

实验一 不可逆单闭环直流调速系统静特性的研究

一. 实验目的

1. 研究晶闸管直流电动机调速系统在反馈控制下的工作。
2. 研究直流调速系统中速度调节器 ASR 的工作及其对系统静特性的影响。
3. 学习反馈控制系统的调试技术。

二. 预习要求

1. 了解速度调节器在比例工作与比例—积分工作时的输入—输出特性。
2. 弄清不可逆单闭环直流调速系统的工作原理。

三. 实验线路及原理

见图 2-1。

- 1) 电源控制屏位于 NMCL-32/MEL-002T 等
- 2) L 平波电抗器位于 NMCL-331
- 3) Rd 可调电阻位于 NMEL-03/4 或 NMCL-03 等
- 4) G 给定 (U_g) 位于 NMCL-31 或 NMCL-31A 或 SMCL-01 调速系统控制单中
- 5) U_{ct} 位于 NMCL-33 或 NMCL-33F 中
- 6) 触发电路及晶闸管主电路位于 NMCL-33 或 NMCL-33F 中
- 7) ACR, ASR 位于 NMCL-18 中
- 8) TG 指光电编码器与电机导轨同轴连接
- 9) 转速显示及输出位于电机导轨上或 NMEL-13A/F/C 中
- 10) 直流电机励磁电源位于 NMCL-32 或 NMEL-18/2 中
- 11) 负载用 M01 电机或测功机 (NMEL-13A)
- 12) M 电机采用 M03 电机

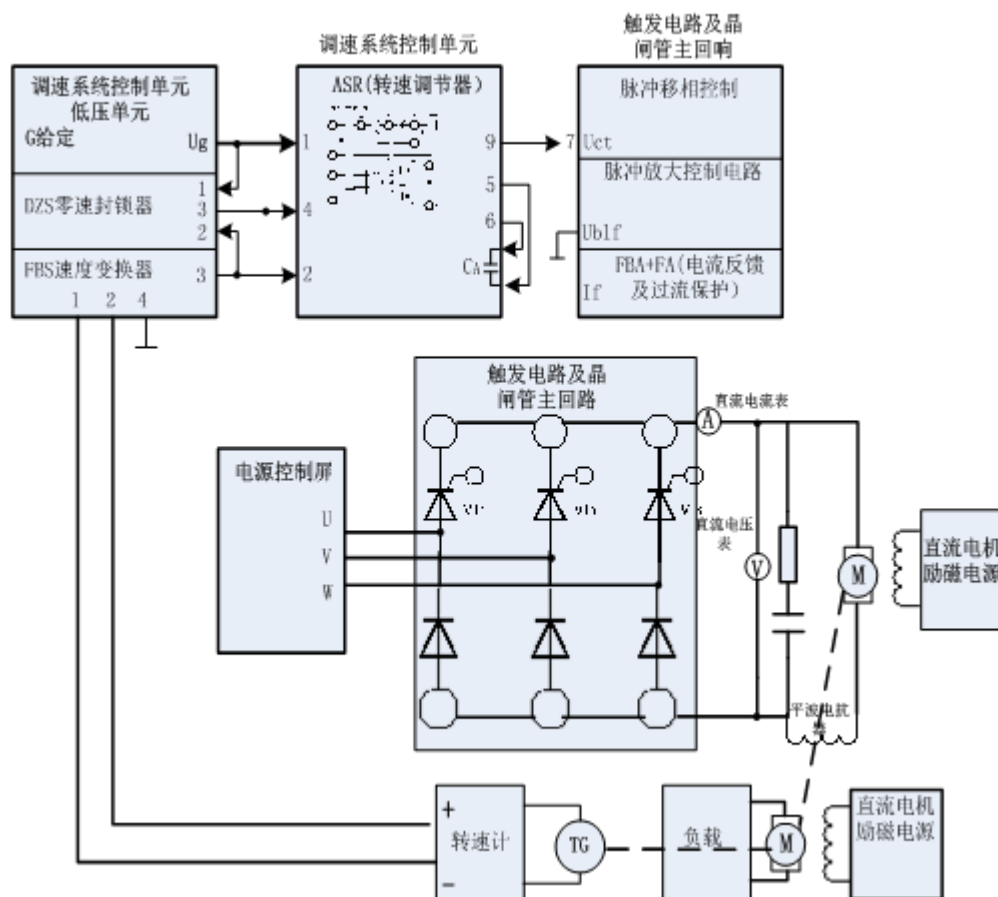


图 2-1

四. 实验设备及仪表

1. 教学实验台主控制屏。
2. 触发电路及晶闸管主回路组件
3. 负载组件
4. 电机导轨及测速发电机)
5. 直流电动机
6. 双踪示波器
7. 万用表

五. 注意事项

1. 直流电动机工作前，必须先加上直流励磁。
2. 接入 ASR 构成转速负反馈时，为了防止振荡，可预先把 ASR 的 RP3 电位器逆时针旋到底，使调节器放大倍数最小，同时，ASR 的“5”、“6”端接入可调电容（预置 $7\mu\text{F}$ ）。
3. 测取静特性时，须注意主电路电流不许超过电机的额定值（1A）。
4. 三相主电源连线时需注意，不可换错相序。
5. 系统开环连接时，不允许突加给定信号 U_g 起动电机。
6. 改变接线时，必须先按下主控制屏总电源开关的“断开”红色按钮，同时使系统的给定为零。
7. 双踪示波器的两个探头地线通过示波器外壳短接，故在使用时，必须使两探头的地线同电位（只用一根地线即可），以免造成短路事故。

六. 实验内容

1. 移相触发电路的调试（主电路未通电）

(a) 上实验台**总电空气开关**。用示波器观察**触发电路及晶闸管主回路**的双脉冲观察孔，应有双脉冲，且间隔 60° ，幅值相同。脉冲观察及通断控制模块的 6 个琴键开关置于“脉冲通”的状态，用示波器观察每个**晶闸管**的控制极、阴极电压波形，应有幅值为 $1V\sim 2V$ 的双脉冲（此部分同实验六脉冲观察部分相同）。

(b) 使 $U_g=0$ ，调节**触发电路及晶闸管**挂箱中“偏移电压”电位器 U_b ，用双踪示波器一端接挂箱同步电压观测口的“U”相，另一端接脉冲观测口的“1”脚。使 $\alpha=150^\circ$ 此时双脉冲左侧上升延刚好与 U 相 180° 相交。

(c) 控制单元 ASR 的调试，按上图连接，DZS 的钮子开关 S 拨向“解除”位置。ASR 的“3”端输出正负电压限幅值调试方法如下。“5”、“6”端接可调电容，一般可接 $7\mu F$ ，使 ASR 调节器为 PI 调节器。在 ASR “2”端输出 $1V$ 直流电压（由 U_g 提供以下同），调节 ASR 正负限幅电位器 RP_1, PR_2 ，使“3”端输出正负限幅电压等于 $\pm 5V$ 。

2. 求取调速系统在无转速负反馈时的开环工作机械特性。

(a) 断开 ASR 的“9”至 U_{ct} 的连接线，低压单元 G（给定）直接加至 U_{ct} ，且 U_g 调至零，直流电机励磁电源开关闭合。

(b) **电源控制屏**的“三相交流电源”开关拨向“直流调速”（部分实验台没有此开关直接进入下一步）。合上主电源，即按下主控制屏绿色“闭合”开关按钮，这时候主控制屏 U、V、W 端有电压输出（电压输出为 $220V$ ）

(c) 调节给定电压 U_g ，使直流电机空载转速 $n_0=1500$ 转/分，调节直流发电机负载电阻（如采用 M01 电机做为发电机，先将发电机励磁与电动机励磁并连，电枢输出接负载电阻。采用可调电阻，电阻进行串并连接，最大阻值大于 600Ω ）如测功机做负载，加载时直接调节加载电位器即可。在空载至额定负载的范围内测取 3~5 点，读取整流装置输出电压 U_d ，输出电流 i_d 以及被测电动机转速 n 。

i_d (A)					
U_d (V)					
n (r/min)					

