

直流调速系统实验

5.1 单闭环不可逆直流调速系统

5.1.1 系统组成与工作原理

转速负反馈单闭环有静差直流调速系统原理框图如图 5-1 所示。在电动机轴上装上一台测速发电机 TG,引出与转速成正比的反馈电压 U_n ,与给定电压 U_n^* 比较后,得偏差电压 ΔU ,经放大器 A 产生触发装置所需要的控制电压 U_c ,用以控制电动机的转速。

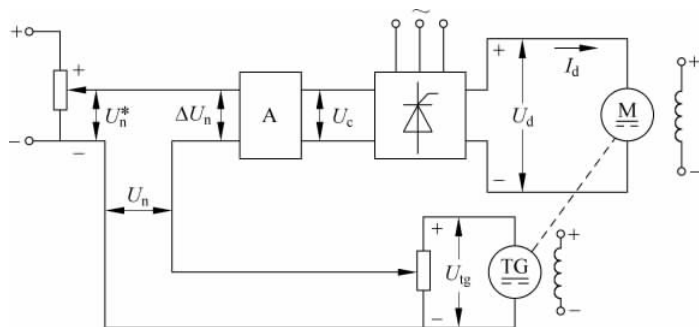


图 5-1 转速负反馈单闭环有静差直流调速系统原理

系统调(节)速(度)过程如下： U_n^* 值改变 $\rightarrow U_c$ 值改变 $\rightarrow \alpha$ (移相控制角) 大小改变 $\rightarrow U_d$ 值改变 $\rightarrow$ 转速 n 改变。

闭环系统稳定转速过程即抗干扰调节过程如下：设负载发生变化,比如 $I_d \uparrow \rightarrow n \downarrow \rightarrow U_n \downarrow \rightarrow \Delta U_n \uparrow \rightarrow U_c \uparrow \rightarrow \alpha \downarrow \rightarrow U_d \uparrow \rightarrow n \uparrow$, 经过如此反复自动调节,首先抑制转速的急剧下降,然后转速逐步回升,直到转速基本上回升到给定转速时调节过程才停止,系统又进

入稳定运行状态。

5.1.2 单闭环不可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 仿真实验设计与实现

1. 实验目的

- (1) 加深对单闭环不可逆直流调速系统工作原理的理解。
- (2) 掌握单闭环不可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真建模方法,会设置各模块的参数。

2. 实验内容

- (1) 开环直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真。
- (2) 单闭环不可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真。

3. 实验器材

- (1) PC。
- (2) MATLAB 6.5.1 仿真软件。

4. 实验仿真

1) 开环直流调速系统的仿真

开环调速系统的仿真模型如图 5-2 所示。

仿真步骤如下:

(1) 主电路的建模和参数设置。

在开环直流调速中,主电路由三相对称交流电压源、晶闸管整流桥、平波电抗器、直流电动机等组成。

① 三相对称电压源建模和参数设置。提取交流电压源模块 AC Voltage Source(路径为 SimPowerSystems/Electrical Sources/AC Voltage Source),再用复制的方法得到三相电源的另两个电压源模块,并把模块标签分别改为 A、B、C,从路径 SimPowerSystems/Elements/Ground 取接地元件 Ground,按图 5-2 主电路图进行连接。

② 三相对称电压源参数设置。A 相交流电压源参数设置:峰值电压为 220V,初相位为 0° ,频率为 50Hz,其他默认值。B 相与 C 相交流电压源设置参数方法:参数设置除了相位相差 120° 外,其他参数与 A 相相同,注意 B 相初始相位为 240° ,C 相初始相位为 120° ,由此可得到三相对称交流电源。

③ 晶闸管整流桥的建模和主要参数设置。取晶闸管整流桥 Universal Bridge 的路径

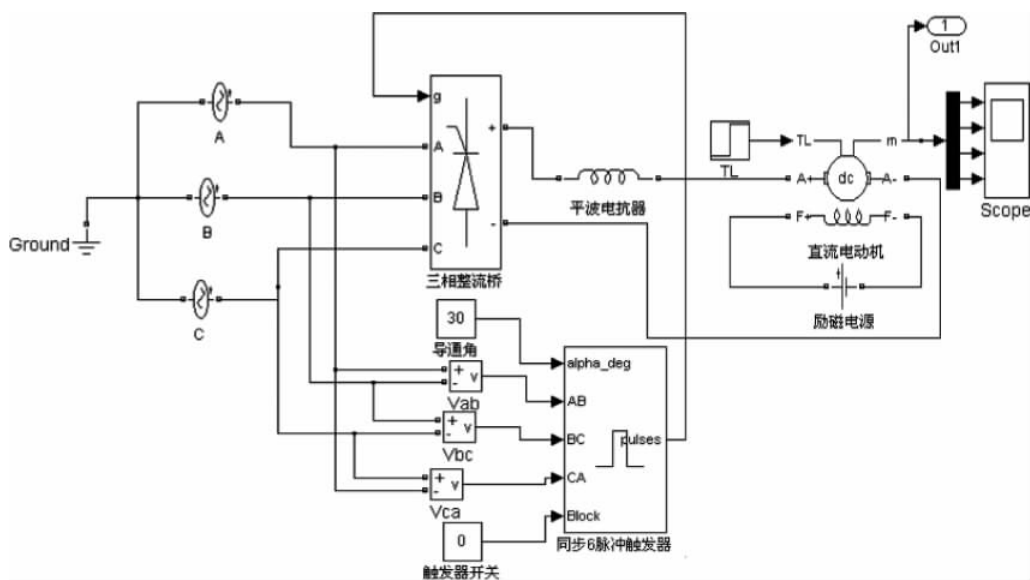


图 5-2 开环直流调速系统的仿真模型

为 SimPowerSystems/Power Electronics/Universal Bridge。当采用三相整流桥时,桥臂数取 3,电力电子元件选择晶闸管。

④ 平波电抗器的建模和参数设置。提取电抗器元件 RLC Branch,路径为 SimPowerSystems/Elements/RLC Branch,由于无单个电感元件,通过参数设置成为纯电感元件,其电抗为 16-3,即电抗值为 0.001H。

⑤ 直流电动机的建模与参数设置。提取直流电动机模块 DC Machine 的路径为 SimPowerSystems/Machines/DC Machine。直流电动机励磁绕组接直流电源 DC Voltage Source,其路径为 SimPowerSystems/Electrical Sources/DC Voltage Source,电压参数设置为 220V。电枢绕组经平波电抗器同三相整流桥连接。电动机 TL 端口接负载转矩。为了说明开环调速系统的性质,把负载转矩改为变量 Step,其提取路径为 Simulink/Sources/Step,参数设置开始负载转矩为 50,在 2s 后负载转矩变为 100。直流电动机输出 m 口有 4 个合成信号,用模块 Demux(路径为 Simulink/Signal Routing/Demux)把这 4 个信号分开。双击此模块,把参数设置为 4,表明有 4 个输出,从上到下依次是电机的角速度 ω 、电枢电流 I_d 、励磁电流 I_f 和电磁转矩 T_e 数值。仿真结果可以通过示波器显示,也可以通过 OUT 端口显示。

电动机参数设置:双击电动机图标,打开电动机参数设置对话框,如图 5-3 所示,其参数设置原则与晶闸管整流桥相同。

⑥ 同步脉冲触发器的建模和参数设置。同步 6 脉冲 Synchronized 6-Pluse Generator 提

取路径为 SimPowerSystems/Extra Library/Control Blocks/Synchronized 6-Pluse Generator, 标签改为“同步 6 脉冲触发器”。其有 5 个端口, 与 alpha-deg 连接的端口为导通角, 与 Block 连接的端口是触发器开关信号, 当开关信号为 0 时, 开放触发器; 当开关信号为 1 时, 封锁触发器, 故取模块 Constant(提取路径为 Simulink/Sources/Constant)与 Block 端口连接, 把参数改为 0, 开放触发器, 同步 6 脉冲触发器参数设置如图 5-4 所示, 把同步频率改为 50Hz。由于同步 6 脉冲触发器需要三相线电压, 故取电压测量模块 Voltage Measurement(提取路径为 SimPowerSystems/Measurements/Voltage Measurement, 标签分别改为 Vab、Vbc、Vca)进行如图 5-2 的连接即可。

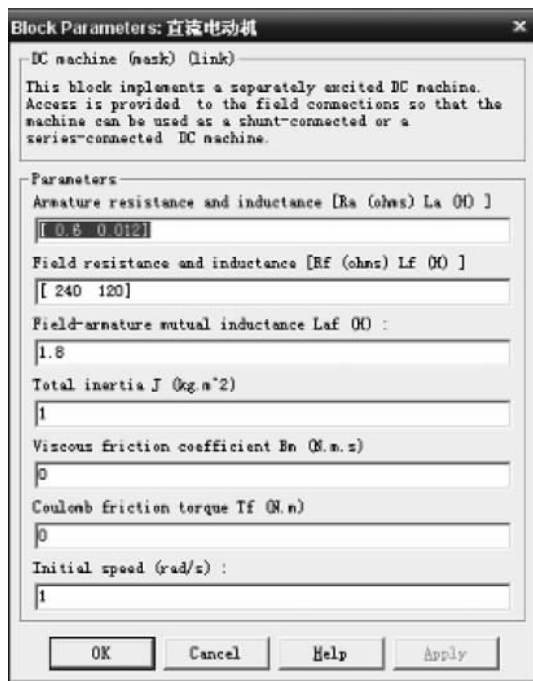


图 5-3 直流电动机参数设置

(2) 控制电路的建模与仿真。

开环调速系统控制电路只有一个环节, 取模块 Constant。双击此模块图标, 打开参数设置对话框, 将参数设置为某个值, 此处设置为 30, 即导通角为 30° 。

(3) 系统仿真参数设置。

本次仿真 Start 为 0, Stop 为 5s。仿真算法选 ode23tb。

(4) 系统的仿真、仿真结果分析。

开环直流调速系统的仿真结果如图 5-5 所示。

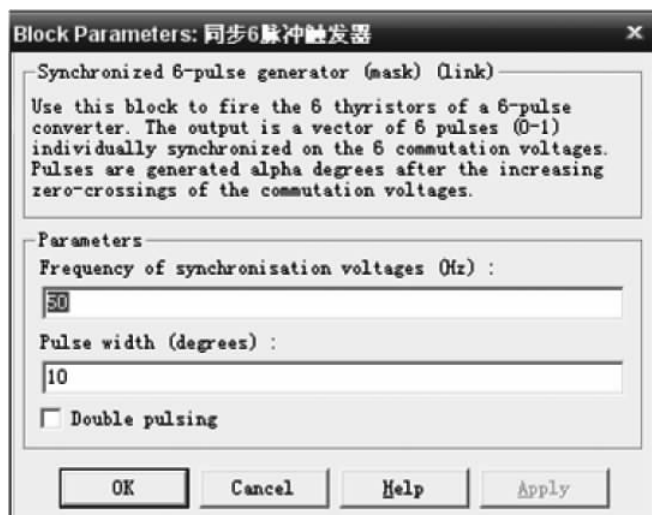


图 5-4 同步 6 脉冲触发器参数设置

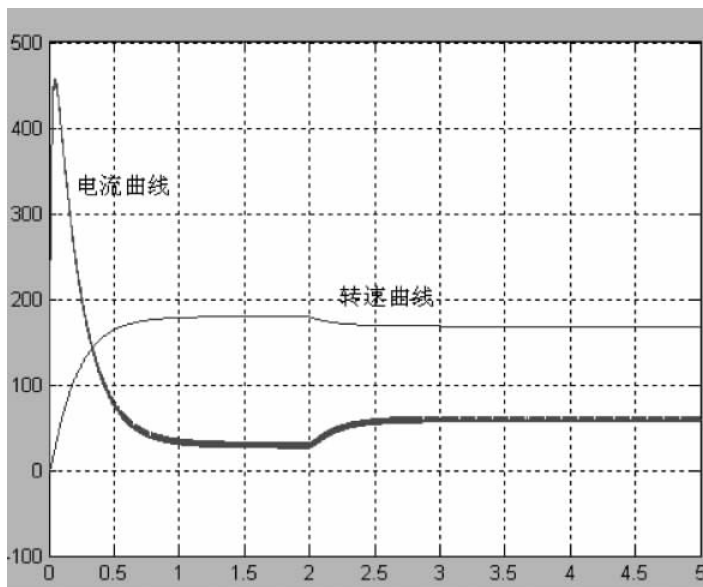


图 5-5 开环直流调速系统的仿真结果

从仿真结果看,转速很快上升,当在 2s 负载由 50 变为 100 时,由于开环无法起调节作用,转速下降。

2) 单闭环不可逆直流调速系统的仿真

电动机的额定数据为 10kW、220V、55A、1000r/min, 电枢电阻 $R_a=0.5\Omega$, 晶闸管触发整流装置为三相桥式可控整流电路, 整流变压器连接成星形Y, 二次线电压 $U_{21}=230V$, 电压放大系数 $K_s=44$, 系统总回路电阻为 $R=1\Omega$, 测速发电机是永磁式, 额定数据为 23.1W、110V、0.21A、1900r/min, 直流稳压电源为 -12V, 系统运动部分的飞轮惯量为 $GD^2=10N\cdot m^2$, 稳态性能指标 $D=10, s\leq 5\%$, 试对根据伯德图方法所设计的 PI 调节器参数进行单闭环直流调速系统进行仿真。

(1) 系统参数计算与模型建立。

单闭环转速负反馈直流调速系统仿真模型如图 5-6 所示。

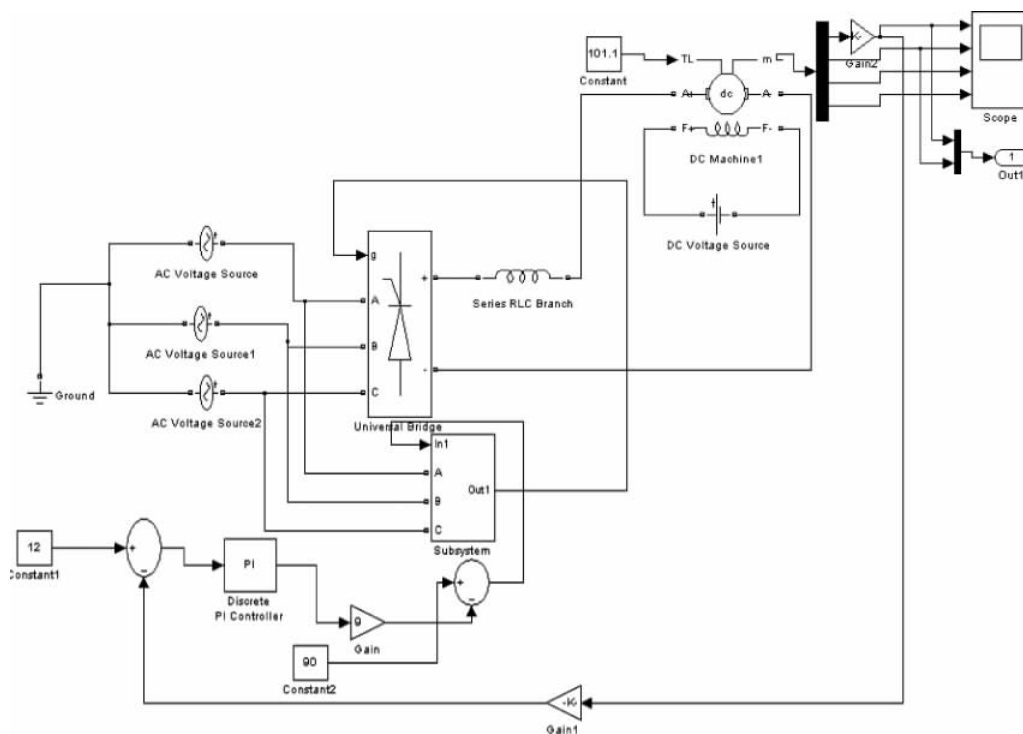


图 5-6 单闭环不可逆直流调速系统定量仿真模型

根据伯德图的方法设计的 PI 调节器参数为 $K_p=0.559, K_i=\frac{1}{\tau}=11.364$, 上下限幅值取 $[10 \sim 10]$ 。整流桥的导通电阻 $R_{on}=R-R_a=0.5\Omega$, 电机额定负载为 101.1, 平波电抗器参数为 0.017H(回路总电感)。由于电动机输出信号是角速度 ω , 故需将其转化成转速 ($n=60\omega/2\pi$), 因此在电机角速度输出端接 Gain 模块, 参数设置为 30/3.14。

电动机本体模块参数中互感数值的设置是正确仿真的关键因素。实际电动机互感的参数与直流电动机的类型有关,也与励磁绕组和电枢绕组的绕组数有关,从 MATLAB 中的直流电动机模块可以看出其类型为他励直流电动机,为了使各种类型的直流电机都能够归结于 MATLAB 中直流电动机模块,其互感参数公式应为

$$L_{af} = \frac{30}{\pi} \frac{C_e}{I_f} \quad (5-1)$$

又

$$C_e = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} \quad (5-2)$$

$$I_f = \frac{U_f}{R_f} \quad (5-3)$$

其中, C_e 为电动机常数, U_f 、 R_f 分别为励磁电压和励磁电阻。 U_N 、 R_a 、 I_N 、 n_N 、 I_f 分别为电动机的额定电压、电枢电阻、额定电流、额定转速和励磁电流。

在具体仿真时,首先根据电动机的基本数据,写入电动机本体模块中对应参数: $R_a = 0.5\Omega$, $L_a = 0H$, $R_f = 240\Omega$, $L_f = 120H$ 。至于电动机本体模块的互感参数,则由电动机常数和励磁电流由式(5-2)得到。

