

上海交通大学

学生实验报告

课程名称: 双闭环可逆直流脉宽调速系统

姓名: 谢敬鱼

学号: 516021910125

邮箱: xjy0104@sjtu.edu.cn

手机: 13262935410

2019 年 5 月 13 日

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. 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. 测定开环和闭环机械特性 $n=f(I_d)$ 。
4. 闭环控制特性 $n=f(U_g)$ 的测定

三. 实验系统的组成和工作原理

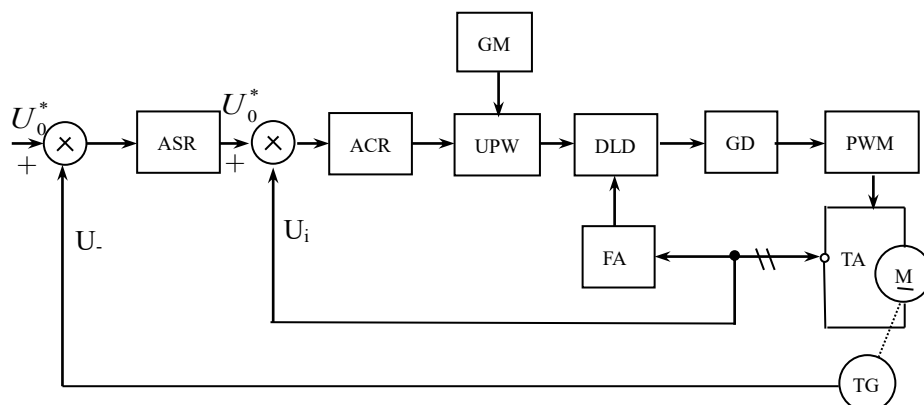


图 3-1 双闭环脉宽调速系统的原理图

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 3-1 所示。图中可逆 PWM 变换器主电路系采用 MOSFET 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。

在结构上分为两部分:主回路和控制回路。

1. 主回路:

二极管整流桥把输入的交流电变为直流电,正常情况下,交流输入为 220V,经过整流后变为 300V 直流电,电阻 R1 为起动限流电阻,滤波电容 C 为 470 μ F/450V;四只功率 MOS 管构成 H 桥,根据脉冲占空比的不同,在直流电机上可得到+或-的直流电压 U_0 。

由于在一个 PWM 周期里电枢电压经历了正反两次变化,因此其平均电压

$$U_0 = [(t_{on}/T) - (T - t_{on})/T] U_s = [(2t_{on}/T) - 1] U_s = (2\alpha - 1) U_s$$

由式可见，电枢绕组所受的平均电压取决于占空比 α 大小。当 $\alpha=0$ 时， $U_0=-U_s$ ，电动机反转，且转速最大；当 $\alpha=1$ 时， $U_0=U_s$ ，电动机正转，转速最大；当 $\alpha=1/2$ 时， $U_0=0$ ，电动机不转。虽然此时电动机不转，但电枢绕组中仍然有交变电流流动，使电动机产生高频振荡，这种振荡有利于克服电动机负载的静摩擦，提高动态性能。

在 VT2 和 VT4 的源极回路中，串接两取样电阻，其上的电压分别反映流过 VT2、VT4 的电流，经过差动放大，在“21”端输出一反映电流大小的电压，作为双闭环控制系统的电流反馈信号。

电阻 R2 在本实验箱中有两个作用。第一，可用来观察波形，R2 的阻值为 1Ω ，其上的电压波形反映了主回路的电流波形。第二，作为过流保护用。当 R2 的电压超过整定值后，过流保护电路动作，关闭脉冲，从而保护功率 MOS 管。

