

# 实验五 直流电机组双闭环 PID 控制器设计

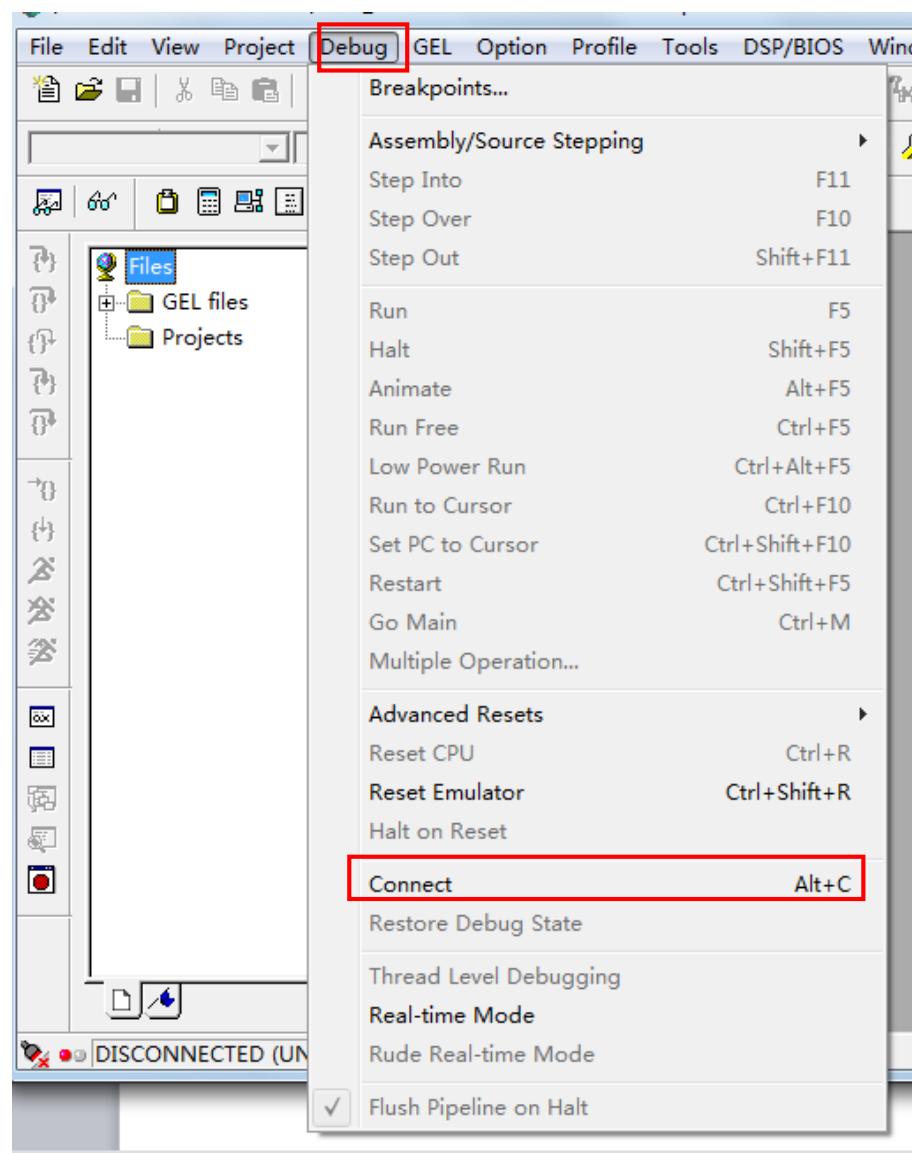
## 常见问题：

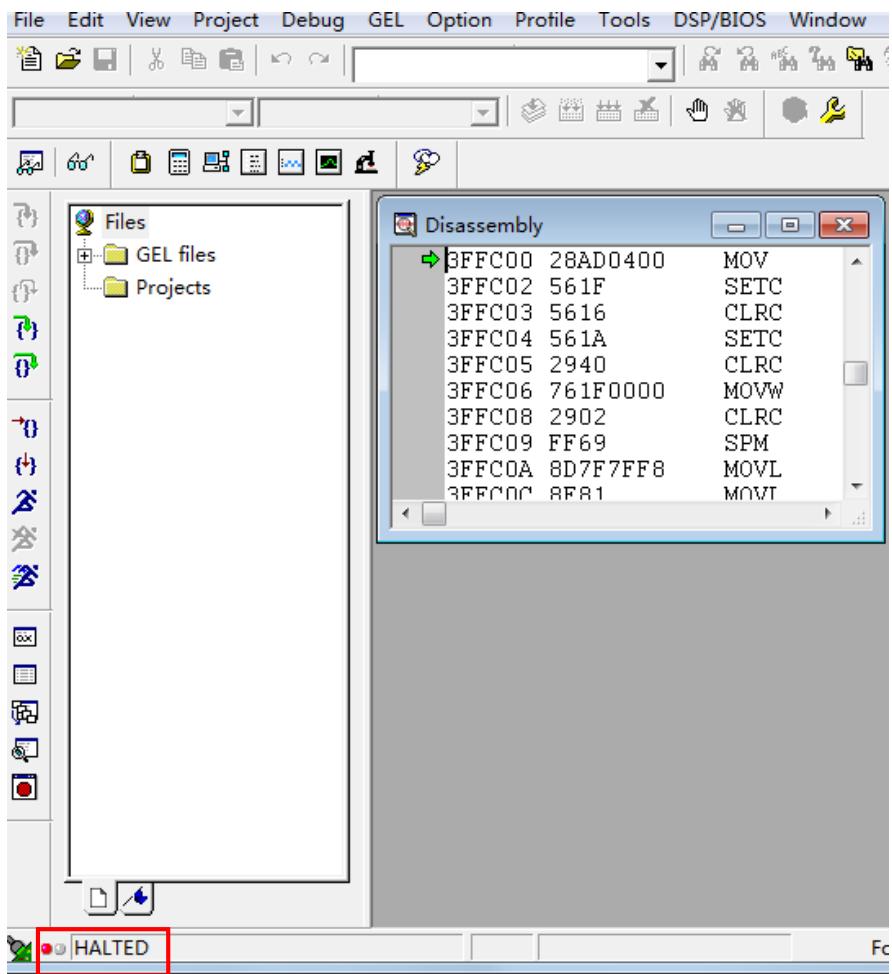
1. 当出现控制周期超过 1s 的提示时，应点击停止电机按钮，点击设置扫频频率按钮后，重新点击启动电机按钮。若此方法无效，则打开第一步最小化的 CCS 软件，依次点击：Debug->Reset CPU; Debug->Restart; Debug->Run 复位 DSP 程序。

