

实验一 双闭环晶闸管不可逆直流调速系统

一. 实验目的

1. 理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

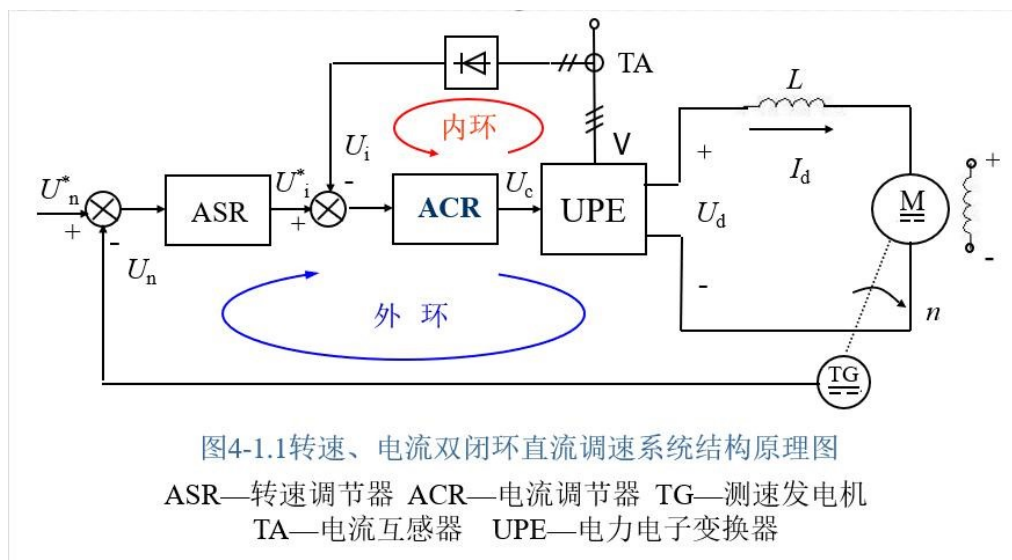
1. 各控制单元调试。
2. 测定电流反馈系数。
3. 测定开环机械特性及闭环静特性。
4. 闭环控制特性的测定。
5. 观察，记录系统动态波形。

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，实验系统的结构示意图和设计框图如图 4-1.1 和 4-1.2 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 α_{min} 和 α_{max} 的目的。

当加入给定 U_n^* 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 $U_n^* = U_f n$ ），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。



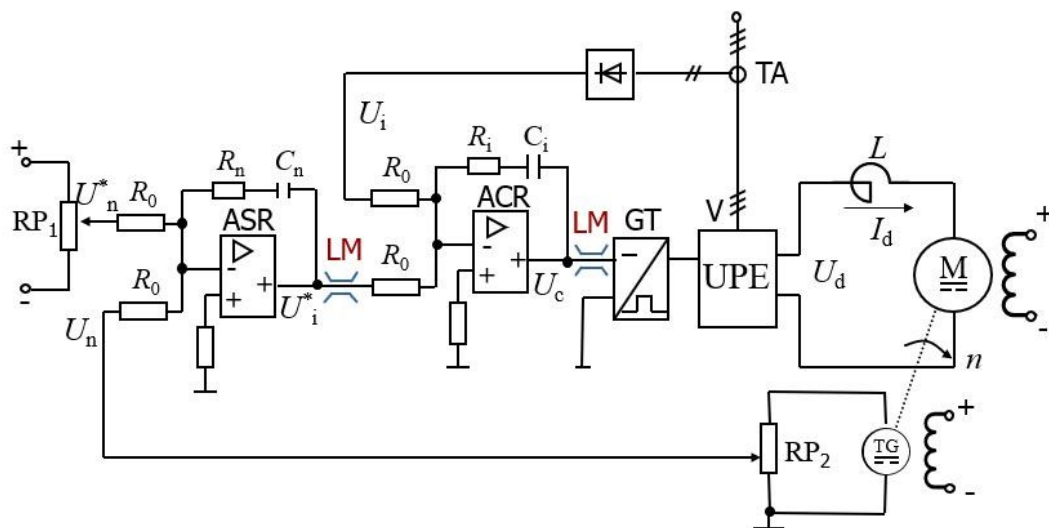


图 4-1.2 转速、电流双闭环直流实验设计原理图

四. 实验设备及仪器

- | | |
|--------------|-----------------|
| 1. 教学实验台主控制屏 | 2. 三相触发电路及主回路组件 |
| 3. 负载组件 | 4. 直流调速系统控制单元组件 |
| 5. 电机导轨及转速计 | 6. 直流电动机、直流发电机 |
| 7. 双踪示波器(自备) | 8. 万用表(自备) |