注意：测试完成后，所有实验设备要恢复实验初始状态。

3. 带转速负反馈有静差工作的系统静特性

(a) G（给定）和 U_{ct} 的连接线，调节给定使电机空载 $n=1500r/m$ ，用万用表测量 FBS 输出，调节 FBS 输出电位器使输出为绝对值 $5V$ 。然后断开 G（给定）和 U_{ct} 的连接线，ASR 的“9”输出接至 U_{ct} ，把 ASR 的“5”、“6”点短接。

(b) 合上主控制屏的绿色按钮开关。

(c) 调节给定电压 U_g ，使被测电动机空载转速 $n_0=1500$ 转/分，调节 ASR 反馈电位器 RP_3 ，使电机稳定运行。

调节直流发电机负载电阻（同实验步骤 2），在空载至额定负载范围内测取 3~5 点，

读取 U_d 、 i_d 、 n 。

i_d (A)					
U_d (V)					
n (r/min)					

4. 测取调速系统在带转速负反馈时的无静差闭环工作的静特性

(a) 断开 ASR 的“5”、“6”短接线，“5”、“6”端接可调电容，可预置 $7\mu\text{F}$ ，使 ASR 成为 PI（比例—积分）调节器。

(b) 调节给定电压 U_g ，使电机空载转速 $n_0=1500$ 转/分。调节直流发电机负载电阻（同实验步骤 2），在额定至空载范围内测取 3~5 个点。

i_d (A)					
U_d (V)					
n (r/min)					

七. 实验报告

绘制实验所得静特性，并进行分析、比较。

八. 思考题

1. 系统在开环、有静差闭环与无静差闭环工作时，速度调节器 ASR 各工作在什么状态？实验时应如何接线？

2. 要得到相同的空载转速 n_0 ，亦即要得到整流装置相同的输出电压 U ，对于有反馈与无反馈调速系统哪个情况下给定电压要大些？为什么？

3. 在有转速负反馈的调速系统中，为得到相同的空载转速 n_0 ，转速反馈的强度对 U_g 有什么影响？为什么？

4. 如何确定转速反馈的极性与把转速反馈正确地接入系统中？又如何调节转速反馈的强度，在线路中调节什么元件能实现？

实验二 双闭环晶闸管不可逆直流调速系统

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. 熟悉电力电子及教学实验台主控制屏的结构及调试方法。
3. 熟悉**调速系统控制单元**，触发电路及**晶闸管**主回路的结构及调试方法
4. 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。

二. 实验内容

1. 各控制单元调试
2. 测定电流反馈系数。
3. 测定开环机械特性及闭环静特性。
4. 闭环控制特性的测定。
5. 观察，记录系统动态波形。

三. 实验系统组成及工作原理

双闭环**晶闸管**不可逆直流调速系统由电流和转速两个调节器综合调节，由于调速系统调节的主要量为转速，故转速环作为主环放在外面，电流环作为副环放在里面，这样可抑制电网电压波动对转速的影响，实验系统的控制回路如图 3-1 所示。

系统工作时，先给电动机加励磁，改变给定电压的大小即可方便地改变电机的转速。**ASR,ACR** 均有限幅环节，**ASR** 的输出作为 **ACR** 的给定，利用 **ASR** 的输出限幅可达到限制起动电流的目的，**ACR** 的输出作为移相触发电路的控制电压，利用 **ACR** 的输出限幅可达到限制 a_{\min} 和 b_{\min} 的目的。

当加入给定 U_g 后，**ASR** 即饱和输出，使电动机以限定的最大起动电流加速起动，直到电机转速达到给定转速（即 $U_g=U_{fn}$ ），并出现超调后，**ASR** 退出饱和，最后稳定运行在略低于给定转速的数值上。

四. 实验设备及仪器

1. 教学实验台主控制屏。
2. 触发电路及**晶闸管**主回路组件
3. 负载组件
4. **直流调速控制单元**组件
5. 电机导轨及测速发电机
6. 直流电动机
7. 双踪示波器
8. 万用表

五. 注意事项

1. 三相主电源连线时需注意，不可换错相序。
2. 系统开环连接时，不允许突加给定信号 U_g 起动电机
3. 改变接线时，必须先按下主控制屏总电源开关的“断开”红色按钮，同时使系统的给定为零。
4. 进行闭环调试时，若电机转速达最高速且不可调，注意转速反馈的极性是否接错。
5. 双踪示波器的两个探头地线通过示波器外壳短接，故在使用时，必须使两探头的地线同电位（只用一根地线即可），以免造成短路事故。

六. 实验方法

1. 按图接线，未上主电源之前，检查晶闸管的脉冲是否正常。
 - 1) 电源控制屏位于 NMCL-32/MEL-002T 等
 - 2) L 平波电抗器位于 NMCL-331
 - 3) R_d 可调电阻位于 NMEL-03/4 或 NMCL-03 等
 - 4) G 给定 (U_g) 位于 NMCL-31 或 NMCL-31A 或 SMCL-01 调速系统控制单中
 - 5) U_{ct} 位于 NMCL-33 或 NMCL-33F 中
 - 6) 晶闸管位于 NMCL-33 或 NMCL-33F 中
 - 7) ACR, ASR 位于 NMCL-18 中
 - 8) TG 指光电编码器与电机导轨同轴连接
 - 9) 转速显示及输出位于电机导轨上或 NMEL-13A/F/C 中
 - 10) 直流电机励磁电源位于 NMCL-32 或 NMEL-18/2 中
 - 11) 负载用 M01 电机或测功机 (NMEL-13A)
 - 12) M 电机采用 M03 电机

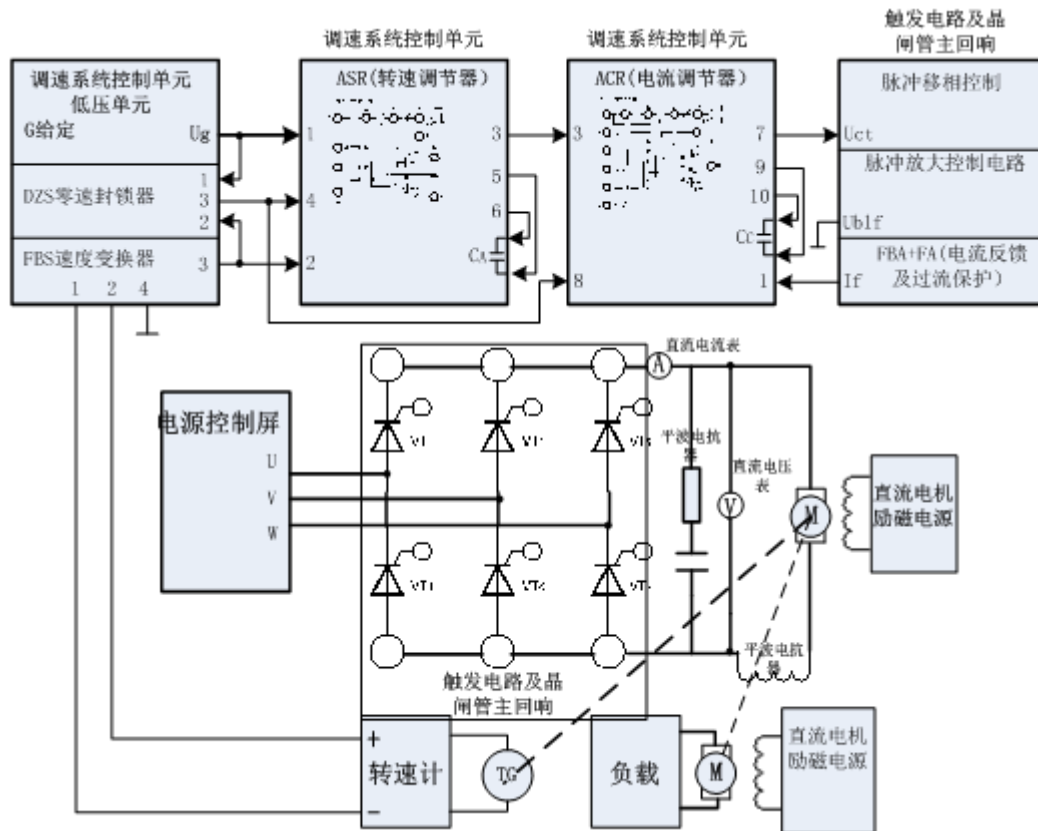


图 3-1

- (1) 用示波器观察双脉冲观察孔，应有间隔均匀，幅度相同的双脉冲
- (2) 检查相序，用示波器观察“1”，“2”脉冲观察孔，“1”脉冲超前“2”脉冲 60° ，则相序正确，否则，应调整输入电源。
- (3) 将控制一组桥触发脉冲通断的六个直键开关弹出，将 U_{blf} 接地，用示波器观察每只晶闸管的控制极，阴极，应有幅度为 $1V-2V$ 的脉冲。