由于

$$C_e = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} = \frac{220 - 55 \times 0.5}{1000} = 0.1925$$

电动机本体模块参数中飞轮惯量单位是 J,可将 GD^2 转换为 J,两者之间关系为

$$J = \frac{GD^2}{4g} = \frac{10}{4 \times 9.8} = 0.255$$

互感数值的确定如下。

励磁电压为 220V,励磁电阻取 240Ω,则

$$I_f = \frac{220}{240} = 0.91667(A)$$

由式(5-3)得

$$L_{af} = \frac{30}{\pi} \frac{C_e}{I_f} = \frac{30}{\pi} \frac{0.1925}{0.91667} = 2.007(H)$$

(2) 系统仿真参数设置。

仿真中所选择的算法为 ode23tb, Start 设为 0, Stop 设为 5s。

(3) 仿真结果分析。

仿真结果如图 5-7 所示。

从仿真结果可以看出,当给定电压为 12V 时,电机工作在额定转速 1000r/min,电枢电流接近 55A,从而说明仿真模型及参数设置的正确性。

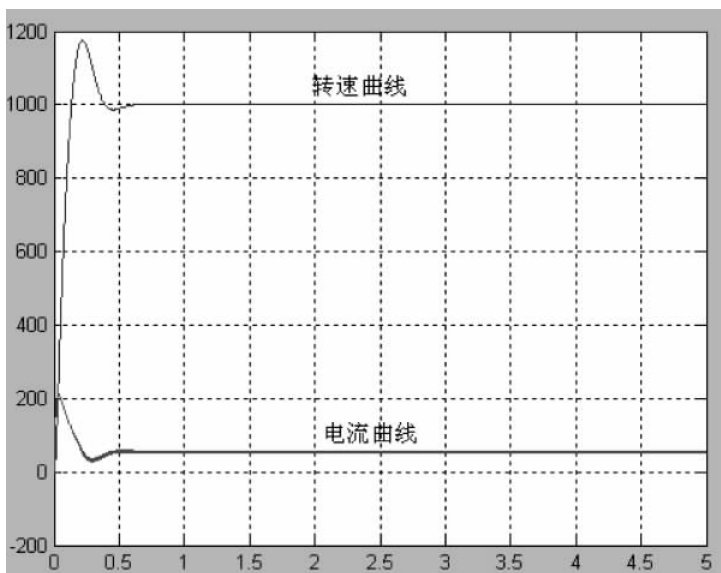


图 5-7 单闭环不可逆直流调速系统定量仿真结果

5.1.3 单闭环不可逆直流调速系统 DJDK-1 型电力电子技术及电机控制实验台实验

1. 实验目的

- (1) 熟悉单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) 掌握晶闸管直流调速系统的一般调试过程。
- (3) 认识闭环反馈控制系统的基本特性。

2. 实验设备

- (1) 电源控制屏(DJK01)。
- (2) 晶闸管主电路(DJK02)。
- (4) 三相晶闸管触发电路(DJK02-1)。
- (4) 电机调速控制实验(DJK04)。
- (5) 可调电阻、电容箱(DJK08)。
- (6) 电机导轨、测速发电机及转速表(DD03-2)。
- (7) 直流发电机 DJ13-1。
- (8) 直流并励电动机 DJ15。
- (9) 三相可调电阻(D42)。

- (10) 示波器。
- (11) 万用表。

3. 实验原理

为了提高直流调速系统的动静态性能指标,通常采用闭环调速系统。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”的电压相比较经放大后,得到移相控制电压 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。实验原理如图 5-8 所示。

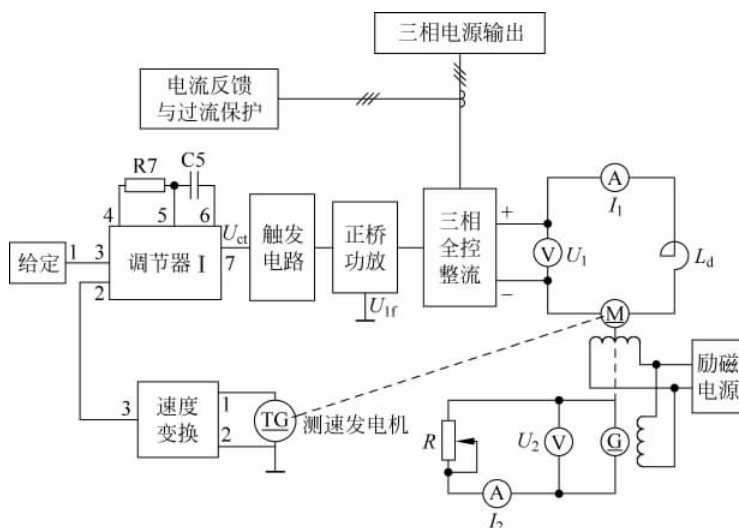


图 5-8 单闭环不可逆直流调速系统实验原理图

4. 实验内容

- (1) DJK04 上的基本单元的调试。
- (2) 测定 U_{ct} 不变开环直流调速系统机械特性。
- (3) 测定 U_d 不变开环直流调速系统机械特性。
- (4) 测定转速单闭环直流调速系统静特性。

5. 实验方法

- 1) DJK02 和 DJK02-1 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) 用 10 芯的扁平电缆,将 DJK02 的“三相同步信号输出”端和 DJK02-1“三相同步信号输入”端相连,打开 DJK02-1 电源开关,拨动“触发脉冲指示”钮子开关,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 DJK02-1 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 DJK02-1 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 $\alpha=120^\circ$ 。

(6) 适当增加给定 U_g 的正电压输出,观测 DJK02-1 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 DJK02-1 面板上的 U_{if} 端接地,用 20 芯的扁平电缆将 DJK02-1 的“正桥触发脉冲输出”端和 DJK02“正桥触发脉冲输入”端相连,并将 DJK02“正桥触发脉冲”的六个开关拨至“通”侧,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) 控制单元调试

(1) 移相控制电压 U_{ct} 调节范围的确定。

按图 5-9 和图 5-10 接线。直接将 DJK04“给定”电压 U_g 接入 DJK02-1 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

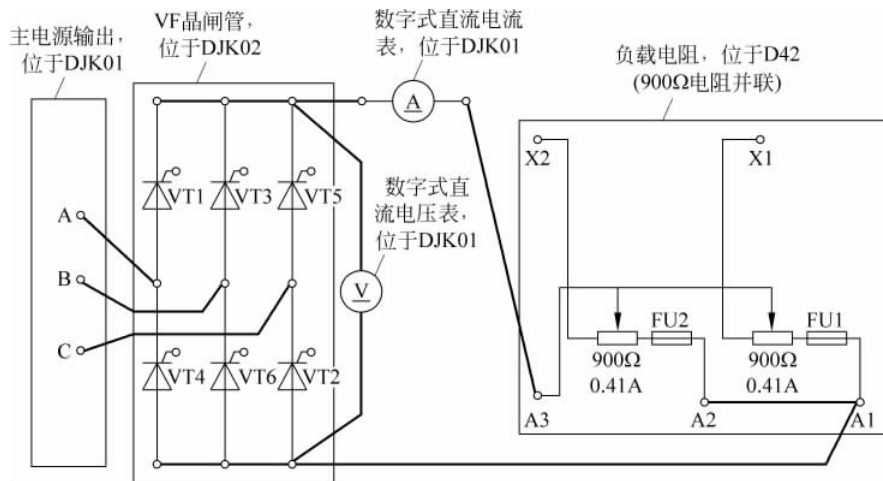


图 5-9 三相全控桥整流主回路

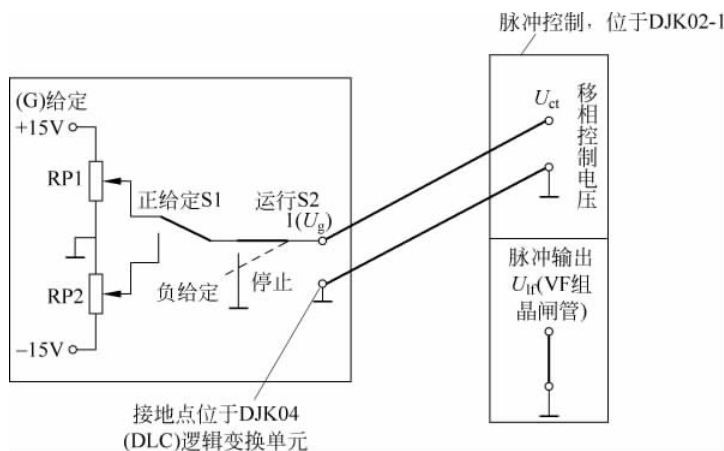


图 5-10 三相全控桥整流控制回路

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最大允许值为 $U_{ctmax}=0.9U_g'$,即 U_g 的允许调节范围为 $0\sim U_{ctmax}$ 。如果把输出限幅定为 U_{ctmax} ,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。测量数据记录在表 5-1 中。

表 5-1 移相控制电压 U_d 调节范围数据记录表

U_g'	
$U_{ctmax}=0.9U_g'$	

将给定退到零,再按“停止”按钮,结束步骤。

(2) ASR 的调整。

① ASR 的调零。

将 DJK04 中“速度调节器”所有输入端接地,再将 DJK08 中的 $40k\Omega$ 可调电阻接到“速度调节器”的“4”“5”两端,用导线将“5”“6”端短接,使“速度调节器”成为 P (比例) 调节器。调节面板上的调零电位器 RP3,用万用表的毫伏挡测量速度调节器“7”端的输出,使调节器的输出电压尽可能接近于零。

② ASR 正负限幅值的调整。

把“速度调节器”的“5”“6”端短接线去掉,将 DJK08 中的 $0.47\mu F$ 可调电容接入“5”“6”两端,使调节器成为 PI (比例积分) 调节器,然后将 DJK04 的给定输出端接到转速调节器的“3”端,当加一定的正给定时,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,使速度调节器的输出正限幅为 U_{ctmax} 。

③ 转速反馈系数的整定。

直接将“给定”电压 U_g 接 DJK02-1 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 挡,输出给定调到零。

按下“启动”按钮,接通励磁电源,从零逐渐增加给定,使电机提速到 $n=1500\text{rpm}$ 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 $U_{fn}=-6\text{V}$,这时的转速反馈系数 $\alpha=U_{fn}/n=0.004\text{V/rpm}$ 。

3) U_{ct} 不变开环直流调速系统机械特性的测定

(1) 按接线图 5-11 和图 5-12 分别将主回路和控制回路接好线。DJK02-1 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 , L_d 用 DJK02 上的 200mH 挡,将给定的输出调到零。

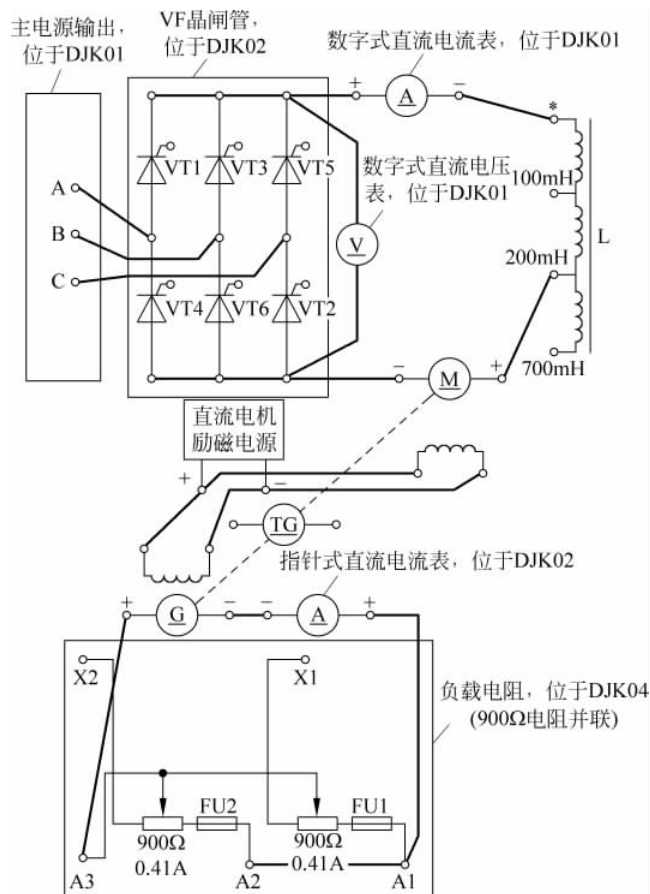


图 5-11 开环直流调速系统主回路

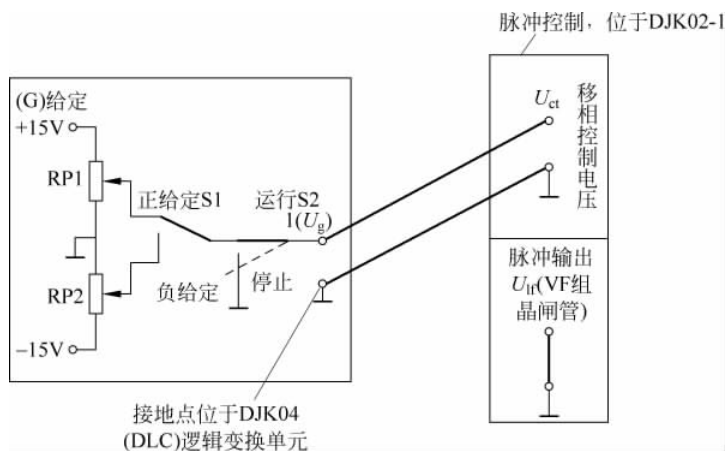


图 5-12 开环直流调速系统控制回路

(2) 先闭合励磁电源开关,按下 DJK01“电源控制屏”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 U_g ,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 I_{cd} 直至空载。即可测出在 U_{ct} 不变时的直流电动机开环外特性 $n=f(I_d)$,测量数据记录于表 5-2 中。

表 5-2 U_d 不变开环直流调速系统机械特性测试数据记录表

n/rpm							
I_d/A							
U_d/V							

4) U_d 不变开环直流调速系统机械特性的测定

(1) 按图 5-11 和图 5-12 分别将主回路和控制回路接好线。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 上的 200mH 挡,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_{cd} 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(通过不断地调节 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 $n=f(I_d)$,测量数据记录于表 5-3 中。

表 5-3 U_d 不变开环直流调速系统机械特性测试数据记录表

n/rpm							
I_d/A							
U_d/V							

5) 转速单闭环直流调速系统静特性的测定

(1) 主回路按图 5-11 接线,控制回路按图 5-13 接线。在本实验中,DJK04 的“给定”电压 U_g 为负给定,转速反馈为正电压,将“速度调节器”接成 P(比例)调节器或 PI(比例积分)调节器。直流发电机接负载电阻 R , L_d 用 DJK02 上的 200mH 挡,给定输出调到零。

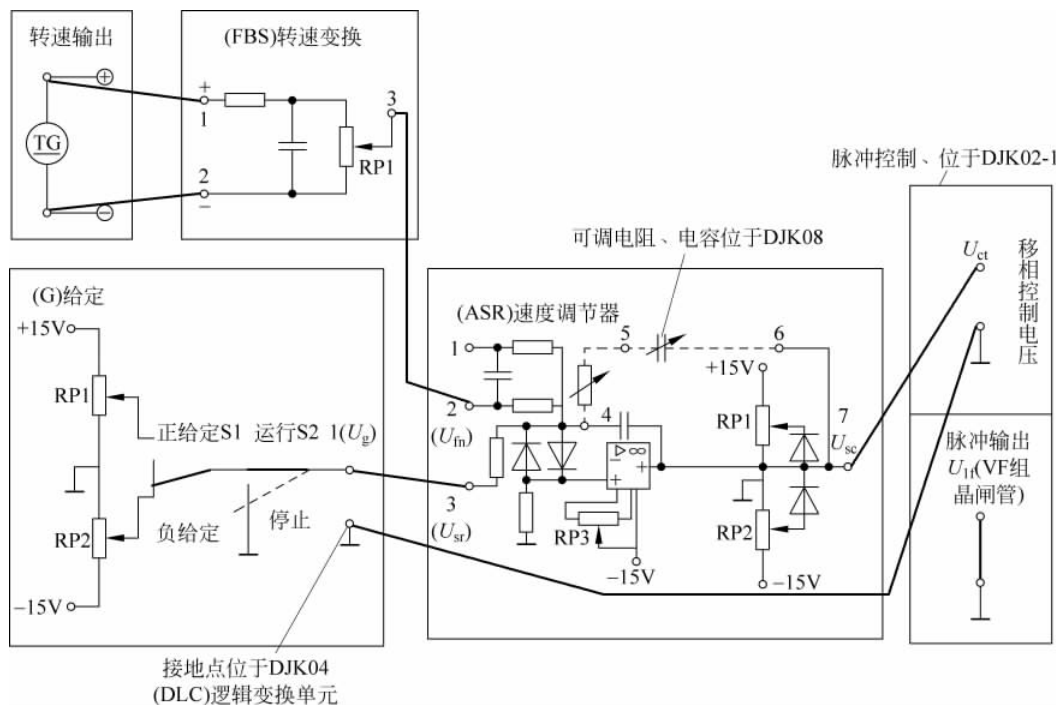


图 5-13 单闭环不可逆直流调速系统控制回路

(2) 直流发电机先轻载, 从零开始逐渐调大“给定”电压 U_g , 使电动机的转速接近 $n=1200\text{rpm}$ 。

(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 $I_d = I_{cd}$, 即可测出系统静态特性曲线 $n = f(I_d)$, 测量数据记录于表 5-4 中。