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_n^* 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. 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“PIAdj”内“2”、“3”端接入可调电容（预置 $7\mu F$ ）。
5. 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）。
6. 系统开环连接时，不允许突加给定信号 U_n^* 起动电机。
7. 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。
8. 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. 接线及设备检查

按图 4-2 和图 4-3 接线，未上主电源之前，检查晶闸管的脉冲是否正常。注意 NMCL-31 系统控制单元 I 右上角低压电源开关置于“ON”位置。

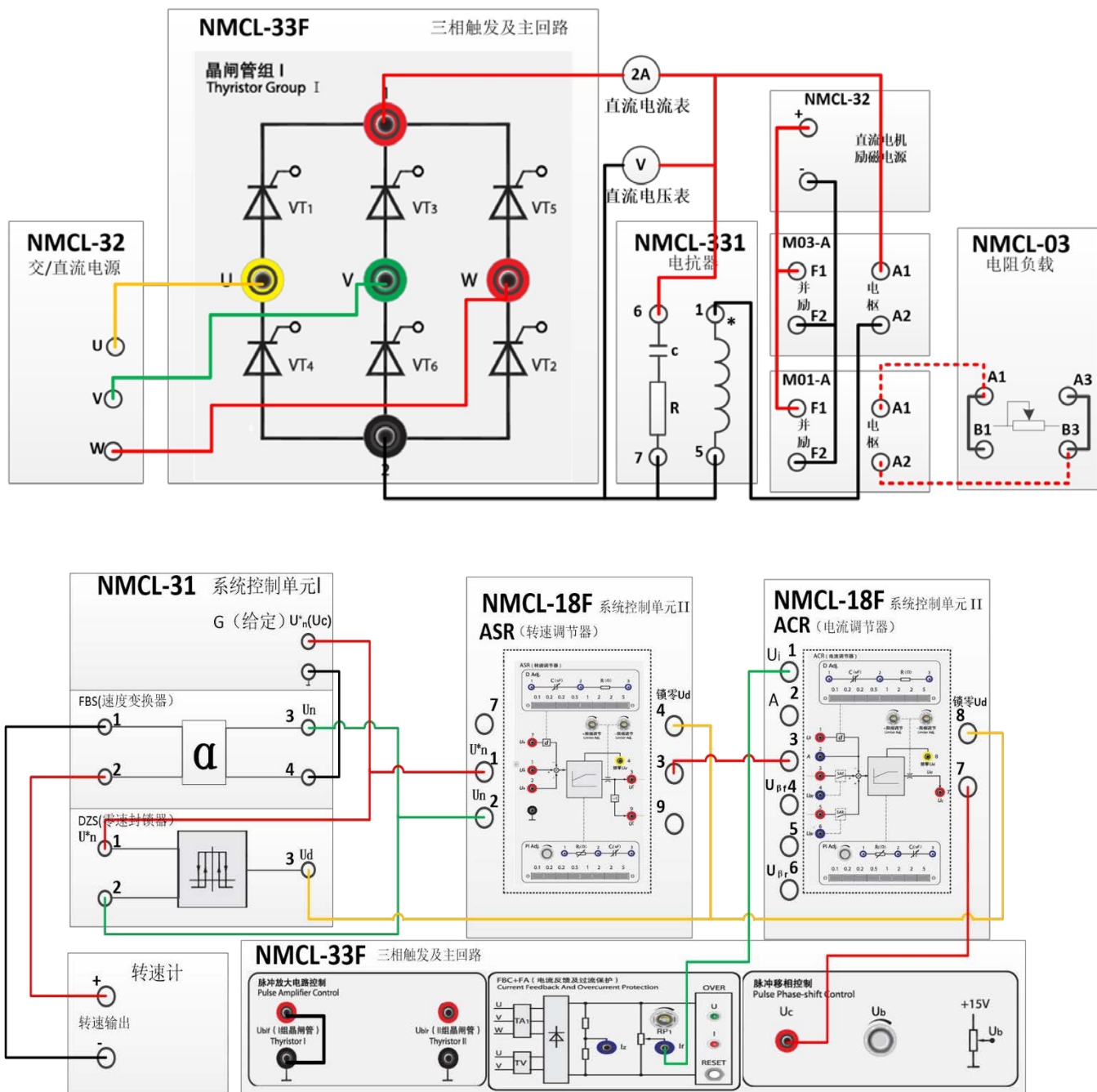


图 4-2 双闭环晶闸管不可逆直流调速主回路接线图 4-3 双闭环晶闸管不可逆直流调速控制回路接线

(实验过程中示波器要求只用一根地线, 防止两根地线接在不同的电位点造成短路) 实验所用同类组件及挂箱交/直流电源: NMCL-32、MEL-002T、QS-DY05 三相触发及主回路: NMCL-33F、DLDZ-33、DLDZ-06 系统控制单元 I: NMCL-31、NMCL-31A、DLDZ-31

系统控制单元 II (PID 调节器): NMCL-18F、DLDZ-18A 电抗器: NMCL-331、DLDZ-331

电阻负载: NMCL-03、DLDZ-03、NMEL-03/4 直流电机励磁: NMCL-32、QS-DY05、NMEL-18/2、NMEL-18/3

- (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) 将晶闸管 I 组的脉冲放大电路接口 $Ub1f$ 与地短接, 如图所示。(备注: 如果需要采用晶闸管组 II, 同样需将 II 组脉冲放大电路接口短接, 切记, 不可两组同时都短接, 容易发生烧毁晶闸管事故)。
- 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 (只有用晶闸管观察口引出时才能观察)。

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

- (1) 调整输出正、负限幅值