详细步骤见实验二

2. 双闭环调速系统调试原则

- (1) 先部件，后系统。即先将各单元的特性调好，然后才能组成系统。
- (2) 先开环，后闭环，即使系统能正常开环运行，然后在确定电流和转速均为负反馈时组成闭环系统。
- (3) 先内环，后外环。即先调试电流内环，然后调转速外环。
- (4) 先静态，后动态，即先进行静态性能指标测试，再进行动态性能调试。

3. 速度调节器 (ASR) 的调试 (不上主电源)

- (1) 调整输出正、负限幅值速定。

“5”、“6”端 接可调电容，使 ASR 调节器为 PI 调节器，将给定 G 输出 U_g 接到 ASR 调节器的输入端“1”端，输入 $1V$ 电压。调整正、负限幅电位器 RP_1 、 RP_2 ，使输出“3”端正负值等于 $\pm 5V$ 。

- (2) 测定输入输出特性

将反馈网络中的电容短接（“5”、“6”端短接），使 ASR 调节器为 P 调节器，向调节器

输入端逐渐加入正负电压，测出“3”端相应的输出电压，直至输出限幅值，并画出曲线。

(3) 观察 PI 特性

拆除“5”、“6”端短接线，突加给定电压（G 给定 U_g ）先调节到 1V 然后将开关 S2 拨向“0”位，当系统稳定再将 S2 向上拨），用慢扫描示波器观察输出电压的变化规律，改变调节器的放大倍数及反馈电容，观察输出电压的变化。反馈电容由外接电容箱改变数值。

4. 电流调节器（ACR）的调试

(1) 调整输出正、负限幅值

整定 ACR 限幅值需要考虑负载的情况，留有一定整流电压的余量。ACR 的“9”、“10”端接可调电容，使调节器为 PI 调节器，加入一定的输入电压，将给定 G 输出 U_g 接到调节器 ACR 的输入端 3 端，调节输入 $U_g=1V$ ，调整 ACR 正、负限幅电位器 RP_1 、 RP_2 ，使输出“7”端正负值等于 $\pm 5V$ 。

5. 开环外特性的测定

(1) 控制电压 U_{ct} 由给定器 U_g 直接接入。将 U_{blf} 接地

(2) 使 $U_g=0$ ，在触发电路及晶闸管主回路挂箱中，用双踪示波器一端接挂箱同步电压观测口的“U”相，另一端接脉冲观测口的“1”脚。使 $\alpha=150^\circ$ 此时双脉冲左侧上升延刚好与 U 相 180° 相交。

(3) 电源控制屏的“三相交流电源”开关拨向“直流调速”（部分实验台没有此开关关）。合上主电源，即按下主控制屏绿色“闭合”开关按钮，这时候主控制屏 U、V、W 端有 220V 电压输出。

(4) 逐渐增加给定电压 U_g ，使电机起动、升速，调节 U_g ，使电机空载运行到转速 $n=1500r/m$ 。再调节直流发电机的负载（如采用 M01 电机做为发电机当负载，先将发电机励磁与电动机励磁并连，电枢输出接负载电阻。采用可调电阻，电阻进行串并连接，最大阻值大于 600Ω ）如测功机做负载，加载时直接调节加载电位器即可。在空载至额定负载的范围内测取 3~5 点，读取整流装置输出电压 U_d ，输出电流 i_d 以及被测电动机转速 n 。即可测出系统的开环外特性 $n=f(I_d)$ 。

n(r/min)						
I(A)						
U_d						

6. 系统调试

将 U_{blf} 接地， U_{blf} 悬空，即使用一组桥六个晶闸管。

(1) 电流环调试

电动机不加励磁，电动机堵转。

(a) 系统开环，即触发电路及晶闸管主回路中的控制电压 U_{ct} 由低压单元中的 G 给定器 U_g 直接接入，先调节 $U_g=0$ ，转速计 TG 的电源开关置于“ON”。

(b) 检查线路，闭合主电源，缓慢增加给定电压，时刻观察电流表 I_d 的大小直至 $I_d=1.1I_{led}$ ，再调节触发电路及晶闸管主回路挂箱下方 (FBC+FA) 的电流反馈 I_f 电位器 RP_1 ，采用万用表直流电压档测量，使电流反馈电压 U_{fi} 近似等于速度调节器 ASR 的输出限幅值 (ASR 的输出限幅可调为 $\pm 5V$)。调试完成后，使 $U_g=0$ ，断开主回路电源。

(c) 断开给定 U_g 与 U_{ct} 。输出电压 U_g 接至 ACR 的“3”端，电流反馈 I_f 接 ACR 的 1 脚，ACR 的输出“7”端接至 U_{ct} ，即系统接入已接成 PI 调节的 ACR 组成电流单闭环系统。ACR 的“9”、“10”端接可调电容，可预置 $1.5\mu F$ ，同时。逐渐增加给定电压 U_g ，使之等于 ASR 输出限幅值 (+5V)，观察主电路电流是否小于或等于 $1.1I_{ed}$ ，如 I_d 过大，则应调整电流反馈 I_f 电位器，使 U_{fi} 增加，直至 $I_d < 1.1I_{ed}$ ；如 $I_d < I_{ed}$ ，小于过电流保护整定值，这说明系统已具有限流保护功能。调试完成后，使 $U_g = 0$ ，断开主回路电源。

(2) 速度变换器的调试

电动机加额定励磁，电机不能堵转。

(a) 系统开环，即给定电压 U_g 直接接至 U_{ct} ， U_g 作为输入给定，首先将 $U_g = 0$ ，转速计 TG 开关置于“ON”。合上主电源，逐渐加正给定 U_g ，当电机空载转速 $n = 1500 \text{ r/min}$ 时，调节 FBS（速度变换器）中速度反馈电位器 RP，使速度反馈电压为 -5V 左右。调试结束后将 $U_g = 0$ ，关闭主电源。

(b) 速度反馈极性判断：系统中接入 ASR 构成转速单闭环系统，即给定电压 U_g 接至 ASR 的第 2 端，ASR 的第 3 端接至 U_{ct} 。合上主电源，调节 U_g (U_g 为负电压)，若稍加给定，电机转速即达最高速且调节 U_g 不可控，则表明单闭环系统速度反馈极性有误。但若接成转速—电流双闭环系统，由于给定极性改变，故速度反馈极性可不变。

4. 系统特性测试

将 ASR, ACR 均接成 PI 调节器接入系统，形成双闭环不可逆系统。

ASR“5”、“6”端接入可调电容，预置 $1.5\mu F$ ；ACR 电容取 $7\mu F$ 。调节 RP1、RP2 使输出限幅为 $\pm 5V$ 。

(1) 机械特性 $n=f(I_d)$ 的测定

(a) 闭合主电源，调节转速给定电压 U_g ，使电机空载转速至 1500 r/min ，再调节直流发电机的负载（如采用 M01 电机做为发电机当负载，先将发电机励磁与电动机励磁并连，电枢输出接负载电阻。采用可调电阻，电阻进行串并连接，最大阻值大于 600Ω ）如测功机做负载，加载时直接调节加载电位器即可。在空载至额定负载的范围内测取 3~5 点，读取整流装置输出电压 U_d ，输出电流 i_d 以及被测电动机转速 n 。可测出系统静特性曲线 $n=f(I_d)$

n(r/min)						
I(A)						