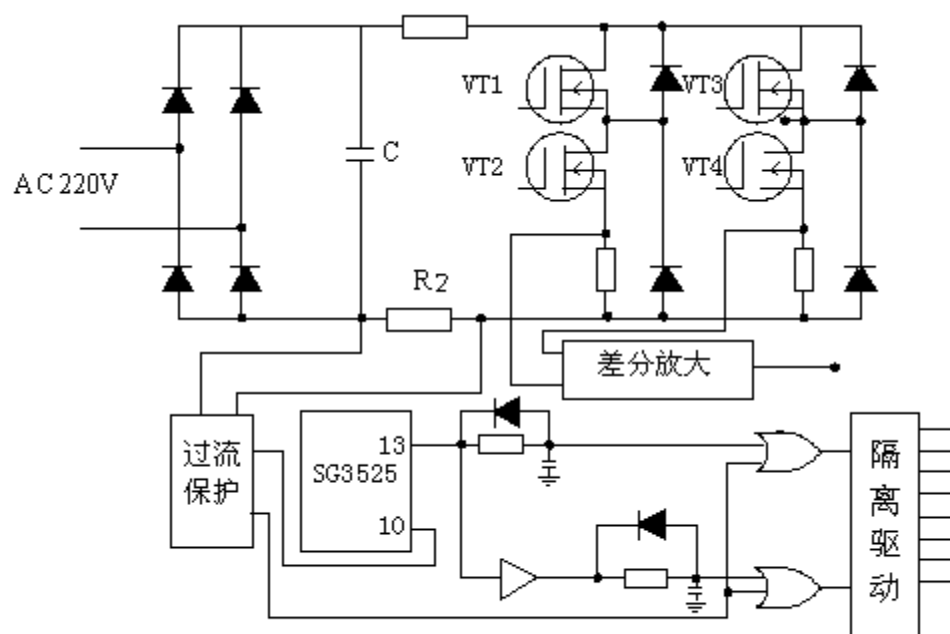


图3-2

2. 控制回路：

控制回路采用 SG3525 构成。

SG3525 的 13 脚输出占空比可调（改变 9 脚电压）的脉冲波形（占空比调节范围不小于 0.1~0.9），同时频率可通过充放电时间的不同而改变（通过钮子开关 S1 调节），经过 RC 移相后，输出两组互为倒相，死区时间为 $5\mu\text{s}$ 左右的脉冲（观察“33”端和“34”端），经过光耦隔离后，分别驱动四只 MOS 管，其中 VT1、VT4 驱动信号相同，VT2、VT3 驱动信号相同。

为了保证系统的可靠性，在控制回路设置了保护线路，一旦出现过流，保护电路输出二路信号，分别封锁 SG3525 的脉冲输出和与门的信号输出。

面板的左端为正、负给定。当钮子开关 S5 打向“±给定”，S4 打向“正给定”时，“24”端输出 -15V ，同时调节电位器 RP3，“23”可得到 $0\sim 12\text{V}$ 的正电压输出；当 S4 打向“负给定”时，调节 RP4，“23”可得到 $0\sim 12\text{V}$ 的负电压输出。当钮子开关 S5 打向“0”时，“23”端输出 0V ，同时“24”端输出为 0V ，封锁控制电路的工作。

四．实验设备及仪器

1. MCL—II 主控制屏。

(1) MCL—10、03 组件。

- (2) MEL-11 挂箱
- (3) 电机导轨、测速发电机及测功机、MEL—13 组件。
- (4) 直流电动机 M03。(5) 双踪示波器

2. MCL—III主控制屏。

- (1) MCL-10A、31 组件。
- (2) MEL-11 挂箱
- (3) MEL—03、04 三相可调电阻
- (4) 电机导轨及测速发电机、直流发电机 M01
- (5) 直流电动机 M03。(6) 双踪示波器。

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 $7\mu F$ ）。
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 起动电机。
5. 起动电机时，不带负载起动。