“PI Adj”的“2”、“3”端接可调电容，使ASR调节器为PI调节器，将给定G输出 U_{*} 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“PI Adj”中的电容短接（“2”、“3”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“2”、“3”端短接线，突加给定电压（G给定 U_{*} ）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“PIAdj”电容按钮按下设置电容值，“2”、“3”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_{*} 接到调节器ACR的输入端3端，负给定，调节ACR的正限幅使 $\alpha(\min)=20^\circ$ ，此时的电压即为限幅值 U_{ctm} 。（参考值正负值等于 $\pm 5V$ ）。

5. 开环外特性的测定

- (1) 移相控制电压 U_c 由给定器 U_{*} 直接接入(正给定)，将 U_{blf} 接地。
- (2) 使 $U_{*}=0$ ，调节触发电路及晶闸管主回路挂箱中的“脉冲移相控制”中的“偏移电压”电位器 U_b ，使 α 稍大于 120° 。
- (3) 电源控制屏的“三相交流电源”开关拨向“直流调速”。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_{*} ，使电机起动、升速，调节 U_{*} ，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联，电枢输出接负载电阻。采用可调电阻，电阻进行并联接法，最大阻值大于 540Ω ）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)						

注意：若给定电压 U_{*} 为0时，电机缓慢转动，则表明 α 太小，需后移，即将 U_b 逆时针调小。

6. 系统调试

将 U_{blf} 接地， U_{blr} 悬空，即使用“晶闸管组I”。

- (1) 电流环调试电动机不加励磁

- (a) 系统开环，即三相触发及主回路中的控制电压 U_c 由低压单元中的G给定器 U_{*} 直接接入，先调节 $U_{*}=0$ ，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 $I_d=1.1I_{ed}$ ，

再调节三相触发及主回路挂箱下方 (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 $U_{*i}=0$, 断开主回路电源。

