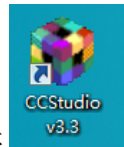


实验四 直流电机频域控制器设计

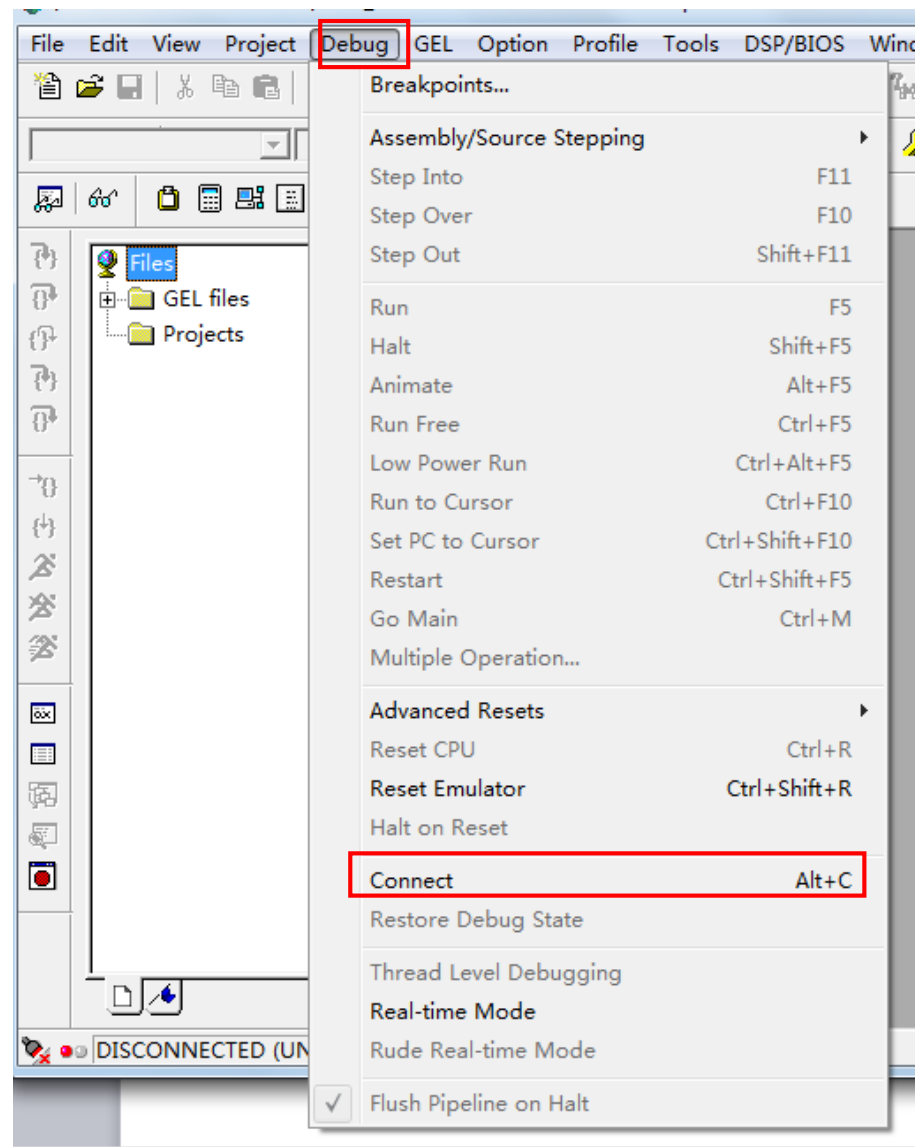
常见问题：

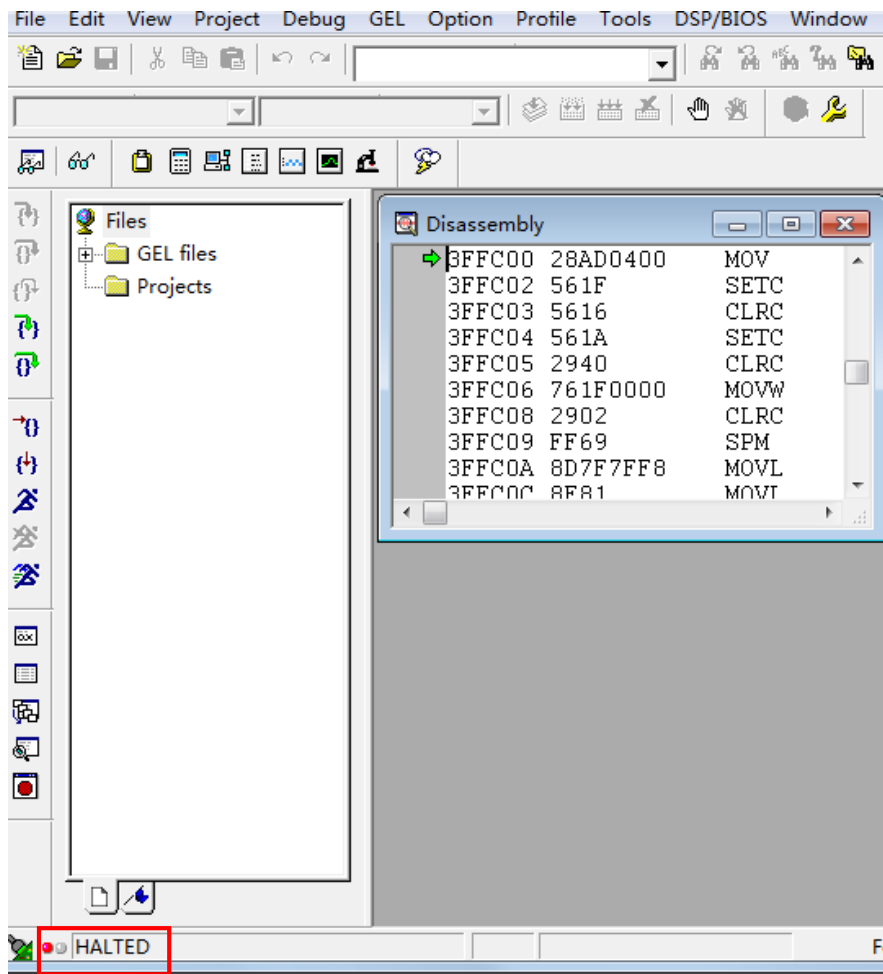
1. 当出现控制周期超过 1s 的提示时，应点击停止电机按钮，点击设置扫频频率按钮后，重新点击启动电机按钮。
2. 若此方法无效，则打开第一步最小化的 CCS 软件，依次点击：Debug->Reset CPU;Debug->Restart;Debug->Run 复位 DSP 程序。

