路生成三路锯齿波信号，调节相应的斜率调节电位器，可改变锯齿波斜率。三路锯齿波斜率应保证基本相同，使六路触发信号保持同时出现,且双窄脉冲间隔基本一致。

实验一　单相桥式半控整流电路

一　实验目的

1. 加深对单相桥式半控整流电路带电阻性、电阻电感性负载时的各工作情况的理解。
2. 了解续流二极管在单相桥式半控整流电路中的作用，学会对实验中出现的问题加以分析和理解。

二　实验所需挂件及附件

DJK01 电源控制屏、 DJK02 晶闸管主电路、DJK03 晶闸管触发电路、DJK06 给定及实验器件、双臂滑线变阻器、双踪示波器、万用表。

三　实验线路及原理

1、单结晶体管触发电路

单结晶体管触发电路在挂箱 DJK03 上。利用单结晶体管(又称双基极二极管)的负阻特性和 RC 的充放电特性，可组成频率可调的自激振荡电路，如图 2-1 所示。图中 V6 为单结晶体管，其常用的型号有 BT33 和 BT35 两种，由等效电阻 V5 和 C1 组成 RC 充电回路，由 C1、V6、脉冲变压器组成电容放电回路，调节 RP1 即可改变 C1 充电回路中的等效电阻。

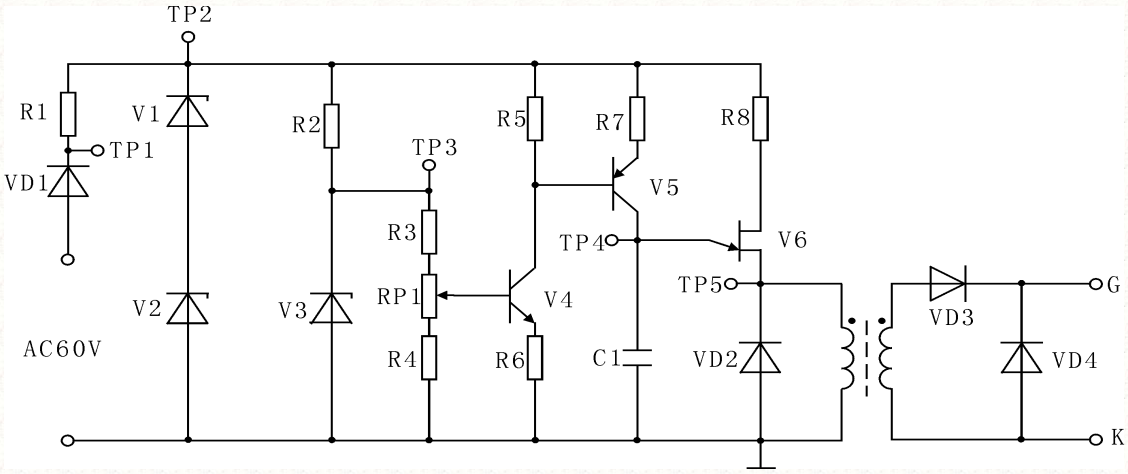


图 2-1 单结晶体管触发电路原理图

工作原理简述如下：

由同步变压器的副边输出60V的交流同步电压，经VD1半波整流，再由稳压管V1、V2进行削波，从而得到梯形波电压，梯形波电压过零点与电源电压的过零点同步，梯形波通过R7及三极管V5的等效可变电阻向电容C1充电，当充电电压达到单结晶体管的峰值电压U_P时，单结晶体管V6导通，电容通过脉冲变压器的原边放电，脉冲变压器的副边输出脉冲。由于放电时间常数很小，C1两端的电压很快下降到单结晶体管的谷点电压U_V，使V6关断。C1再次充电，周而复始，在电容C1两端呈现锯齿波形，在脉冲变压器副边输出尖脉冲。在一个梯形波周期内，V6可能导通、关断多次，但对晶闸管的触发只有第一个输出脉冲起作用。电容C1的充电时间常数由等效电阻等决定，调节RP1改变C1的充电的时间，控制第一个尖脉冲的出现时刻，

实现脉冲的移相控制。单结晶体管触发电路的各点波形如图2-2所示。电位器RP1已装在面板上，同步信号已在内部接好，所有的测试信号都在面板上引出。

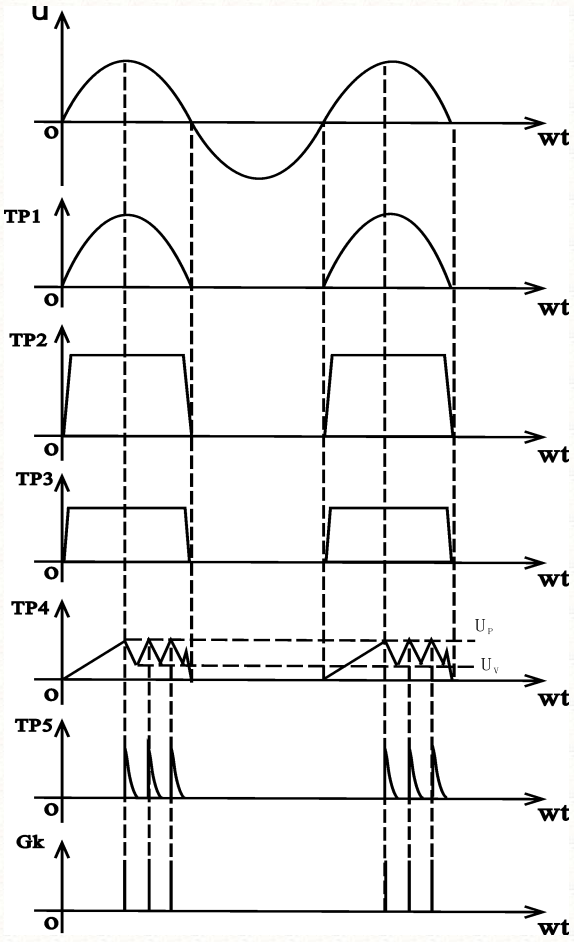


图 2-2　单结晶体管触发电路各点的电压波形(α =90^0)

2、单相桥式半控整流电路实验线路

本实验线路如图2-3所示。触发电路用同步变压器保持与输入电压的同步。单结晶体管触发电路的触发信号（G端）连接到反桥电路晶闸管VT1、VT3的门极，单结晶体管触发电路的K端连接到晶闸管VT1、VT3的阴极。图中的R用双臂滑线变阻器和灯泡串联构成，二极管VD1、VD2、VD3及开关S1均在DJK06挂件上，电感L_d在DJK02面板上，有100mH、200mH、700mH三档可供选择，本实验用700mH。直流电压表V、直流电流表A 在挂箱DJK02上。