表 5-4 转速单闭环直流调速系统静特性测试数据记录表

n/rpm							
I_d/A							
U_d/V							

5.1.4 预习报告

- (1) 调节器在 P 工作和 PI 工作时的输入-输出特性。
- (2) 单闭环不可逆直流调速系统的系统组成和工作原理。

5.1.5 实验报告

- (1) 绘制并分析 U_{ct} 、 U_d 不变时开环直流调速系统机械特性。
- (2) 绘制转速单闭环直流调速系统的静特性曲线,并与开环机械特性进行对比分析。

5.1.6 注意事项

(1) 双踪示波器有两个探头,可同时观测两路信号,但这两探头的地线都与示波器的外壳相连,所以两个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。

(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,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。

(3) 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。

(4) DJK04 与 DJK02-1 不共地,所以实验时须短接 DJK04 与 DJK02-1 的地。

5.1.7 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？

5.2 双闭环不可逆直流调速系统

5.2.1 系统组成与工作原理

转速、电流双闭环直流调速系统如图 5-14 所示,在系统中设置转速调节器 ASR 和电流调节器 ACR 分别对转速和电流进行调节,二者之间实行嵌套(或称串联)连接,即把转速调节器的输出作为电流调节器的输入,再用电流调节器的输出去控制晶闸管整流器的触发装置,这样便组成了转速、电流双闭环直流调速系统。

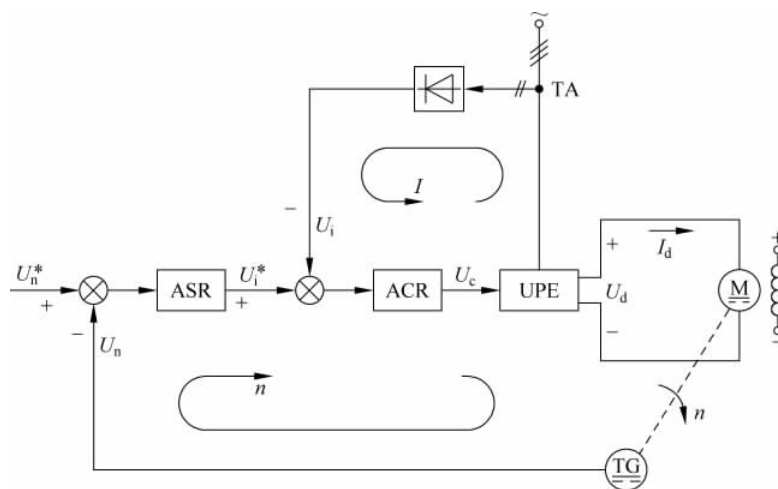


图 5-14 转速、电流双闭环直流调速系统

转速、电流双闭环直流调速系统主电路采用三相桥式全控整流电路。控制电路采用典型的转速、电流双闭环系统,转速调节器 ASR 设置输出限幅,以限制最大起动电流 I_{dm} , 电流调节器 ACR 设置输出限幅,以限制了晶闸管整流器的最大输出电压 U_{dm} 。根据系统运行的需要,当给定电压 U_n^* 后,ASR 输出饱和,电机以最大允许的电流起动,使得电机转速很快上升,达到给定的速度后转速超调,ASR 退饱和,电枢电流下降,经过两个调节器的综合调节作用,使系统很快达到稳态。

5.2.2 双闭环不可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 仿真实验设计与实现

1. 实验目的

- (1) 加深对双闭环不可逆直流调速系统工作原理的理解。
- (2) 掌握双闭环不可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真建模方法,会设置各模块的参数。

2. 实验内容

- (1) 控制单元模块的建模与仿真。
- (2) 双闭环不可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真。

3. 实验器材

- (1) PC。
- (2) MATLAB 6.5.1 仿真软件。

4. 实验仿真

某晶闸管供电的双闭环直流调速系统,整流装置采用三相桥式电路。基本数据如下:直流电动机为 220V、136A、1460r/min、 $C_e=0.132$,允许过载倍数 $\lambda=1.5$,晶闸管装置放大系数为 $K_s=40$,电枢回路总电阻 $R=0.5\Omega$,时间常数 $T_l=0.03s$, $T_m=0.18s$,电流反馈系数 $\beta=0.05V/A(\approx 10V/1.5I_N)$,转速反馈系数 $\alpha=0.007V \cdot \text{min}/r(\approx 10V/n_N)$,电流滤波时间常数 $T_{oi}=0.002s$,转速滤波时间常数 $T_{on}=0.01s$ 。按照工程设计方法设计电流调节器 ACR、ASR,要求电流超调量 $\sigma_i \leq 5\%$ 、转速无静差,转速超调量 $\sigma_n \leq 10\%$ 。

双闭环直流调速系统仿真模型如图 5-15 所示。

仿真步骤如下:

1) 主电路模型的建立与参数设置

主电路由直流电动机本体模块、三相对称电源、同步 6 脉冲触发器、负载等模块组成。同步 6 脉冲触发器的仿真模型同单闭环直流调速系统相同。

电源 A、B、C 设置峰值电压为 220V,频率为 50Hz,相位分别为 0° 、 240° 和 120° 。整流桥的内阻 $R_{on}=R-R_a=0.3\Omega$ 。电动机负载取 130。励磁电源为 220V。由于电动机输出信号是角速度 ω ,将其转化成转速 n ,单位为 r/min,在电动机角速度输出端接 Gain 模块,参数设置为 30/3.14。

根据公式 $C_e = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N}$ 可以得到 $R_a=0.2\Omega$ 。

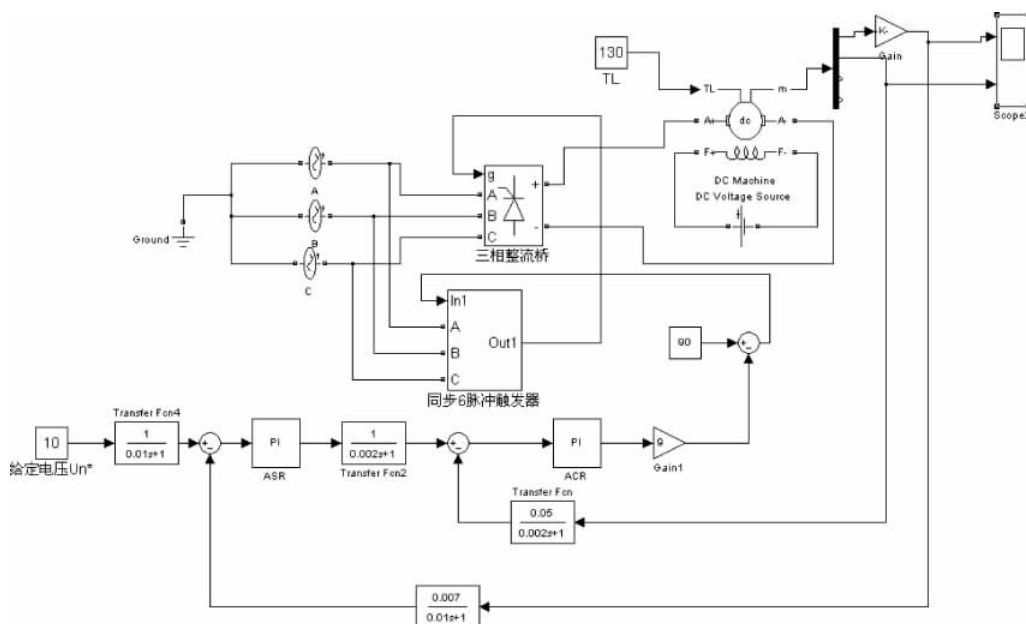


图 5-15 双闭环不可逆直流调速系统仿真模型

根据公式 $T_m = \frac{GD^2 R}{375 C_e C_m} = \frac{GD^2 R}{375 C_e \frac{30}{\pi} C_e}$ 可以得到 $GD^2 = 22.47 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 。

根据公式 $T_l = \frac{1}{R}$ 可以得到回路总电感 $l = 0.015 \text{ H}$ 。

电动机本体模块参数中飞轮惯量单位是 J, 将 GD^2 转换为 J, 两者之间关系为

$$J = \frac{GD^2}{4g} = \frac{22.47}{4 \times 9.8} = 0.573$$

互感数值的确定如下。

励磁电压为 220V, 励磁电阻取 240Ω, 则

$$I_f = \frac{220}{240} = 0.91667 (\text{A})$$

$$L_{af} = \frac{30}{\pi} \frac{C_e}{I_f} = \frac{30}{\pi} \frac{0.132}{0.91667} = 1.376 (\text{H})$$

电动机参数设置如图 5-16 所示。

2) 控制电路模型的建立与参数设置

控制电路由 PI 调节器、滤波模块、转速反馈和电流反馈等环节组成。转速调节器 ASR 和电流调节器 ACR 的参数就是根据工程设计方法算得的参数, 在这里需要着重说

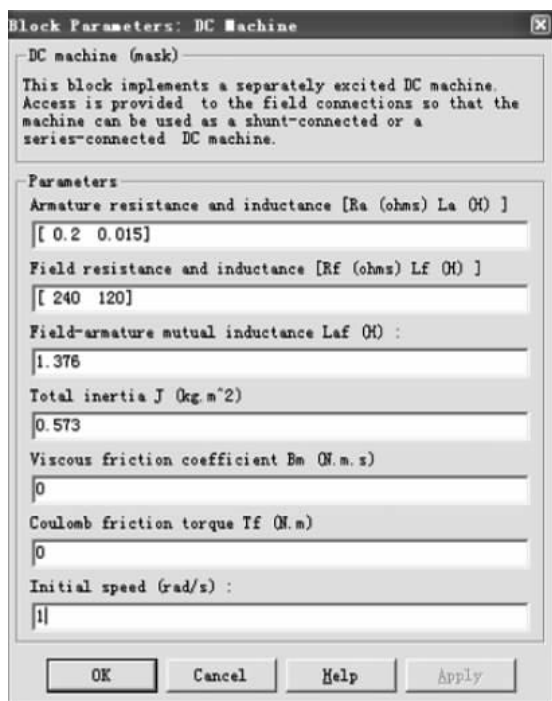


图 5-16 定量仿真的电动机参数设置

明的是,用工程设计方法得到的调节器参数是 $K_p \frac{\tau s + 1}{\tau s}$ 的形式,而在仿真的调节器 Discrete PI controller 模型中,比例系数是 K_p ,积分系数是 K_i ,所以要把 $K_p \frac{\tau s + 1}{\tau s}$ 写成 $K_p + \frac{K_p}{\tau}$ 的形式,即 ASR 调节器的 $K_p = 11.7$ 、 $K_i = \frac{K_p}{\tau_n} = \frac{11.7}{0.087} = 134$,同样的 ACR 的 $K_p = 1.013$ 、 $K_i = \frac{K_p}{\tau_i} = \frac{1.013}{0.03} = 33.77$,两个调节器上下限幅值均取 $[10 \ 0]$ 。带滤波环节的转速反馈系数模块路径为 Simulink/Continuous/Transfer Fcn,参数设置: Numerator 为 $[0.007]$,Denominator 为 $[0.01 \ 1]$ 。带滤波环节的电流反馈系数参数设置: Numerator 为 $[0.05]$,Denominator 为 $[0.002 \ 1]$ 。转速延迟模块的参数设置: Numerator 为 $[1]$,Denominator 为 $[0.01 \ 1]$ 。电流延迟模块参数设置: Numerator 为 $[1]$,Denominator 为 $[0.002 \ 1]$ 。信号转换环节的模型也是由 Constant、Gain、Sum 等模块组成的,原理和参数已在单闭环调速系统中说明。

同时为了观察启动过程转速调节器和电流调节器的输出情况,在转速调节器和电流调节器输出端接示波器。

仿真算法采用 ode23tb, 开始时间为 0, 结束时间为 2s。

3) 仿真结果分析

双闭环不可逆直流调速系统仿真结果如图 5-17 所示。

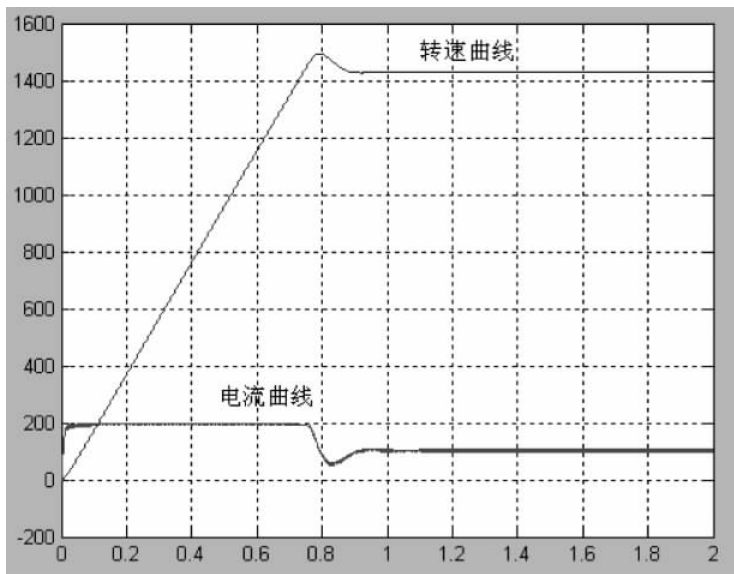


图 5-17 双闭环不可逆直流调速系统仿真结果

从仿真结果可以看出,当给定信号为 10V 时,在电机启动过程中,电流调节器作用下的电动机电枢电流接近最大值,使得电动机以最优时间准则开始上升,在约 0.7s 时转速超调,电流很快下降,在 0.85s 时达到稳态,在稳态时转速为 1460r/min,整个变化曲线与实际情况非常类似。

5.2.3 双闭环不可逆直流调速系统 DJDK-1 型电力电子技术及电机控制实验台实验

1. 实验目的

- (1) 掌握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性能的影响。

2. 实验设备

- (1) 电源控制屏(DJK01)。

- (2) 晶闸管主电路(DJK02)。
- (3) 三相晶闸管触发电路(DJK02-1)。
- (4) 电机调速控制实验(DJK04)。
- (5) 可调电阻、电容箱(DJK08)。
- (6) 电机导轨、测速发电机及转速表(DD03-2)。
- (7) 直流发电机 DJ13-1。
- (8) 直流并励电动机 DJ15。
- (9) 三相可调电阻(D42)。
- (10) 示波器。
- (11) 万用表。

3. 实验原理

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。实验原理如图 5-18 所示。

4. 实验内容

- (1) 各控制单元的调试。
- (2) 测定开环机械特性及系统闭环静特性。
- (3) 测定系统闭环控制特性。
- (4) 测试并记录系统动态波形。

5. 实验方法

- (1) 双闭环调速系统调试原则:

- ① 先单元、后系统,即先将单元的参数调好,然后才能组成系统。
- ② 先开环、后闭环,即先使系统运行在开环状态,然后在确定电流和转速均为负反馈后,才可组成闭环系统。
- ③ 先内环,后外环,即先调试电流内环,然后调试转速外环。
- ④ 先调整稳态精度,后调整动态指标。

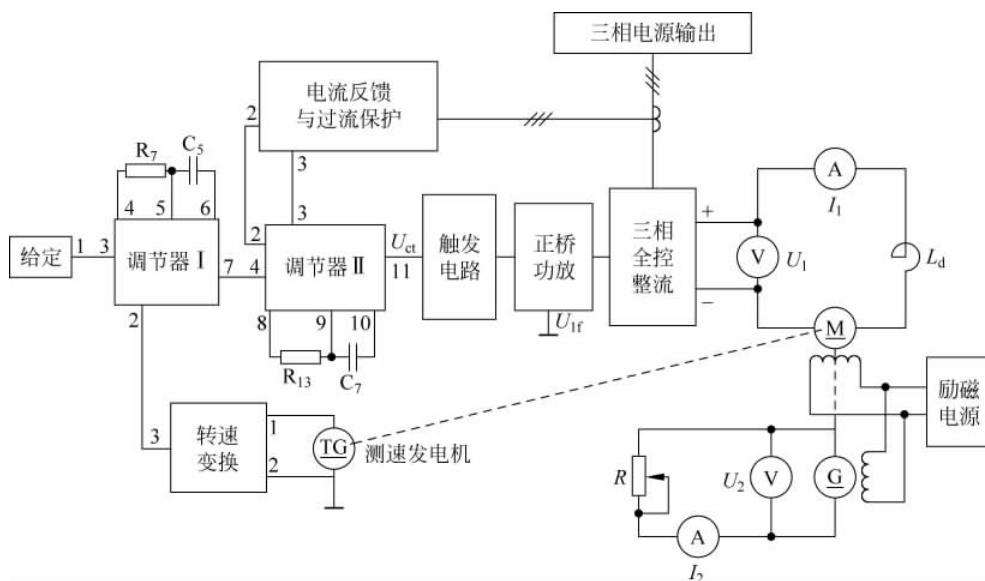


图 5-18 双闭环不可逆直流调速系统实验原理框图

(2) DJK02 和 DJK02-1 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 用 10 芯的扁平电缆,将 DJK02 的“三相同步信号输出”端和 DJK02-1“三相同步信号输入”端相连,打开 DJK02-1 电源开关,拨动“触发脉冲指示”钮子开关,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 DJK02-1 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 DJK02-1 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 $\alpha=150^\circ$ (注意此处的 α 表示三相晶闸管电路中的移相角,它的 0° 是从自然换流点开始计算,而单相晶闸管电路的 0° 移相角表示从同步信号过零点开始计算,两者存在相位差,前者比后者滞后 30°)。

⑥ 适当增加给定 U_g 的正电压输出,观测 DJK02-1 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 用 8 芯的扁平电缆,将 DJK02-1 面板上“触发脉冲输出”和“触发脉冲输入”相连,使得触发脉冲加到正反桥功放的输入端。