第一步 烧写 dsp 程序

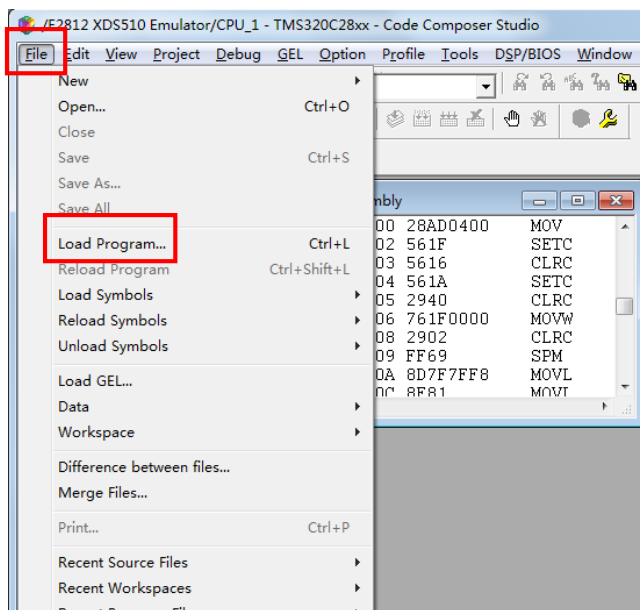


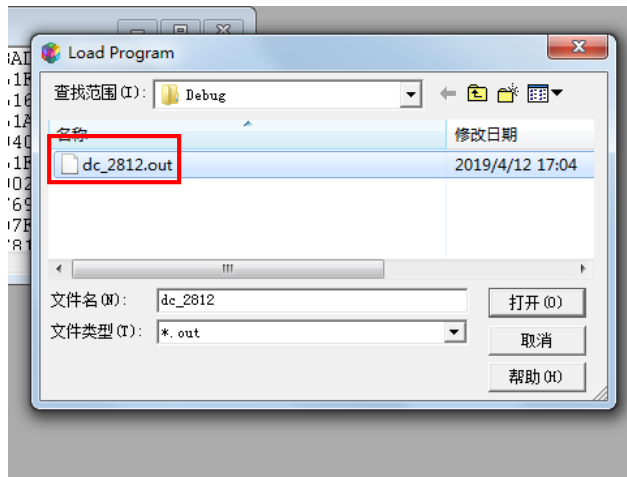
1. 打开 CCSv3.3 程序，点击 Debug->Connect 连接仿真器，连接成功后，CCS 左下角显示“HALTED”



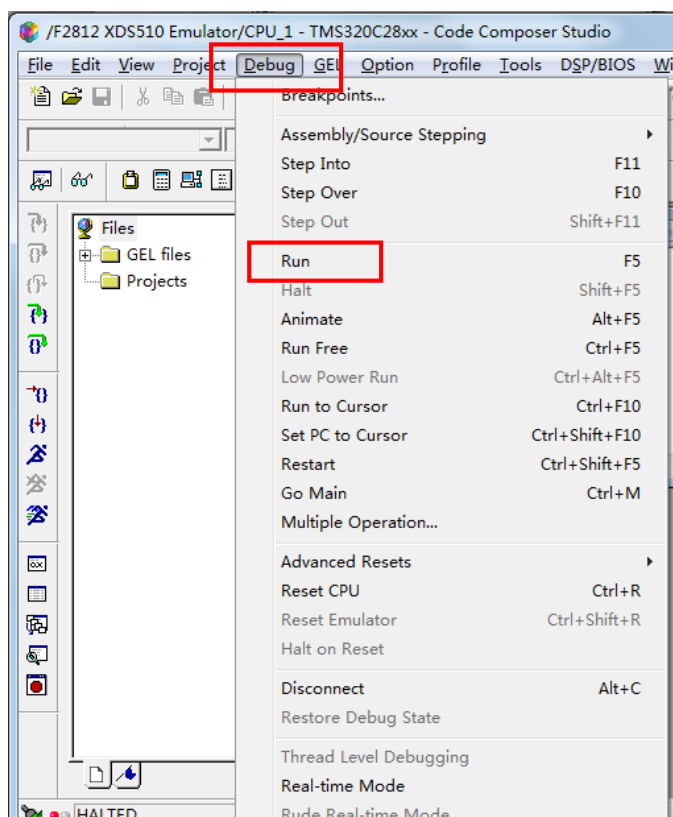


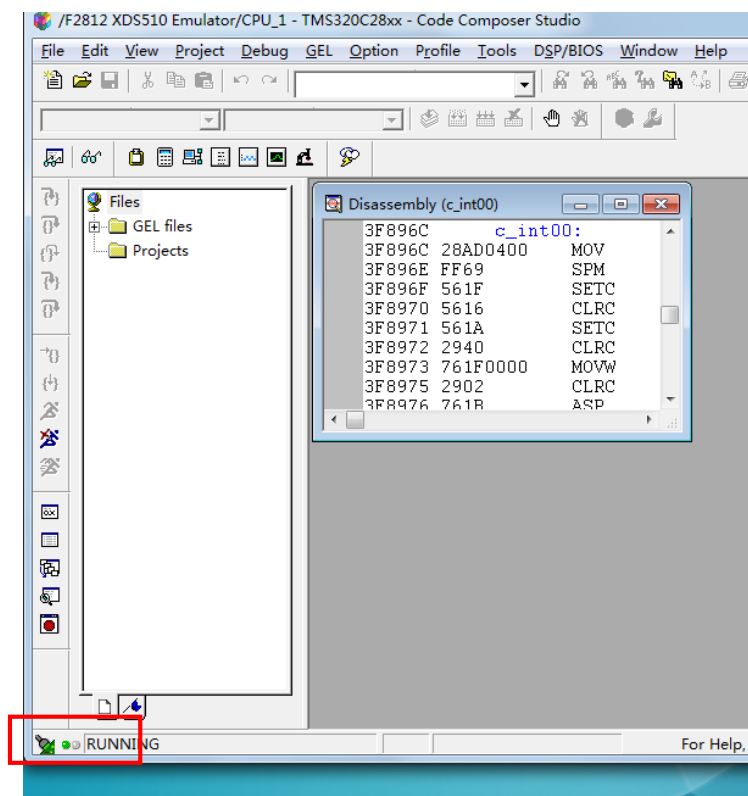
2. 点击 File->Load Program 选择 C:/DC_2812-test6:/Debug 文件夹下 dc2812.out 文件下载到 DSP 中。