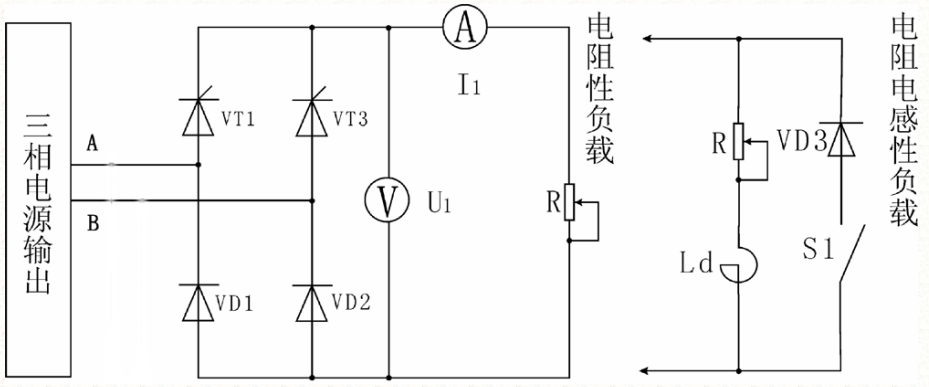


图2-3　单相桥式半控整流电路实验原理图

四、实验内容

(1) 单相桥式半控整流电路带电阻性负载。

(2) 单相桥式半控整流电路带电阻、电感性负载。

五、预习要求

(1) 阅读电力电子技术教材中有关单相桥式半控整流电路的有关内容。

(2) 了解续流二极管在单相桥式半控整流电路中的作用。

六、注意事项

(1) 双踪示波器有两个测试探头，可同时观测两路信号，但这两个测试探头的地线都与示波器的外壳相连，所以两个示波器测试探头的地线不能同时接在同一电路的不同电位的两个点上，否则这两点会通过示波器外壳发生电气短路。为此，为了保证测量的顺利进行，可将其中一根测试探头的地线取下或外包绝缘，只使用其中一路的地线，这样从根本上解决了这个问题。当需要同时观察两个信号时，必须将测试探头的地线接于被测电路上两个信号的公共点，探头各接至被测信号，只有这样才能在示波器上同时观察到两个信号，而不发生意外。

(2) 在本实验中，触发脉冲是从外部接入DJK02面板上晶闸管的门极和阴极，此时应将所用晶闸管对应的反桥触发脉冲的开关拨向“断”的位置，并将U1f及U1r悬空，避免误触发。

七、实验方法

(1) 单结晶体管触发电路各点波形的记录：

将DJK01电源控制屏的电源选择开关打到“直流调速”一侧，使输出线电压为220V，用两根导线将220V交流电压接到DJK03的“外接220V”端，按下“启动”按钮，打开DJK03电源开关，这时挂件中所有的触发电路都开始工作。

用双踪示波器观察单结晶体管触发电路：经半波整流后“1”点的波形；经稳压管削波得到“2”点的波形；调节移相电位器RP1后“4”点锯齿波的周期变化；“5”点的触发脉冲波形；输出的“G、K”触发电压波形（能否在30°～170°范围内移相？）。

将$\alpha=30^{o}$、60^{o}、90^{o}、120^{o}时单结晶体管触发电路的各观测点波形描绘下来，并与图2-2的各波形进行比较。

(2) 单相桥式半控整流电路带电阻性负载：

按原理图2-3接线，主电路负载接可调电阻R（由双臂滑线变阻器和灯泡串联构成），将双臂滑线变阻器调到最大阻值位置，将单结晶体管触发电路的移相控制电位器RP1逆时针调到阻值最小位置，按下“启动”按钮，用示波器观察负载电压U_d、晶闸管两端电压U_{VT}和整流二极管两端电压U_{VD1}的波形。顺时针缓慢调节移相控制电位器RP1，使其阻值逐渐增大，观察并记录在不同α角时U_d、U_{VT}、U_{VD1}的波形，测量相应电源电压U_2和负载电压U_d的数值，记录于下表中。计算公式：

$$U_d = 0.9U_2(1+\cos\alpha)/2$$

α	30°	60°	90°	120°	150°
U_2					
U_d(记录值)					
U_d/U_2					
U_d(计算值)					

(3) 单相桥式半控整流电路带电阻、电感性负载

①将单结晶体管触发电路的移相控制电位器RP1逆时针调到阻值最小位置、按下电源控制屏DJK01上的停止按扭断开主电路电源后，将负载换成电阻、电感性负载，即将平波电抗器L_d(70OmH)与电阻R（双臂滑线变阻器和灯泡串联构成）串联。

②断开开关S1，先不入接续流二极管VD3。接通主电路电源，顺时针缓慢调节移相控制电位器RP1，使其阻值逐渐增大，用示波器观察控制角α在不同角度时的Ud、UVT、UVD1、Id波形，并测定相应的U2、Ud数值，记录于下表中：

α	30°	60°	90°
U_2			
U_d(记录值)			
U_d/U_2			
U_d(计算值)			

③在α=60°时，移去触发脉冲（将单结晶体管触发电路上的“G”或“K”拔掉），观察并记录移去脉冲前后Ud、UVT1、UVT3、UVD1、UVD2、Id的波形。

④将相控制电位器RP1逆时针调至最小，闭合开关S1，接入续流二极管VD3，然后顺时针缓慢调节移相控制电位器RP1，使其阻值逐渐增大，观察不同控制角α时Ud、UVD3、Id 的波形，并测定相应的U2、Ud数值，记录于下表中：

α	30°	60°	90°
U_2			
U_d(记录值)			
U_d/U_2			
U_d(计算值)			

⑤在接有续流二极管VD3及α=60°时，移去触发脉冲(将单结晶体管触发电路上的“G”或“K”拔掉)，观察并记录移去脉冲前后Ud、UVT1、UVT3、UVD2、UVD1和Id的波形。

八、实验报告

(1) 画出电阻性负载、电阻电感性负载时$U_d/U_2=f(\alpha)$的曲线。

(2) 画出电阻性负载、电阻电感性负载，α角分别为30°、60°、90°时的U_d、U_{VT}的波形。

(3) 说明续流二极管对消除失控现象的作用。

九、思考题

(1) 单相桥式半控整流电路在什么情况下会发生失控现象?

(2) 在加续流二极管前后，单相桥式半控整流电路中晶闸管两端的电压波形如何?