⑧ 将 DJK02-1 面板上的 U_{if} 端接地, 用 20 芯的扁平电缆将 DJK02-1 的“正桥触发脉冲输出”端和 DJK02“正桥触发脉冲输入”端相连, 并将 DJK02“正桥触发脉冲”的六个开关拨至“通”侧, 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。

(3) 控制单元调试。

① 移相控制电压 U_{ct} 调节范围的确定。

实验接线见图 5-9 和图 5-10。直接将 DJK04“给定”电压 U_g 接入 DJK02-1 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 超某一数值时, 此时 U_d 接近输出最高电压值 U'_d , 一般可确定“三相全控整流”输出允许范围的最大值为 $U_{dmax} = 0.9U'_d$, 调节 U_g 使得“三相全控整流”输出等于 U_{dmax} , 此时将对应的 U'_g 的电压值记录下来, $U_{ctmax} = U'_g$, 即 U_g 的允许调节范围为 $0 \sim U_{ctmax}$ 。如果把输出限幅定为 U_{ctmax} , 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 于表 5-5 中。

表 5-5 移相控制电压 U_{ct} 调节范围数据记录表

U'_d					
$U_{dmax} = 0.9U'_d$					
$U_{ctmax} = U'_g$					

将给定退到零, 再按“停止”按钮, 结束步骤。

② 调节器的调零。

将 DJK04 中“调节器 I”所有输入端接地, 再将 DJK08 中的 $120k\Omega$ 可调电阻接到“调节器 I”的“4”“5”两端, 用导线将“5”“6”两端短接, 使“调节器 I”成为 P(比例)调节器。用万用表的毫伏挡测量调节器 I 的“7”端的输出, 调节面板上的调零电位器 RP3, 使之电压尽可能接近于零。

将 DJK04 中“调节器 II”所有输入端接地, 再将 DJK08 中的 $13k\Omega$ 可调电阻接到“调节器 II”的“8”“9”两端, 用导线将“9”“10”两端短接, 使“调节器 II”成为 P(比例)调节器。用万用表的毫伏挡测量调节器 II 的“11”端, 调节面板上的调零电位器 RP3, 使之输出电压尽可能接近于零。

③ 调节器正、负限幅值的调整。

把“调节器 I”的“5”“6”两端短接线去掉, 将 DJK08 中的 $0.47\mu F$ 可调电容接入“5”“6”两端, 使调节器成为 PI(比例积分)调节器, 将“调节器 I”所有输入端的接地线去掉, 将 DJK04 的给定输出端接到调节器 I 的“3”端。当加 $+5V$ 的正给定电压时, 调整负限幅电位器 RP2, 使之输出电压为 $-6V$; 当调节器输入端加 $-5V$ 的负给定电压时, 调整正限幅电位器 RP1, 使之输出电压尽可能接近于零。

把“调节器Ⅱ”的“9”“10”两端短接线去掉,将 DJK08 中的 $0.47\mu\text{F}$ 可调电容接入“9”“10”两端,使调节器成为 PI(比例积分)调节器,将“调节器Ⅱ”的所有输入端的接地线去掉,将 DJK04 的给定输出端接到调节器Ⅱ的“4”端。当加 $+5\text{V}$ 的正给定电压时,调整负限幅电位器 RP2,使之输出电压尽可能接近于零;当调节器输入端加 -5V 的负给定电压时,调整正限幅电位器 RP1,使调节器Ⅱ的输出正限幅为 U_{ctmax} 。

④ 电流反馈系数的整定。

直接将“给定”电压 U_g 接入 DJK02-1 移相控制电压 U_{ct} 的输入端,整流桥输出接电阻负载 R ,负载电阻调到最大值,输出给定调到零。

按下“启动”按钮,从零增加给定,使输出电压升高,当 $U_d=220\text{V}$ 时,减小负载的阻值,调节“电流反馈与过流保护”上的电流反馈电位器 RP1,使得负载电流 $I_d=1.3\text{A}$ 时,“2”端 I_{f} 的电流反馈电压 $U_{\text{fi}}=6\text{V}$,这时的电流反馈系数 $\beta=U_{\text{fi}}/I_d=4.615\text{V/A}$ 。

⑤ 转速反馈系数的整定。

直接将“给定”电压 U_g 接 DJK02-1 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 挡,输出给定调到零。

按下“启动”按钮,接通励磁电源,从零逐渐增加给定,使电机提速到 $n=1500\text{rpm}$ 时,调节“转速变换”上转速反馈电位器 RP1,使得该转速时反馈电压 $U_{\text{fn}}=-6\text{V}$,这时的转速反馈系数 $\alpha=U_{\text{fn}}/n=0.004\text{V/rpm}$ 。

(4) 开环外特性的测定。

① 主回路和控制回路按图 5-19 接线, DJK02-1 控制电压 U_{ct} 由 DJK04 上的给定输出 U_g 直接接入,“三相全控整流”电路接电动机, L_d 用 DJK02 上的 200mH 挡,直流发电机接负载电阻 R ,负载电阻调到最大值,输出给定调到零。

② 按下“启动”按钮,先接通励磁电源,然后从零开始逐渐增加“给定”电压 U_g ,使电机启动升速,调节 U_g 和 R 使电动机电流 $I_d=I_{\text{ed}}$,转速达到 1200rpm 。

③ 增大负载电阻 R 的阻值(即减小负载),可测出该系统的开环外特性 $n=f(I_d)$,测量数据记录于表 5-6 中。

表 5-6 开环外特性测试数据记录表

n/rpm							
I_d/A							

将给定退到零,断开励磁电源,按下“停止”按钮,结束实验。

(5) 系统静特性测试。

① 主回路按图 5-19(a)、控制回路按图 5-20 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 挡,负

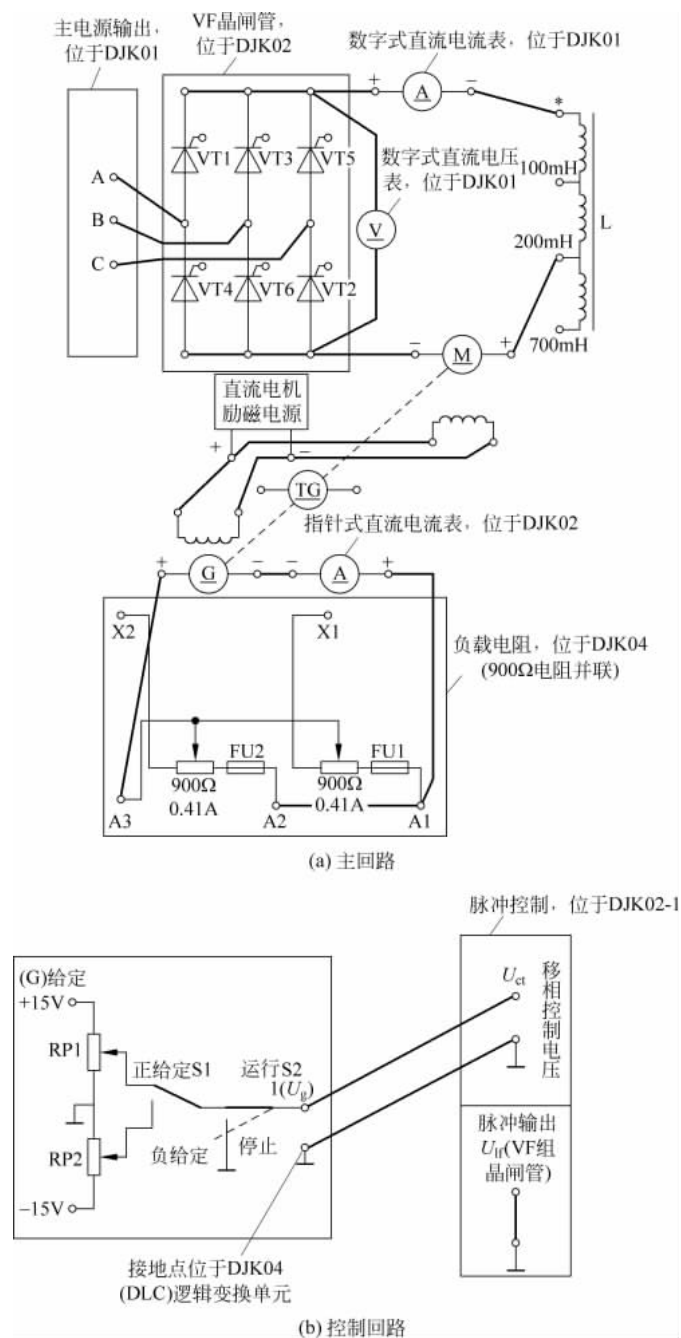


图 5-19 双闭环不可逆直流调速系统开环特性测试

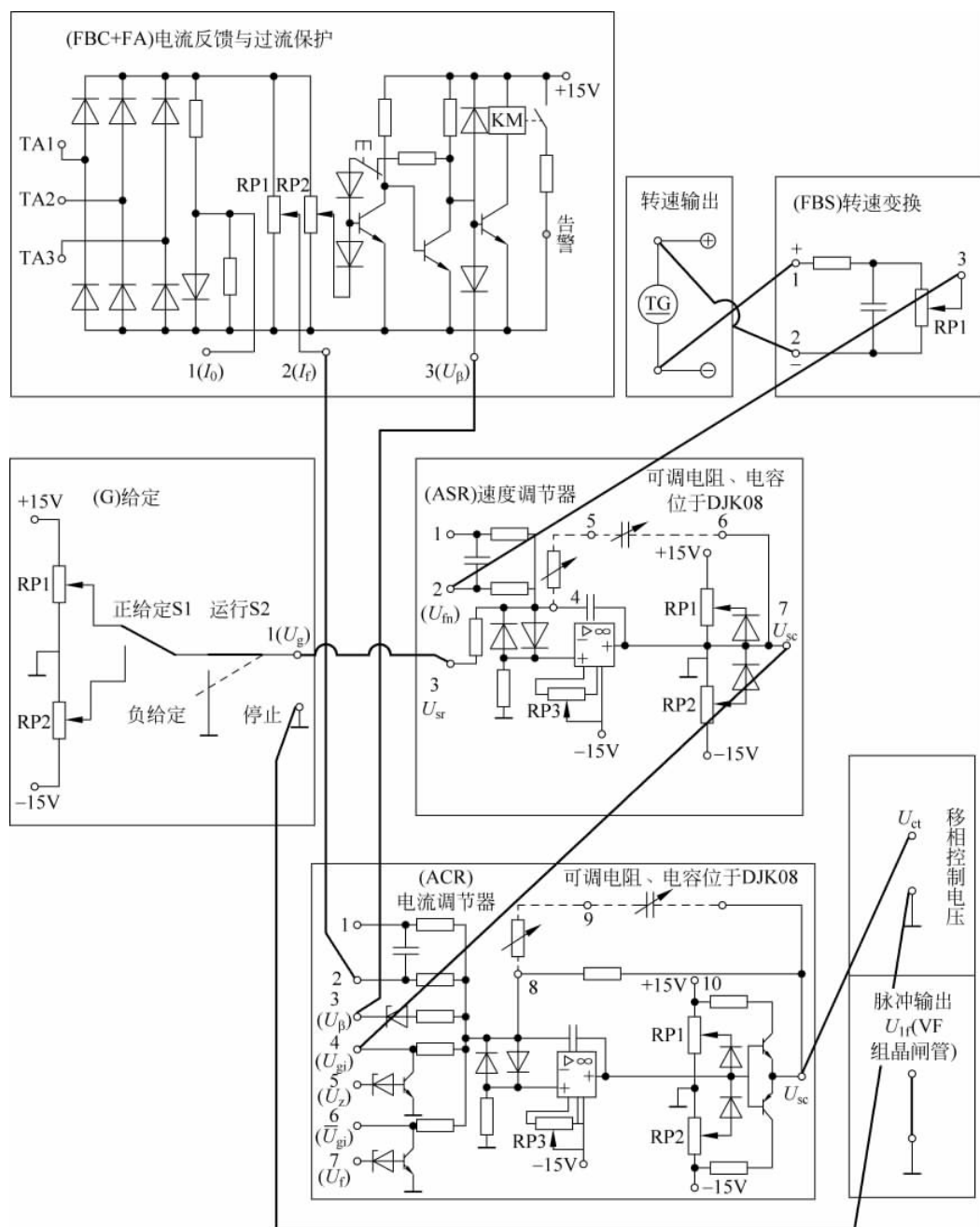


图 5-20 双闭环不可逆直流调速系统控制回路

载电阻调到最大值,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。

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 1200rpm,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 $n=f(I_d)$ 。降低 U_g ,再测试 $n=800\text{rpm}$ 时的静态特性曲线。测量数据记录于表 5-7 中。

表 5-7 闭环静特性测试数据记录表

正转	$n=1200\text{rpm}$	n/rpm							
		I_d/A							
	$n=800\text{rpm}$	n/rpm							
		I_d/A							

③ 闭环控制系统 $n=f(U_g)$ 的测定。

调节 U_g 及 R ,使 $I_d=I_{ed}$ 、 $n=1200\text{rpm}$,逐渐降低 U_g ,记录 U_g 和 n ,即可测出闭环控制特性 $n=f(U_g)$,测量数据记录于表 5-8 中。

表 5-8 闭环控制特性测试数据记录表

n/rpm							
U_g/V							

(6) 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“4”端)波形。

② 突加额定负载($20\%I_{ed}\sim 100\%I_{ed}$)时的电动机电枢电流波形和转速波形。

③ 突降负载($100\%I_{ed}\sim 20\%I_{ed}$)时电动机的电枢电流波形和转速波形。

5.2.4 预习报告

(1) 双闭环不可逆直流调速系统的组成和工作原理。

- (2) PI 调节器在双闭环直流调速系统中的作用。
- (3) 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。

5.2.5 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) 分析系统数字示波器记录的动态波形。

5.2.6 注意事项

- (1) 参见 5.1.6 节。
- (2) 系统开环实验时,不允许突加给定电压 U_g 启动电机。
- (3) 改变实验线路接线时,必须先按下电源控制屏主电源开关的“停止”红色按钮,同时系统给定电压 U_g 置零。
- (4) 系统闭环实验时,注意转速反馈极性不要接反。

5.2.7 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?
- (3) 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?

5.3 逻辑无环流可逆直流调速系统

5.3.1 系统组成与工作原理

逻辑控制的无环流可逆调速系统的组成如图 5-21 所示,主电路采用两组晶闸管装置反并联线路,控制系统采用典型的转速、电流双闭环系统。图中 ACR1 用来控制正组触发装置,ACR2 控制反组触发装置,ACR1 的给定信号 U_i^* 经反号器 AR 后作为 ACR2 的

给定信号,为了保证不出现环流,设置了无环流逻辑控制环节 DLC,这是系统中的关键环节,它按照系统的工作状态指挥正、反组的自动切换,其输出信号 U_{blf} 、 U_{blr} 用来控制正组或反组触发脉冲的封锁或开放,在任何情况下,两个信号必须是相反的,绝不允许两组晶闸管同时开放脉冲,以确保主电路没有出现环流的可能。

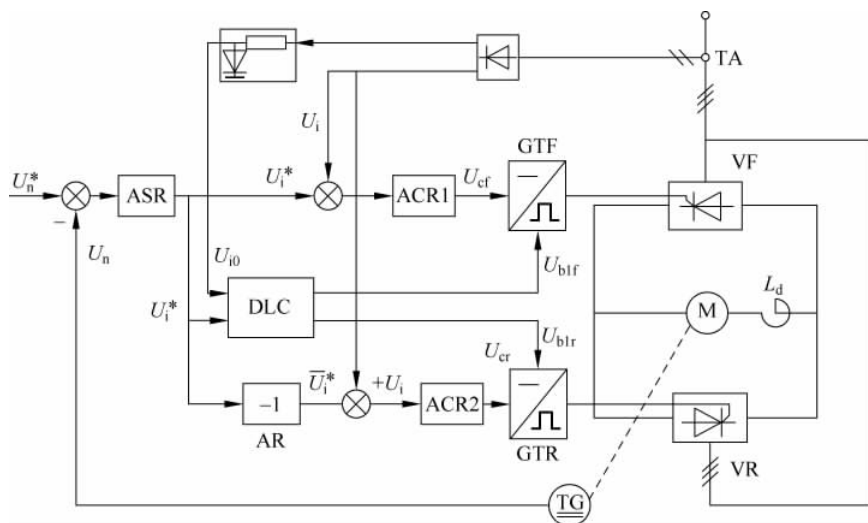


图 5-21 逻辑控制无环流可逆调速系统原理框图

5.3.2 逻辑无环流可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 仿真实验设计与实现

1. 实验目的

- (1) 加深对逻辑无环流可逆直流调速系统工作原理的理解。
- (2) 掌握逻辑无环流可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真建模方法,会设置各模块的参数。

2. 实验内容

- (1) 控制单元模块的建模与仿真。
- (2) 逻辑无环流可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真。