### 第一步 烧写 dsp 程序

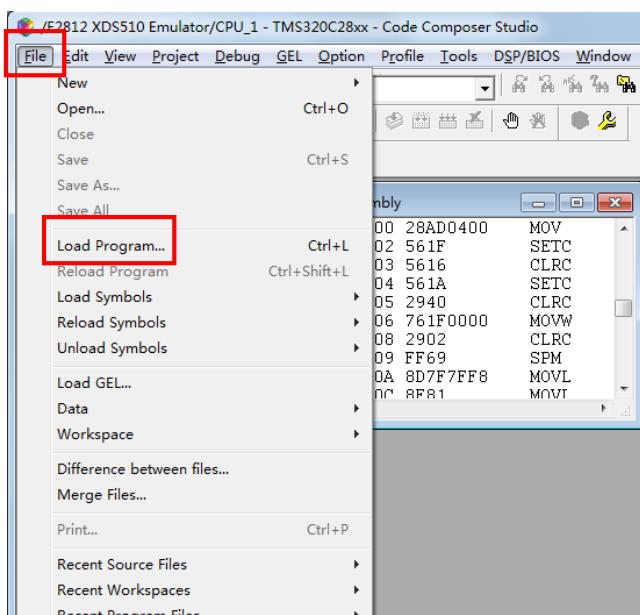


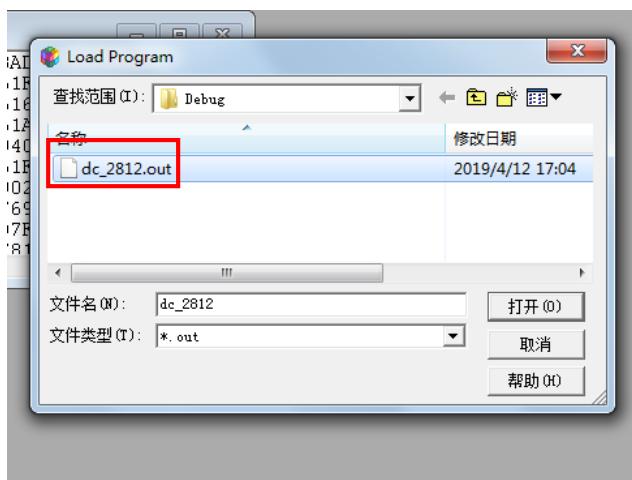
1. 打开 CCSv3.3 程序 ，点击 Debug->Connect 连接仿真器，连接成功后，CCS 左下角显示“HALTED”



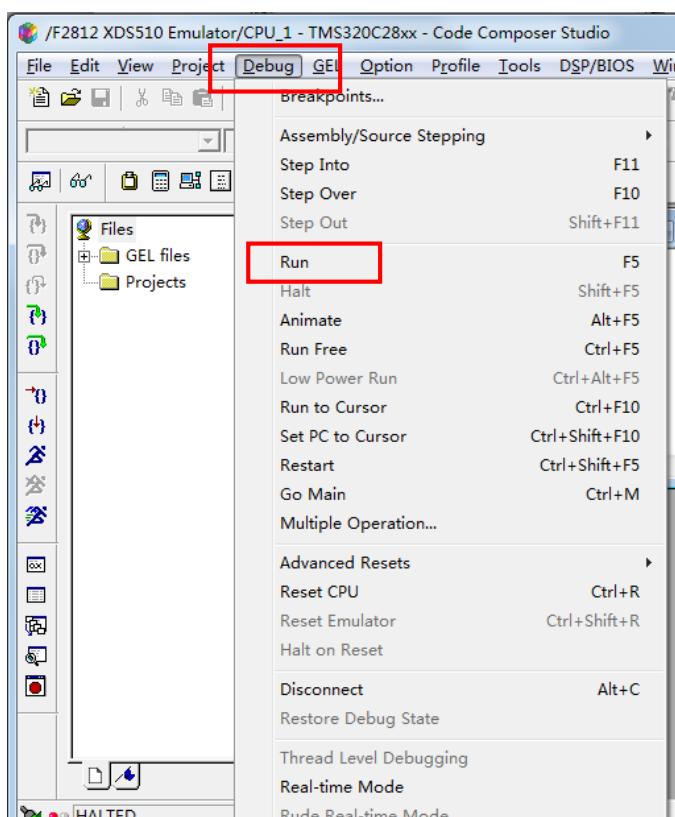


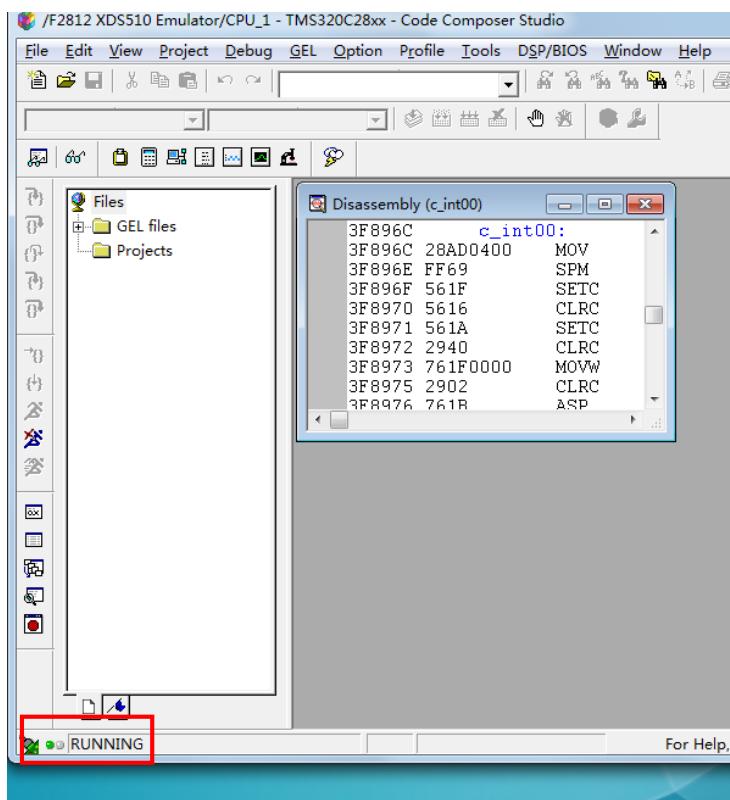
2. 点击 File->Load Program 选择 C:/DC\_2812-test6:/Debug 文件夹下 dc2812.out 文件下载到 DSP 中。