测试结束后，使给定电压 $U_g = 0$ ，关闭主回路电源。

5. 系统动态波形的观察

将 ASR, ACR 均接成 PI 调节器接入系统，形成双闭环不可逆系统。

ASR“5”、“6”端接入可调电容，预置 $1.5\mu F$ ；ACR 电容取 $7\mu F$ 。调节 RP1、RP2 使输出限幅为 $\pm 5V$ 。

利用 ASR 的“1”端和 ACR 的“1”端，用数字示波器记录动态波形。在不同的调节器参数下，观察，记录下列动态波形：

(1) 突加给定启动时，电动机电枢电流波形和转速波形。

(2) 突加负载时，电动机电枢电流波形和转速波形。

(3) 突降负载时, 电动机电枢电流波形和转速波形。

测试完成后, 使 $U_g=0$, 断开主回路。

七. 实验报告

1. 根据实验数据, 画出闭环控制特性曲线。
2. 根据实验数据, 画出闭环机械特性, 并计算静差率。
3. 根据实验数据, 画出系统开环机械特性, 计算静差率, 并与闭环机械特性进行比较。
4. 分析由数字示波器记录下来的动态波形。

实验三 双闭环可逆直流脉宽调速系统

一. 实验目的

1. 掌握双闭环可逆直流脉宽调速系统的组成、原理及各主要单元部件的工作原理。
2. 熟悉直流 PWM 专用集成电路 SG3525 的组成、功能与工作原理。
3. 熟悉 H 型 PWM 变换器的各种控制方式的原理与特点。
4. 掌握双闭环可逆直流脉宽调速系统的调试步骤、方法及参数的整定。

二. 实验内容

1. PWM 控制器 SG3525 性能测试。
2. 控制单元调试。
3. 系统开环调试。
4. 系统闭环调试
5. 系统稳态、动态特性测试。
6. H 型 PWM 变换器不同控制方式时的性能测试。

三. 实验系统的组成和工作原理

在中小容量的直传动系统中, 采用自关断器件的脉宽调速系统比相控系统具有更多的优越性, 因而日益得到广泛应用。

双闭环脉宽调速系统的原理框图如图 5-1 所示。图中可逆 PWM 变换器主电路系采用 IGBT 所构成的 H 型结构形式, UPW 为脉宽调制器, DLD 为逻辑延时环节, GD 为 MOS

管的栅极驱动电路，FA 为瞬时动作的过流保护。

脉宽调制器 UPW 采用美国硅通用公司（Silicon General）的第二代产品 SG3525，这是一种性能优良，功能全、通用性强的单片集成 PWM 控制器。由于它简单、可靠及使用方便灵活，大大简化了脉宽调制器的设计及调试，故获得广泛使用。

实验见图 5-1

- 1) 电源控制屏位于 NMCL-32/MEL-002T 等
- 2) L 平波电抗器位于 NMCL-331
- 3) Rd 可调电阻位于 NMEL-03/4 或 NMCL-03 等
- 4) G 给定 (Ug) 位于 NMCL-31 或 NMCL-31A 或 SMCL-01 调速系统控制单中
- 5) UPW, FBA 位于 NMCL-22 中
- 6) TG 指光电编码器与电机导轨同轴
- 7) 转速显示及输出位于电机导轨上或 NMEL-13A/F/C 中
- 8) 直流电机励磁电源位于 NMCL-32 或 NMEL-18/2 中
- 9) 负载用 M01 电机或测功机 (NMEL-13A)

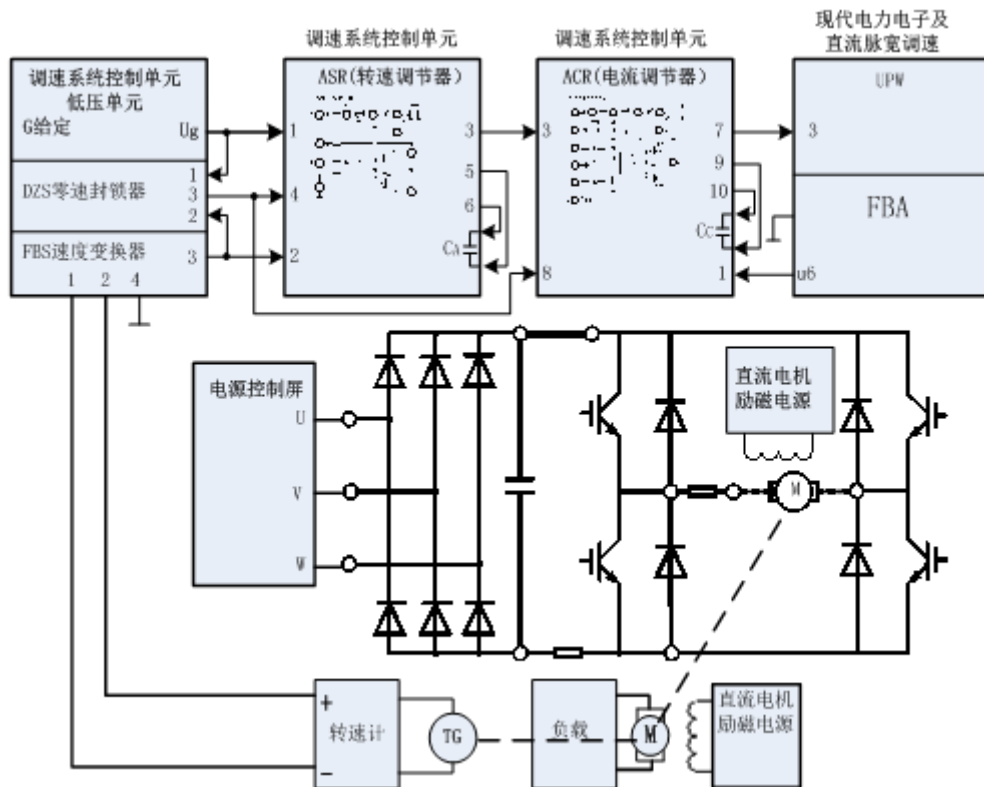


图 5-1

四. 实验设备及仪器

1. 教学实验台主控制屏
2. 现代电力电子及直流脉宽调速组件
3. 负载组件
4. 直流调速控制单元组件

5. 电机导轨及测速发电机（或光电编码器）、直流发电机
6. 直流电动机
7. 双踪示波器（自备）
8. 万用表（自备）

五. 注意事项

1. 直流电动机工作前，必须先加上直流激磁。
2. 接入 ASR 构成转速负反馈时，为了防止振荡，可预先把 ASR 的 RP3 电位器逆时针旋到底，使调节器放大倍数最小，同时，ASR 的“5”、“6”端接入可调电容（预置 $7\mu\text{F}$ ）。
3. 测取静特性时，须注意主电路电流不许超过电机的额定值（1A）。
4. 系统开环连接时，不允许突加给定信号 U_g 起动机。
5. 改变接线时，必须先按下主控制屏总电源开关的“断开”红色按钮，同时使系统的给定为零。
6. 双踪示波器（自备）的两个探头地线通过示波器外壳短接，故在使用时，必须使两探头的地线同电位（只用一根地线即可），以免造成短路事故。
7. 实验时需要特别注意起动限流电路的继电器有否吸合，如该继电器未吸合，进行过流保护电路调试或进行加负载试验时，就会烧坏起动限流电阻。

六. 实验方法

1. SG3525 性能测试。（合上空气开关，实验台主控屏主电源不要上）

(1) 用示波器观察 UPW 的“1”端的电压波形，记录波形的周期、幅度。（UPW “4”为接地点）

(2) 用示波器观察 UPW 的“2”端的电压波形，调节 UPW 的 RP 电位器，使方波的占空比为 50%。（UPW “4”为接地点）

(3) 用导线将低压单元的“G”给定 U_g 与“UPW”的“3”相连，同时 U_g 的地与 UPW 挂箱中的“8”脚相连接。分别调节 U_g 的正负给定，记录 UPW“2”端输出波形的最大占空比和最小占空比。

注意：UPW 的“2”端输出波形的占空比不得超出 10%~90%的范围，否则 PWM 波的一旦消失，将会使电机突然停转，产生瞬间冲击电流，从而击穿功率器件。因此，本实验自始至终需要监视 PWM 波的脉宽大小。

2. 控制电路的测试

- (1) 逻辑延时时间的测试

在上述实验的基础上，分别将 U_g 正、负给定均调到零，连接 UPW 的“2”端和 DLD 的“1”端，用示波器观察“DLD”的“1”和“2”端的输出波形，并记录延时时间 $t_d = \underline{\hspace{2cm}}$