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，开始进行频域控制器参数设计。

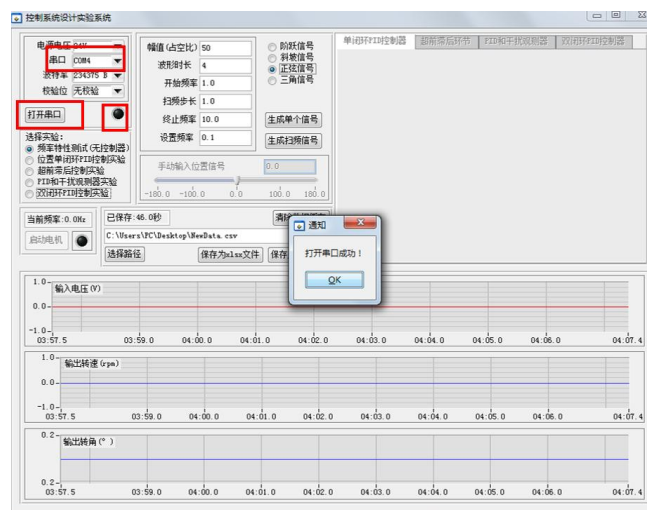
指标要求：

- 1) 在幅值为 20° ，时长 4s 频率为 5Hz 的正弦输入信号下进行实验，分析输出结果，要求输出与输入幅值比在 90%~110%之间，相位差不超过 10°
- 2) 在幅值为 60° ，波形时长 10s 的阶跃输入信号下进行实验，系统跟踪输入信号达到稳定，且上升时间不超过 1.5s，超调量不超过 15%，稳态误差不超过 2°

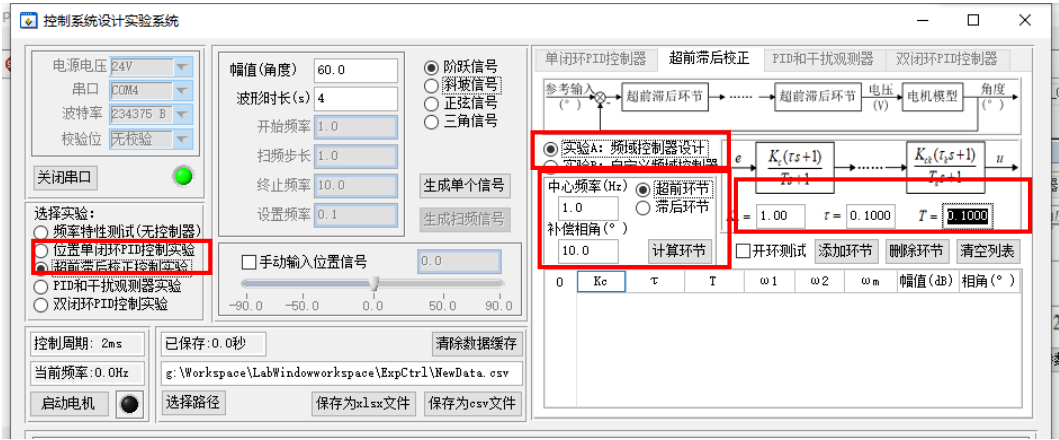
必做内容（实验 A），整定已有的频域控制器参数，按照此步骤进行：



1. 最小化 CCSv3.3 软件，打开实验软件。
2. 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。