六. 实验方法

采用 MCL—10 组件

1. SG3525 性能测试

分别连接“3”和“5”、“4”和“6”、“7”和“27”、“31”和“22”、“32”和“23”，然后打开面板右下角的电源开关。

(1) 用示波器观察“25”端的电压波形，记录波形的周期，幅度（需记录 S1 开关拨向“通”和“断”两种情况）

(2) S5 开关打向“给定”，用示波器观察“30”端电压波形，调节 RP2 电位器，使方波的占空比为 50%。

S5 开关打向“给定”分别调节 RP3、RP4，记录“30”端输出波形的最大占空比和最小占空比。（分别记录 S2 打向“通”和“断”两种情况）

2. 控制电路的测试

(1) 逻辑延时时间的测试

S5 开关打向“给定”，用示波器观察“33”和“34”端的输出波形。并记录延时时间。

$t_d =$

(2) 同一桥臂上下管子驱动信号死区时间测试

分别连接“7”和“8”、“10”和“11”，“12”和“13”、“14”和“15”、“16”和“17”、“18”和“19”，用双踪示波器分别测量 $V_{VT1.GS}$ 和 $V_{VT2.GS}$ 以及 $V_{VT3.GS}$ 和 $V_{VT4.GS}$ 的死区时间。

$t_{d.VT1.VT2} =$

$t_{d.VT3.VT4} =$

以下的实验方法针对 MCL-10A 组件：

1. SG3525 性能测试

(1) 用示波器观察“1”端的电压波形，记录波形的周期、幅度。

连接好电路以后，利用示波器观察“1”端的电压波形，如图 1 所示。对图 1 中的周期进行测量得到，波形的周期为： $T = 20\text{ms}$ $\text{max} = 1.20\text{V}$ $\text{min} = -1.16\text{V}$ $\text{max} - \text{min} = 2.36\text{V}$