- (2) 同一桥臂上下管子驱动信号列区时间测试

用双踪示波器分别测量 $V_{VT1.GS}$ 和 $V_{VT2.GS}$ 以及 $V_{VT3.GS}$ 和 $V_{VT4.GS}$ 的列区时间：

$$t_{dVT1.VT2} =$$

$$t_{dVT3.VT4} =$$

3. 开环系统调试

主回路按图 5-1 接线，但闭环调节器不接，控制回路直接将**调速控制单元**的 G 给定 U_g 接至**现代电力电子及直流脉宽调速**的 UPW“3”端，同时 U_g 的地与 UPW 的“8”脚连接。并将 UPW“2”端和 DLD“1”端相连。

(1) 电流反馈系数的调试

(a) 将正、负给定均调到零，合上主控制屏电源开关，接通直流电机励磁电源。

(b) 调节正给定，电机开始起动的直达到 1000r/min。再调节直流发电机的负载（如采用 M01 电机做为发电机当负载，先将发电机励磁与电动机励磁并连，电枢输出接负载电阻。采用可调电阻，电阻进行串并连接，最大阻值大于 600Ω）如测功机做负载，加载时直接调节加载电位器即可。直至电动机的电枢电流为 1A。

(c) 调节“FBA”的电流反馈电位器，用万用表测量“9”端电压达 2.5V 左右。

(2) 速度反馈系数的调试

在上述实验的基础上，再次调节电机转速的 1000r/min，调节**调速控制单元**的“FBS”电位器，使速度反馈电压为 5V 左右。

(3) 系统开环机械特性测定

参照速度反馈系数调试的方法，使电机转速达 1000r/min，改变直流发电机负载，在空载至额定负载范围内测取 3—5 个点，记录相应的转速 n 和直流电动机电流 i_d 。

$n=1400r/min$

$n(r/min)$							
$i_d(A)$							

调节给定，使 $n=800r/min$ 和 $n=500r/min$ ，作同样的记录，可得到电机在中速和低速时的机械特性。

$n=800r/min$

$n(r/min)$							
$i_d(A)$							
$M(N.m)$							

$n=500r/min$

$n(r/min)$							
$i_d(A)$							
$M(N.m)$							

断开主电源，**调速控制单元**的 S_1 开关拨向“负给定”，然后按照以上方法，测出系统的反向机械特性。

4. 闭环系统调试

控制回路可按图 5-1 接线，将 ASR, ACR 均接成 PI 调节器接入系统，形成双闭环不可逆系统。

(1) 速度调节器的调试

- (a) 反馈电位器 RP3 逆时针旋到底，使放大倍数最小；
- (b) “5”、“6”端接入可调电容器，预置 5μF；
- (c) 调节 RP₁、RP₂ 使输出限幅为±2.5V 左右。

(2) 电流调节器的调试

- (a) 反馈电位器 RP3 逆时针旋到底，使放大倍数最小；
- (b) “5”、“6”端接入可调电容器，预置 5~7μF；

(c) 调速控制单元 G 给定 U_g 的 S₂ 开关打向“给定”，S₁ 开关扳向上，调整调速控制单元的 RP₁ 电位器，使 ACR 输出正饱和，调整 ACR 的正限幅电位器 RP₁，用示波器观察现代电力电子及直流脉宽调速的 DLD “2”的脉冲，不可移出范围。

S₁ 开关打向下至“负给定”，调整调速控制单元的 RP₂ 电位器，使 ACR 输出负饱和，调整 ACR 的负限幅电位器 RP₂，用示波器观察现代电力电子及直流脉宽调速的 DLD “2”的脉冲，不可移出范围。

5. 系统静特性测试

(1) 机械特性 $n=f(I_d)$ 的测定

调速控制单元的 S₂ 开关打向“给定”，S₁ 开关扳向上，逆时针调整调速控制单元 U_g 的 RP₁ 电位器到底。

合上主电路电源，逐渐增加给定电压 U_g，使电机起动、升速，调节 U_g 使电机空载转速 n₀=1000r/min，再调节直流发电机的负载，在直流电机空载至额定负载范围，测取 3~5 点，读取电机转速 n，电机电枢电流 I_d，可测出系统正转时的静特性曲线 $n=f(I_d)$ 。

n(r/min)						
I(A)						

断开主电源，S₁ 开关打向下至“负给定”，逆时针调整调速控制单元的 RP₂ 电位器到底。

合上主电路电源，逐渐增加给定电压 U_g，使电机起动、升速，调节 U_g 使电机空载转速 n₀=1000r/min，再调节直流发电机的负载电阻 R_G，改变负载，在直流电机空载至额定负载范围，测取 3~5 点，读取电机转速 n，电机电枢电流 I_d，可测出系统反转时的静特性曲线 $n=f(I_d)$ 。

n(r/min)						
I(A)						

(2) 闭环控制特性 $n=f(U_g)$ 的测定

S₁ 开关扳向上，调节调速控制单元给定电位器 RP₁，记录给定输出 U_g 和电动机转速 n，即可测出闭环控制特性 $n=f(U_g)$ 。

n(r/min)						
U _g (V)						

6. 系统动态波形的观察

用二踪慢扫描示波器观察动态波形，用数字示波器记录动态波形。在不同的调节器参数下，观察，记录下列动态波形：

- (1) 突加给定启动时，电动机电枢电流波形和转速波形。
- (2) 突加额定负载时，电动机电枢电流波形和转速波形。
- (3) 突降负载时，电动机电枢电流波形和转速波形。

注：电动机电枢电流波形的观察可通过的 ACR 的第“1”端
转速波形的观察可通过的 ASR 的第“1”端。

七. 实验报告

1. 根据实验数据，列出 SG3525 的各项性能参数、逻辑延时时间、同一桥臂驱动信号死区时间、起动限流继电器吸合时的直流电压值等。
2. 列出开环机械特性数据，画出对应的曲线,并计算出满足 $S=0.05$ 时的开环系统调速范围。
3. 根据实验数据，计算出电流反馈系数 β 与速度反馈系数 α 。
4. 列出闭环机械特性数据，画出对应的曲线，计算出满足 $S=0.05$ 时的闭环系统调速范围，并与开环系统调速范围相比较。
5. 列出闭环控制特性 $n=f(u_g)$ 数据，并画出对应的曲线。
6. 画出下列动态波形
 - (1) 突加给定时的电动机电枢电流和转速波形，并在图上标出超调量等参数。
 - (2) 突加与突减负载时的电动机电枢电流和转速波形。
7. 试对 H 型变换器的优缺点以及由 SG3525 控制器构成的直流脉宽调速系统的优缺点及适用场合作出评述。
8. 对实验中感兴趣现象的分析、讨论。
9. 实验的收获、体会与改进意见。

八. 思考题

1. 为了防止上、下桥臂的直通，有人把上、下桥臂驱动信号死区时间调得很大，这样做行不行，为什么？您认为死区时间长短由哪些参数决定？
2. 与采用晶闸管的移相控制直流调速系统相对比，试归纳采用自关断器件的脉宽调速系统的优点。

实验四 双闭环三相异步电动机调压调速系统

一. 实验目的

1. 熟悉相位控制交流调压调速系统的组成与工作。
2. 了解并熟悉双闭环三相异步电动机调压调速系统的原理及组成。
3. 了解绕线式异步电动机转子串电阻时在调节定子电压调速时的机械特性。
4. 通过测定系统的静特性和动态特性进一步理解交流调压系统中电流环和转速环的作用。

二. 实验内容

1. 测定绕线式异步电动机转子串电阻时的人为机械特性。
2. 测定双闭环交流调压调速系统的静特性。
3. 测定双闭环交流调压调速系统的动态特性。

三. 实验系统组成及工作原理

双闭环三相异步电动机调压调速系统的主电路为三相晶闸管交流调压器及三相绕线式异步电动机（转子回路串电阻）。控制系统由电流调节器(ACR)，速度调节器(ASR)，电流变换器(FBC)，速度变换器(FBS)，触发器(GT)，一组桥脉冲放大器等组成。其系统原理图如图 2-1 所示。