3. 连接成功后，选择**实验三：超前滞后校正控制实验**，在右侧选择实验 A，参考图示的控制系统结构，控制器由多个超前滞后校正环节串联组成，环节形式如图所示。

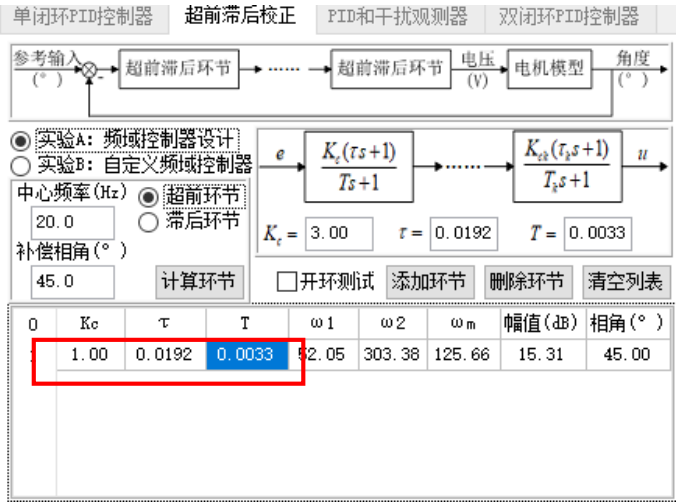


4. 实验时，使用**自动生成超前滞后环节功能**添加环节：

(1) 选择“超前环节”或“滞后环节”，输入期望环节的“中心频率”、“补偿相角”（超前环节）或“提高增益”，点击“计算环节”按钮自动计算出 τ 和 T （此功能不会改变 K_c ，保持 $K_c=1$ 不变，在第 5 步骤按照需求再调整 K_c ），点击“添加环节”按钮，则将环节加入到系统中；

(2) 也可以不使用“计算环节”的功能，直接在右侧输入 K_c ， τ 和 T ，点击“添加环节”按钮添加校正环节。

(3) 添加后的环节将显示在下面的列表中，点击表格中对应的 K_c ， τ ， T ，也可以直接修改环节参数。最多可以添加 10 个环节，若删除校正环节，鼠标点击列表中要删除的环节，点击“删除环节”按钮即可删除。