实验二 三相桥式全控整流

一 实验目的

1. 加深理解三相桥式全控整流电路的工作原理
2. 了解KC系列集成触发器的调整方法和各点的波形

二 实验线路及原理

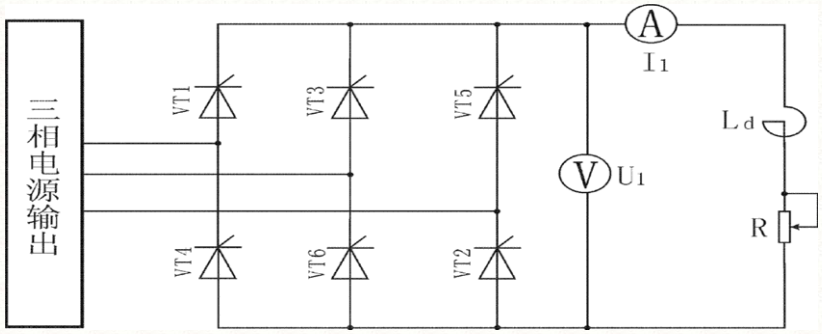


图3-1 三相桥式全控整流实验线路

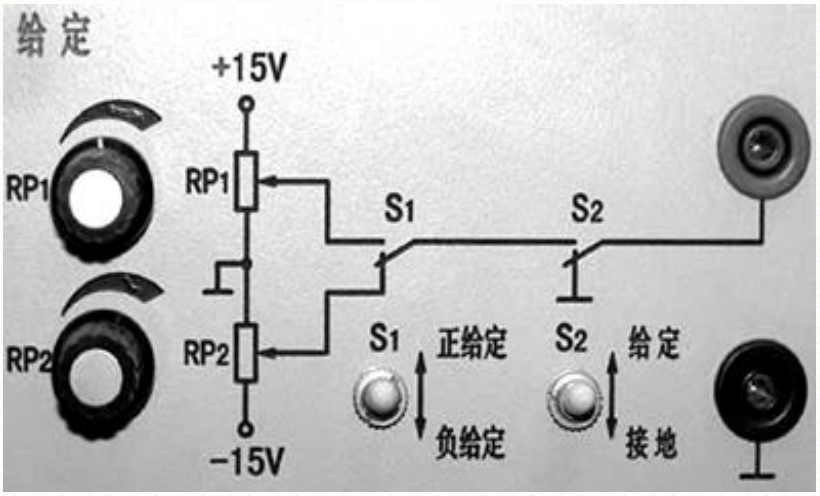


图 3-2 给定电路线路

图3-1是三相桥式全控整流实验线路图，图3-2是给定电路的线路图。三相桥式全控整流电路实质是共阴极组与共阳极组整流电路的串联，习惯上希望三相全控桥的六个晶闸管触发的顺序是 VT1-VT2-VT3-VT4-VT5-VT6，因此晶闸管是这样编号的：VT1和VT4接U相，VT3和VT6接V相，VT5和VT2接W相。VT1、VT3、VT5组成共阴极组，VT4、VT6、VT2组成共阳极组。三相桥式全控整流电路中，6个晶闸管导通的顺序是：

VT6-VT1、VT1-VT2、VT2-VT3、VT3-VT4、VT4-VT5、VT5-VT6

每隔60度有一个晶闸管换相。从上述三相桥式全控整流电路的工作过程可以看出：

1. 三相全控整流电路在任何时刻都必须有两个晶闸管导通，才能形成导电回路，其中一个晶

闸管是共阴极组的，另一个是共阳极组的。

2. 关于触发脉冲的相位，共阴极组的VT1、VT3、VT5之间应互差120度；共阳极组的VT4、VT6、VT2之间也互差120度。接在同一相的两管，如VT1与VT4，VT3与VT6，VT5与VT2之间则互差180度。
3. 为了保证整流桥和闸后共阴极组和共阳极组各有一晶闸管导通，或者由于电流断续后再次导通，必须对两组中应导通的一对晶闸管同时给触发脉冲。为此，可以采取两种办法：一种是使每个触发脉冲的宽度大于60度，称宽脉冲触发；另一种是在触发某一号晶闸管的同时给前一号晶闸管补发一个脉冲，相当于用两个窄脉冲等效代替大于60度的宽脉冲，称双脉冲触发。用双脉冲触发，在一个周期内对每个晶闸管需要连续触发两次，两次脉冲前沿的间隔为60度。双脉冲电路比较复杂，但它可以减小触发装置的输出功率，减小脉冲变压器的铁心体积。用单脉冲触发，虽然脉冲次数减少一半，为了不使脉冲变压器饱和，其铁心体积要做得大些，绕组匝数多些，因而漏感增大，导致脉冲的前沿不够陡，增加去磁绕组可以改善这一情况，但又使装置复杂化，故通常多采用双脉冲触发。
4. 三相桥输出的是变压器二次线电压的整流电压。
5. 电路在任何瞬间仅有两臂的器件导通，其余4臂的器件均承受反向线电压。当控制角α>0时，每个晶闸管都不在自然换相点换相，而是从自然换相点向后移α角开始换相。

对于电感性负载，当α>60度时，晶闸管换相时瞬时值已为负值，由于电感的作用，导通的晶闸管继续导通，整流输出出现了负的电压波形，使整流电压值降低。当α=90度时，在电流连续情况下输出电压波形的正负面积相等，输出电压的平均值为零；

对于电阻性负载，当α=<60度时，由于输出电压波形连续，电流波形也连续。在一个周期中，每个晶闸管导电120度，负载电流$i_d=u_d/R$，整流电压波形与电感性负载时相同。当α>60度，由于线电压过零变负时，晶闸管即阻断，输出电压为0，电流波形不连续，可以看出，当α>60度，一周期中每个晶闸管分两次导电，共导电2×（120-α）。当α=120度，输出电压为0，可见电阻负载时，最大移向范围120度。

三　实验内容

1. 主控制屏DJK02的调试；
2. 三相桥式全控整流电路带大电感负载；

四　实验设备

主控制屏DJK01、DJK02组件挂箱、双臂滑线电阻器、DJK10组件挂箱、双踪慢扫描示波器、万用表。

五　实验方法

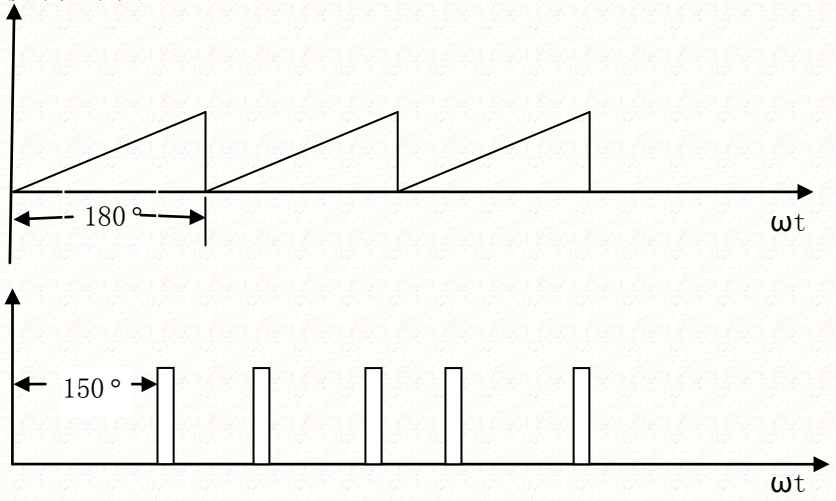
1. 触发电路调试

（1）观察DJK01面板上检测三相交流电源的电压表指示值，三相电压是否平衡。

（2）将调节电源选择开关置于“直流调速”。

(3) 将示波器探头接至DJK02组件挂箱上的“脉冲观察孔”和“锯齿波观察孔”，观察6个触发脉冲，应使其间隔均匀，相互间隔60度。

(4) 将给定器G的输出电压“U_g”提供给主控制屏DJK02面板上移向控制电压端“U_{ct}”，调节偏移电压电位器RP，使U_{ct}=0时（可直接接地，以保证输入为0），α=150度，此时的触发脉冲波形如下图。