3. 实验器材

- (1) PC。
- (2) MATLAB 6.5.1 仿真软件。

50Hz, 相位差互为 120° 。

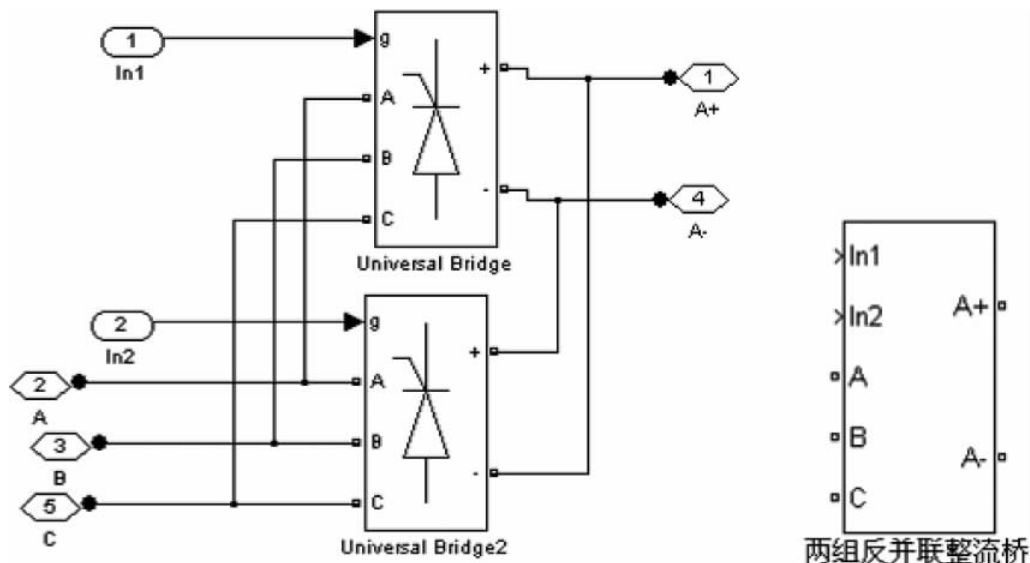


图 5-23 逻辑无环流主电路子系统模型及子系统模块符号

2) 两组同步触发器的建模

两个同步触发器可以采用电力电子模块组中附加控制(Extras Control Block)子模块中的 6 脉冲同步触发器, 由于 6 脉冲触发器需要三相线电压同步, 所以同步电源的任务是将三相交流电源的相电压转换成线电压, 可以采用测量模块组中的电压测量模块(Voltage Measurement)来完成。同时为了使两组整流桥能够正常工作, 在脉冲触发器的 Block 端口接入数值。同步脉冲触发器的电源同步频率也改为 50Hz, 同步触发器及封装后的子系统模型及符号如图 5-24 所示。

3) 控制电路建模和参数设置

(1) 逻辑切换装置 DLC 建模。

逻辑无环流可逆直流电动机调速系统中, 逻辑切换装置 DLC 是一个核心装置, 其任务是在正组晶闸管桥工作时开放正组脉冲, 封锁反组脉冲; 在反组晶闸管桥工作时开放反组脉冲, 封锁正组脉冲。根据其要求, DLC 应由电平检测、逻辑判断、延时电路和连锁保护 4 部分组成。

① 电平检测器的建模。电平检测的功能是将模拟量换成数字量供后续电路使用, 它包含电流极性鉴别器和零电流鉴别器, 在用 MATLAB 建模时, 可用 Simulink 的非线性模块组中的继电器模块 Relay(路径为 Simulink/Discontinuities/Relay)来实现。此模块参数设置: Switch on point 为 eps (eps), Switch off point 为 eps (eps), Output when on

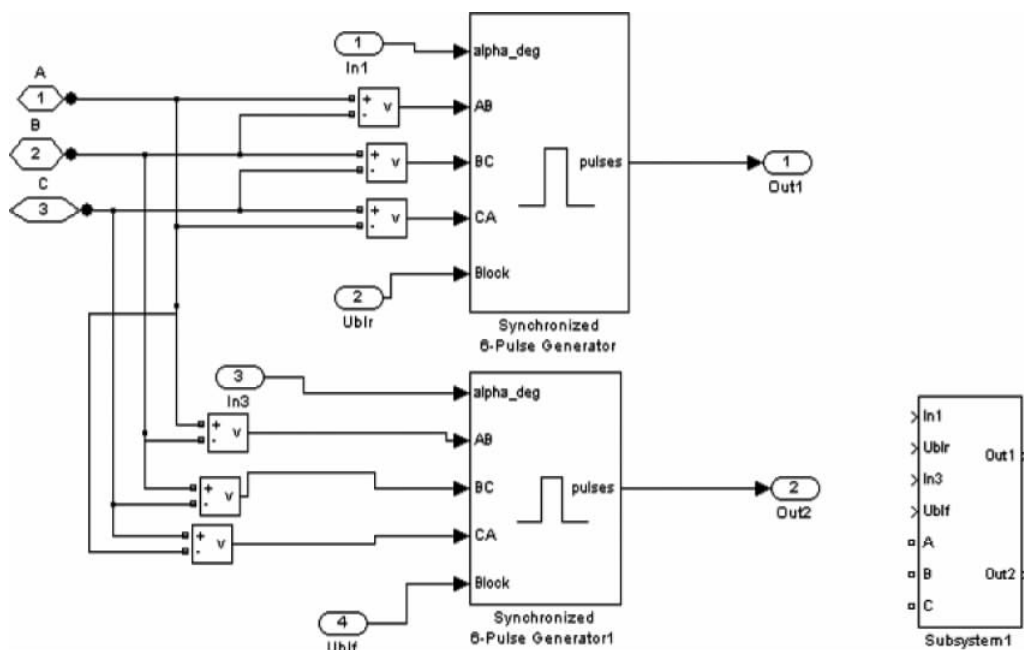


图 5-24 同步触发器及封装后的子系统

为 1 (0), Output when off 为 0 (1)。

② 逻辑判断电路的建模。逻辑判断电路的功能是根据转矩极性鉴别器和零电流检测器输出信号 U_T 和 U_Z 的状态,正确地发出切换信号 U_F 和 U_R 来决定两组晶闸管的工作状态。

由于 MATLAB 中与非门的模块输出与输入有关,且仿真只是数值计算,对于 MATLAB 中的逻辑模块如 Logical Operator 需要两个输入量,若直接把与非门的输出接到输入,仿真不能进行。本实验采用 Combinatorial Logic 逻辑模块(路径为 Simulink/Math Operations/Combinatorial Logic),将参数菜单上的真值表改为 $[1\ 1; 1\ 1; 1\ 1; 0\ 0]$,表现出与非门性质,与 Demux 模块和 Mux 模块进行连接和封装,封装后再加一个记忆模块 Memory(路径为 Simulink/Discrete/Memory,参数设置 Initial condition 为 1)就能满足判断电路的要求。采用 Combinatorial Logic 模块搭建的与非门,封装后如图 5-25 所示。

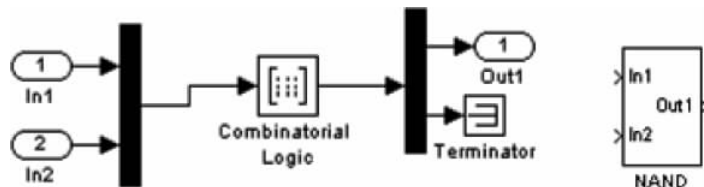


图 5-25 NAND 模型的建立

③ 延时电路的建模。在逻辑判断电路发出切换指令后,必须经过封锁延时和开放延时才能封锁原导通组脉冲和开放另一组脉冲,由数字逻辑电路的 DLC 装置能够发现,当逻辑电路的输出由 0 变为 1 时,延时电路产生延时,当输出由 1 变成 0 或状态不变时不产生延时。根据这一特点,利用 Simulink 工具箱中数学模块组中的传递延时模块 Transport Delay(路径为 Simulink/Continuous/Transport Delay,参数设置 Time delay 为 0.004,Initial input 为 0,Initial buffer size 为 1024)、逻辑模块 Logical Operator(路径为 Simulink/Math Operations/Logical Operator,参数设置 Operator 为 OR)及数据转换模块 Data Type Conversion(路径为 Simulink/Signal Attributes/Data Type Conversion,参数设置 Data Type 为 double)实现此功能,连接及封装后如图 5-26 所示。

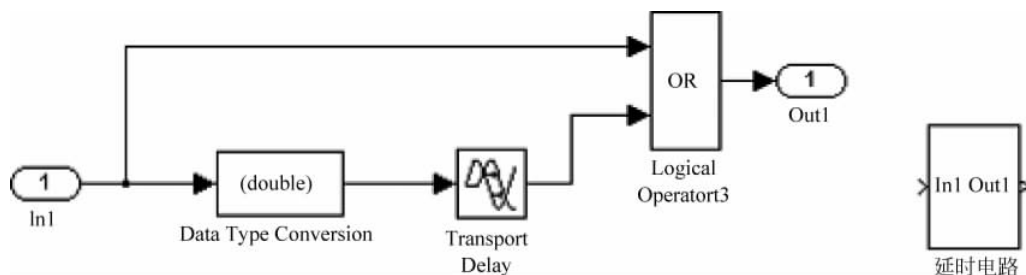


图 5-26 延时电路的建模

④ 连锁保护电路建模。逻辑电路的两个输出总是一个为 1 态,另一个为 0 态,但是一旦电路发生故障,两个输出同时为 1 态,将造成两组晶闸管同时开放而导致电源短路,为了避免这种事故,在无环流逻辑控制器的最后部分设置了多 1 连锁保护电路,可利用 Simulink 工具箱的逻辑运算模块 Logical Operator(参数设置 Operator 为 NAND)实现连锁保护功能。

DLC 仿真模型及封装后 DLC 模块符号如图 5-27 所示。

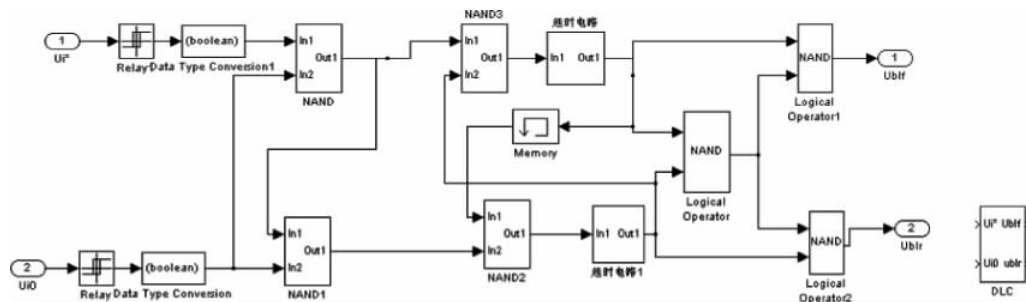


图 5-27 DLC 的仿真模型及其封装后 DLC 模块

(2) 其他控制电路的建模和参数的设置。

逻辑无环流直流可逆调速系统的控制电路包括给定环节、一个速度调节器(ASR)、两个电流调节器(ACR1、ACR2)、反向器、电流反馈环节、速度反馈环节等。

根据工程设计方法设计调节器方法得: ASR: $K_p=6.02$; $\tau_n=0.087s$; ACR: $K_i=0.43$; $\tau_i=0.017s$;

仿真模型的 ASR 的参数: $K_p=6.02$; $K_i=69.2$; 上下限幅值为 $[10, -10]$ 。ACR 的参数: $K_p=0.43$; $K_i=25.3$; 上下限幅值为 $[10, -10]$ 。

电机本体模块参数设置方法参考双闭环直流调速系统方法。

为了检验仿真效果,给定信号采用叠加信号,使给定信号由 10 到 -10 再到 10 转换。

系统仿真参数设置: 仿真中所选择的算法为 ode23tb, Start 设为 0, Stop 设为 12s。

4) 仿真结果分析

逻辑无环流可逆直流调速系统的仿真结果如图 5-28 所示。

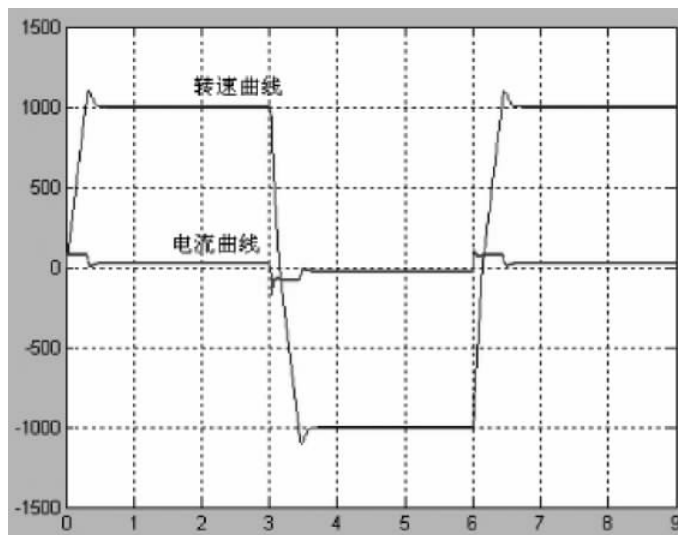


图 5-28 逻辑无环流可逆直流调速系统仿真结果

从仿真结果可以看出,当给定正向信号时,在电流调节器作用下电机电枢电流接近最大值,使得电机以最优时间准则开始上升,在约 0.3s 时转速超调,电流很快下降,在 0.6s 时达到稳态,在 3s 时给定反向信号,电流和转速都下降,在电流下降到零以后,电机处于制动状态,转速快速下降,当转速为零后,电机处于反向电动状态,整个变化曲线与实际情况非常类似。

5.3.3 逻辑无环流可逆直流调速系统 DJDK-1 型电力电子技术及电机控制实验台实验

1. 实验目的

- (1) 熟悉逻辑无环流可逆直流调速系统的组成和工作原理。
- (2) 掌握各控制单元的原理、作用及调试方法。
- (3) 掌握逻辑无环流可逆直流调速系统的调试步骤和方法。
- (4) 掌握逻辑无环流可逆直流调速系统的静态特性和动态特性。

2. 实验设备

- (1) 电源控制屏(DJK01)。
- (2) 晶闸管主电路(DJK02)。
- (3) 三相晶闸管触发电路(DJK02-1)。
- (4) 电机调速控制实验(DJK04)。
- (5) 可调电阻、电容箱(DJK08)。
- (6) 电机导轨、测速发电机及转速表(DD03-2)。
- (7) 直流发电机 DJ13-1。
- (8) 直流并励电动机 DJ15。
- (9) 三相可调电阻(D42)。
- (10) 示波器。
- (11) 万用表。

3. 实验原理

本实验的主回路由正桥及反桥反向并联组成,并通过逻辑控制来控制正桥和反桥的工作与关闭,并保证在同一时刻只有一组桥路工作,另一组桥路不工作,这样就没有环流产生。由于没有环流,主回路不需要再设置环流电抗器,但为了限制整流电压幅值的脉动并尽量使整流电流连续,仍然保留了平波电抗器。

该控制系统主要由“速度调节器”“电流调节器”“反号器”“转矩极性鉴别”“零电平检测”“逻辑控制”“速度变换”等环节组成,其系统原理框图如图 5-29 所示。

正向启动时,给定电压 U_g 为正电压,“逻辑控制”的输出端 U_{if} 为 0 态, U_{ir} 为 1 态,即正桥触发脉冲开通,反桥触发脉冲封锁,主回路“正桥三相全控整流”工作,电机正向运转。

当 U_g 反向,整流装置进入本桥逆变状态,而 U_{if} 、 U_{ir} 不变,当主回路电流减小并过零

后, U_{if} 、 U_{ir} 输出状态转换, U_{if} 为 1 态, U_{ir} 为 0 态, 即进入它桥制动状态, 使电机降速至设定的转速后再切换成反向电动运行; 当 $U_g = 0$ 时, 则电机停转。

反向运行时, U_{if} 为 1 态, U_{ir} 为 0 态, 主电路“反桥三相全控整流”工作。

“逻辑控制”的输出取决于电机的运行状态, 正向运转, 正转制动本桥逆变及反转制动它桥逆变状态, U_{if} 为 0 态, U_{ir} 为 1 态, 保证了正桥工作, 反桥封锁; 反向运转, 反转制动本桥逆变, 正转制动它桥逆变阶段, 则 U_{if} 为 1 态, U_{ir} 为 0 态, 正桥被封锁, 反桥触发工作。由于“逻辑控制”的作用, 在逻辑无环流可逆系统中保证了任何情况下两整流桥不会同时触发, 一组触发工作时, 另一组被封锁, 因此系统工作过程中既无直流环流也无脉动环流。

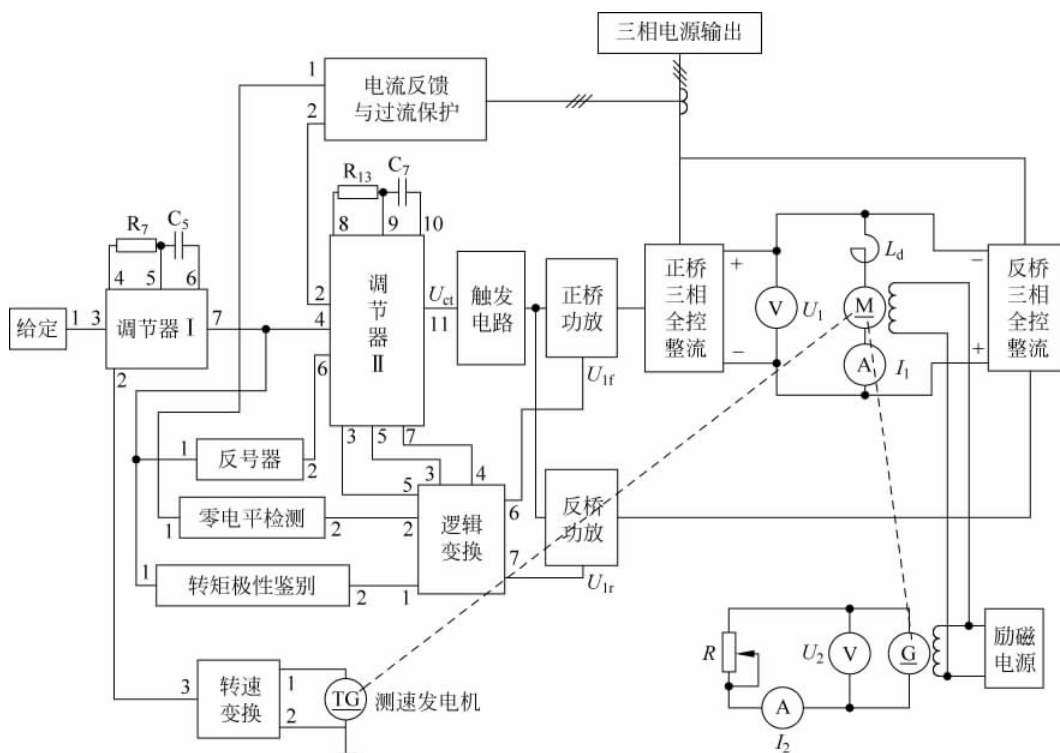


图 5-29 逻辑无环流可逆直流调速系统实验原理图

4. 实验内容

- (1) 控制单元调试。
- (2) 系统调试。

- (3) 测定正反转开环机械特性。
- (4) 测定正反转闭环控制特性。
- (5) 系统动态波形的观察。

5. 实验方法

(1) 逻辑无环流调速系统调试原则:

- ① 先单元、后系统,即先将单元的参数调好,然后才能组成系统。
- ② 先开环、后闭环,即先使系统运行在开环状态,然后在确定电流和转速均为负反馈后才可组成闭环系统。
- ③ 先双闭环、后逻辑无环流,即先使正反桥的双闭环正常工作,然后再组成逻辑无环流。

④ 先调整稳态精度,后调动态指标。

(2) DJK02 和 DJK02-1 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 用 10 芯的扁平电缆,将 DJK02 的“三相同步信号输出”端和 DJK02-1“三相同步信号输入”端相连,打开 DJK02-1 电源开关,拨动“触发脉冲指示”钮子开关,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 DJK02-1 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 DJK02-1 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 $\alpha=150^\circ$ (注意此处的 α 表示三相晶闸管电路中的移相角,它的 0° 是从自然换流点开始计算,而单相晶闸管电路的 0° 移相角表示从同步信号过零点开始计算,两者存在相位差,前者比后者滞后 30°)。

⑥ 适当增加给定 U_g 的正电压输出,观测 DJK02-1 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 用 8 芯的扁平电缆,将 DJK02-1 面板上“触发脉冲输出”和“触发脉冲输入”相连,使得触发脉冲加到正反桥功放的输入端。

⑧ 将 DJK02-1 面板上的 U_H 端接地,用 20 芯的扁平电缆,将 DJK02-1 的“正、反桥触发脉冲输出”端和 DJK02“正、反桥触发脉冲输入”端相连,分别将 DJK02 正桥和反桥触发脉冲的六个开关拨至“通”侧,观察正桥 VT1~VT6 和反桥 VT1'~VT6' 的晶闸管的门极和阴极之间的触发脉冲是否正常。

(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 DJK02-1 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 超过某一数值时,此时 U_d 接近输出最高电压值 U'_d ,一般可确定“三相全控整流”输出允许范围的最大值为 $U_{dmax}=0.9U'_d$,调节 U_g 使得“三相全控整流”输出等于 U_{dmax} ,此时将对应的 U'_g 的电压值记录下来, $U_{ctmax}=U'_g$,即 U_g 的允许调节范围为 $0\sim U_{ctmax}$ 。如果把输出限幅定为 U_{ctmax} ,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 6 个晶闸管可靠工作。记录 U'_g 于表 5-9 中。

表 5-9 移相控制电压 U_{ct} 调节范围数据记录表

U'_d	
$U_{dmax}=0.9 U'_d$	
$U_{ctmax}=U'_g$	

将给定退到零,再按“停止”按钮,结束步骤。

② 调节器的调零。

将 DJK04 中“调节器 I”所有输入端接地,再将 DJK08 中的 $120k\Omega$ 可调电阻接到“调节器 I”的“4”“5”两端,用导线将“5”“6”两端短接,使“调节器 I”成为 P(比例)调节器。用万用表的毫伏挡测量调节器 I“7”端的输出,调节面板上的调零电位器 RP3,使之输出电压尽可能接近于零。

将 DJK04 中“调节器 II”所有输入端接地,再将 DJK08 中的 $13k\Omega$ 可调电阻接到“调节器 II”的“8”“9”两端,用导线将“9”“10”两端短接,使“调节器 II”成为 P(比例)调节器。用万用表的毫伏档测量调节器 II 的“11”端,调节面板上的调零电位器 RP3,使之输出电压尽可能接近于零。

③ 调节器正、负限幅值的调整。

把“调节器 I”的“5”“6”两端短接线去掉,将 DJK08 中的 $0.47\mu F$ 可调电容接入“5”“6”两端,使调节器成为 PI(比例积分)调节器,将“调节器 I”的所有输入端的接地线去掉,将 DJK04 的给定输出端接到调节器 I 的“3”端。当加 $+5V$ 的正给定电压时,调整负限幅电位器 RP2,使之输出电压为 $-6V$;当调节器输入端加 $-5V$ 的负给定电压时,调整正限幅电位器 RP1,使之输出电压为 $+6V$ 。

把“调节器 II”的“9”“10”两端短接线去掉,将 DJK08 中的 $0.47\mu F$ 可调电容接入“9”“10”两端,使调节器成为 PI(比例积分)调节器,将“调节器 II”的所有输入端的接地线去掉,将 DJK04 的给定输出端接到调节器 II 的“4”端。当加 $+5V$ 的正给定电压时,调整负

限幅电位器 RP2,使之输出电压尽可能接近于零;当调节器输入端加 -5V 的负给定电压时,调整正限幅电位器 RP1,使调节器的输出正限幅为 U_{ctmax} 。

④ “转矩极性鉴别”的调试。

“转矩极性鉴别”的输出有下列要求:

电机正转,输出 U_{M} 为1态。

电机反转,输出 U_{M} 为0态。

将给定输出端接至“转矩极性鉴别”的输入端,同时在输入端接上万用表以监视输入电压的大小,示波器探头接至“转矩极性鉴别”的输出端,观察其输出高、低电平的变化。“转矩极性鉴别”的输入输出特性应满足图 5-30(a)所示要求,其中 $U_{\text{sr1}} = -0.25\text{V}$, $U_{\text{sr2}} = +0.25\text{V}$ 。

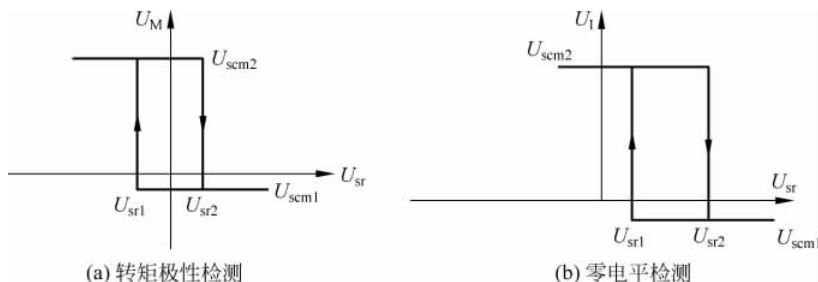


图 5-30 转矩极性鉴别及零电平检测输入输出特性

⑤ “零电平检测”的调试。

其输出应有下列要求:

主回路电流接近零,输出 U_{i} 为1态。

主回路有电流,输出 U_{i} 为0态。

其调整方法与“转矩极性鉴别”的调整方法相同,输入输出特性应满足图 5-30(b)所示要求,其中 $U_{\text{sr1}} = 0.2\text{V}$, $U_{\text{sr2}} = 0.6\text{V}$ 。

⑥ “反号器”的调试。

A. 调零(在出厂前反号器已调零,如果零漂比较大,用户可自行将挂件打开调零),将反号器输入端“1”接地,用万用表的毫伏挡测量“2”端,观察输出是否为零,如果不为零,则调节线路板上的电位器使之为最小值。

B. 测定输入输出的比例,将反号器输入端“1”接“给定”,调节“给定”输出为 5V 电压,用万用表测量“2”端,输出是否等于 -5V 电压,如果两者不等,则通过调节 RP1 使输出等于负的输入。再调节“给定”电压使输出为 -5V 电压,观测反号器输出是否为 5V 。

⑦ “逻辑控制”的调试。

测试逻辑功能,列出真值表,真值表应符合表 5-10。

表 5-10 系统逻辑功能测试真值表

输入	U_M	1	1	0	0	0	1
	U_I	1	0	0	1	0	0
输出	$U_Z(U_{If})$	0	0	0	1	1	1
	$U_F(U_{Ir})$	1	1	1	0	0	0

调试方法:

A. 首先将“零电平检测”“转矩极性鉴别”调节到位,符合其特性曲线。给定接“转矩极性鉴别”的输入端,输出端接“逻辑控制”的 U_M 。“零电平检测”的输出端接“逻辑控制”的 U_I ,输入端接地。

B. 将给定的 RP1、RP2 电位器顺时针转到底,将 S2 打到运行侧。

C. 将 S1 打到正给定侧,用万用表测量“逻辑控制”的“3”“6”和“4”“7”端,“3”“6”端输出应为高电平,“4”“7”端输出应为低电平,此时将 DJK04 中给定部分 S1 开关从正给定打到负给定侧,则“3”“6”端输出从高电平跳变为低电平,“4”“7”端输出也从低电平跳变为高电平。在跳变的过程中的“5”,此时用示波器观测应出现脉冲信号。

D. 将“零电平检测”的输入端接高电平,此时将 DJK04 中给定部分 S1 开关来回扳动,“逻辑控制”的输出应无变化。

⑧ 转速反馈系数 α 和电流反馈系数 β 的整定

直接将给定电压 U_g 接入 DJK02-1 上的移相控制电压 U_{ct} 的输入端,整流桥接电阻负载,测量负载电流和电流反馈电压,调节“电流反馈与过流保护”上的电流反馈电位器 RP1,使得负载电流 $I_d = 1.3A$ 时,“电流反馈与过流保护”的“2”端电流反馈电压 $U_{fi} = 6V$,这时的电流反馈系数 $\beta = U_{fi}/I_d = 4.615V/A$ 。

直接将“给定”电压 U_g 接入 DJK02-1 移相控制电压 U_{ct} 的输入端,“三相全控整流”电路接直流电动机作负载,测量直流电动机的转速和转速反馈电压值,调节“转速变换”上的转速反馈电位器 RP1,使得 $n = 1500rpm$ 时,转速反馈电压 $U_{fn} = -6V$,这时的转速反馈系数 $\alpha = U_{fn}/n = 0.004V/rpm$ 。

(4) 系统调试

根据图 5-31 和图 5-32 接线,组成逻辑无环流可逆直流调速实验系统,首先将控制电路接成开环(即 DJK02-1 的移相控制电压 U_{ct} 由 DJK04 的“给定”直接提供),要注意的是 U_{If} 、 U_{Ir} 不可同时接地,由于正桥和反桥是首尾相连,加上给定电压会使正桥和反桥的整流电路同时开始工作,后果是两个整流电路直接发生短路,电流迅速增大,要么 DJK04 上的过流保护报警跳闸,要么烧毁保护晶闸管的保险丝,甚至有可能烧坏晶闸管。所以较好的方法是正桥和反桥分别进行测试。先将 DJK02-1 的 U_{If} 接地, U_{Ir} 悬空,慢慢增加 DJK04 的“给定”值,使电机开始提速,观测“三相全控整流”的输出电压是否能达到 250V 左右(这段时间一定要短,以防止电机转速过高)。然后 DJK02-1 的 U_{Ir} 接地, U_{If} 悬空,同样慢慢增加

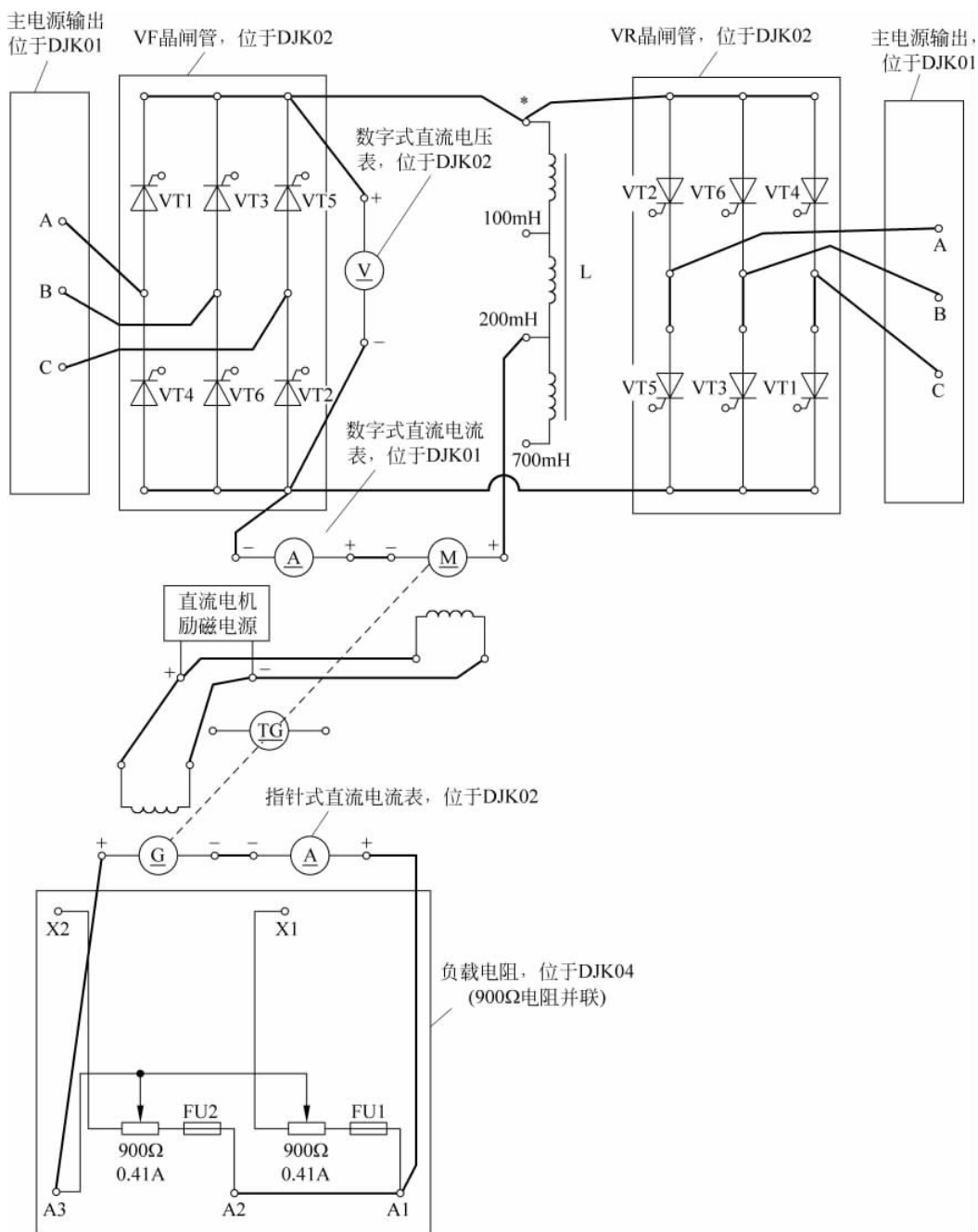


图 5-31 逻辑无环流可逆直流调速系统主回路

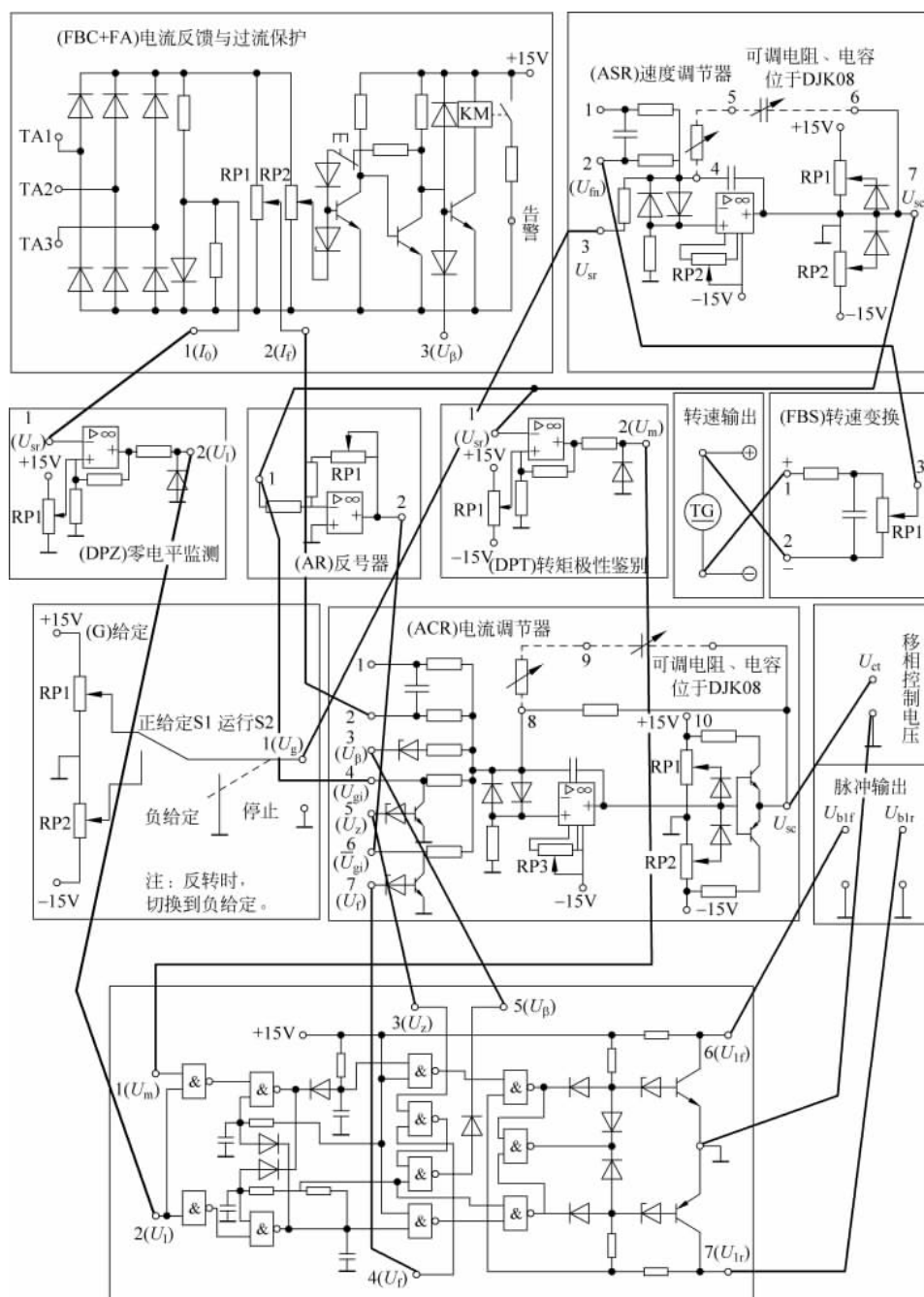


图 5-32 逻辑无环流可逆直流调速系统控制回路

DJK04 的给定电压值,使电机开始提速,观测整流桥的输出电压是否能达到 250V 左右。

开环测试好后,开始测试双闭环(与前面的原因一样, U_{if} 、 U_{ir} 不可同时接地)。DJK02-1 的移相控制电压 U_{ct} 由 DJK04“电流调节器”的“10”端提供,先将 DJK02-1 的 U_{if} 接地, U_{ir} 悬空,慢慢增加 DJK04 的给定电压值,观测电机是否受控制(速度随给定的电压变化而变化)。正桥测试好,再测试反桥,DJK02-1 的 U_{ir} 接地, U_{if} 悬空,同样观测电机是否受控制(要注意的是转速反馈的极性必须反过来,否则电机会失控)。如果开环和闭环中正反两桥都没有问题,就可以开始逻辑无环流的实验。