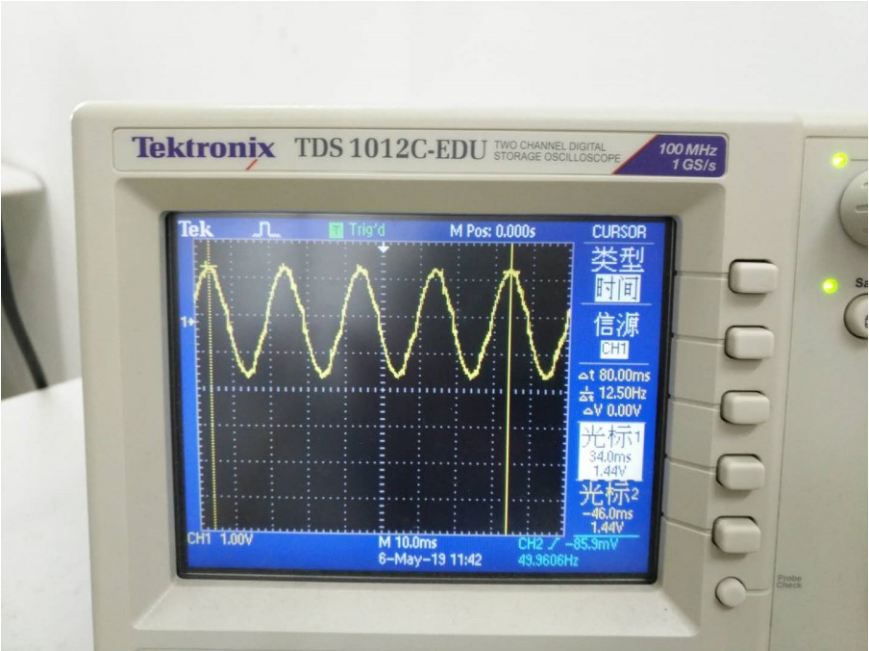


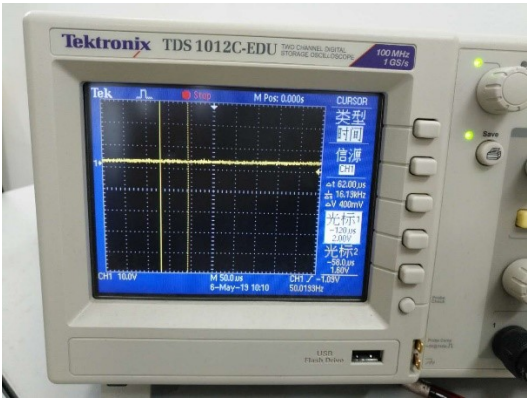
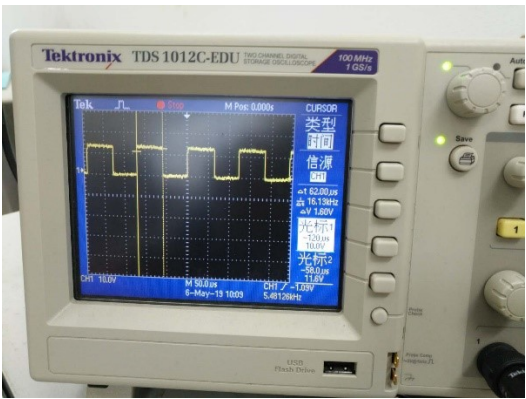
图 1 “1”端电压波形

(2) 用示波器观察“2”端的电压波形，调节 RP_2 电位器，使方波的占空比为 50%。

(3) 用导线将“G”的“1”和“UPW”的“3”相连，分别调节正负给定，记录“2”端输出波形的最大占空比和最小占空比。

	正给定			负给定		
	周期 T 总	正值时间	占空比	周期 T 总	正值时间	占空比
最大占空比	124us	124us	100%	120us	58us	48.3%
最小占空比	124us	62us	50%	122us	3.2us	2.6%

相关实验结果图如图 2 所示：



n(r/min)	1400	1378	1361	1340	1327	1310
Id(A)	0.29	0.38	0.45	0.55	0.62	0.72
n(r/min)	800	786	771	740	720	706
Id(A)	0.18	0.24	0.31	0.45	0.55	0.64

负给定调节电位器，然后按照以上方法，测出系统的反向机械特性。

n(r/min)	-1400	-1388	-1369	-1353	-1340	-1328
Id(A)	-0.265	-0.325	-0.425	-0.485	-0.555	-0.605
n(r/min)	-800	-784	-770	-754	-733	-723
Id(A)	-0.187	-0.287	-0.357	-0.437	-0.537	-0.587

4. 闭环系统调试

将 ASR,ACR 均接成 PI 调节器接入系统，形成双闭环不可逆系统。

按图 3—3 接线

(1) 速度调节器 ASR 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 MEL—11 电容器，预置 $7\mu\text{F}$ ；

(c) 调节 RP1、RP2 使输出限幅为 $\pm 5\text{V}$ 。

(2) 电流调节器 ACR 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 MEL—11 电容器，预置 $7\mu\text{F}$ ；

(c) 调节 RP1、RP2 使输出限幅为 $\pm 5\text{V}$ 。

5. 系统静特性测试

(1) 机械特性 $n=f(I_d)$ 的测定

给定使电机空载转速至 1400 r/min， $n=800/\text{min}$ 再调节测功机加载旋钮（若是直流发电机负载，先调节 450Ω 电阻，调节完毕后用导线短接，再调节 90Ω 电阻），在空载至额定负载范围内分别记录 6 个点，可测出系统正转时的静特性曲线 $n=f(I_d)$

在空载至额定负载($I=1\text{A}$)范围内测取 6 个点，记录相应的转速 n 和电机电流 $I_d(\text{A})$ 。

n(r/min)	1400	1398	1395	1390	1389	1387
Id(A)	0.26	0.40	0.54	0.85	0.90	1.03
n(r/min)	800	797	795	791	789	787
Id(A)	0.17	0.38	0.52	0.71	0.84	1.08

负给定调节电位器，然后按照以上方法，测出系统的反向机械特性。

n(r/min)	-1400	-1398	-1396	-1394	-1392	-1390
Id(A)	-0.28	-0.42	-0.55	-0.71	-0.87	-1.04
n(r/min)	-800	-799	-797	-795	-793	-791
Id(A)	-0.24	-0.35	-0.54	-0.65	-0.82	-1.02