(5) 将DJK02面板上的U_{lf}接地，将正桥触发脉冲的6个开关拨至“接通”，用示波器观察晶闸管的门极与阴极间的触发脉冲是否正常。

2. 三相桥式全控整流电路

按图3-1、图3-2接线。将DJK06上的 “给定”输出调到零(逆时针旋到底)，使电阻器放在最大阻值处，按下“启动”按钮，调节给定电位器，增加移相电压，使α角在30°～150°范围内调节，同时，根据需要不断调整负载电阻R,使得负载电流I_d保持在0.6A左右(注意I_d不得超过0.65A)。用示波器观察并记录α=30°、60°、90°时的整流电压U_d和晶闸管两端电压U_{vt}的波形，并记录相应的U_d数值于下表中。

计算公式： $\mathbf{U_2=220^0}$

$\mathbf{U_d=2.34U_2*COS\alpha \quad (0 \le \alpha \le 60^0)}$

$\mathbf{U_d=2.34U_2*[1+COS(60^0+\alpha)] \quad (60^0<\alpha<120^0)}$

α	30°	60°	90°
U_2			
U_d(记录值)			
U_d/U_2			
U_d(计算值)			

六、预习要求

阅读电力电子技术教材中有关三相桥式全控整流电路的有关内容。

七、注意事项

(1) 可参考**实验一**的注意事项 (1)、(2)。

(2) 为了防止过流，启动时将负载电阻R调至最大阻值位置。

(3) 有时会发现脉冲的相位只能移动120°左右就消失了，这是因为A、C两相的相位接反了，这对整流状态无影响，但在逆变时，由于调节范围只能到120°，使实验效果不明显，用户可自行将四芯插头内的A、C相两相的导线对调，就能保证有足够的移相范围。

八、实验报告

(1)画出电路的移相特性$U_d = f(\alpha)$。

(2)画出触发电路的传输特性$\alpha = f(U_{ct})$。

(3)画出α=30°、60°、90°、120°、150°时的整流电压U_d和晶闸管两端电压U_{VT}的波形。

(4)简单分析模拟的故障现象。

九、思考题

(1) 如何解决主电路和触发电路的同步问题?在本实验中，主电路三相电源的相序可任意设定吗?

(2) 在本实验的整流时，对α角有什么要求？为什么？

实验三 单闭环有静差调速系统静特性实验

一 实验目的

(1) 熟悉DJDK-1型电机控制实验装置主控制屏DJK01的结构及调试方法

(2) 了解单闭环直流调速系统的原理、组成及主要单元部件的原理

(3) 掌握晶闸管直流调速系统的一般调试过程

(4) 认识闭环反馈控制系统的基本特性

二 实验线路及原理

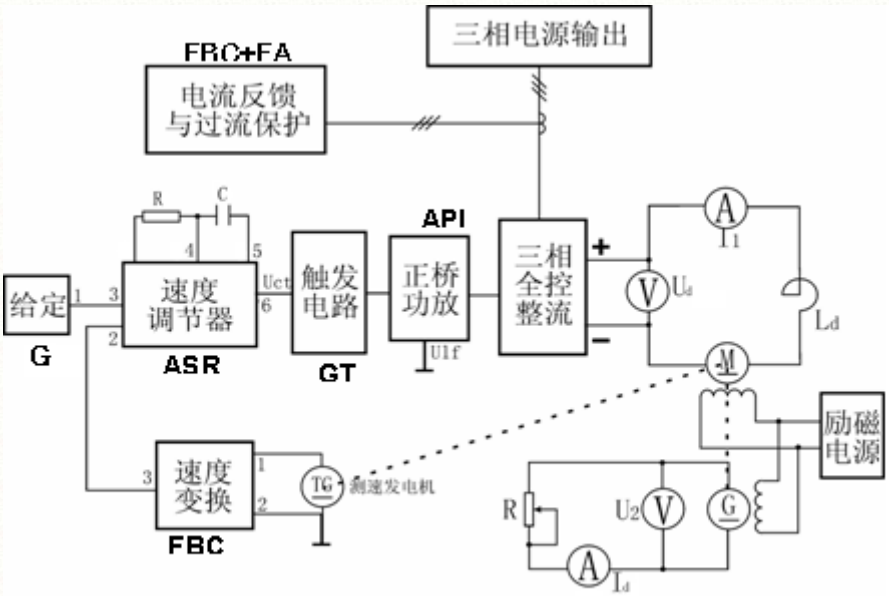
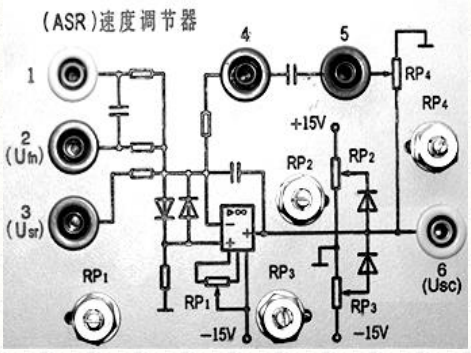


图 4-1 速度反馈单闭环有静差直流调速系统实验框图

图 4-1 是速度反馈单闭环有静差直流调速系统实验框图。其中，Ⓜ为直流电动机、TG 为测速电机、Ⓖ为直流发电机、R 为双臂滑线变阻器、L_d 为电感。三相电源输出单元、励磁电源单元在 DJK01 上；触发电路单元 GT、正桥功放单元 API、三相全控整流单元在 DJK02 上（其中 GT、API 已经在 DJK02 内部连接好）；给定电路单元 G（图 3-2）、速度调节器单元 ASR（图 4-2）、电流反馈与过流保护单元（FBC+FA）（图 4-3）、速度转换单元 FBC（图 4-4）、反号器单元 AR（图 4-5）在 DJK04 上。