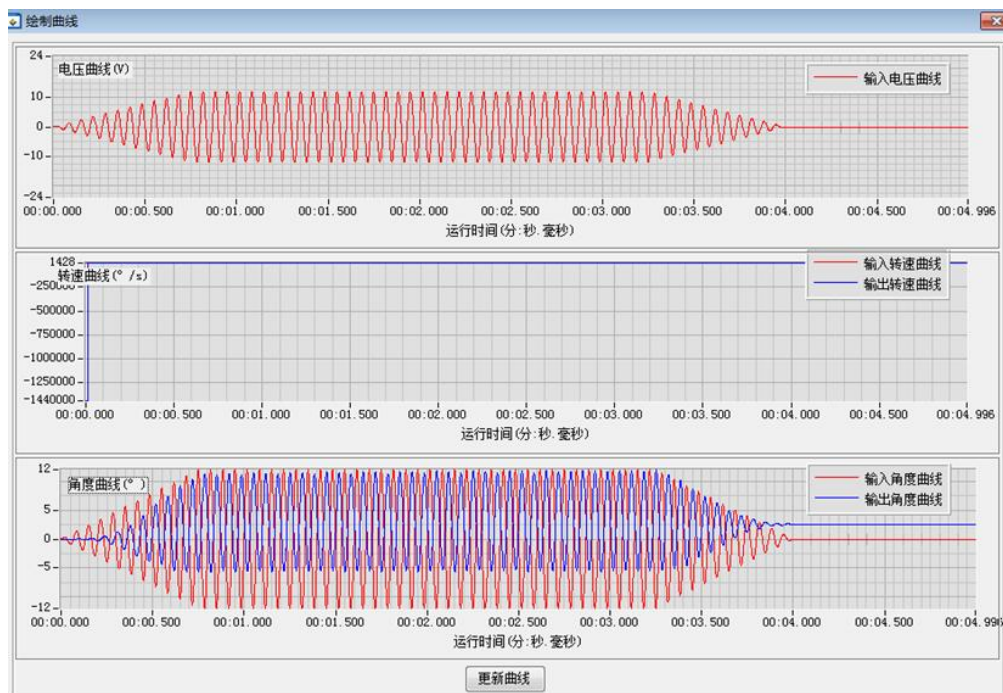
5.设计步骤如下：

(1) 设计开环剪切频率和相角裕度。

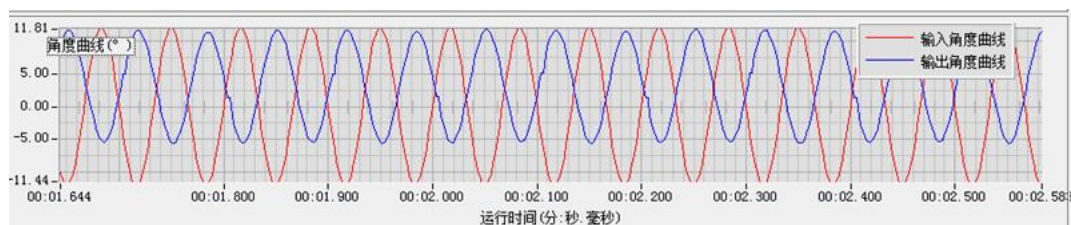
勾选“开环测试”，选取系统的开环剪切频率（一般选取为双十指标的 3~5 倍，实验中可选 15Hz 或其他数值），输入信号设置为“幅值”为 12，“设置频率”为 15Hz 的正弦信号，点击“生成单个信号”，点击“启动电机”，运行结束后，通过虚拟示波器测量输出角度曲线的幅值（输入角度幅值等于给定幅值，无需测量），计算幅值比，测量输出输入曲线的相位差，示例步骤如下：

1) 双击曲线显示区域，弹出“绘制曲线”界面，在“角度曲线”中，红色正弦曲线是输入，

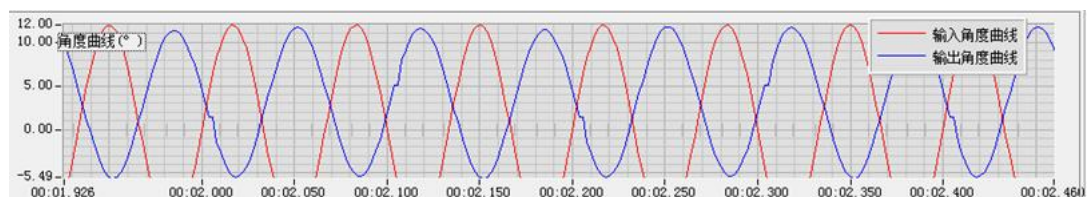
蓝色正弦曲线是输出。由于设备原因，蓝色正弦曲线可能关于横轴不对称，所以计算幅值比时，测量输出角度曲线的峰峰值，再除以输入角度曲线的峰峰值（即给定幅值的 2 倍）。



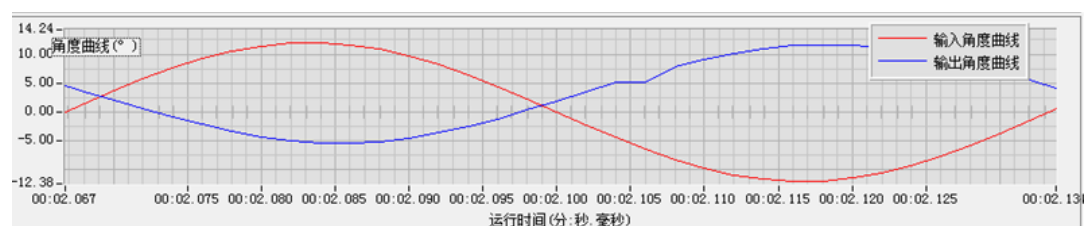
2) 按住 Ctrl 同时使用鼠标左键，在“角度曲线”选中一个矩形框的区域，可将矩形框选中区域进行放大，可看到输出角度和输入角度的幅值不相等，即幅值比不等于 1。（按住 Ctrl 同时单击鼠标右键可以缩小，点击更新曲线按钮可以回到缩放最小的状态；按住 Ctrl+Shift 同时按鼠标左键可以拖动平移。）



