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 1-7。

四．实验设备及仪表

1．教学实验台主控制屏。

2．NMCL—01 组件、NMCL—33 组件、NMEL—03/4 组件、NMCL—18 组件

3．电机导轨及测功机、转速转矩测量、直流发电机 M01、直流电动机 M03

4．双踪示波器

5．万用表

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 7μF）。

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，必须先使系统的给定为零，同时按下主控制屏总电源开关的“断开”红色按钮。

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）

用示波器观察 NMCL—33 的双脉冲观察孔，应有双脉冲，且间隔均匀，幅值相同；观察每个晶闸管的控制极、阴极电压波形，应有幅值为 1V～2V 的双脉冲。

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“3”至 U_{ct} 的连接线，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．合上主控制屏的绿色按钮开关。

c．调节给定电压 U_g，使直流电机空载转速 n_0=1000 转/分，调节直流发电机负载电阻（可采用 NMEL-03/4 中 R_2 的两只电阻并联），在空载至额定负载的范围内测取 7～8 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）								

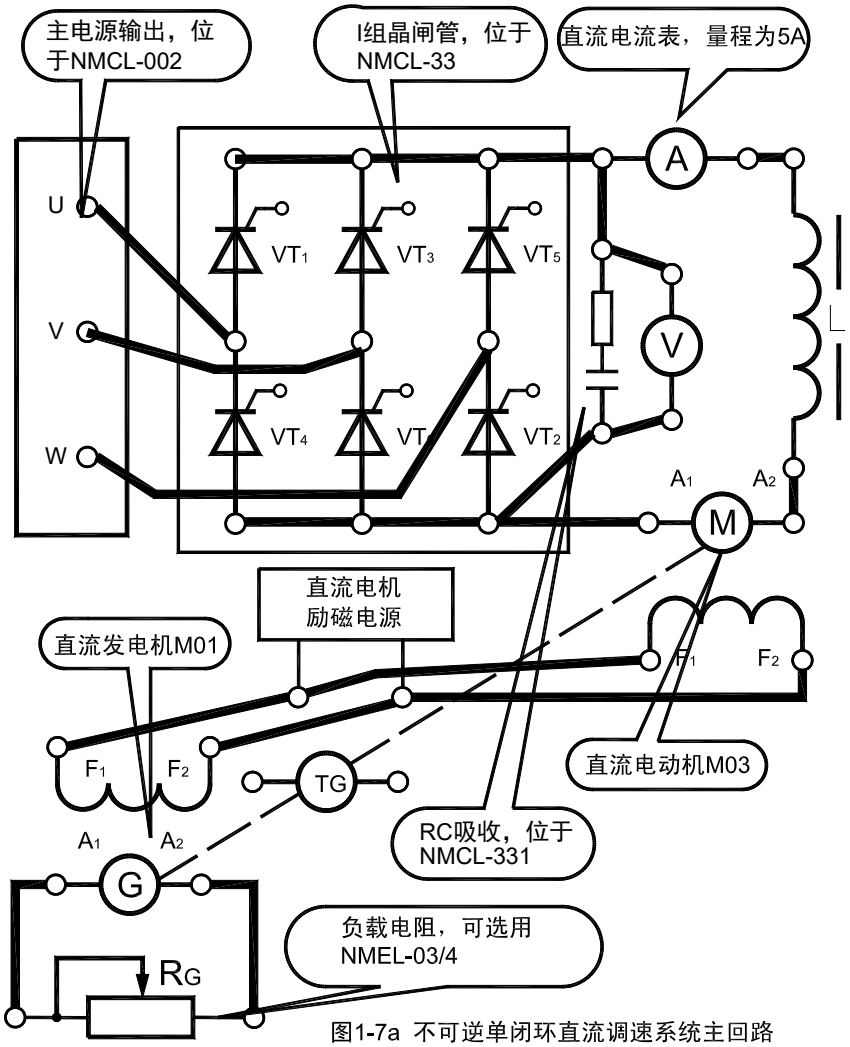

图1-7a 不可逆单闭环直流调速系统主回路

3．带转速负反馈有静差工作的系统静特性

a．断开 G（给定）和 U_{ct} 的连接线，ASR 的输出接至 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 至 5V，测 ASR“3”与地的电压，调节 RP2，使输出限幅电压为 -5V。