3. 下载成功后，点击 Debug->Run 运行 DSP 程序，左下角显示 RUNNING 则运行成功。





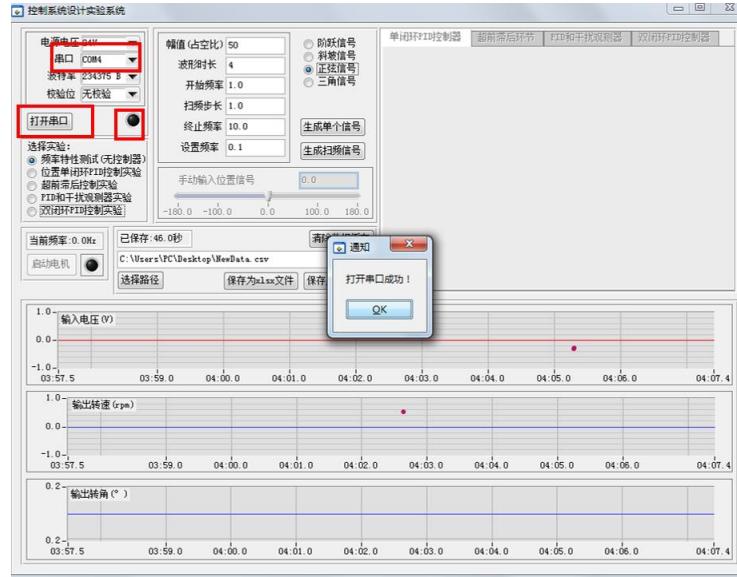
## 第二步 运行实验程序，开始进行控制器参数设计。

- 根据如下指标要求，设计双闭环 PID 控制器，并记录控制器参数，保存时域响应曲线及数据：在幅值  $60^\circ$ ，时长  $15\text{s}$  的阶跃信号输入下，系统跟踪输入信号达到稳定，且上升时间不超过  $1.5\text{s}$ ，超调量不超过  $10\%$ ，稳态误差不超过  $0.5^\circ$ 。
- 首先在 matlab 中搭建 Simulink 仿真模型，使用辨识得到电机模型，进行双闭环 PID 控制器设计，使其满足性能指标 1，同时还需绘制内外环的 Bode 图来比较带宽，保证内环带宽大于等于外环带宽的 5 倍（也可比较内外环开环剪切频率）。
- 在实验系统中设计双闭环 PID 控制器参数，使其满足性能指标 1，记录调节之后的 PID 控制器参数，保存时域响应曲线及数据；（实物和仿真参数差别很大，需要重新调）

**必做内容（实验 A），整定已有控制器参数，按照此步骤进行：**

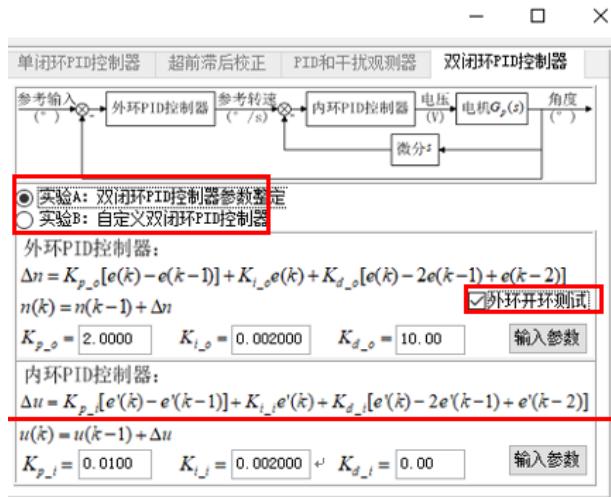


- 最小化 CCSv3.3 软件，打开实验软件。
- 首先配置 RS232 通信选项。选择串口号，其他选项保持默认值不变，点击打开串口按钮。若打开成功，则显示打开成功通知，同时指示灯变绿色；否则请更改串口号重新进行连接。