(5) 机械特性 $n=f(I_d)$ 的测定。

当系统正常运行后,改变给定电压,测出并记录当 n 分别为 1200rpm、800rpm 时的正、反转机械特性 $n=f(I_d)$,方法与双闭环实验相同。实验时,将发电机的负载 R 逐渐增加(减小电阻 R 的阻值),使电动机负载从轻载增加到直流并励电动机的额定负载 $I_d=1.1A$ 。测量数据记录于表 5-11 中。

表 5-11 系统闭环机械特性测定数据记录表

正转	$n=1200\text{rpm}$	n/rpm							
		I_d/A							
	$n=800\text{rpm}$	n/rpm							
		I_d/A							
反转	$n=1200\text{rpm}$	n/rpm							
		I_d/A							
	$n=800\text{rpm}$	n/rpm							
		I_d/A							

(6) 闭环控制特性 $n=f(U_g)$ 的测定。

分别从正、反转开始逐步增加正、负给定电压,测量数据记录于表 5-12 中。

表 5-12 系统闭环控制特性测定数据记录表

正转	n/rpm								
	U_g/V								
反转	n/rpm								
	U_g/V								

(7) 系统动态波形的观察。

用双踪慢扫描示波器观察电动机电枢电流 I_d 和转速 n 的动态波形,两个探头分别接至“电流反馈与过流保护”的“2”端和“速度变换”的“4”端。

① 给定值阶跃变化(正向启动→正向停车→反向启动→反向切换到正向→正向切换到反向→反向停车)时的 I_d 、 n 的动态波形。

- ② 改变电流调节器和速度调节器的参数,观察动态波形的变化。

5.3.4 预习报告

- (1) 逻辑无环流可逆直流调速系统的组成和工作原理。
- (2) 逻辑无环流可逆直流调速系统正反转切换过程中,转速与电枢电流的动态曲线。

5.3.5 实验报告

- (1) 根据实验结果,画出正、反转闭环控制特性曲线 $n=f(U_g)$ 。
- (2) 根据实验结果,画出两种转速时的正、反转闭环机械特性 $n=f(I_d)$,并计算静差率。
- (3) 分析速度调节器、电流调节器参数变化对系统动态过程的影响。
- (4) 分析电机从正转切换到反转过程中,电机经历的工作状态,系统能量转换情况。

5.3.6 注意事项

实验时,应保证“逻辑控制”工作,逻辑正确后才能使系统正反向切换运行。

5.3.7 思考题

- (1) 逻辑无环流可逆调速系统对逻辑控制有何要求?
- (2) 思考逻辑无环流可逆调速系统中“推 β ”环节的组成原理和作用如何?

5.4 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统

5.4.1 系统组成与工作原理

中、小功率的可逆直流调速系统多采用由电力电子功率开关器件组成的桥式可逆 PWM 变换器,图 5-33 是双闭环直流可逆 PWM 调速系统的原理图,UR 为二极管整流桥,UPEM 为 H 桥主电路,TG 为测速发电动机,TA 为霍尔电流传感器,GD 为驱动电路模块,内部含有光电隔离电路和开关放大电路,UPW 为 PWM 波生成环节,其算法由软件确定,图中的给定量 n^* 、 I_d^* 和 n 、 I_d 反馈量都是数字量。

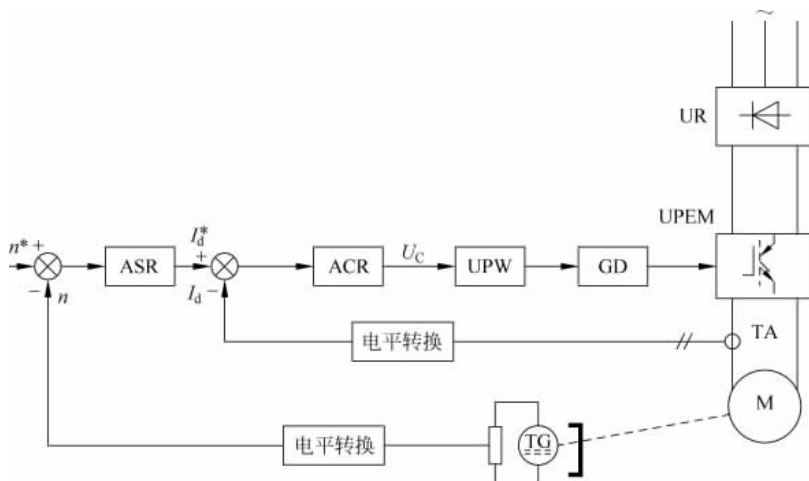


图 5-33 双闭环直流可逆 PWM 调速系统组成

5.4.2 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 仿真实验设计与实现

1. 实验目的

- (1) 加深理解双闭环控制可逆直流脉宽调速系统的工作原理。
- (2) 掌握双闭环控制可逆直流脉宽调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真建模方法,会设置各模块的参数。

2. 实验内容

- (1) 控制单元模块的建模与仿真。
- (2) 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 的仿真。

3. 实验器材

- (1) PC。
- (2) MATLAB 6.5.1 仿真软件。

4. 实验仿真

转速、电流双闭环控制的 H 形双极式 PWM 直流可逆调速系统,已知电动机参数为 $P_N=200\text{W}$, $U_N=48\text{V}$, $I_N=3.7\text{A}$, $n_N=200\text{r/min}$, 电枢电阻为 $R_a=6.5\Omega$, 电枢回路总电阻为 $R=8\Omega$, 允许电流过载倍数 $\lambda=2$, 电磁时间常数 $T_l=0.015\text{s}$, 机电时间常数 $T_m=$

0.2s, 电流反馈滤波时间常数 $T_{oi}=0.001s$, 转速反馈滤波时间常数 $T_{on}=0.005s$, 设调节器输入输出电压 $U_{nm}^*=U_{im}^*=10V$, 电力电子开关频率 $f=1kHz$, 试对该系统进行动态参数设计, 设计指标: 稳态无静差, 电流超调量 $\sigma_i \leq 5\%$; 空载启动到额定转速时的转速超调量 $\sigma_n \leq 20\%$, 过渡过程时间 $t_s \leq 0.1s$ 。

双闭环直流脉宽可逆调速系统的仿真模型如图 5-34 所示。

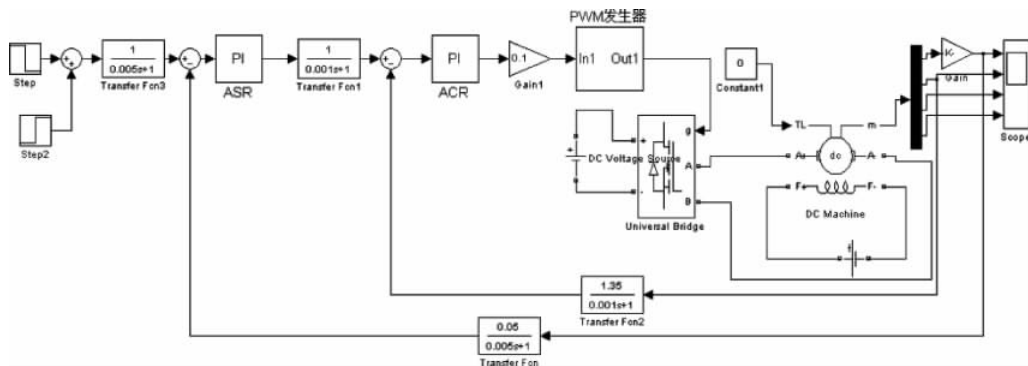


图 5-34 双闭环直流脉宽可逆调速系统定量仿真模型

仿真步骤如下:

(1) 主电路仿真模型的建立与参数设置。

双闭环 PWM 直流调速系统的主电路仿真模型与单闭环 PWM 直流调速系统的主电路相同, 只是负载转矩参数设置为 0, 直流电源参数设置为 48V。

(2) 控制电路仿真模型的建立与参数仿真。

控制电路由 ASR、ACR、滤波环节、延迟环节和反馈环节等组成。ASR、ACR 采用 PI 模块, 并根据工程设计方法求得参数。电流调节器 ACR 的 $K_p=4.63$, $K_i=\frac{K_p}{\tau_i}=\frac{4.63}{0.015}=$

308.7 ; 转速调节器 ASR 的 $K_p=5.4$, $K_i=\frac{K_p}{\tau_n}=\frac{5.4}{0.045}=120$ 。输出限幅均为 $[-10 \ 10]$ 。

其他环节参数设置: H 桥电力电子的导通电阻 $R_{on}=\frac{R-R_s}{2}=0.75\Omega$ 。Discrete PWM

Generator 模块载波频率为 1kHz。为了反映出此系统能够四象限运行, 给定信号为 10 到 -10 再到 10, 故给定信号模块采用多重信号叠加。给定信号的模型由 Constant、Sum 等模块组成, 一个 Constant 参数设置: Step 为 2.5, Initial Value 为 10, Final Value 为 -10; 另一个 Constant 参数设置: Step 为 5, Initial Value 为 0, Final Value 为 20。Sum 参数设置: List of sgns 为“+ +”。带滤波环节的转速反馈系数模块参数设置: Numerator 为 $[0.05]$, Denominator 为 $[0.005 \ 1]$ 。带滤波环节的电流反馈系数参数设置: Numerator 为 $[1.45]$, Denominator 为 $[0.001 \ 1]$ 。转速延迟模块的参数设置: Numerator 为 $[1]$, Denominator 为 $[0.005 \ 1]$ 。电流延迟模块参数设置: Numerator 为 $[1]$, Denominator

为 $[0.001 \ 1]$ 。直流电动机参数计算方法与直流双闭环晶闸管调速系统相同。其他参数为模块本身默认值。

系统仿真参数设置：仿真中所选择的算法为 ode23tb, Start 设为 0, Stop 设为 12s。

双闭环直流脉宽可逆调速系统仿真结果如图 5-35 所示。

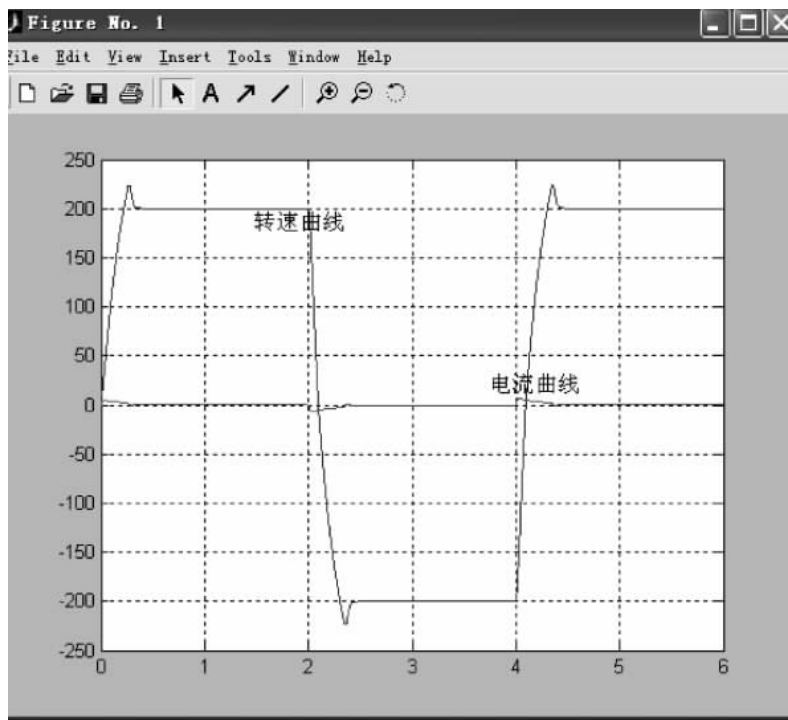


图 5-35 双闭环直流脉宽可逆调速系统定量仿真结果

从仿真结果可以看出,当给定信号为 10V 时,在电动机启动过程中,电流调节器作用下的电动机电枢电流接近最大值,使得电动机以最优时间准则开始上升,最高转速为 230r/min,超调量为 15%。稳态时转速为 200r/min; 给定信号变成 -10 时,电动机从电动状态变成制动状态,当转速为零时,电动机开始反向运转。

5.4.3 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统 DJDK-1 型电力电子技术及电机控制实验台实验

1. 实验目的

(1) 熟悉转速、电流双闭环可逆直流 PWM 调速系统的组成、工作原理及各单元的工

作原理。

- (2) 掌握双闭环可逆直流 PWM 调速系统的调试步骤、方法及参数的整定。
- (3) 测定双闭环直流调速系统的静态和动态性能指标。

2. 实验设备

- (1) 电源控制屏(DJK01)。
- (2) 单相调压与可调负载(DJK09)。
- (3) 双闭环 H 桥 DC/DC 变换直流调速系统(DJK17)。
- (4) 可调电阻、电容箱(DJK08)。
- (5) 电机导轨、测速发电机及转速表(DD03-2)。
- (6) 直流发电机 DJB-1。
- (7) 直流并励电动机 DJ15。
- (8) 三相可调电阻(D42)。
- (9) 示波器。
- (10) 万用表。

3. 实验原理

双闭环 H 桥 DC/DC 变换直流调速系统实验原理框图如图 5-36 所示。速度给定信号 G、速度调节器 ASR、电流调节器 ACR、控制 PWM 信号产生装置 UPM 以及 DLD 单元把一组 PWM 波形分成两组相差 180° 的 PWM 波,并产生一定的死区,用于控制两组臂;GD 的作用是形成四组隔离的 PWM 驱动脉冲;PWM 为功率放大电路,直接给电动机 M 供电;DZS 是零速封锁单元;FA 限制主电路瞬时电流,过流时封锁 DLD 单元输出;CFR 为电流反馈调节单元;SFR 为速度反馈调节。

4. 实验内容

- (1) 各单元电路的调试。
- (2) 测定开环机械特性。
- (3) 测定闭环静特性。

5. 实验方法

- (1) 系统单元调试。

① 速度调节器(ASR)和电流调节器(ACR)的调零。

把调节器的输入端“1”“2”“3”全部接地,“4”“5”端之间接 $50\text{k}\Omega$ 电阻,调节电位器 RP3,使输出端 7 绝对值小于 1mV 。