调节直流发电机负载电阻，在空载至额定负载范围内测取 7～8 点，读取 U_d、i_d、n。

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

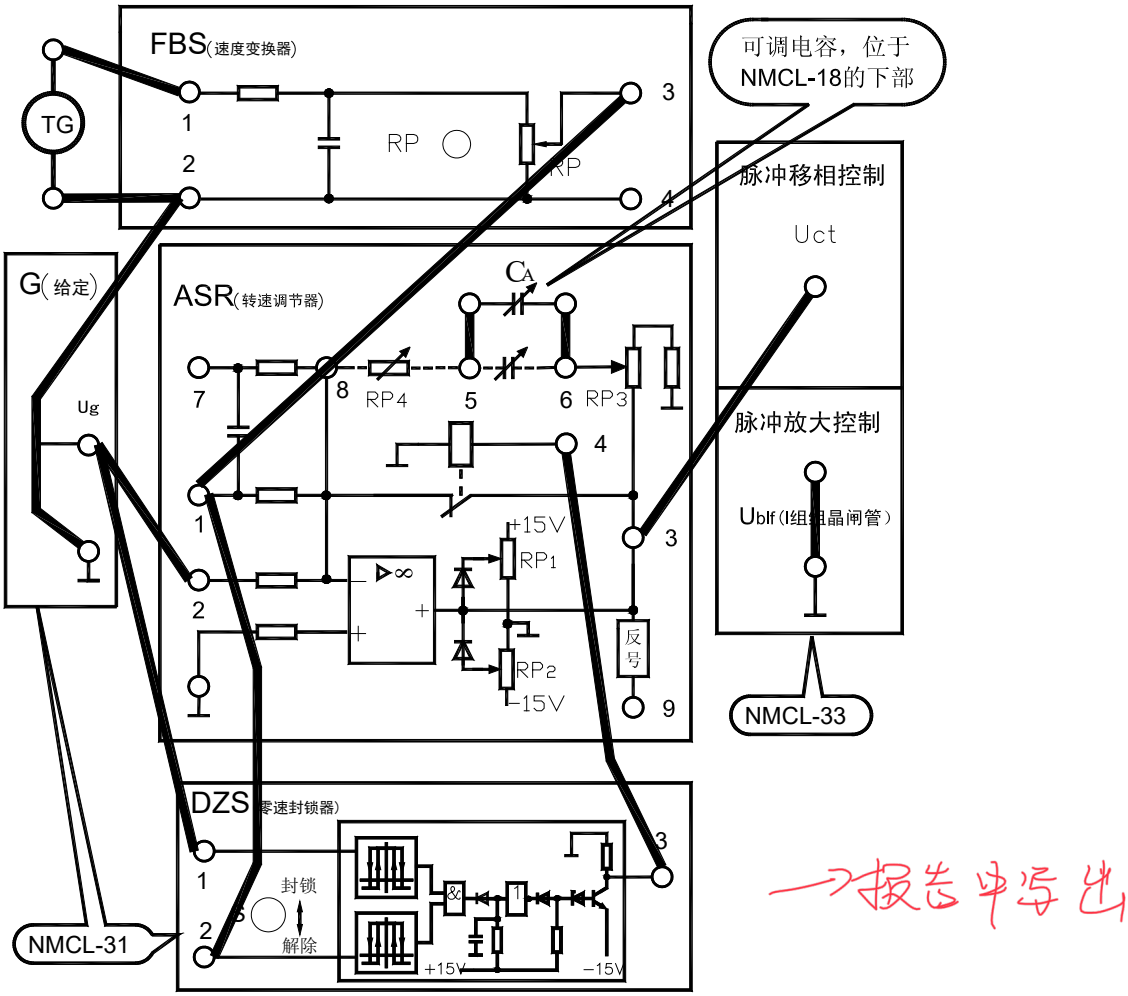

图1-7b 不可逆单闭环直流调速系统控制回路

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 7μF，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=1000 转/分。在额定至空载范围内测取 7～8 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.注意事项

1. 图 1-7A 中直流电动机 M 的 A_1 和 A_2 调换位置；
2. 图 1-7b 中脉冲移相控制 U_{ct} 接 ASR 的 9 脚，而不是 3 脚。

实验二 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

在中小容量的直流传动系统中，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 1—10 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。