14图 4-2 ASR 速度调节器单元线路图

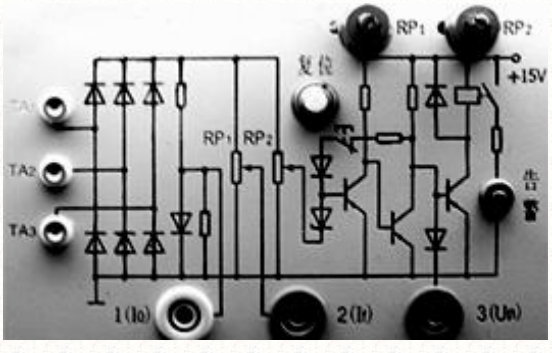


图 4-3 电流反馈与过流保护单元（FBC+FA）

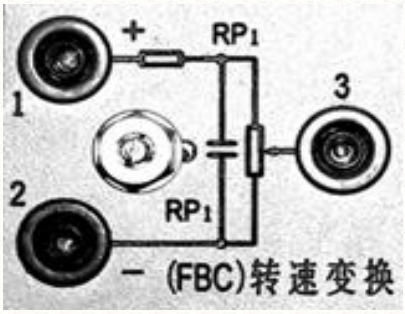


图 4-4　FBC 速度转换单元线路图

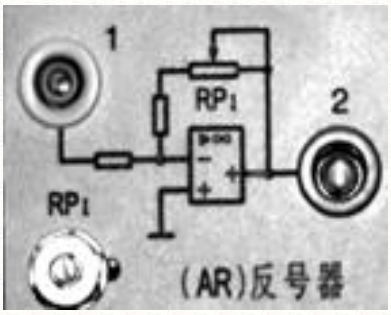


图 4-5　AR 反号器单元线路图

为了提高直流调速系统的动静态性能指标，通常采用闭环控制系统(包括单闭环系统和多闭环系统)。对调速指标要求不高的场合采用单闭环系统，而对调速指标较高的场合则采用多闭环系统。按反馈的方式不同可分为转速反馈、电流反馈、电压反馈等。在单闭环系统中，转速单闭环使用较多。

在本装置中，转速单闭环实验是将反映转速变化的电压信号作为反馈信号，经“速度变换”后接到“速度调节器”的输入端，与“给定”的电压相比较，然后经放大得到移相控制电压U_{ct}。U_{ct}用作控制整流桥的“触发电路”，触发脉冲经功放后加到晶闸管的门极和阴极之间，以改变“三相全控整流”的输出电压，这就构成了速度负反馈闭环系统。

电机的转速随给定电压变化，电机最高转速由速度调节器的输出限幅所决定，速度调节器采用P（比例）调节，P调节对阶跃输入有稳态误差。要想消除该误差，需将调节器换成PI(比例积分)调节。这时当“给定”恒定时，闭环系统对速度变化起到了抑制作用，当电机负载或电源电压波动时，电机的转速能稳定在一定的范围内变化。

调速系统的控制要求：

1. 调速——在一定的最高转速和最低转速的范围内，分档的或平滑的调节转速。
2. 稳速——以一定的精度在所需转速上稳定运行，在各种可能的干扰下不允许有过大的转速波动，以确保产品质量。
3. 加、减速——频繁起、制动的设备要求尽量快地加、减速，以提高生产率；不宜经受剧烈速度变化的机械则要求起、制动尽量平衡。
4. 调速范围——生产机械要求电动机提供的最高转速Nmax和最低转速Nmin之比，用字母D表示，即

$$D=N_{max}/N_{min}$$

5. 静差率——当系统在某一转速下运行时，负载由理想空载增加到额定值所对应的转速降落ΔNmax与理想空载转速N0之比，用S表示

$$S=\Delta N_{max}/N_0$$

6. 调速范围和静差率这两相指标并不是彼此孤立的，必须同时提才有意义。一个调速系统的调速范围是指在最低速时还能满足所提静差率要求的转速可调范围。脱离了对静差率

的要求，任何调速系统都可以得到极高的调速范围；反过来，脱离了调速范围，要满足给定的静差率也就容易的多了。

三　实验内容

(1)　主控制屏DJK01的调试

(2)　基本控制单元的调试

(3)　U_{ct}不变时的直流电动机开环特性的测试

(4)　U_d不变时的直流电动机开环特性的测试

(5)　转速反馈的单闭环直流调速系统

四　实验设备

主控制屏DJK01、DJK02、DJK04、DJK08、直流电动机-直流发电机-测速发电机组、双臂滑线电阻器、双踪慢扫描示波器、万用表。

五　预习要求

(1) 复习自动控制系统(直流调速系统)教材中有关晶闸管直流调速系统、闭环反馈控制系统的内容。

(2) 掌握调节器的工作原理。

(3) 实验时如何能使电动机的负载从空载(接近空载)连续地调至额定负载?

六　实验方法

(1) 触发控制电路调试及开关设置

①打开DJK01总电源开关，操作“电源控制屏”上的“三相电网电压指示” 开关，观察输入的三相电网电压是否平衡。

②将DJK01“电源控制屏”上“调速电源选择开关”拨至“直流调速”侧。

③将DJK02 上的“触发脉冲指示”钮子开关拨向窄脉冲一侧。

④用示波器观察A、B、C三相的锯齿波和6个触发脉冲，通过调节A、B、C三相锯齿波斜率调节电位器，使三相锯齿波斜率尽可能一致、6个触发脉冲均匀间隔60°。

⑤接通DJK04上的电源开关，将“给定”输出U_g直接与DJK02上的移相控制电压U_{ct}相接（**注意**：同时要将DJK04上的地线和DJK02上U_{ct}的地线连接），把给定开关S2拨到接地位置（即U_{ct}=0）。调节DJK02上的偏移电压电位器，用双踪示波器观察A相同步电压信号、“双脉冲观察孔”、 VT1的输出波形，使α=120°。

⑥将DJK02面板上的U_{lf}端接地，并将“正桥触发脉冲”的六个开关拨至“通”，观察正桥VT1～VT6晶闸管门极和阴极之间的触发脉冲是否正常。

(2) U_{ct}不变时的直流电机开环外特性的测定

① 按图4-6分别将主回路和控制回路连接好。DJK02上的移相控制电压U_{ct}由DJK04上的“给定”输出U_g直接接入，直流发电机接负载电阻R，电感L_d用DJK02上200mH，将给定的输出U_g调到零。

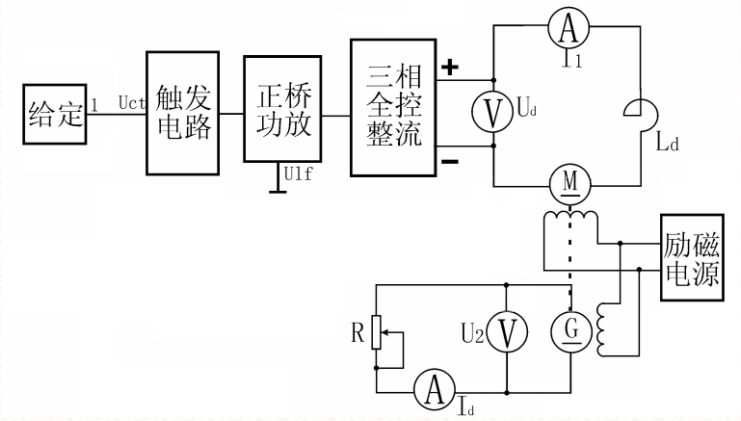


图4-6 直流电机开环外特性测定接线图

② 先闭合励磁电源开关，按下DJK01电源控制屏的“启动”按钮，使主电路输出三相交流电源，然后从零开始逐渐增加“给定”电压Ug，使电动机慢慢启动并使转速n达到1200rpm。