(c) 断开给定 U_{*i} 与移相控制 U_c 。输出电压 U_{*i} 接至 ACR 的 “3” 端, 电流反馈 I_f 接 ACR 的 1 脚, ACR 的输出 “7” 端接至移相控制 U_c , 即系统接入已接成 PI 调节的 ACR 组成电流单闭环系统。ACR 的 “PIAdj” 内 “2”、“3” 端接可调电容, 可预置 $1.5\mu F$, 同时。逐渐增加负给定电压 U_{*i} , 使之等于 ASR 输出负限幅值 ($-5V$), 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 RP1, 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 $U_{*i}=0$, 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_{*i} 直接接至移相控制 U_c , U_{*i} 作为输入给定, 首先将 $U_{*i}=0$, 转速计 TG 开关置于 “ON”。合上主电源, 逐渐加正给定 U_{*i} , 当电机空载转速 $n=1500r/min$ 时, 调节 FBS (速度变换器) 中速度反馈电位器 RP3, 使速度反馈电压为 $-5V$ 左右。调试结束后将 $U_{*i}=0$, 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_{*i} 接至 ASR 的第 1 端, FBS 输出接至 ASR 的 “2”。ASR 的第 3 端接至移相控制 U_c 。合上主电源, 调节 U_{*i} (负电压), 若稍加给定, 电机转速即达最高速且调节 U_{*i} 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 的调试 (a) “PI Adj” 内 “2”、“3” 端接入可调电容, 预置 $5\mu F$;

(b) 调节正负限幅电位器使输出限幅为 $\pm 5V$ 。
(1) 机械特性 $n=f(I_d)$ 的测定
(a) 调节转速给定电压 U_{*i} , 使电机空载转速至 $1500 r/min$, 再调节发电机负载电阻 R_d , 在空载至额定负载范围内分别记录 7~8 点, 可测出系统静特性曲线 $n=f(I_d)$

n(r/min)						
I(A)						

七. 实验报告
1. 根据实验数据, 画出闭环控制特性曲线。

实验二 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原理。
2. 理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. 理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)，‘晶闸管组 II’及脉冲放大器等组成。其系统原理图如图 7-1 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，电流环对电网扰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

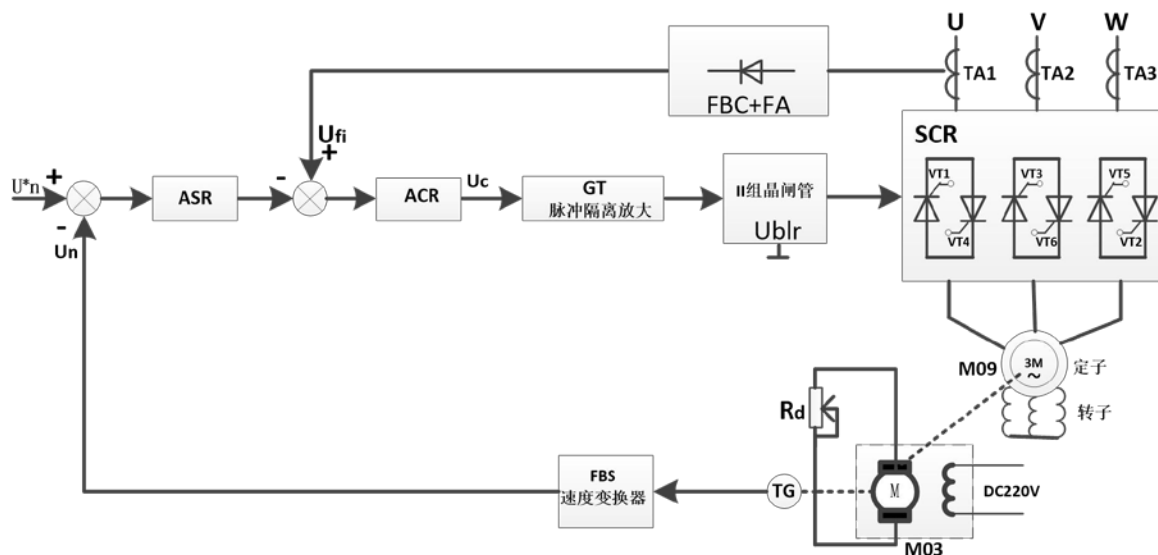


图 7-1 双闭环三相异步电动机调压调速系统原理图

四. 实验设备和仪器

- | | |
|--------------|----------------------------|
| 1. 教学实验台主控制屏 | 2. 三相触发及主回路组件 |
| 3. 负载组件 | 4. 系统控制单元组件 |
| 5. 电机导轨及转速计 | 6. 双踪示波器（自备） |
| 7. 万用表（自备） | 8. 交流电机 M09 或 M04、直流电机 M03 |