四．实验设备及仪器

1．教学实验台主控制屏。

2．NMCL—01 组件、NMCL—22 组件、NMEL—03/4 组件、NMCL—18 组件

3．电机导轨及测速发电机（或光电编码器）、直流发电机 M01、直流电动机 M03

4．双踪示波器

5．万用表

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 7μF）。

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。

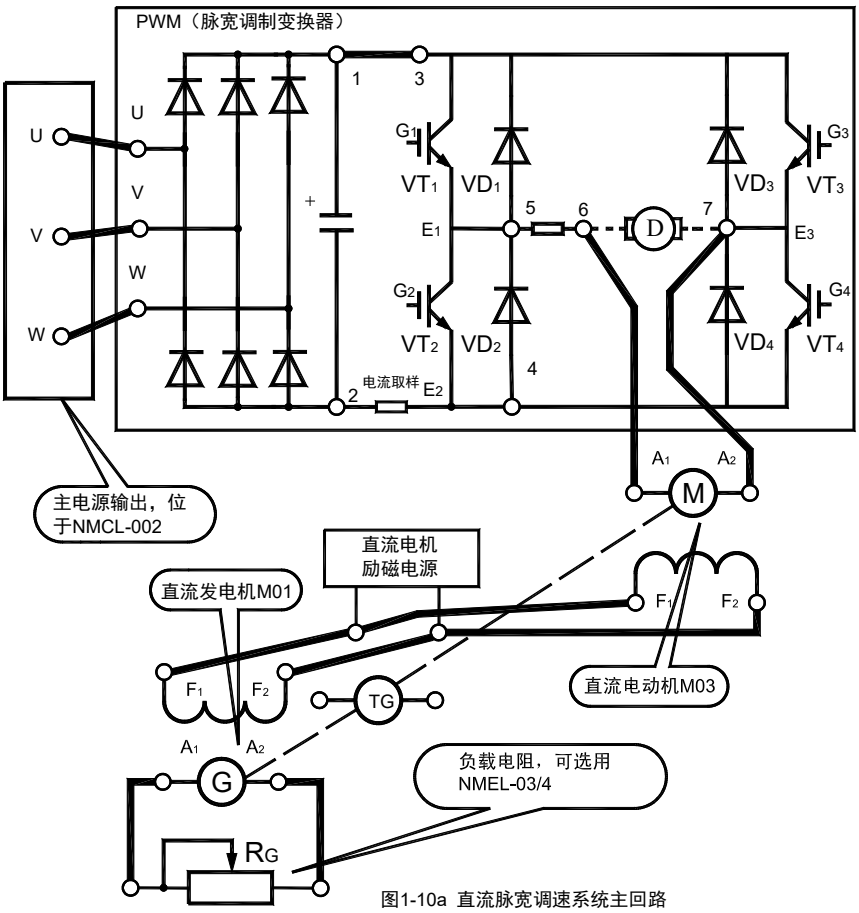

图1-10a 直流脉宽调速系统主回路

六．实验方法

1．SG3525 性能测试：

按下 S_1 琴键开关，

（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。

（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%。

（3）用导线将 NMCL-31 的“G”的“1”和“UPW”的“3”相连，分别调节正负给定，观察“2”端输出波形占空比变化情况。

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=4.18 μs

（2）同一桥臂上下管子驱动信号的测试

用示波器分别观察 $V_{VT1.GS}$ 和 $V_{VT2.GS}$ 以及 $V_{VT3.GS}$ 和 $V_{VT4.GS}$ 的驱动脉冲。

3．系统开环机械特性测定

主回路按图 1—10a 接线，控制回路可参考图 1—10b，但调节器不接，控制回路直接

将 NMCL-31 的给定接至 NMCL-22 的 UPW“3”端，并将 UPW“2”端和 DLD“1”端相连。 开环: Ug→Vpw

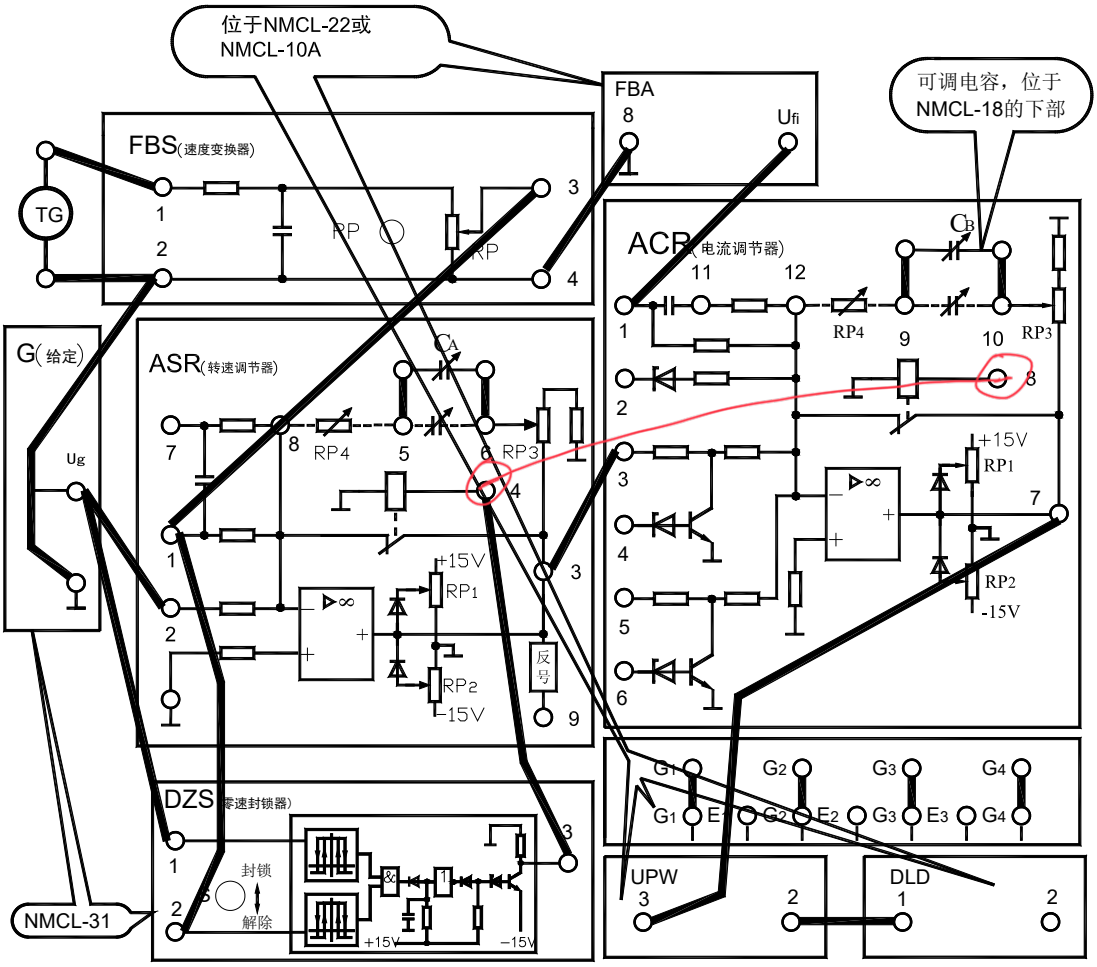

图1-10b 直流脉宽调速系统控制回路

使电机转速达 1000r/min，改变直流发电机负载电阻 R_d，在空载至额定负载范围内测取 7—8 个点，记录相应的转速 n 和直流电动机电流 i_d。

n=1000r/min

n(r/min)							
i_d(A)							

调节给定，使 n=500r/min，作同样的记录，可得到电机在低速时的机械特性。

n=500r/min

n(r/min)							
i_d(A)							

断开主电源，NMCL-31 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。

n=1000r/min

n(r/min)							
i_d(A)							

n=500r/min

n(r/min)							
i_d(A)							

4．闭环系统调试(解除零速封锁)

控制回路可按图 1—10b 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 5～7μF；

（c）给定 Ug 至+5V，测 ASR“3”与地的电压，调节 RP2，使输出限幅电压为-2.5V；给定 Ug 至-5V，测 ASR“3”与地的电压，调节 RP1，使输出限幅电压为 2.5V。

（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）给定 Ug 至+5V，测 ASR ACR“3”与地的电压，调节 RP1，使输出限幅电压为 2V；给定 Ug 至-5V，测 ASR ACR“3”与地的电压，调节 RP2，使输出限幅电压为-2V。

5．系统静特性测试

（1）机械特性 *n=f*（*Id*）的测定

NMCL-31 的 S_2 开关打向“给定”，S_1 开关扳向上，逆时针调整 NMCL-31 的 RP_1 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 n_0=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 7～8 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*（*Id*）。

n(r/min)						
I(A)						

断开主电源，S_1 开关打向下至“负给定”，逆时针调整 NMCL-31 的 RP_2 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 n_0=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 7～8 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*（*Id*）。

n(r/min)						
I(A)						

（2）闭环控制特性 *n=f(Ug)*的测定

S_1 开关扳向上，调节 NMCL-31 给定电位器 RP_1，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(Ug)*。（不带负载）

n(r/min)						
Ug(V)						

七．实验报告

1. 记录 SG3525 的各项性能参数，包括 UPW‘1’端电压波形、周期、幅度，逻辑延时时间。
2. 记录开环机械特性数据，画出对应的曲线。
3. 记录闭环机械特性数据，画出对应的曲线，并与开环系统调速范围相比较。
4. 列出闭环控制特性 n=f（u_g）数据，并画出对应的曲线。