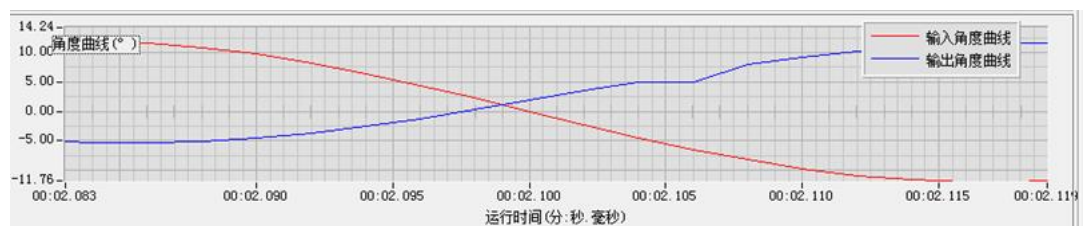
3) 在上图中再选中仅能够完整显示输出曲线峰峰值的矩形区域，通过纵坐标的数值，可得输出角度的峰峰值。



4) 在上图中再选中仅能够显示 1 个周期的输入曲线矩形区域，利用横坐标的数值，可得输入和输出角度的周期时间。



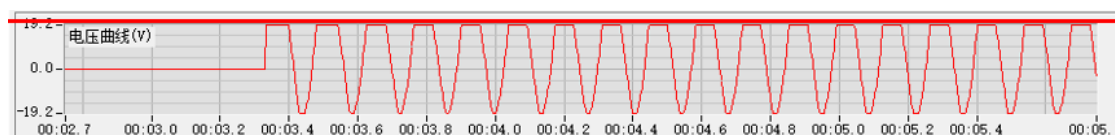
5) 在上图中找一对相邻的红色正弦波峰和蓝色正弦波峰，且红前蓝后，再选中仅能够显示两个波峰相对位置的矩形区域，利用横坐标的数值，可得输出角度落后输入角度的时间，再除以 4) 中测量的周期时间，再乘以 360 度取负，得到输出输入的相位差。



(说明：上述曲线仅为示例，与实验的实测曲线有差异；上述步骤也适用于加入校正后的测量)

根据所读取的未校正系统相位差和校正后系统的期望相角裕度（在 30-60 度之间取值均可，例如取 45 度），计算所需补偿的相角数值，然后添加多个小角度的超前校正环节来补偿相角，将其“中心频率”设置为要求设计的剪切频率（15Hz），再设置超前环节的“补偿相角”（每个环节补偿相角不超过 30 度），点击“计算环节”，可自动计算得到环节的时间常数（ τ ， T ），点击“添加环节”，再将输入“幅值”设置为 12，“设置频率”为 15Hz 的正弦信号，测量输出输入的相位差是否达到所设计的数值；

加入超前校正后，由于超前校正的幅频特性是正值，如果给定幅值仍为 12，则电机端的输入电压曲线的幅值将增大至饱和（如下图）：



故需要减小给定幅值的数值，使得电机端的电压不饱和。再根据输出输入曲线的幅值比，调整超前校正环节的 K_c （调整其中一个超前环节的 K_c 即可），令输出输入曲线的幅值比接近于 1。

通过不断地调整 K_c 和给定幅值，最终使得输出输入曲线的幅值比接近等于 1，同时满足电压曲线峰值等于 12V，相当于将开环系统的剪切频率设计为 15Hz。

(提示：也可利用未校正的输出角度幅值（峰峰值的一半），及超前环节（ $K_c=1$ 时）的等效放大倍数（可通过实验测量），以及 12v 的电压曲线峰值，计算出满足要求的 K_c 和给定幅值）

(2) 系统闭环（取消“开环测试”勾选），依次输入幅值为 20°，时长 4s 频率为 5Hz 的正弦信号和幅值为 60°，波形时长 10s 的阶跃信号，点击“生成单个信号”，点击“启动电机”，运行结束后，双击示波器可以查看缓存中数据绘制的曲线。