整个调速系统采用了速度，电流两个反馈控制环。这里的速度环作用基本上与直流调速系统相同而电流环的作用则有所不同。在稳定运行情况下，电流环对电网振动仍有较大的抗扰作用，但在起动过程中电流环仅起限制最大电流的作用，不会出现最佳起动的恒流特性，也不可能是恒转矩起动。

异步电机调压调速系统结构简单，采用双闭环系统时静差率较小，且比较容易实现正，反转，反接和能耗制动。但在恒转矩负载下不能长时间低速运行，因低速运行时转差功率全部消耗在转子电阻中，使转子过热。

实验连线图 6—1

- 1) 电源控制屏位于 NMCL-32/MEL-002T 等
- 2) 交流电机采用 M09/M08
- 3) Rd 可调电阻位于 NMEL-03/4 或 NMCL-03 等
- 4) G 给定 (U_g) 位于 NMCL-31 或 NMCL-31A 或 SMCL-01 调速系统控制单中
- 5) U_{ct} 位于 NMCL-33 或 NMCL-33F 中
- 6) 晶闸管位于 NMCL-33 或 NMCL-33F 中
- 7) ACR, ASR 位于 NMCL-18 中
- 8) TG 指光电编码器与电机导轨同轴
- 9) 转速显示及输出位于电机导轨上或 NMEL-13A/F/C 中

10) 直流电机励磁电源位于 NMCL-32 或 NMEL-18/2 中

11) 负载用 M01 电机或测功机 (NMEL-13A)

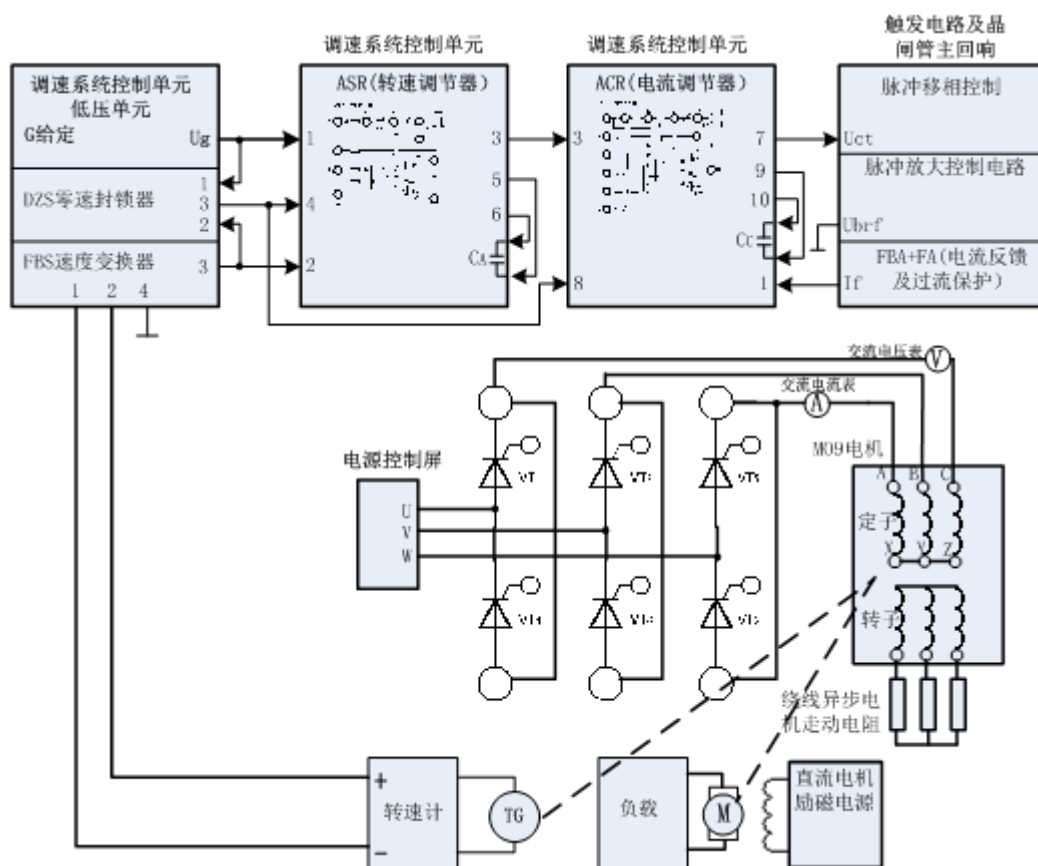


图 6-1

四. 实验设备和仪器

1. 教学实验台主控制屏。
2. 触发电路及晶闸管主回路组件
3. 负载组件
4. 直流调速控制单元组件
5. 电机导轨及测速发电机
7. 双踪示波器
8. 万用表

五. 注意事项

1. 接入 ASR 构成转速负反馈时, 为了防止振荡, 可预先把 ASR 的 RP3 电位器逆时针旋到底, 使调节器放大倍数最小, 同时, ASR 的“5”、“6”端接入可调电容 (预置 $7\mu\text{F}$)。
2. 测取静特性时, 须注意电流不许超过电机的额定值 (0.55A)。
3. 三相主电源连线时需注意, 不可换错相序。
4. 系统开环连接时, 不允许突加给定信号 U_g 起动电机。
5. 改变接线时, 必须先按下主控制屏总电源开关的“断开”红色按钮, 同时使系统的给定为零。
6. 双踪示波器 (自备) 的两个探头地线通过示波器外壳短接, 故在使用时, 必须使两

探头的地线同电位（只用一根地线即可），以免造成短路事故。

7. 低速实验时，实验时间应尽量短，以免电阻器过热引起串接电阻数值的变化。

8. 绕线式异步电动机按 Y 接。

六. 实验方法

1. 移相触发电路的调试（主电路未通电）

(a) 上实验台**总电空气开关**。用示波器观察**触发电路及晶闸管主回路**的双脉冲观察孔，应有双脉冲，且间隔 60° ，幅值相同。脉冲观察及通断控制模块的 6 个琴键开关置于“脉冲”的状态，用示波器观察每个**晶闸管**的控制极、阴极电压波形，应有幅值为 $1V\sim 2V$ 的双脉冲（此部分同实验六脉冲观察部分相同）。

(b) 使 $U_g=0$ ，调节**触发电路及晶闸管**挂箱中“偏移电压”电位器 U_b ，用双踪示波器一端接挂箱同步电压观测口的“U”相，另一端接脉冲观测口的“1”脚。使 $\alpha=150^\circ$ 此时双脉冲左侧上升延刚好与 U 相 180° 相交。

2. 控制单元调试

按直流调速系统方法调试各单元

3. 双闭环调速系统调试原则

(1) 先部件，后系统。即先将各单元的特性调好，然后才能组成系统。

(2) 先开环，后闭环，即使系统能正常开环运行，然后在确定电流和转速均为负反馈时组成闭环系统。

(3) 先内环，后外环。即先调试电流内环，然后调转速外环。

(4) 先静态，后动态，即先进行静态性能指标测试，再进行动态性能调试。

4. 速度调节器（ASR）的调试（不上主电源）

(1) 调整输出正、负限幅值速定。

“5”、“6”端 接可调电容，使 ASR 调节器为 PI 调节器，将给定 G 输出 U_g 接到 ASR 调节器的输入端“1”端，输入 $1V$ 电压。调整正、负限幅电位器 RP_1 、 RP_2 ，使输出“3”端正负值等于 $\pm 5V$ 。

(2) 测定输入输出特性

将反馈网络中的电容短接（“5”、“6”端短接），使 ASR 调节器为 P 调节器，向调节器输入端逐渐加入正负电压，测出“3”端相应的输出电压，直至输出限幅值，并画出曲线。

(3) 观察 PI 特性

拆除“5”、“6”端短接线，突加给定电压（G 给定 (U_g) 先调节到 $1V$ 然后将开关 S_2 拨向“0”位，当系统稳定再将 S_2 向上拨），用慢扫描示波器观察输出电压的变化规律，改变调节器的放大倍数及反馈电容，观察输出电压的变化。反馈电容由外接电容箱改变数值。