五. 注意事项

1. 接入 ASR 构成转速负反馈时，为了防止振荡，可预先先把 ASR 的“PI Adj”内电位器逆时针旋到底，使调节器放大倍数最小，同时“2”、“3”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。
9. 本实验采用异步电机 M09 和直流电动机 M03(当发电机用)同轴安装于转速计导轨上。
10. 实验过程中系统控制单元 I，右上角低压电源控制开关需置于“ON”的位置。

六. 实验方法

实验连线图 7-2 和 7-3

1. 移相触发电路的调试（主电路未通电）

- (a) 用示波器观察三相触发及主回路的双脉冲观察孔，应有双窄脉冲，且间隔均匀，幅值相同；
- (b) 将面板上的 U_{blr} 端接地，调节偏移电压 U_o ，使 $U_o=0$ 时， α 接近 150° ，观察 II 桥晶闸管的触发脉冲是否正常（应有幅值为 $1\text{V}\sim 2\text{V}$ 的双脉冲）。
- (c) 触发电路输出脉冲应在 $30^\circ\sim 90^\circ$ 范围内可调。可通过对偏移电压调节电位器及 ACR 输出电压的调整实现。例如：使 ACR 输出为 0V ，调节偏移电压，实现 $\alpha=90^\circ$ ；再保持偏移电压不变，调节 ACR 的正限幅电位器，使 $\alpha=30^\circ$ 。