八．注意事项

1. 图 1-10a 中 M 电动机的 A1-A2 之间串联电流表
2. 图 1-10b 中 TG 反接；ASR 的 4 端接 ACR 的 8 端。

实验三　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。

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。

四．实验设备和仪器

1．教学实验台主控制屏

2．NMCL—31 组件、NMCL—33 组件、NMEL—03/4 组件、NMCL—18 组件、NMEL—09 组件

3．电机导轨及测功机、转速转矩测量、直流发电机 M03、线绕电动机 M09

4．双踪示波器

5．万用表

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 7μF）。

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 Ug 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：P_N=100W，U_N=220V，I_N=0.55A，n_N=1350，M_N=0.68，Y 接。

六．实验方法

1．移相触发电路的调试（主电路未通电）：用示波器观察 NMCL—33 的双脉冲观察孔，应有双窄脉冲，且间隔均匀，幅值相同。

2．求取调速系统在无转速负反馈时的开环工作机械特性。

（1）断开 NMCL—18 的 ASR 的“3”至 NMCL-33 的 U_{ct} 的连接线，NMCL-31 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。

（2）合上主控制屏的绿色按钮开关，使 U_{uv}、Uvw、Uwu=230V。

3）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 6 点，读取直流发电机输出电压 U_d，输出电流 i_d，负载电阻 R_S 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。