③ 改变负载电阻R的阻值，使电机的电枢电流从Ied直至空载（即双臂滑线变阻器阻值调至最大），可测出在Uct不变时的直流电动机开环外特性$n=f(I_d)$，测量并记录数据于下表：

n（rpm）							
I_d（A）							

(3) U_d不变时直流电机开环外特性的测定

①控制电压U_{ct}由DJK04的“给定”U_g直接接入，直流发电机接负载电阻R，L_d用DJK02上200mH，将给定的输出调到零。

②按下DJK01“电源控制屏”启动按钮，然后从零开始逐渐增加给定电压U_g，使电动机启动并达到1200rpm。

③改变负载电阻R，使电机的电枢电流从I_{ed}直至空载。用电压表监视三相全控整流输出的直流电压U_d，保持U_d不变(通过不断的调节DJK04上“给定”电压U_g来实现)，测出在U_d不变时直流电动机的开环外特性$n=f(I_d)$，并记录于下表中：

n（rpm）							
I_d（A）							

(4) 基本单元部件调试

①移相控制电压U_{ct}调节范围的确定

直接将DJK04“给定”电压U_g接入DJK02移相控制电压U_{ct}的输入端，“三相全控整流”输出接电阻负载R，用示波器观察U_d的波形。当给定电压U_g由零调大时，U_d将随给定电压的增大而增大，当U_g超过某一数值U_g'时，U_d 的波形会出现缺相现象，这时U_d反而随U_g的增大而减少。一般可确定移相控制电压的最大允许值为$U_{ct}max=0.9U_g'$，即U_g的允许调节范围为0～$U_{ct}max$。如果我们把输出限幅定为$U_{ct}max$的话，则三相全控整流“输出范围”就被限定，不会工作到极限值状态，保证六个晶闸管可靠工作。记录U_g'于下表中：

U_g'	
$U_{ct}max=0.9U_g'$	

将给定退到零，再按“停止”按钮，结束步骤。

②调节器的调整

DJK04上有速度调节器和电流调节器，这两个调节器的放大倍数之比大约为10：1。为较好地实现系统的稳定性，**在本实验中，将DJK04上电流调节器ACR作为速度调节器使用**。

A、 调节器的调零

将DJK04中“电流调节器”所有输入端接地，再将串联反馈网络中的电容（8、9）短接，构成比例(P)调节器。调节面板上的调零电位器RP4，用万用表的毫伏档测量，使调节器的输出电压尽可能接近于零。

B、 正负限幅值的调整

将“电流调节器”的输入端接地线和反馈电路短接线去掉，使调节器成为PI (比例积分)调节器，然后将DJK04的给定输出1端接到电流调节器的输入端“4”。当加正给定时，调整负限幅电位器RP2，使之输出电压为最小值即可；当调节器输入端加负给定时，调整正限幅电位器RP1，使正限幅值符合实验要求。在本实验中，电流调节器的输出正限幅为$U_{ct}max$，负限幅调至最小值（接近于零）。

C、 转速反馈系数的整定

直接将“给定”电压U_g接DJK02上的移相控制电压U_{ct}的输入端，“三相全控整流”电路接直流电动机负载， L_d用DJK02上的200mH，将转速表上的“转速输出”连接到转速转换单元，输出给定调到零。

按下启动按钮，接通励磁电源，从零开始逐渐增加给定电压，使电机提速到n=1500rpm时，调节“速度变换”上转速反馈电位器RP1，使得该转速时反馈电压U_{fn}=6V，这时的转速反馈系数$\alpha=U_{fn}/n$ =0.004V/(rpm)。

(5) 转速单闭环直流调速系统

① 按图4-1接线，在本实验中，DJK04的“给定”电压U_g为负给定，转速反馈电压为正电压，将“电流调节器”接成比例（P）调节器，直流发电机接负载电阻R，L_d用DJK02上200mH，给定输出调到零。

② 直流发电机先轻载，将“给定”电压U_g从零开始逐渐增大，使电动机的转速接近n=l200rpm。

③ 由小到大调节直流发电机负载R，测出电动机的电枢电流I_d，和电机的转速n，直至$I_d=I_{ed}$，即可测出系统静态特性曲线$n=f(I_d)$。

再将“电流调节器”接成比例积分（PI）调节器，重复上述操作，测出系统静态特性曲线$n'=f(I_d)$。本环节可以通过 在“电流调节器”反馈电路中并联电容器对系统的稳定性能进行调节，电容器在DJK08上。

I_d（A）							
n（rpm）							
n’（rpm）							

七、实验报告

(1) 根据实验数据，画出U_{ct}不变时直流电动机开环机械特性。

(2) 根据实验数据，画出U_d不变时直流电动机开环机械特性。

(3) 根据实验数据，画出转速单闭环直流调速系统的机械特性$n=f(I_d)$ 和$n'=f(I_d)$。

(5) 比较以上各种机械特性，并做出解释。

八、思考题

(1) P调节器和PI调节器在直流调速系统中的作用有什么不同？

(2) 实验中如何确定转速反馈的极性并把转速反馈正确地接入系统中？调节什么元件能改变转速反馈的强度？

(3) 改变“电流调节器”的电阻、电容参数，对系统有什么影响？

九、注意事项

(1) **双踪示波器有两个测试探头，可同时观测两路信号，但这两个测试探头的地线都与示波器的外壳相连，所以两个示波器测试探头的地线不能同时接在同一电路的不同电位的两个点上，否则这两点会通过示波器外壳发生电气短路。为此，为了保证测量的顺利进行，可将其中一根测试探头的地线取下或外包绝缘，只使用其中一路的地线，这样从根本上解决了这个问题。当需要同时观察两个信号时，必须将测试探头的地线接于被测电路上两个信号的公共点，探头各接至被测信号，只有这样才能在示波器上同时观察到两个信号，而不发生意外。**