(2) 闭环控制特性 $n=f(U_g)$ 的测定

调节正给定电位器，启动电机使电机空载转速 $n=1400\text{ r/min}$ 。记录 U_g 和 n ，逐渐

降低 U_g ，即可测出闭环控制特性 $n=f(U_g)$ 。

n(r/min)	1400	1300	1200	1097	942	806
$U_g(V)$	2.23	2.08	1.93	1.78	1.54	1.34

调节负给定电位器，启动电机使电机空载转速 $n=-1400$ r/min。记录 U_g 和 n ，逐渐降低 U_g ，即可测出闭环控制特性 $n=f(U_g)$ 。

n(r/min)	-1400	-1302	-1094	-980	-866	-729
$U_g(V)$	-2.09	-1.95	-1.64	-1.47	-1.31	-1.11

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等。

(1) “1”端的电压波形的周期、幅度分别为： $T = 20ms$ 、 $V = 2.36V$ 。（实验结果图 1）

(2) 分别调节正负给定，记录“2”端输出波形的最大占空比和最小占空比。（实验结果见图 2）

	正给定			负给定		
	周期 T 总	正值时间	占空比	周期 T 总	正值时间	占空比
最大占空比	124us	124us	100%	120us	58us	48.3%
最小占空比	124us	62us	50%	122us	3.2us	2.6%