5. 电流调节器（ACR）的调试

(1) 调整输出正、负限幅值

整定 ACR 限幅值需要考虑负载的情况，留有一定整流电压的余量。ACR 的“9”、“10”端 接可调电容，使调节器为 PI 调节器，加入一定的输入电压，将给定 G 输出 U_g 接到调节器 ACR 的输入端 3 端，调节输入 $U_g=1V$ ，调整 ACR 正、负限幅电位器 RP_1 、 RP_2 ，使输

出“7”端正负值等于 $\pm 5V$ 。

6. 开环外特性的测定

(1) 控制电压 U_{ct} 由给定器 U_g 直接接入。将 U_{b1r} 接地

(2) 使 $U_g=0$ ，在**触发电路及晶闸管主回路挂箱**中，用双踪示波器一端接挂箱同步电压观测口的“U”相，另一端接脉冲观测口的“1”脚。使 $\alpha=150^\circ$ 此时双脉冲左侧上升延刚好与 U 相 180° 相交。

(3) **电源控制屏**的“三相交流电源”开关拨向“直流调速”（部分实验台没有此开关关）。合上主电源，即按下主控制屏绿色“闭合”开关按钮，这时候主控制屏 U、V、W 端有 220V 电压输出。

(4) 逐渐增加给定电压 U_g ，使电机起动、升速，调节 U_g ，使电机空载运行到转速 $n=1400r/m$ 。再调节直流发电机的负载（如采用 M01 电机做为发电机当负载，先将发电机励磁与电动机励磁并连，电枢输出接负载电阻。采用可调电阻，电阻进行串并连接，最大阻值大于 600Ω ）如测功机做负载，加载时直接调节加载电位器即可。在空载至额定负载的范围内测取 3~5 点，读取整流装置输出电压 U_d ，输出电流 i_d 以及被测电动机转速 n 。即可测出系统的开环外特性 $n=f(I_d)$ 。

n(r/min)						
I(A)						
U _d						

6. 系统调试

将 U_{b1r} 接地， U_{b1r} 悬空，即使用一组桥六个**晶闸管**。

(1) 电流环调试

电动机不加励磁，电动机堵转。

(a) 系统开环，即**触发电路及晶闸管**主回路中的控制电压 U_{ct} 由低压单元中的 G 给定器 U_g 直接接入，先调节 $U_g=0$ ，转速计 TG 的电源开关置于“ON”。

(b) 检查线路，闭合主电源，缓慢增加给定电压，时刻观察电流表 I_d 的大小直至 $I_d=1.1I_{ed}$ ，再调节**触发电路及晶闸管主回路挂箱**下方 (FBC+FA) 的电流反馈 I_f 电位器 RP1，采用万用表直流电压档测量，使电流反馈电压 U_{fi} 近似等于速度调节器 ASR 的输出限幅值 (ASR 的输出限幅可调为 $\pm 5V$)。调试完成后，使 $U_g=0$ ，断开主回路电源。

(c) 断开给定 U_g 与 U_{ct} 。输出电压 U_g 接至 ACR 的“3”端，电流反馈 I_f 接 ACR 的 1 脚，ACR 的输出“7”端接至 U_{ct} ，即系统接入已接成 PI 调节的 ACR 组成电流单闭环系统。ACR 的“9”、“10”端接可调电容，可预置 $1.5\mu F$ ，同时。逐渐增加给定电压 U_g ，使之等于 ASR 输出限幅值 ($+5V$)，观察主电路电流是否小于或等于 $1.1I_{ed}$ ，如 I_d 过大，则应调整电流反馈 I_f 电位器，使 U_{fi} 增加，直至 $I_d < 1.1I_{ed}$ ；如 $I_d < I_{ed}$ ，小于过电流保护整定值，这说明系统已具有限流保护功能。调试完成后，使 $U_g=0$ ，断开主回路电源。

(2) 速度变换器的调试

电动机加额定励磁，电机不能堵转。

(a) 系统开环，即给定电压 U_g 直接接至 U_{ct} ， U_g 作为输入给定，首先将 $U_g=0$ ，转速计 TG 开关置于“ON”。合上主电源，逐渐加正给定 U_g ，当电机空载转速 $n=1400r/min$

时，调节 FBS（速度变换器）中速度反馈电位器 RP，使速度反馈电压为-5V 左右。调试结束后将 $U_g=0$ ，关闭主电源。

(b) 速度反馈极性判断：系统中接入 ASR 构成转速单闭环系统，即给定电压 U_g 接至 ASR 的第 2 端，ASR 的第 3 端接至 U_{ct} 。合上主电源，调节 U_g (U_g 为负电压)，若稍加给定，电机转速即达最高速且调节 U_g 不可控，则表明单闭环系统速度反馈极性有误。但若接成转速—电流双闭环系统，由于给定极性改变，故速度反馈极性可不变。

7. 系统特性测试

将 ASR,ACR 均接成 PI 调节器接入系统，形成双闭环不可逆系统。

ASR“5”、“6”端接入可调电容，预置 $1.5\mu F$ ；ACR 电容取 $7\mu F$ 。调节 RP1、RP2 使输出限幅为 $\pm 5V$ 。

(1) 机械特性 $n=f(I_d)$ 的测定

(a) 闭合主电源，调节转速给定电压 U_g ，使电机空载转速至 1300 r/min，再调节直流发电机的负载（如采用 M01 电机做为发电机当负载，先将发电机励磁与电动机励磁并连，电枢输出接负载电阻。采用可调电阻，电阻进行串并连接，最大阻值大于 600Ω ）如测功机做负载，加载时直接调节加载电位器即可。在空载至额定负载的范围内测取 3~5 点，读取整流装置输出电压 U_d ，输出电流 i_d 以及被测电动机转速 n ，可测出系统静特性曲线 $n=f$

(I_d)

n(r/min)						
I(A)						
U _d						

注：采用直流发电机，转矩可按下式计算

$$M = 955(I_G U_G + I_G^2 R_s + P_0) / n$$

式中：

M——三相异步电动机电磁转矩；

I_G ——直流发电机电流；

U_G ——直流发电机电压；

R_s ——直流发电机电枢电阻；

P_0 ——机组空载损耗。不同转速下取不同数值： $n=1500r/min$, $P_0=13.5W$ ； $n=1000r/min$, $P_0=10W$ ； $n=500r/min$, $P_0=6W$ 。

(d) 调节给定 U_g ，降低电机端电压，在 $1/3U_e$ 及 $2/3U_e$ 时重复上述实验，以取得一组人为机械特性。

系统动态特性的观察

用慢扫描示波器观察并记录：

(1) 突加给定起动电机时转速 n ，电机定子电流 i 及 ASR 输出 U_{gi} 的动态波形。

(2) 电机稳定运行，突加，突减负载时的 n , U_{gi} , i 的动态波形。

七. 实验报告

1. 根据实验数据，画出开环时，电机人为机械特性。
2. 根据实验数据，画出闭环系统静特性，并与开环特性进行比较。
3. 根据记录下的动态波形分析系统的动态过程。

实验五 双闭环三相异步电动机串级调速系统

一. 实验目的

1. 熟悉双闭环三相异步电动机串级调速系统的组成及工作原理。
2. 掌握串级调速系统的调试步骤及方法。
3. 了解串级调速系统的静态与动态特性。

二. 实验内容

1. 控制单元及系统调试。
2. 测定开环串级调速系统的静特性。
3. 测定双闭环串级调速系统的静特性。
4. 测定双闭环串级调速系统的动态特性。

三. 实验系统组成及工作原理

绕线式异步电动机串级调速，即在转子回路中引入附加电动势进行调速。通常使用的方法是将转子三相电动势经二极管三相桥式不控整流得到一个直流电压，再由晶闸管有源逆变电路代替电动势，从而方便地实现调速，并将能量回馈至电网，这是一种比较经济的调速方法。

本系统为晶闸管亚同步闭环串级调速系统。控制系统由速度调节器 ASR，电流调节器 ACR，触发装置 GT，脉冲放大器 MF，速度变换器 FBS，电流变换器 FBC 等组成，其系统主回路原理图如图 5-1 所示，控制回路原理图可参考图 7-1 所示。