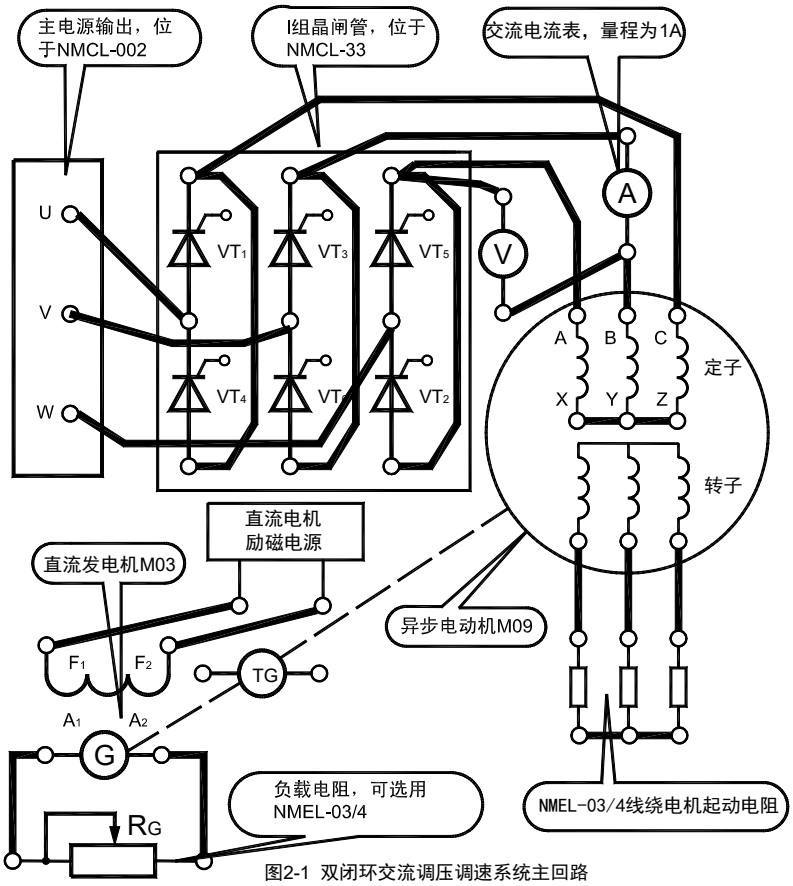

图2-1 双闭环交流调压调速系统主回路

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

注：采用直流发电机，转矩可按下式计算

$$M = 9.55(I_G U_G + I_G^2 R_S + P_O)/n$$

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（用万用表测量）；

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

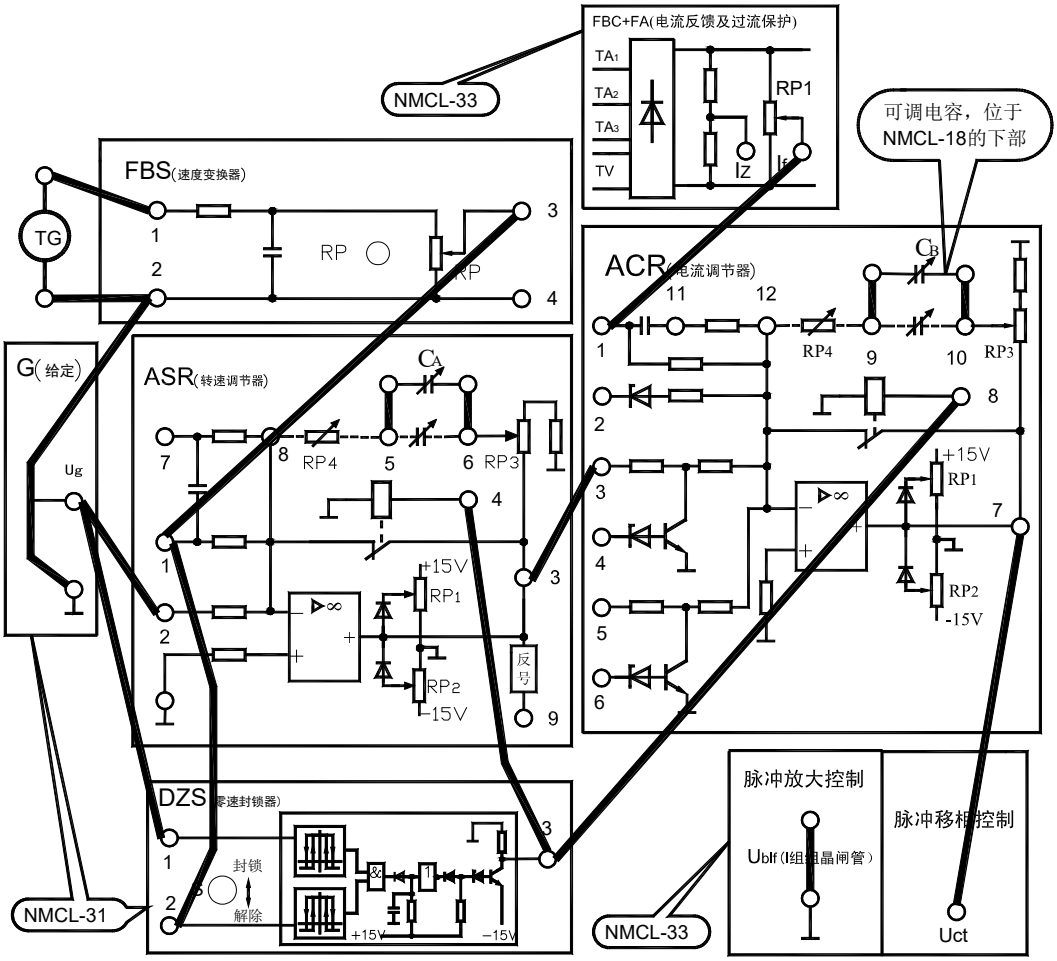

图2-1b 双闭环交流调压调速系统控制回路

3．系统调试

（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 5～7μF；

c. 给定 U_g 至+5V，测 ASR “3” 与地的电压，调节 RP2，使输出限幅电压为-5V。

（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. 给定 U_g 至+5V，测 ACR “7” 与地的电压，调节 RP1，使输出限幅电压为 5V。

（3）将系统接成双闭环调压调速系统，渐加给定 Ug 至+5V, 调节 FBS 的反馈电位器，使电机空载转速 n_0=1300 转/分，观察电机运行是否正常。

4．系统闭环特性的测定

调节 Ug，使转速至 n =1300r/min，从空载按一定间隔做到额定负载，测出闭环静特性 *n =f(M)*。

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

七．实验报告

1．根据实验数据，画出开环时，电机机械特性。

2．根据实验数据，画出闭环系统特性。

八．注意事项

1. 转速计的正负端与 FBS 的 1,2 端要反接。
2. 定子 A 端与 U 相相接，定子 B 端与 V 相相接，定子 C 端与 W 相相接。
3. 图 2-1 中，转子直接短接即可。
4. M03 电机 A1 和 A2 两端并直流电压表，回路串直流电流表。

实验四 空间矢量脉宽调制（SVPWM）的开环 VVVF 调速系统实验

一、实验目的

1. 理解电压空间矢量脉宽调制（SVPWM）控制的基本原理。
2. 熟悉 SVPWM 调速系统中直流回路、逆变桥器件和控制电路之间的连接。
3. 了解 SVPWM 变频器运行参数和特性。

二、实验内容

1. 在不同调制方式下，观测不同调制方式与相关参数变化对系统性能的影响，并作比较研究：
   1) 在同步调制方式时，在不同的速度下，观测载波比变化对定子磁通轨迹的影响；
   2) 在异步调制方式时，在不同的速度下，观测载波比变化对定子磁通轨迹的影响；
   3) 在分段同步调制时，在不同的速度下，观测载波比变化对定子磁通轨迹的影响。
2. 观测并记录启动时电机定子电流和电机速度波形 $i_v = f(t)$ 与 $n = f(t)$。
3. 观测并记录突加与突减负载时的电机定子电流和电机速度波形 $i_v = f(t)$ 与 $n = f(t)$。
4. 观测低频补偿程度改变对系统性能的影响。

三、实验设备

1. NMCL－13B 电机研究型变频调速系统实验平台及其相关组件
2. 异步电动机 M04，他励直流发电机 M03
3. 直流电机励磁电源、电阻负载等相关挂箱

四、实验原理

当用三相平衡的正弦电压向交流电动机供电时，电动机的定子磁链空间矢量幅值恒定，并以恒速旋转，磁链矢量的运动轨迹形成圆形的空间旋转矢量（磁链圆）。SVPWM 就是着眼于使形成的磁链轨迹跟踪由理想三相平衡正弦波电压源供电时所形成的基准磁链圆，使逆变电路能向交流电动机提供可变频电源，实现交流电动机的变频调速。

现在以实验系统中用的电压源型逆变器为例说明 SVPWM 的工作原理。三相逆变器由直流电源和 6 个开关元件(MOSFET) 组成。图 1 是电压源型逆变器的示意图。

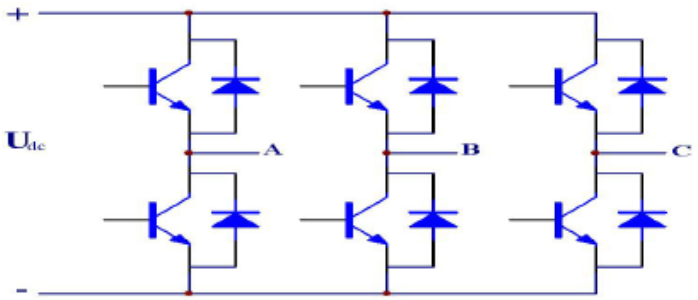

图 1 电压源型逆变器示意图

对于每个桥臂而言，它的上下开关元件不能同时打开，否则会因短路而烧毁元器件。其中 A、B、C 代表 3 个桥臂的开关状态，当上桥臂开关元件为开而下桥臂开关元件为关时定义其状态为 1 ,当下桥臂开关元件为开而上桥臂开关元件为关时定义其状态为 0。这样 A 、B、C 有 000 、001 、010 、011 、100 、101 、110 、111 共 8 种状态。逆变器每种开关状态对应不同的电压矢量，根据相位角不同分别命名为 U_0（000）、U_1（100）、U_2（110）、U_3（010）、U_4（011）、U_5（001）、U_6（101）、U_7（111）如图 2 所示。

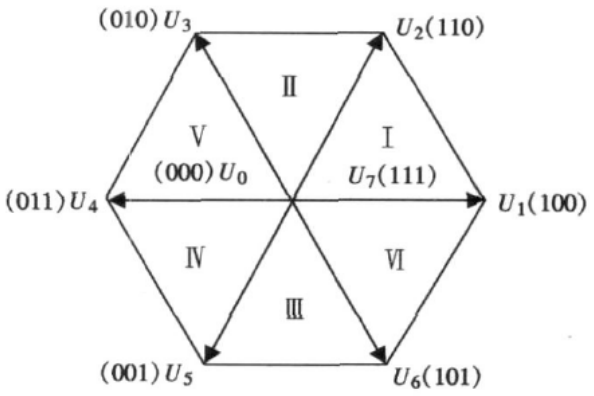

图 2 基本电压空间矢量

其中 U_0（000）和 U_7（111）称为零矢量，位于坐标的原点，其他的称为非零矢量，它们幅值相等，相邻的矢量之间相隔 60° 。如果按照一定顺序选择这六个非零矢量的电压空间矢量进行输出，会形成正六边形的定子磁链，距离要求的圆形磁链还有很大差距，只有选择更多的非零矢量才会使磁链更接近圆形。