(3) 若电压曲线和角度曲线都较平稳无振荡，则测量响应曲线的实际指标是否满足：

1) 输入幅值为 20°，时长 4s 频率为 5Hz 的正弦信号，要求输出与输入幅值比在 90%~110% 之间，相位差不超过 10°。

2) 在 60° 阶跃信号输入下，波形时长 10s，要求系统跟踪输入信号达到稳定，且上升时间不超过 1.5s，超调量不超过 15%，稳态误差不超过 2°。

3) 若实测指标值满足 1) 和 2)，记录实测指标的数值，并截图保存的超前校正环节参数，截图正弦响应曲线和阶跃响应曲线，并保存曲线数据。

4) 若实测指标不满足给定指标，但与给定指标相差不多，则可在低频段添加滞后校正环节来提高低频增益。

方法为：在“中心频率”输入较低频率（自主选择），在“提高增益”输入期望提高的低频增益数值（自主选择，不宜太大），点击“计算环节”和“添加环节”，再根据“提高增益”的数值计算并修改滞后环节的 K_c ，以保持加入滞后校正后系统剪切频率不变，例如“提

高增益”数值为5，则根据 $20lgK_c=5$ ，可计算 K_c 。再分别输入 5Hz 的正弦和 60 度阶跃信号，测试是否满足给定指标。若仍不满足给定指标，可删除已添加的滞后校正环节，调整“提高增益”的数值，重新“计算环节”和“添加环节”，计算修改 K_c ，再闭环测试是否满足给定指标。（**需要注意，滞后环节的“提高增益”不能太大，否则会使响应曲线振荡。**）

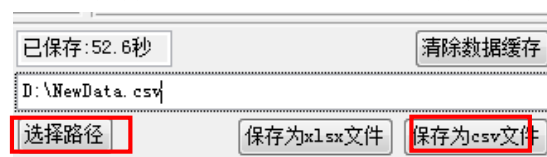
5) 若加入滞后校正环节，仍不满足给定指标，则可调整期望相角裕度，或降低设定的开环剪切频率（例 15Hz 改为 12Hz），或减小给定幅值 12（例 10 或者 9），重新进行开环设计，然后进行闭环测试。

（4）（接步骤（2）），在加入超前校正后，若电压曲线饱和振荡，可减小期望相角裕度，或降低设定的开环剪切频率（例 15Hz 改为 12Hz），或减小给定幅值 12（例 10 或者 9），重新进行开环设计，然后进行闭环测试。

（提示：若实验装置性能不佳则可适当降低指标，并最大限度提高系统性能使其接近指标。）

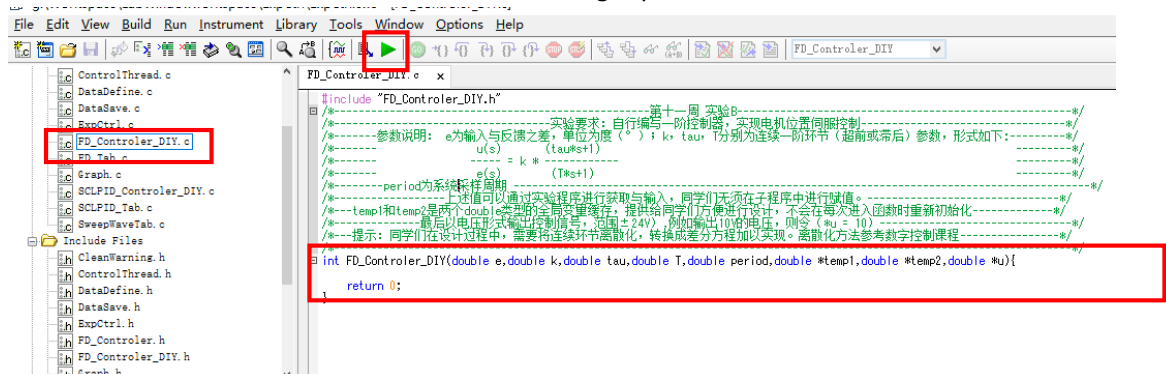
该步骤需要保存符合指标的校正环节参数截图和输入输出曲线截图

6. 保存符合给定指标的响应曲线数据。选择保存路径，输入保存文件名，保存为.csv 文件。



选做内容（实验 B），自定义频域控制器，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->FD_Controller_DIY.c，双击打开，使用将自己编写的代码添加到 FD_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 第 2 步，需要注意第 3 步中**应选择实验 B**，同样应在界面中输入 K_c ， τ ， T ，输入值和自定义函数形参中的 k ， τ ， T 一一对应。



4. 接实验 A 的第 3 步，其余步骤及指标要求与实验 A 相同。