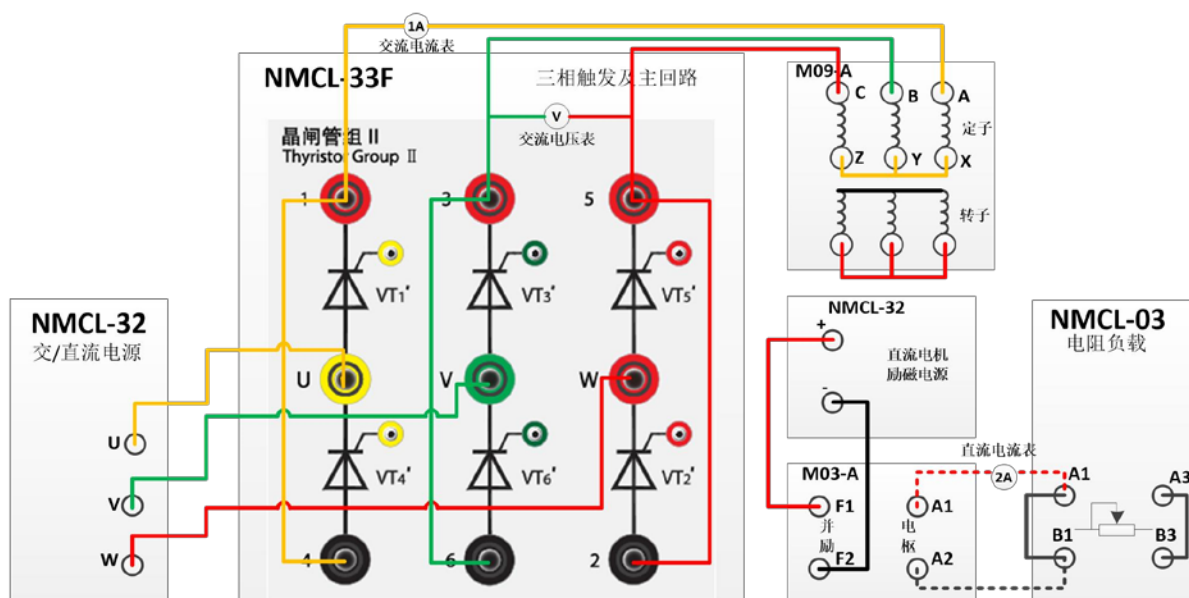


图 7-2 双闭环三相异步电机调压调速系统主回路接线

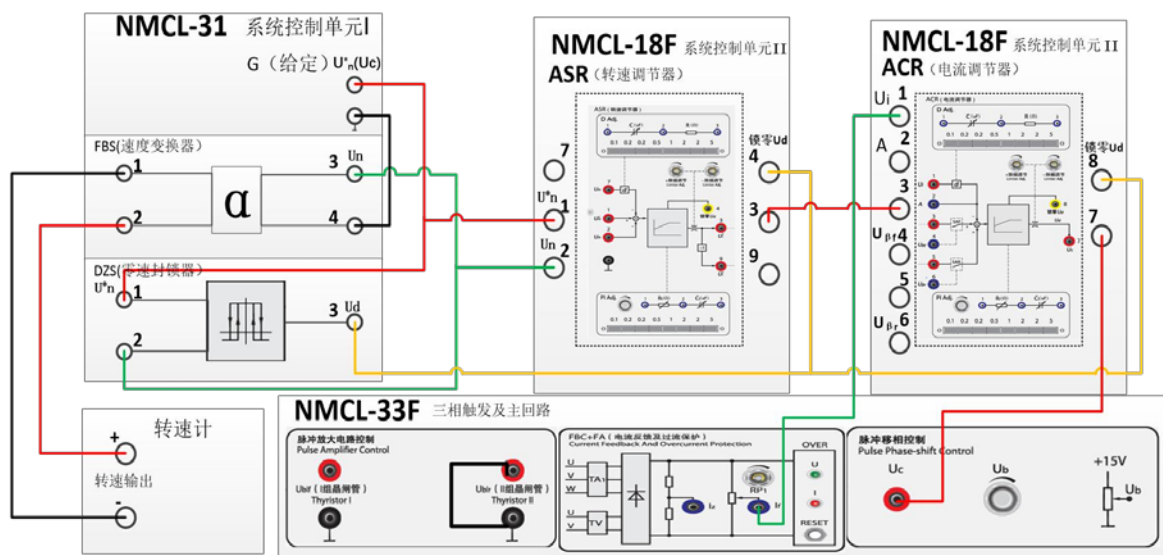


图 7-3 双闭环三相异步电机调压调速系统控制回路接线

(实验过程中示波器要求只用一根地线,防止两根地线接在不同的电位点造成短路) 实验所用同类组件及挂箱交/直流电源: NMCL-32、MEL-002T、QS-DY05 三相触发及主回路: NMCL-33F、DLDZ-33、DLDZ-06 系统控制单元 I: NMCL-31、NMCL-31A、DLDZ-31 系统控制单元 II (PID 调节器): NMCL-18F、DLDZ-18A 电阻负载: NMCL-03、DLDZ-03、NMEL-03/4 直流电机励磁: NMCL-32、QS-DY05、NMEL-18/2、NMEL-18/3 2. 控制单元调试按直流调速系统方法调试各单元。

3. 测量调速系统在无转速负反馈时的开环工作机械特性

(a) 断开系统控制单元 II 的 ACR 的“7”至三相触发及主回路的 U_c 的连接线,系统控制单元 I 的 G (给定) 的 U_n^* 端直接加至移相控制 U_c , 且 U_n^* 调至零。

(b) 交/直流电源的三相交流电源切换开关拨向“交流调速”。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。转子回路直接短接,即三个红色接线柱短接。

(c) 调节系统控制单元 I 给定电压 U_n^* ,使电机空载转速 $n_0=1300$ 转/分,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 7~8 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_d (A)						
U_d (V)						
M (N·m)						

此时应在原接线图的基础上,把直流电压表和电流表接入直流发电机回路中。

注: 采用直流发电机,转矩可按下式计算

$$M=9.55(I_d U_G + P_G R_s + P_o) / n$$

式中:

M ——三相异步电动机电磁转矩;

I_d ——直流发电机电流; U_d ——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： $n=1500\text{r/min}$, $P_0=13.5\text{W}$ ； $n=1000\text{r/min}$, $P_0=10\text{W}$ ； $n=500\text{r/min}$, $P_0=6\text{W}$ 。

(d) 调节给定 U_n^* ，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。

4. 系统调试

(1) 将系统接成双闭环调压调速系统，转子回路短接，渐加给定 U_n^* 至 $+5\text{V}$ ，调节 FBS 的反馈电位器，使电机空载转速 $n_0=1200$ 转/分，观察电机运行是否正常。

(2) 调节 ASR，ACR 的“PIAdj”内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。

5. 系统闭环特性的测定

调节 U_n^* ，使转速至 $n=1200\text{r/min}$ ，从轻载按一定间隔做到额定负载，测出闭环静特性 $n=f(M)$ 。

$n(\text{r/min})$						
$I_e(\text{A})$						
$U_e(\text{V})$						
$M(\text{N}\cdot\text{m})$						

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。