SVPWM 的关键在于用 8 个基本电压空间矢量的不同时间组合来逼近所给定的参考空间电压矢量。在图 3 中对于给定的输出电压 U，用它所在扇区的一对相邻基本电压 U_x 和 U_{x+60} 来等效。此外当逆变器单独输出零矢量时，电动机的定子磁链矢量是不动的。根据这个特点，可以在载波周期内插入零矢量，调整角频率，从而达到变频目的。

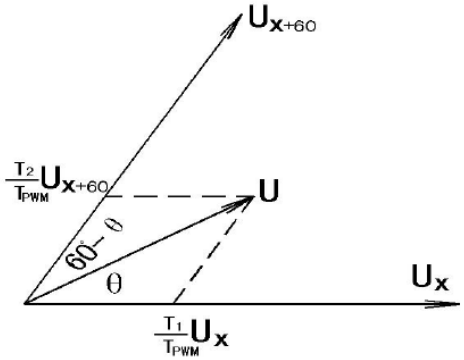

图 3 电压空间的线性组合

根据正弦定理可以得到：

$$\begin{cases} \dfrac{T_1}{T_{PWM}}U_x \Big/ \sin(60^0-\theta) = U \big/ \sin 120^0 \\ \dfrac{T_2}{T_{PWM}}U_{x+60} \Big/ \sin\theta = U \big/ \sin 120^0 \end{cases}$$ 又有 $\dfrac{T_1}{T_{PWM}}U_x + \dfrac{T_2}{T_{PWM}}U_{x+60} = U$

得到 $$\begin{cases} T_1 = \dfrac{\sqrt{3}U}{U_x}T_{PWM}\sin(60^0-\theta) \\ T_2 = \dfrac{\sqrt{3}U}{U_{x+60}}T_{PWM}\sin\theta \\ T_0 = T_{PWM} - t_1 - t_2 \end{cases}$$

式中 T_{PWM} 为载波周期；U 的幅值可以由 U/f 曲线确定；U_x 和 U_{x+60} 的幅值相同且恒为直流母线电压 $\frac{3}{2}V$；θ 可以由输出正弦电压角频率 w 和 nT_{PWM} 的乘积确定。因此，当已知两相邻的基本电压空间矢量 U_x 和 U_{x+60} 后，就可以根据上式确定 T_1、T_2、T_0。

五、系统的参数

1. 交流电源为标准工频电源，故电源运行频率设定 f 可在 1~50HZ 的范围内连续可调。
2. 调制方式：
   1) 同步调制：载波比可以在 30-500 连续可调；
   2) 异步调制（默认调制方式）：载波频率可以在 1500-4000Hz 连续可调；
   3) 分段同步调制：当运行频率 1Hz＜f＜25Hz 时，系统以异步方式运行；当运行频率 f ≥25Hz 时，系统以同步方式运行。
3. V/f 曲线

   三条 V/f 曲线可供选择，以满足不同的低频电压补偿要求
   1) 无低频补偿；
   2) 当运行频率 1Hz＜f＜5Hz 时，补偿电压为 21.5V；
   3) 当运行频率 1Hz＜f＜10Hz 时，补偿电压为 43V。
4. 电流校正在-500 到 500 连续可调。（电流校正主要是补偿电流信号采集系统的零点漂移）

六、实验步骤

1. 按照图 4 连接硬件电路。检查无误后，给系统驱动部分供电。

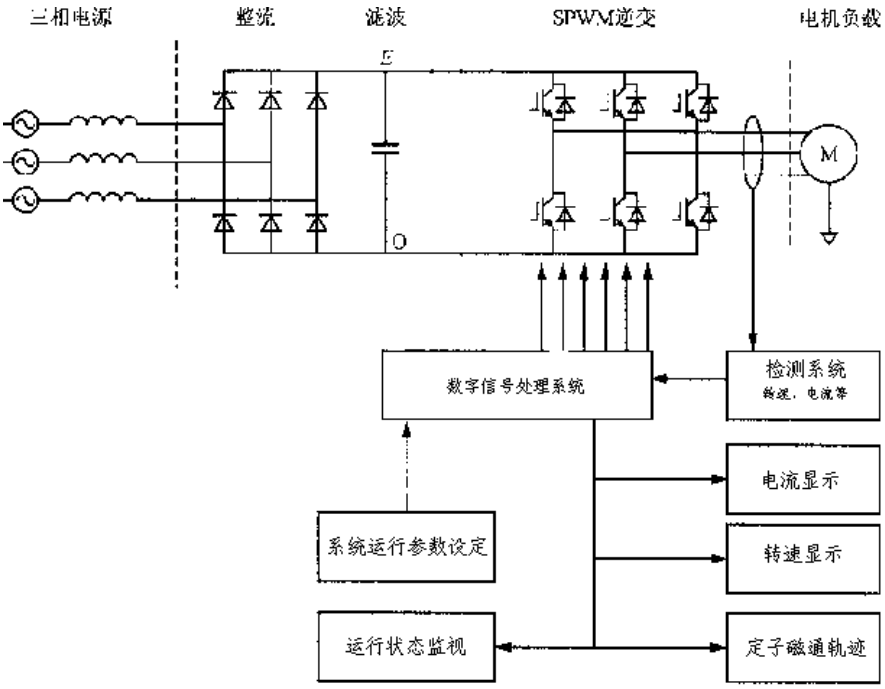

图 4 异步电动机变频调速系统原理图

2. 运行上位机调速系统软件，如图 5，观察右下角软件状态指示灯状态，若为红色，请重启软件；若为绿色，选择“感应电动机开环 VVVF 调速实验”。此时弹出面板为开环变频调速实验面板（四个虚拟示波器从左到右，从上到下依次显示的是**三相调制波、实际转速、线电流、模拟定子磁通轨迹**）。系统默认状态为异步调制方式；载波频率 f＝3000Hz；系统电源频率 f 设定为 f＝30Hz。由于 DSP 内程序未运行，USB 接口无数据，故界面中各虚拟示波器波形中为无规则波形，如图 6。