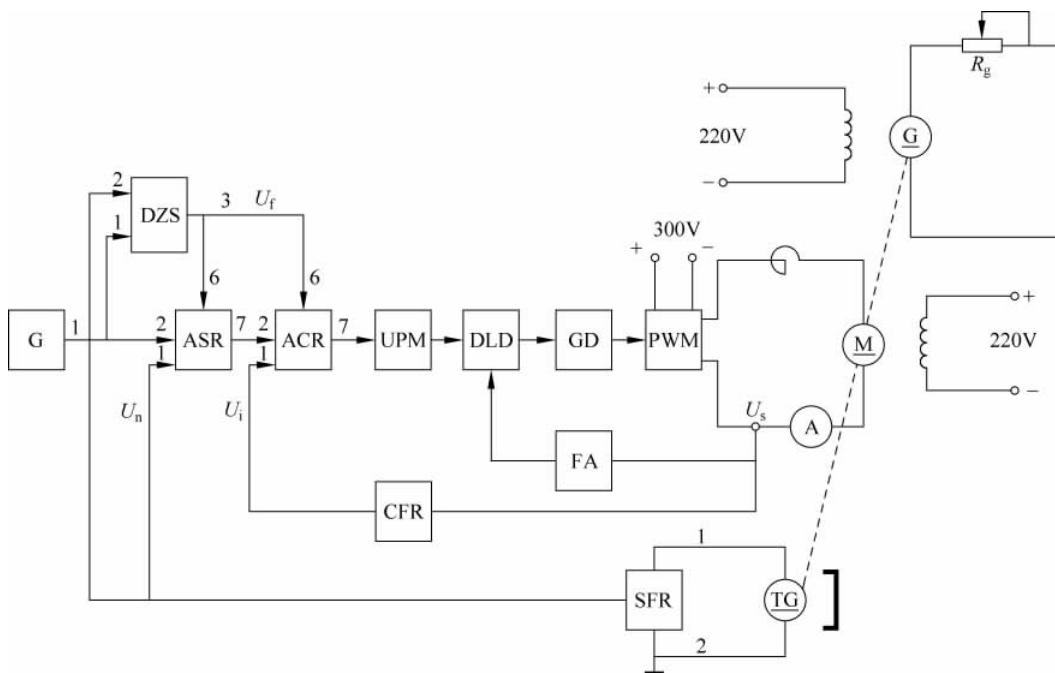


图 5-36 双闭环 H 桥 DC/DC 变换直流调速系统实验原理框图

② 速度调节器(ASR)和电流调节器(ACR)的输出限幅值的整定。

在调节器的 3 个输入中的任一个输入接给定,在“4”“5”端之间接 $50\text{k}\Omega$ 电阻、 $1\mu\text{F}$ 电容,调节给定电位器,使调节器的输入为 -1V ,调节电位器 RP1,使调节器的输出端“7”为 $+4\text{V}$ (输出正限幅值);同样把给定调节为 $+1\text{V}$,调节 RP2,把负限幅值调节为 -4V 。

③ 零速度封锁器(DZS)观测。

首先把零速封锁器的输入悬空,开关 S1 拨至“封锁”状态,输出接速度调节器或者电流调节器的零速封锁端“6”,无论调节器的输入如何调节,输出端“7”始终为零。把面板上的给定输出接至零速封锁单元其中一路,另一路悬空,增大给定,测量零速封锁单元输出端“3”给定的绝对值大于 0.26V 左右时,封锁端“3”输出 -15V ;减小给定,给定的绝对值小于 0.17V 左右时,封锁端“3”输出 $+15\text{V}$ 。把给定加到另一路进行同样的操作。

(2) 脉宽发生单元的整定和观测

把电机、直流电源等接入系统,系统接成开环,脉宽发生单元的输入悬空或者接地,调节偏移电压电位器,使电机处于停止状态(若要达到更好的闭环效果,调节偏移电压电位器使通过电枢的直流电流低于 0.02mA),用双踪示波器观测脉宽发生单元的测试点“1”“2”和“3”“4”的波形,此时的“1”“2”(“3”“4”)的占空比接近相同(占空比约为 50%)。观测同一组桥臂(“1”“2”或者“3”“4”)之间的死区。

(3) 转速反馈调节器(SFR)、电流反馈调节器(CFR)的整定。

把电机、220V 直流电源接入系统,系统接成开环。把正给定接入脉宽发生单元,调节给定,使转速稳定在 1600rpm,调节转速反馈调节器中的 RP1,使输出“3”的电压为 -4V 。加大负载,使电机的电枢电流稳定在 1.2A ,调节电流反馈调节器,使电流反馈调节器输出“3”的电压为 $+4\text{V}$ 。

(4) 开环机械特性测试。

主回路按图 5-37、控制回路按图 5-38 接线。把电机、直流电源接入系统,电动机、发电机加额定励磁。缓慢增加给定电压 U_g ,使电机升速,调节给定电压 U_g 和负载 R_g 使电动机(DJ15)的电枢电流 $I_d=0.9\text{A}$,转速达到 1200rpm。

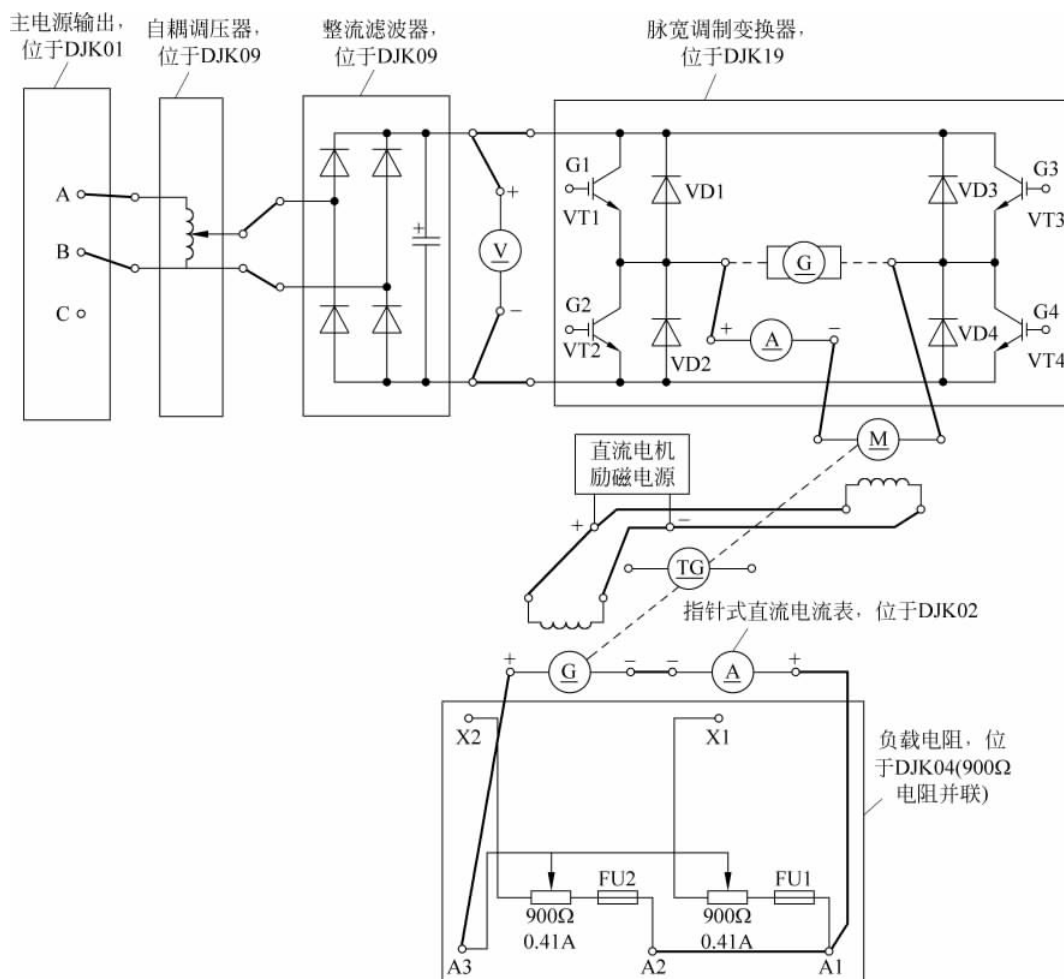


图 5-37 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统主回路

在测试过程中逐步增大负载电阻 R_g 的阻值(即减小负载)就可测出该系统的开环外特性 $n=f(I_d)$,将测量数据记录表 5-13 中。

然后将电机反转,增加给定 U_g (负给定)使电机反向升速,调节给定电压 U_g 和负载 R_g 使电动机(DJ15)的电枢电流 $I_d=0.9A$,转速分别达到 $-1200rpm$ 。

在测试过程中逐步增大负载电阻 R_g 的阻值(即减小负载)就可测出该系统的开环外特性 $n=f(I_d)$,将测量数据记录于表 5-13 中。

表 5-13 系统开环机械特性测定数据记录表

正转	$n=1200rpm$	n/rpm							
		I_d/A							
反转	$n=1200rpm$	n/rpm							
		I_d/A							

(5) 闭环系统调试及闭环静特性测定。

① 机械特性 $n=f(I_d)$ 的测定。

主回路按图 5-37、控制回路按图 5-39 接线。直流电压输入为 300V 的情况下,发电机输出首先空载,从零开始逐渐调大给定电压 U_g ,使电动机转速接近 1200rpm,然后在发电机的电枢绕组接入负载电阻 R_g ,逐渐增大电动机负载(即减小负载的电阻值),直至电动机的电枢电流 $I_d=0.9A$,即可测出系统静态特性,将测量数据记录表 5-14 中。

表 5-14 系统闭环静特性测定数据记录表

正转	$n=1200rpm$	n/rpm							
		I_d/A							
	$n=800rpm$	n/rpm							
		I_d/A							
反转	$n=1200rpm$	n/rpm							
		I_d/A							
	$n=800rpm$	n/rpm							
		I_d/A							

② 闭环控制系统 $n=f(U_g)$ 的测定。

调节 U_g 及 R ,使 $I=I_{ed},n=1200rpm$,逐渐降低 U_g ,直至 $U_g=0V$,在变换的过程中记录 U_g 和 n ,将测量数据记录于表 5-15 中。

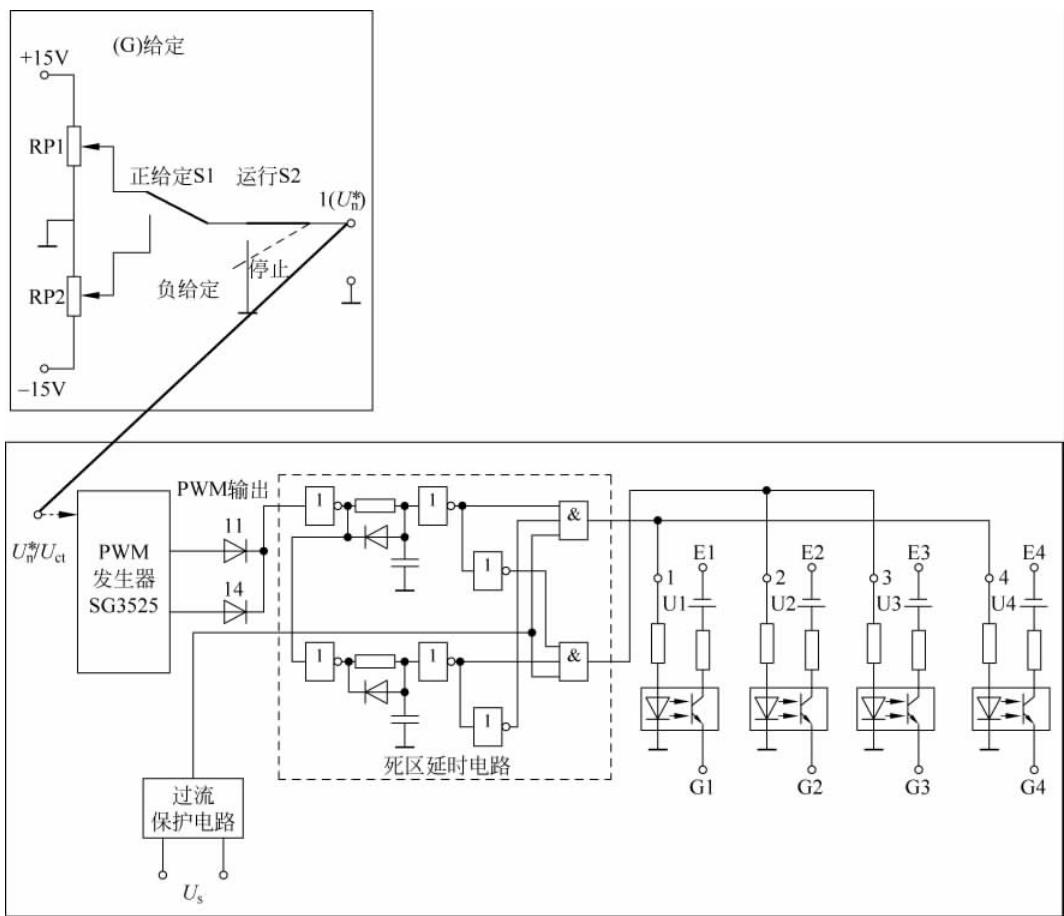


图 5-38 开环控制可逆直流脉宽调速系统控制回路

表 5-15 系统闭环控制特性测定数据记录表

正转	n/rpm								
	U_g/V								
反转	n/rpm								
	U_g/V								

③ 动态波形观察。

给定值阶跃变化：正向启动—正向停车，反向启动—反向停车，正转直接切换到反转，反转直接切换到正转。用示波器观测 $n=f(t)$, $I_d=f(t)$ 的波形。

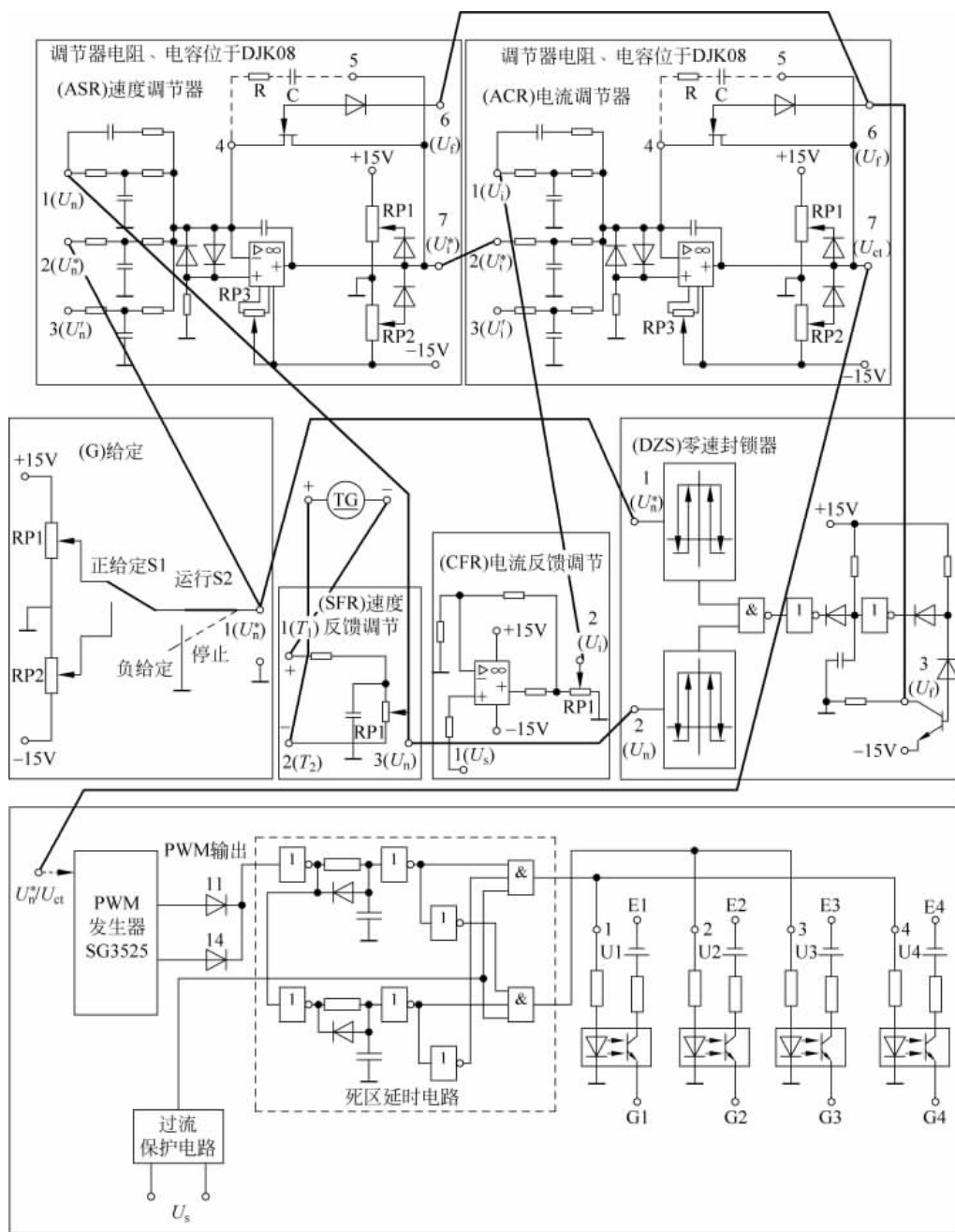


图 5-39 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统控制回路

电动机分别稳定运行于正、负 $n=1200\text{rpm}$ ，突加、突减负载 ($20\%I_N$ 和 $100\%I_N$) 时 $n=f(t)$ ， $I_d=f(t)$ 的波形。

5.4.4 预习报告

- (1) 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统的组成和工作原理。
- (2) 双闭环控制可逆直流脉宽调速系统的动静态性能。

5.4.5 实验报告

- (1) 按照实验方法记录的波形描述导通臂与关断臂切断状态时的控制逻辑原则。
- (2) 画出上述实验中记录的各工作特性曲线 $n=f(I_d)$ ，并比较它们的静差率。
- (3) 画出闭环控制特性曲线 $n=f(U_g)$ 。

5.4.6 注意事项

- (1) 要注意先后顺序，通电时先打开实验挂件的电源，再加高压直流电源；断电时先切断高压直流电源，再关断实验挂件电源。
- (2) 在送高压电源之前，先把给定调至最低。
- (3) 实验时需要注意电机的额定电压、额定电流、额定转速，不能超过，以免出现电机损坏。

5.4.7 思考题

- (1) 正转、反转有什么不同？
- (2) 脉宽调速系统和晶闸管移相控制的调速系统相比，调试过程有什么异同？
- (3) 脉宽调速系统和晶闸管移相控制的调速系统相比有什么优点？