(2) 电机启动前，应先加上电动机的励磁，才能使电机启动。在启动前必须将移相控制电压调到零（即给定电压为零），使整流输出电压为零，这时才可以逐渐加大给定

电压，不能在开环或速度闭环时突加给定，否则会引起过大的启动电流，使过流保护动作，告警，跳闸。

(3) 通电实验时，可先用电阻作为整流桥的负载，待确定电路能正常工作后，再换成电动机作为负载。

(4) 在连接反馈信号时，给定信号的极性必须与反馈信号的极性相反，确保为负反馈，否则会造成失控。

(5) 直流电动机的电枢电流不要超过额定值使用，转速也不要超过1.2倍的额定值。以免影响电机的使用寿命，或发生意外。

实验四 双闭环不可逆直流调速系统实验

一 实验目的

1. 了解双闭环不可逆直流调速系统的原理、组成及各主要单元部件的原理；
2. 掌握双闭环不可逆直流调速系统的调试步骤、方法及参数的整定；
3. 研究调节器参数对系统动态特性的影响。

二 实验线路及原理

许多生产机械，由于加工和运行的要求，使电动机经常处于起动、制动、反转的过渡过程中，因此起动和制动过程的时间在很大程度上决定了生产机械的生产效率。为缩短这一部分时间，仅采用PI调节器的转速负反馈单闭环调速系统，其性能还不很令人满意。双闭环直流调速系统是由电流和转速两个调节器进行综合调节，可获得良好的静、动态性能（两个调节器均采用PI调节器），由于调整系统的主要参量为转速，故将转速环作为主环放在外面，电流环作为副环放在里面，这样可以抑制电网电压扰动对转速的影响。实验系统组成如图5-1所示。

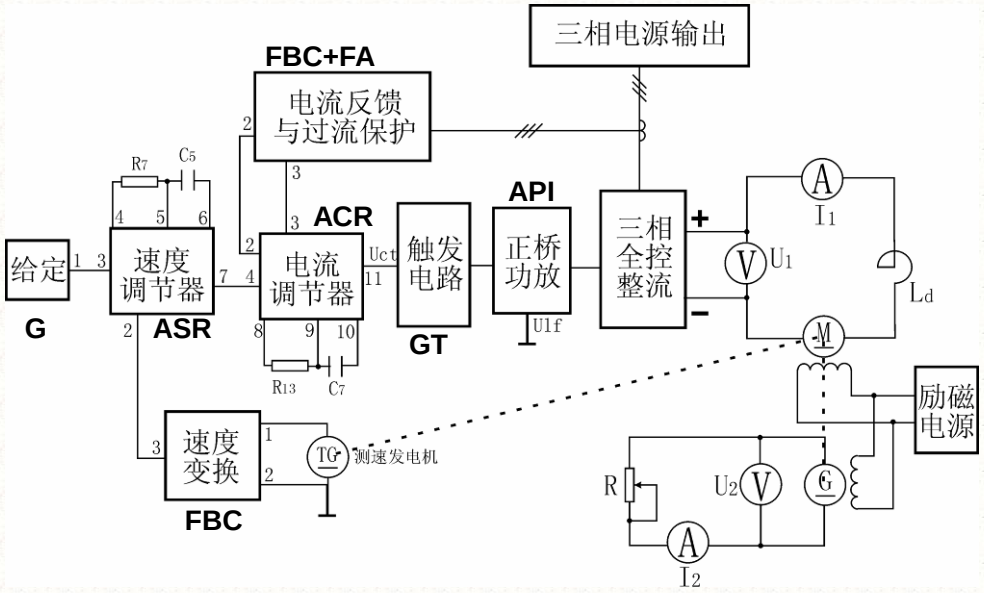


图5-1 双闭环直流调速系统原理框图

启动时，加入给定电压U_g，“速度调节器”和“电流调节器”即以饱和限幅值输出，使电动机以限定的最大启动电流加速启动，直到电机转速达到给定转速(即$U_g = U_{fn}$)，并在出现超调后，“速度调节器”和“电流调节器”退出饱和，最后稳定在略低于给定转速值下运行。

系统工作时，要先给电动机加励磁，改变给定电压U_g的大小即可方便地改变电动机的转速。“电流调节器”、“速度调节器”均设有限幅环节，“速度调节器”的输出作为“电流调节器”的给定，利用“速度调节器”的输出限幅可达到限制启动电流的目的。“电流调节器”的输出作为“触发电路”的控制电压U_{ct}，利用“电流调节器”的输出限幅可达到限制α_{max}的目的。

✧ 转速调节器的作用

1. 使转速n跟随给定电压U_g变化，稳态无静差。
2. 对负载变化起抗扰作用。
3. 使输出限幅值决定允许的最大电流。

✧ 电流调节器的作用：

1. 对电网电压波动起及时抗扰作用。
2. 启动时保证获得允许的最大电流。
3. 在转速调节过程中，使电流跟随其给定电压U_m变化。
4. 当电机过载甚至堵转时，限制电枢电流的最大值，从而起到快速的安全保护作用。如果故障消失，系统能够自动恢复正常。

启动过程分为三个阶段：第一阶段是电流上升阶段；第二阶段是恒流升速阶段；第三阶段是转速调节阶段。双闭环调速系统的启动过程有三个特点：

（1）饱和非线性控制

随着ASR的饱和与不饱和，整个系统处于完全不同的两个状态。当ASR饱和时，转速环开环，系统表现为恒值电流调节的单闭环系统；当ASR不饱和时，转速环闭环，整个系统是一个无静差调速系统，而电流内环则表现为电流随动系统。

（2）准时间最优控制

启动过程中主要的阶段是第二阶段，即恒流升速阶段，它的特征是电流保持恒定，一般选择为允许的最大值，以便充分发挥电机的过载能力，使启动过程尽可能最快。这个阶段属于电流受限制条件下的最短时间控制，或称“时间最优控制”。

（3）转速调节

由于采用了饱和非线性控制，启动过程结束进入第三阶段即转速调节阶段后，必须使转速调节器退出饱和状态。按照PI调节器的特性，只有使转速超调，ASR的输入偏差电压Δun为负值，才能使ASR退出饱和状态。

三 实验设备

主控制屏DJK01、DJK02、DJK04、DJK08组件挂箱、直流电动机-直流发电机-测速发电机组、双踪慢扫描示波器、双臂滑线电阻器、万用表。

四 实验内容

1. 各控制单元调试
2. 测定电流反馈系数β、转速反馈系数α
3. 测定开环机械特性及高、低速时完整的系统闭环静特性$n=f(I_d)$
4. 闭环控制特性$n=f(U_g)$的测定
5. 观察、记录系统动态波形