3. 保持上位机的“运行”状态，在下位机 DSP 中加载开环 SVPWM 变频调速程序，加载完成后可从上位机前面板上看到虚拟示波器中有三路规则正弦调制波，如图 7 所示。

4. 改变“电流校正”输入框中的校正值，使“ABC 三相电流采样值曲线图”中三条电流曲线均值到零值。电流采样校正前后的上位机界面如图 8、9 所示。

5. 完成上述系统初始化检测及校正后，即可进行以下实验。（此时用手旋转电动机转子，可在上位机转速显示图中观测到小幅曲线，转速指示转盘观察到指针摆动）

6. 接通电源，使电机在默认设定参数下运行起来。

7. 选择异步调制方式，在不同的速度下，观测载波比变化对定子磁通轨迹的影响；

1) 在“载波频率”输入框中输入载波频率，在“频率设置”调节条中设置预设值（1-50Hz 的整数），从上位机中观测定子磁通曲线。

2) 上位机界面中保持“频率设置”值不变，更改“载波频率”的值（注意载波频率的变化范围，**给定载波频率需要在 1.5K-4KHz 范围**），重新观测新的载波比下的定子磁通轨迹。通过对比前后磁通轨迹曲线，研究载波比变化对定子磁通轨迹的影响。

3) 在不同的“频率设置下”重复进行上述实验。

8. 在同步调制时，在不同的速度下，观测载波比变化对定子磁通轨迹的影响。

点击上位机中“电机运行”按钮切换到“电机停止”状态，使电机停止运行。在“调制方式选择”

面板中选择“同步调制方式”，设定载波比和电源频率。，完成后上述给定后再切换回“电机运行”状态，使电机按照给定状态运行。选定不同的“频率设置”改变不同频率下的载波比，观察其对定子磁通轨迹和转速的影响（注意载波频率的变化范围）。在给定频率较低，并且载波比给定较小的情况下，电机会出现停转。

9. 当分段同步调制时，在不同的速度下，观测载波比变化对定子磁通轨迹的影响；

按照上一步骤修改调制方式为“分段同步调制”。此时系统设定为 1Hz＜f＜25Hz，为低频状态，该频率段系统将以异步方式运行；当 f>25Hz 时，系统以同步方式运行。

10. 在上位机界面中设定一种电机运行状态（建议以异步方式启动，同步方式在小载波比的条件下可能不能正常启动）。使用“电机运行”按钮使电机停止旋转。然后点击“电机停止”使电机快速启动，观察并记录启动时电机定子电流和转速的变化波形 $i_{\mathrm{V}} = f(t)$ 与 $n = f(t)$。

11. 观测并记录突加与突减负载时的电机定子电流和电机速度波形 $i_{\mathrm{V}} = f(t)$ 与 $n = f(t)$。

12. 观测低频补偿程度改变对系统性能的影响。

1) 从“低频补偿方式”中选择不同的补偿曲线，（“无补偿”即无低频补偿；补偿方式一指以电源频率为 1-5Hz 是低频段，此时补偿电压为 21.5V；补偿方式二指以电源频率为 1-10Hz 是低频段，此时补偿电压为 43V）。

2) 设定低频频率，观察不同的低频补偿方式下，电机启动过程的区别。

七、实验报告

1. 异步调制方式中，记录启动时电机定子电流和电机速度波形 $i_v = f(t)$ 与 $n = f(t)$；

2. 记录突加与突减负载时的电机定子电流和电机速度波形 $i_v = f(t)$ 与 $n = f(t)$；

3. 分析低频补偿程度改变对系统性能的影响。

八、注意事项

1. 注意操作顺序，首先运行上位机程序，在上位机上进行观察是否有预期的调制波产生，同时进行电流校正，方可进行变频器上电操作。
2. 在上位机中修改调制方式时，需停止电机旋转，完成修改后方可重新运行（空载或轻载时，可以直接修改），以防电机波动过大，对器件造成冲击。
3. 在设置参数时，还要注意参数间的相互影响关系，以保证系统运行状态的良好。控制载波频率，无论同步还是异步在 SPWM 开环变频调速实验中载波频率都应该在一定的范围内，载波频率受到 DSP 事件管理器中周期寄存器 T1PR 位数的限制，程序中载波频率必须保持在 1500HZ 以上，当载波频率太小电压利用率不足电机转速降低甚至停转，电机频率太高会影响程序的执行。实验测定载波频率 4000Hz 以下。当给定载波频率超出 1.5K-4KHz 范围，上位机会进行报警，载波频率在底层程序中也进行了限制。
4. 在进行实验操作时，要注意电机上电以及旋转中的声音变化，当出现异常声音时，要及时切断变频