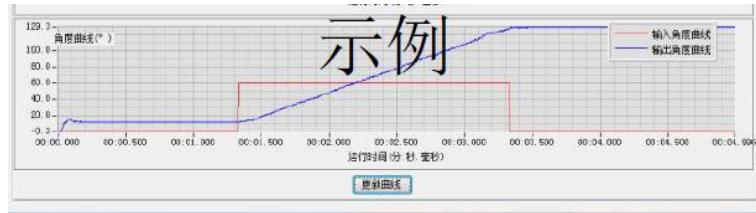


- 连接成功后，首先需要对机组标称模型进行辨识，后续用于内外环的带宽比较。选择实验：频率特性测试（无控制器），分别输入幅值为 50，频率  $0.1\text{~}1\text{Hz}$  步长为  $0.1\text{Hz}$ ，和  $2\text{~}20$  步长为  $1\text{Hz}$  的正弦指令，点击启动电机按钮。运行结束后保存数据。编写 matlab 程序分析输出角度信号和输入信号的幅值相位关系，绘制 Bode 图，利用 matlab 系统辨识工具箱辨识被控对象传递函数（此部分内容与实验一相同，可使用自己电脑进行数据处理）。
- 选择实验：双闭环 PID 控制实验，在右侧选择实验 A，参考图示的控制系统结构。

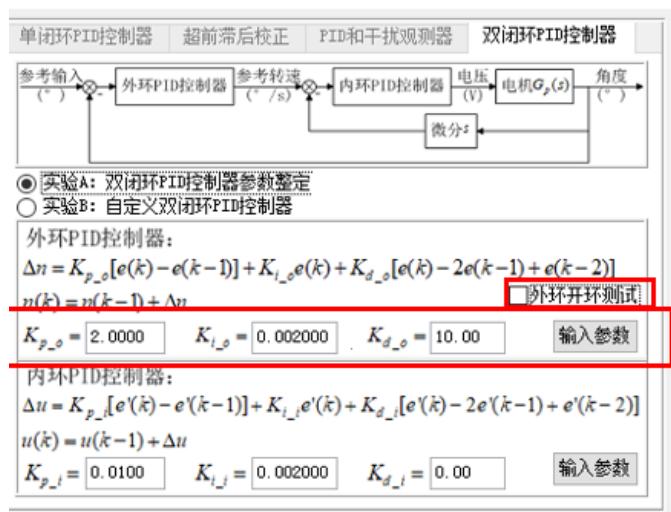
首先进行内环 PID 控制器设计。由于无法根据实验设备的扰动来计算内环的带宽和控制器增益，只能通过实验调试来确定内环的控制器参数：在保证电压曲线不饱和震荡、角度曲线波纹尽量小及内环带宽尽量大的条件下，设计 P、I、D 参数。将设计的 PID 参数填入，点击“输入参数”按钮，选中“外环开环测试”，此时外环 PID 控制器不起作用，相当于系数为 1 的比例环节，输入指令直接输入到内环。



输入幅值为 60, 时长 4s 的阶跃信号, 点击“启动电机”按钮。观察角度曲线, 内环没有性能指标要求, 只要角度曲线平稳无震荡即可(角度曲线是斜线上升的, 斜率就是速度值(1rad/s), 斜线越平稳, 且没有波纹和振荡, 说明速度值越稳定。)若电机存在高频震荡, 则需要继续调试内环 PID 控制器参数。



5. 设计好内环以后, 进行外环的设计。取消勾选“外环开环测试”, 输入幅值为 60°, 波形时长 15s 的阶跃信号, 按照性能指标(上升时间不超过 1.5s, 超调量不超过 10%, 稳态误差不超过 0.5°)及外环带宽尽量小的要求, 设计外环 P、I、D 控制器参数, 点击“输入参数”, 再点击“启动电机”按钮。观察响应曲线是否满足性能指标, 如不满足指标, 继续设计 P、I、D 参数, 点击“输入参数”、“生成单个信号”、“清除数据缓存”和“启动电机”, 观察响应曲线是否满足指标。