五、预习要求

(1) 阅读电力拖动自动控制系统教材中有关双闭环直流调速系统的内容，掌握双闭环直流调

速系统的工作原理。

(2) 理解PI（比例积分）调节器在双闭环直流调速系统中的作用，掌握调节器参数的选择方法。

(3) 了解调节器参数、反馈系数、滤波环节参数的变化对系统动、静态特性的影响。

六、实验方法

(1) DJK02上的“触发电路”调试

① 打开DJK01总电源开关，操作“电源控制屏”上的“三相电网电压指示”开关，观察输入的三相电网电压是否平衡。

② 将DJK01“电源控制屏”上“调速电源选择开关”拨至“直流调速侧”。

③ 将“触发脉冲指示”钮子开关拨至双窄脉冲侧，使“窄”的发光管亮。

④ 观察A、B、C三相的锯齿波，并调节A、B、C三相锯齿波斜率调节电位器（在各观测孔左侧），使三相锯齿波斜率尽可能一致。

⑤ 将DJK04上的“给定”输出U_g直接与DJK02上的移相控制电压U_{ct}相接，将给定开关S2拨到接地位置（即$U_{ct}=0$），调节DJK02上的偏移电压电位器，用双踪示波器观察A相同步电压信号和“双脉冲观察孔” VT1的输出波形，使α=120°。

⑥ 适当增加给定U_g的正电压输出，观测DJK02上“脉冲观察孔”的波形，此时应观测到单窄脉冲和双窄脉冲。

⑦ 将DJK02面板上的Ulf端接地，并将DJK02“正桥触发脉冲”的六个开关拨至“通”，观察正桥VT1～VT6晶闸管门极和阴极之间的触发脉冲是否正常。

(2) 双闭环调速系统调试原则

① 先单元后系统：先将单元的参数调好后才能组成系统。

② 先开环后闭环：即先使系统运行在开环状态，然后在确定电流环和转速环均为负反馈后，才可组成闭环系统。

③ 先内环后外环：即先调试电流内环，再调试转速外环。

④ 先调整稳态精度，后调整动态指标。

(3) 控制单元调试

① 移相控制电压U_{ct}调节范围的确定

直接将DJK04给定电压U_g接入DJK02移相控制电压U_{ct}的输入端，“正桥三相全控整流”输出接电阻负载R（同实验三），负载电阻放在最大值，输出给定调到零。

按下启动按钮，给定电压U_g由零调大，U_d将随给定电压的增大而增大，当U_g超过某一数值U_g'时，U_d 的波形会出现缺相的现象，这时U_d反而随U_g的增大而减少。一般可确定移相控制电压的最大允许值$U_{ct}max=0.9U_g'$，即U_g的允许调节范围为0～$U_{ct}max$。

如果我们把输出限幅定为U_{ct}max的话，则“三相全控整流”输出范围就被限定，不会工作到极限值状态，保证六个晶闸管可靠工作。记录U_g'于下表中：

U_g'	
U_{ct}max=0.9U_g'	

将给定退到零，再按停止按钮切断电源，结束步骤。

② 调节器的调零

A、 调节器的调零

速度调节器和电流调节的调零方法与前一节实验中的方法相同。

B、 正负限幅值的调整

“速度调节器”和“电流调节器”的正负限幅值调整方法和前一节“电流调节器”的正负限幅值调整方法相同，在本实验中，电流调节器的负限幅为0，正限幅为U_{ct}max；“速度调节器”负限幅为6V，正限幅为0。

C、 电流反馈系数的整定

直接将“给定”电压U_g接入DJK02移相控制电压U_{ct}的输入端，整流桥输出接电阻负载R（R同实验三），负载电阻放在最大值，将给定电压调到零。测量负载电流值和电流反馈电压，调节“电流变换器”（FBC）上的电流反馈电位器RP1，使得负载电流I_d=IA时的电流反馈电压U_{fi}=6V，这时的电流反馈系数$\beta = U_{fi}/I_d$= 6V/A。

D、 转速反馈系数的整定

直接将“给定”电压U_g接DJK02上的移相控制电压U_{ct}的输入端，“三相全控整流”电路接直流电动机负载，L_d用DJK02上的200mH，输出给定调到零。

按下启动按钮，接通励磁电源，从零开始逐渐增加给定电压，使电机提速到n=1500rpm时，调节“速度变换器”（FBS）上转速反馈电位器RP1，使得该转速时反馈电压U_{fn}=-6V，这时的转速反馈系数$\alpha = U_{fn}/n$ =0.004V/(rpm)。

(4) 系统静特性测试

① 按图5-1接线，DJK04的给定电压U_g输出为正给定，转速反馈电压为负电压，直流发电机接负载电阻R，L_d用DJK02上的200mH，负载电阻放在最大值，给定的输出调到零。将速度调节器，电流调节器都接成P（比例）调节器后，接入系统，形成双闭环不可逆系统，按下启动按钮，接通励磁电源，增加给定，观察系统能否正常运行，确认整个系统的接线正确无误后，将“速度调节器”，“电流调节器”均恢复成PI（比例积分）调节器，构成实验系统。

② 机械特性n =f(I_d)的测定

A、 发电机先空载，从零开始逐渐调大给定电压U_g，使电动机转速接近n=l200rpm，然后接入发电机负载电阻R，逐渐改变负载电阻，直至$I_d=I_{ed}$，即可测出系统静态特性曲线$n=f(I_d)$，并记录于下表中：

n（rpm）							
I_d（A）							

B、 降低U_g，再测试n=800rpm时的静态特性曲线，并记录于下表中：

n（rpm）							
I_d（A）							

C、 闭环控制系统$n=f(U_g)$的测定：

调节U_g及R，使$I_d=I_{ed}$、n= l200rpm，逐渐降低U_g，记录U_g和n，即可测出闭环控制特性$n = f(U_g)$。

n（rpm）							
U_g（V）							

(5) 系统动态特性的观察

用慢扫描示波器观察动态波形。在不同的系统参数下(“速度调节器”的增益和积分电容、“电流调节器”的增益和积分电容、“速度变换”的滤波电容)，用示波器观察、记录下列动态波形：

① 突加给定U_g，电动机启动时的电枢电流I_d(“电流反馈与过流保护”的“2”端)波形和转速n(“速度变换”的“3”端)波形。

② 突加额定负载($20\%I_{ed}\Rightarrow100\%I_{ed}$)时电动机电枢电流波形和转速波形。

③ 突降负载($100\%I_{ed}\Rightarrow20\%I_{ed}$)时电动机的电枢电流波形和转速波形。

七、实验报告

(1)根据实验数据，画出闭环控制特性曲线$n=f(U_g)$。

(2)根据实验数据，画出两种转速时的闭环机械特性$n=f(I_d)$。

(3)根据实验数据，画出系统开环机械特性$n=f(I_d)$，计算静差率，并与闭环机械特性进行比较。

(4)分析系统动态波形，讨论系统参数的变化对系统动、静态性能的影响。

八、思考题

(1) 为什么双闭环直流调速系统中使用的调节器均为PI 调节器?

(2) 转速负反馈的极性如果接反会产生什么现象?

双闭环直流调速系统中哪些参数的变化会引起电动机转速的改变？哪些参数的变化会引

起电动机最大电流的变化？

九、注意事项

同本指导书实验三