器电源。

5. 实验步骤为先打开软件，运行软件，再闭合试验台三相电。实验结束时，先停止电机，断开三相电，停止运行软件，关闭软件。

图 5 实验选择面板

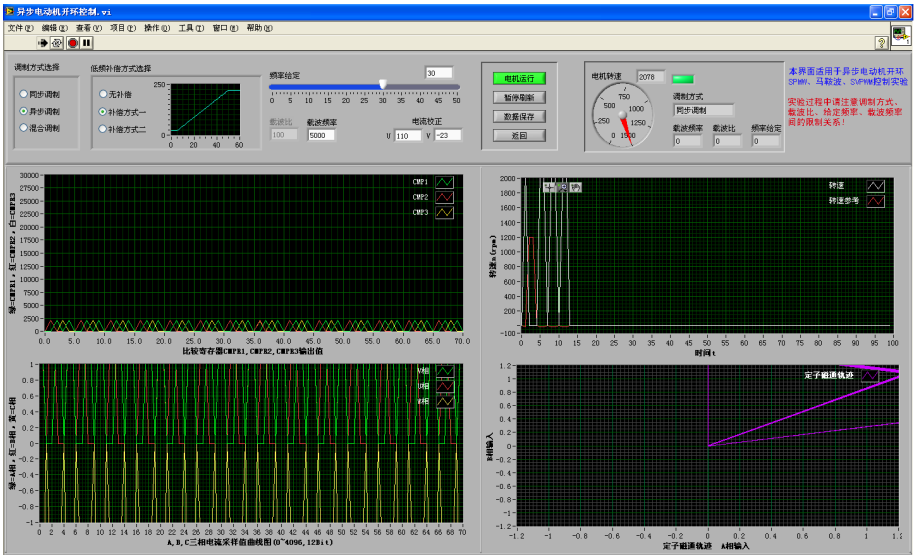

图 6 程序加载前面板（程序加载前）

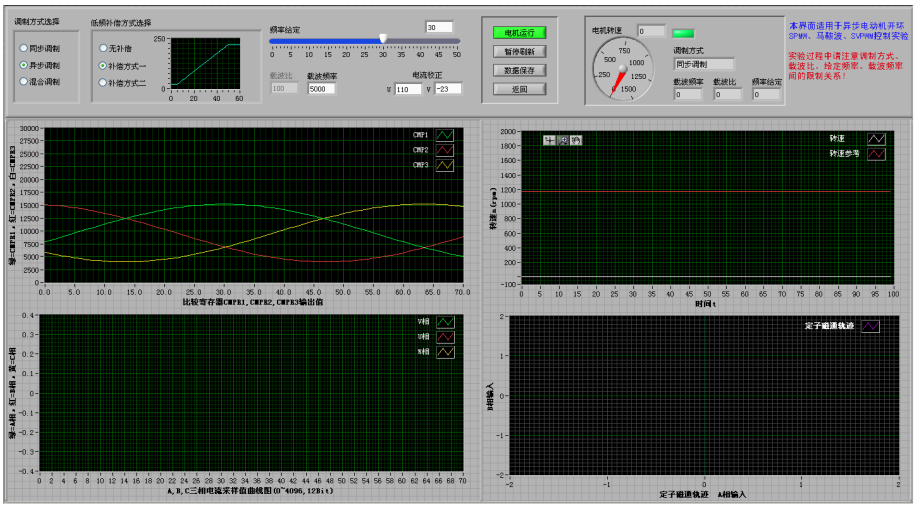

图 7 程序加载前面板（程序加载后）

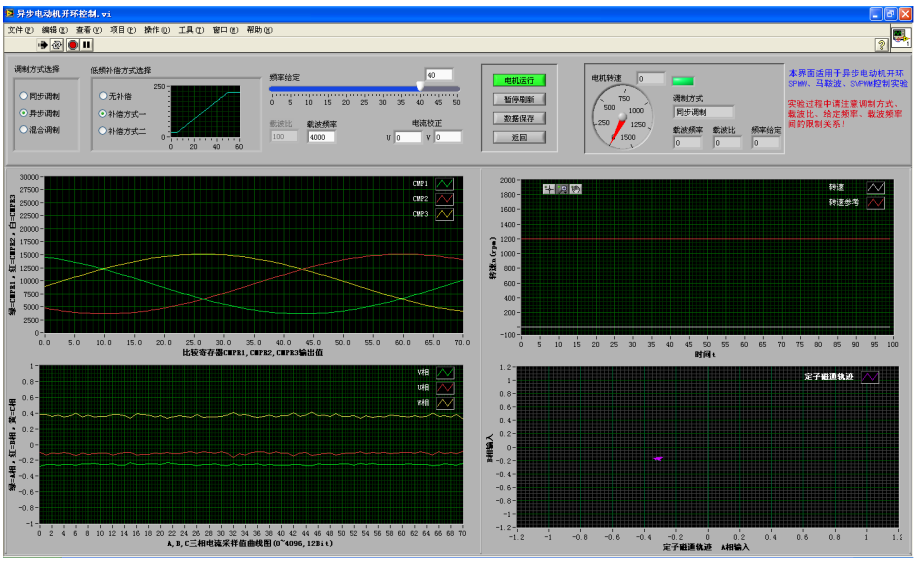

图 8 电流校正前面板

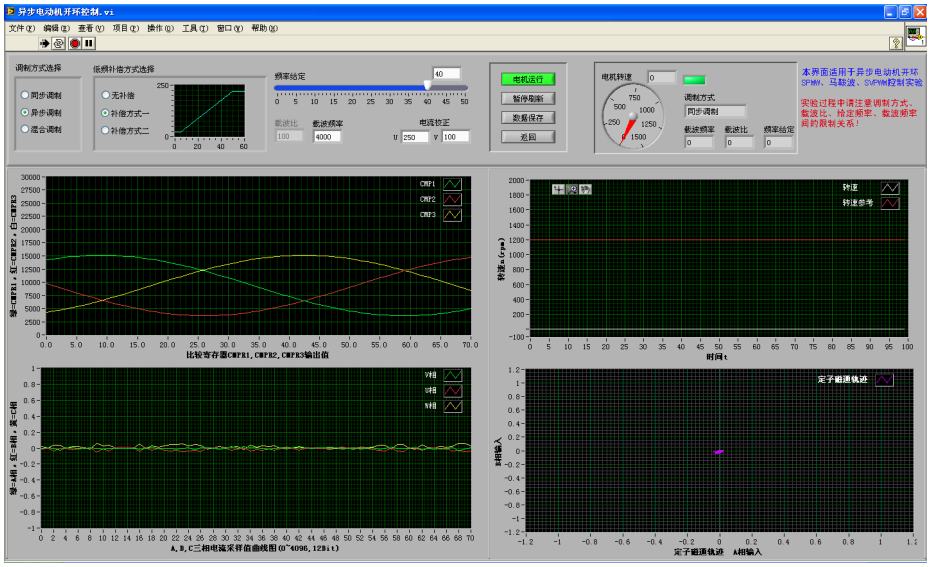

图 9 电流校正后面板