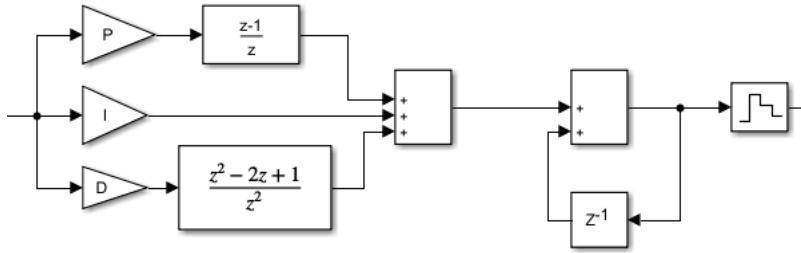


在“绘制曲线”界面中, 按住 **Ctrl** 同时使用鼠标左键选中一个矩形框的区域, 可将矩形框选中区域进行放大, 按住 **Ctrl** 同时单击鼠标右键可以缩小, 点击更新曲线按钮可以回到缩放最小的状态;

按住 **Ctrl+Shift** 同时按鼠标左键可以拖动平移。

6、使用 matlab 绘制内环和外环 **Bode** 图比较带宽（也可比较开环剪切频率），

1) 若采用 **simulink**, 需用增量式数字 PID 控制器加零阶保持器, 结构如图

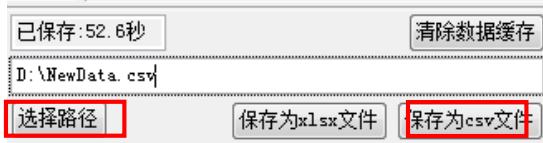


2) 画内环 **BODE** 图时, 选择机组标称模型中的惯性环节部分为被控对象, 画外环 **BODE** 图时, 选择机组标称模型中的积分环节部分为被控对象;

3) 比较内环和外环带宽关系, 由于实验设备的限制, 只要求内环带宽大于外环即可;

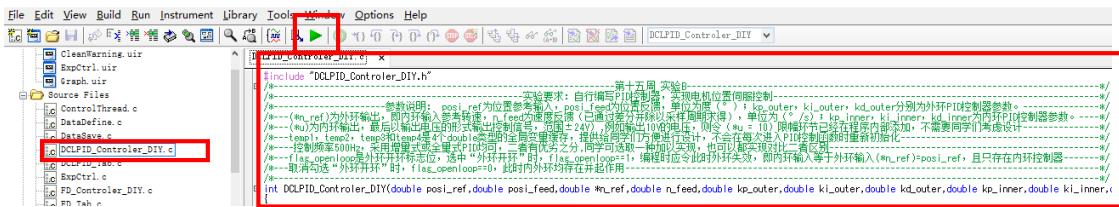
4) 若内环带宽大于外环带宽, 保存符合性能指标的角度曲线截图、内外环 **PID** 控制器参数截图; 否则需重新设计内外环 **PID** 控制器参数, 同时满足性能指标要求和内外环的带宽要求。

7. 保存符合指标要求和带宽要求的响应曲线数据, 选择保存路径, 输入保存文件名, 保存为.csv 文件, 点击保存为.csv 文件按钮。保存成功会有提示。请将文件保存到 d 盘根目录或文件夹下。关闭实验软件。



## 选做内容（实验 B），自定义控制器，按照此步骤进行：

1. 打开工程文件夹 ExpCtrl，找到 ExpCtrl.prj, 双击打开。
2. 在左侧工程目录中找到 ExpCtrl->Source Files->DCLPID\_Controller\_DIY.c，双击打开，使用将自己编写的 PID 控制器代码添加到 DCLPID\_Controller\_DIY() 函数中并 return 非 0 值。点击上方工具栏中绿色按钮，或者点击菜单栏 Build->Build, Run->Debug ExpCtrl.exe 运行程序。



3. 接实验 A 的第 2 步，需要注意第 3 步中应选择实验 B，控制器的设计步骤和指标要求与实验 A 相同。