(3) “1”和“2”端的输出波形，并记录延时时间 $t_d=3us$ 。

(4) 用双踪示波器分别测量 $V_{VT1.GS}$ 和 $V_{VT2.GS}$ 以及 $V_{VT3.GS}$ 和 $V_{VT4.GS}$ 的死区时间：

$t_{dVT1.VT2}=3.2us$ $t_{dVT3.VT4}=3.2us$ （实验结果图见 6.2.2 中即图 3）

2. 列出开环机械特性数据，画出对应的曲线 $n=f(I_d)$ ，计算静差率。

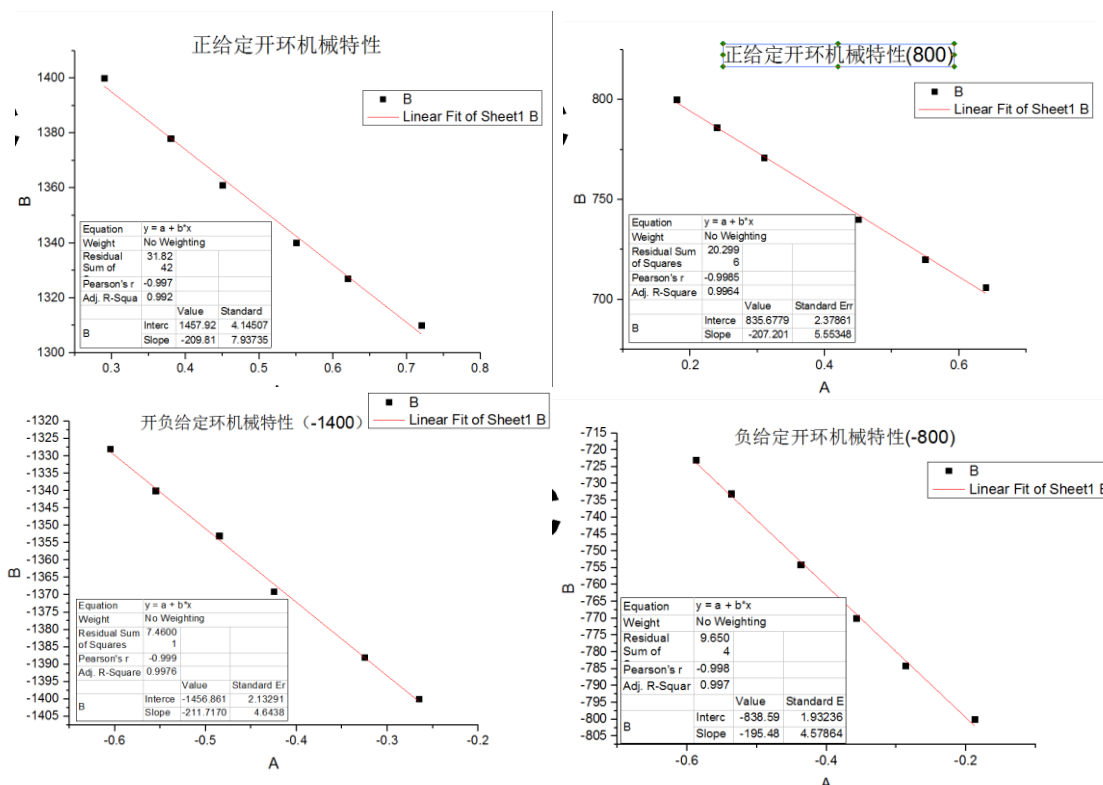


图 4 开环机械特性

计算静差率:

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N}$$

$$\text{正给定 } 1400: s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N} = \frac{1400 - 1248}{1400} = 10.86\%$$

$$\text{正给定 } 800: s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N} = \frac{800 - 628}{800} = 21.5\%$$

$$\text{负给定 } -1400: s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N} = \frac{-1400 - (-1246)}{-1400} = 10.99\%$$

$$\text{负给定 } -800: s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N} = \frac{-800 - (-643)}{-800} = 19.6\%$$

3. 列出闭环机械特性数据, 画出对应的曲线 $n=f(I_d)$, 计算静差率, 并于开环机械特性进行比较。

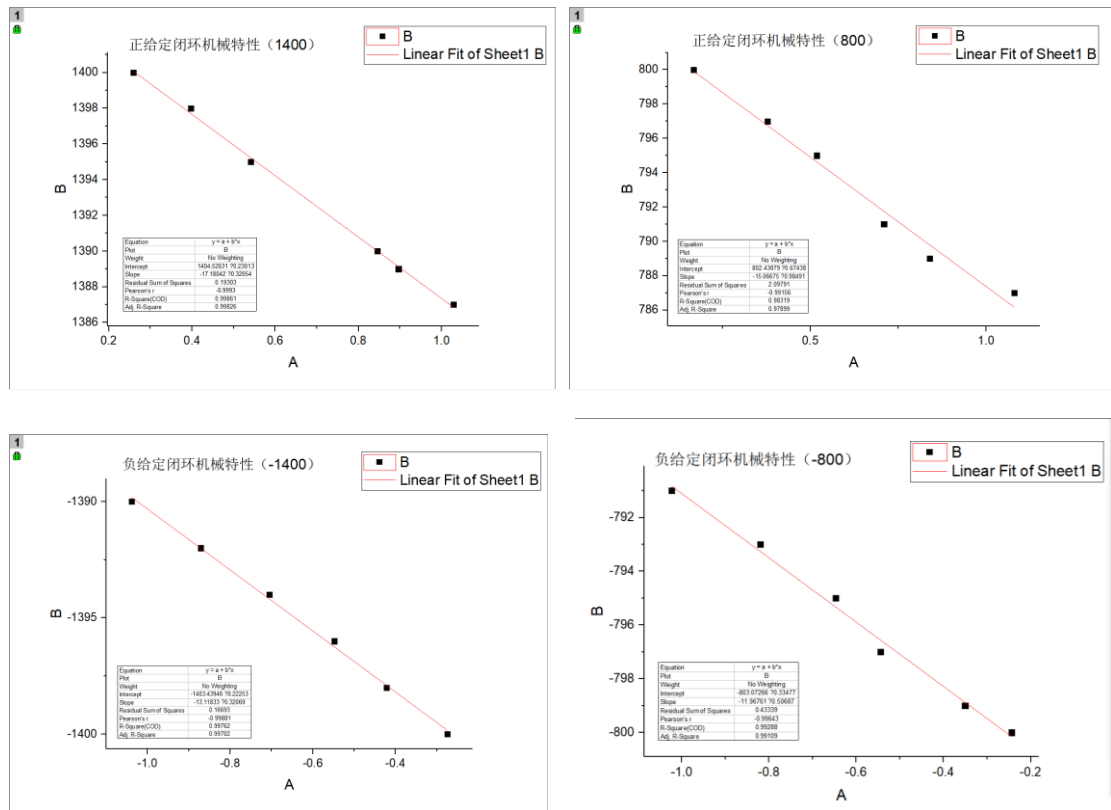


图 5 闭环机械特性

计算静差率:

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N}$$

$$\text{正给定 } 1400: s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N} = \frac{1400 - 1387}{1400} = 0.93\%$$

$$\text{正给定 } 800: s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N} = \frac{800 - 787}{800} = 1.63\%$$

$$\text{负给定}-1400: s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N} = \frac{-1400 - (-1390)}{-1400} = 0.71\%$$

$$\text{负给定}-800: s = \frac{\Delta n_N}{n_{min} + \Delta n_N} = \frac{-800 - (-791)}{-800} = 1.13\%$$

理论上，闭环系统与开环系统的静差率的关系为：

$$s_{cl} = \frac{s_{op}}{1 + K}$$

闭环控制系统直接的好处就是减小了静差率，提高了系统的调速精度。

实际系统测试结果显示：

$$\text{正给定 } 1400 \text{ 时, } \frac{s_{op}}{s_{cl}} = \frac{10.86}{0.93} = 11.68$$

$$\text{正给定 } 800 \text{ 时, } \frac{s_{op}}{s_{cl}} = \frac{21.5}{1.63} = 13.19$$

$$\text{负给定 } 1400 \text{ 时, } \frac{s_{op}}{s_{cl}} = \frac{9}{0.71} = 12.68$$

$$\text{负给定 } 800 \text{ 时, } \frac{s_{op}}{s_{cl}} = \frac{19.6}{1.13} = 17.34$$

系统的开环静差率大概是闭环静差率的 12-17 倍之间。闭环的机械特性更好, 与理论结果相符合。

4. 列出闭环控制特性数据，画出对应的曲线 $n=f(U_g)$ 。

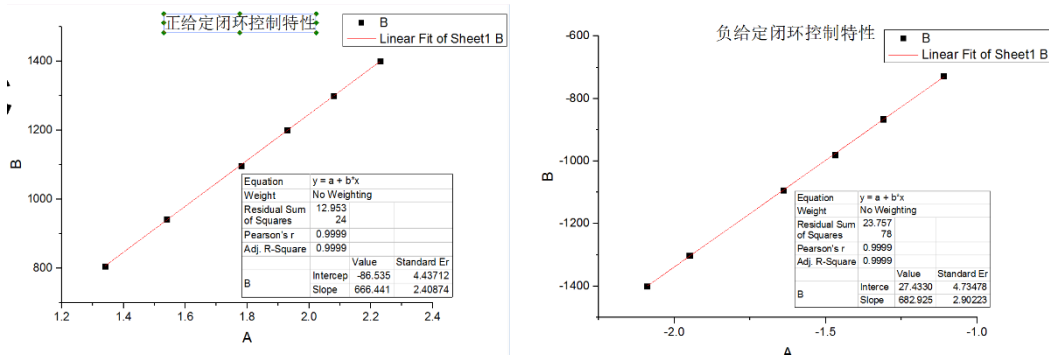


图 9 闭环控制特性曲线

正给定时拟合的曲线为: $n = 666.441U_g - 86.535$

负给定时拟合的曲线为: $n = 682.925U_g + 27.433$

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？

不行，增大死区时间，器件的非线性因素会更强，造成输出信号波形的失真，以及输出效率的降低。

由 MOS 管和驱动芯片的开关延迟时间，以及信号的上升沿与下降沿时间决定。

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。

- 1) 主电路结构简单, 需用的功率器件少;
- 2) 开关频率高, 电流容易连续, 谐波污染小, 电机损耗及发热都较小;
- 3) 低速性能好, 稳速精度高, 调速范围宽;
- 4) 若与快速响应的电机配合, 则系统频带宽, 动态响应快, 动态抗扰能力强;
- 5) 功率开关器件工作在开关状态, 导通损耗小, 当开关频率适当时, 开关损耗也不大, 因而装置效率较高;
- 6) 直流电源采用不控整流时, 电网功率因数比相控整流器高。