- 1) 电源控制屏位于 NMCL-32/MEL-002T 等
- 2) 交流电机采用 M09/M08
- 3) **Rd 可调电阻**位于 NMEL-03/4 或 NMCL-03 等
- 4) **G 给定 (U_g)** 位于 NMCL-31 或 NMCL-31A 或 SMCL-01 调速系统控制单中
- 5) **U_{ct}** 位于 NMCL-33 或 NMCL-33F 中
- 6) 晶闸管位于 NMCL-33 或 NMCL-33F 中
- 7) ACR, ASR 位于 NMCL-18 中
- 8) TG 指光电编码器与电机导轨同轴
- 9) 转速显示及输出位于电机导轨上或 NMEL-13A/F/C 中
- 10) 直流电机励磁电源位于 NMCL-32 或 NMEL-18/2 中
- 11) 负载用 M01 电机或测功机 (NMEL-13A)

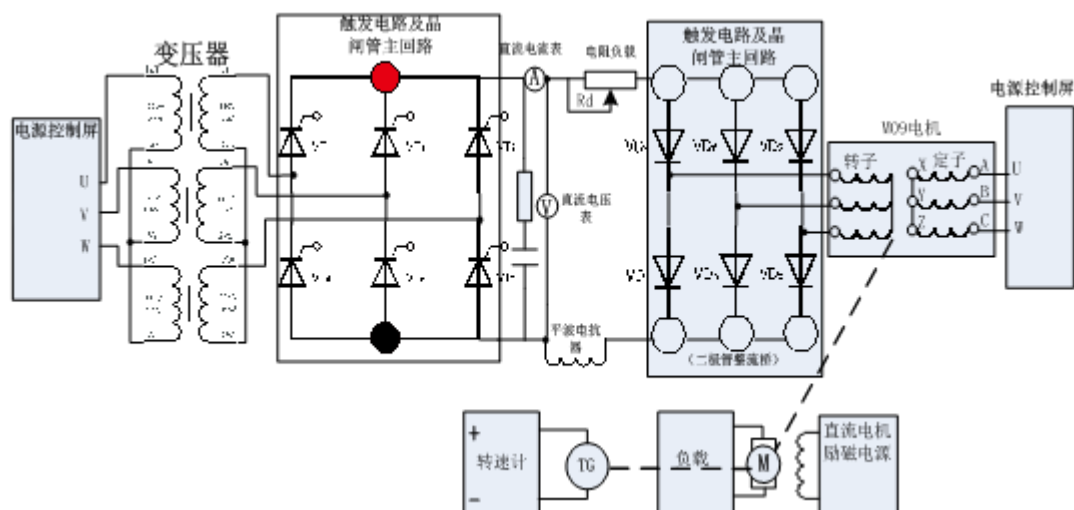


图 7-1

四. 实验设备和仪器

1. 教学实验台主控制屏。
2. 触发电路及晶闸管主回路组件
3. 负载组件
4. 直流调速控制单元组件
5. 电机导轨及测速发电机
6. 双踪示波器
7. 万用表
8. 变压器

五. 注意事项

1. 本实验是利用串调装置直接起动电机，不再另外附加设备，所以在电动机起动时，必须使晶闸管逆变角 β 处于 β_{\min} 位置。然后才能加大 β 角，使逆变器的逆变电压缓慢减少，电机平稳加速。
2. 本实验中， α 角的移相范围为 $90^\circ \sim 150^\circ$ ，注意不可使 $\alpha < 90^\circ$ ，否则易造成短路事故。
3. 接线时，注意绕线电机的转子有 4 个引出端，其中 1 个为公共端，不需接线。
4. 接入 ASR 构成转速负反馈时，为了防止振荡，可预先把 ASR 的 RP3 电位器逆时针旋到底，使调节器放大倍数最小，同时，ASR 的“5”、“6”端接入可调电容（预置 $7\mu\text{F}$ ）。
5. 测取静特性时，须注意电流不许超过电机的额定值（ 0.55A ）。
6. 三相主电源连线时需注意，不可换错相序。逆变变压器采用变压器的高低电压绕组不可接错。
7. 系统开环连接时，不允许突加给定信号 U_g 起动电机。
8. 改变接线时，必须先按下电源控制屏总电源开关的“断开”红色按钮，同时使系统的给定为零。
9. 双踪示波器（自备）的两个探头地线通过示波器外壳短接，故在使用时，必须使两探头的地线同电位（只用一根地线即可），以免造成短路事故。
10. 绕线式异步电动机按 Y 接。

六. 实验方法

1. 移相触发电路的调试（主电路未通电）

(a) 用示波器观察触发电路及晶闸管主回路的双脉冲观察孔，应有间隔均匀，幅值相同的双脉冲；

(b) 将面板上的 U_{brf} 端接地，调节偏移电压 U_b ，使 $U_{ct}=0$ 时， α 接近 150° 。观察正桥晶闸管的触发脉冲是否正常（应有幅值为 $1V\sim 2V$ 的双脉冲）。

(c) 触发电路输出脉冲应在 $90^\circ\leq\alpha\leq 150^\circ$ 范围内可调。

可通过对偏移电压调节电位器及 ASR 输出电压的调整实现。例如：使 ASR 输出为 $0V$ ，调节偏移电压，实现 $\alpha=150^\circ$ ；再保持偏移电压不变，调节 ASR 的限幅电位器 RP1，使 $\alpha=90^\circ$ 。

2. 控制单元调试

按直流调速系统方法调试各单元

3. 求取调速系统在无转速负反馈时的开环工作机械特性。

(a) 断开直流调速控制单元的 ACR 的“7”至触发电路及晶闸管主回路的 U_{ct} 的连接线，低压单元的 G（给定）的 U_g 端直接加至 U_{ct} ，且 U_g 调至零。

直流电机励磁电源开关闭合。电机转子回路接入每相为 $10W$ 左右的三相电阻。

(b) 电源控制屏的“三相交流电源”开关拨向“交流调速”。合上电源控制屏主电源，即按下电源控制屏绿色“闭合”开关按钮，这时候主控制屏 U、V、W 端有电压输出。

(c) 缓慢调节给定电压 U_g ，使电机空载转速达到最高，调节直流发电机负载电阻，在空载至一定负载的范围内测取 3~5 点，读取直流发电机输出电压 U_d ，输出电流 i_d 以及被测电动机转速 n ，并计算三相异步电动机的输出转矩。

n(r/min)						
$I_G(A)$						
$U_G(V)$						
M(N.m)						

注：采用直流发电机，转矩可按下式计算

$$M = 955(I_G U_G + I_G^2 R_S + P_0) / n$$

式中：

M——三相异步电动机电磁转矩；

I_G ——直流发电机电流；

U_G ——直流发电机电压；

R_S ——直流发电机电枢电阻；

P_0 ——机组空载损耗。不同转速下取不同数值： $n=1500r/min$, $P_0=13.5W$ ； $n=1000r/min$, $P_0=10W$ ； $n=500r/min$, $P_0=6W$ 。

3. 闭环系统调试

低压单元的 G（给定）输出电压 U_g 接至 ASR 的“2”端，ACR 的输出“7”端接至 U_{ct} 。

调节 U_g ，使 ACR 饱和输出，调节限幅电位器 RP_1 ，使 $\alpha=150^\circ$ 。

合上电源控制屏主电源绿色按钮。

调节给定电压 U_g ，使电机空载转速 $n_0=1300$ 转/分左右，观察电机运行是否正常。调节 ASR,ACR 的外接电容及放大倍数调节电位器，用慢扫描示波器观察突加给定的动态波形，确定较佳的调节器参数。

4. 双闭环串级调速系统静特性的测定

调节给定电压 U_g ，使电机空载转速 $n_0=1300$ 转/分左右，调节直流发电机负载电阻，在空载至额定负载的范围内测取 3~5 点，读取直流发电机输出电压 U_d ，输出电流 i_d 以及被测电动机转速 n 。

n(r/min)						
I_G (A)						
U_G (V)						
M(N.m)						

5. 系统动态特性的测定

用慢扫描示波器观察并用示波器记录：

- (1) 突加给定起动电机时的转速 n ，定子电流 i 及输出 U_{gi} 的动态波形。
- (2) 电机稳定运行时，突加，突减负载时的 n, I, U_{gi} 的动态波形。

七. 实验报告

1. 根据实验数据，画出开环，闭环系统静特性 $n=f(M)$ ，并进行比较。
2. 根据动态波形，分析系统的动态过程。