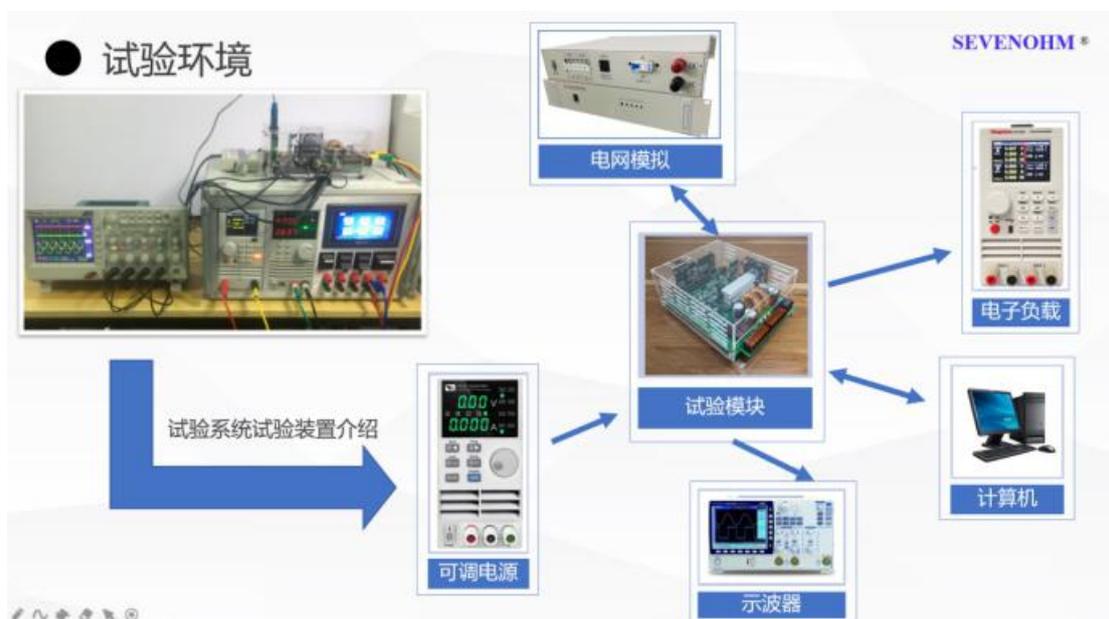


## 1. 概述

SO-1901AD 较为完整的试验系统如下图所示，包含直流可调电源，电子负载，监控的上位机，示波器，电网模拟装置和试验模块。其中最核心的为我司自主开发的试验模块，该模块包含了通过配置，可以实现对 Buck、Boost、Buck-Boost、半桥、全桥、单相逆变电路、全桥 PWM 整流、单相并网控制及其衍生拓扑的验证。有兴趣交流 PSIM 硬件在环试验技术的同学，可添加微信：sevenohm1。

针对 BUCK 波试验，该系统可完成开环试验、电压闭环试验、电流闭环试验、双闭环试验、CCM 模式、DCM 模式、输入电压突变、负载突变试验等。配带完整试验模型和操作说明。



## 2. 仿真原理图的搭建

### 2.1 仿真原理图

仿真原理图如下图所示 1 所示，其中，蓝色线框圈定的部分为主电路和控制电路，红色线框圈定的部分为仿真参数设置模块部分，黄色线框圈定的部分为仿真示波器（用于观察仿真过程中产生的波形），各部分模块和参数会在以下内容中逐步去介绍。

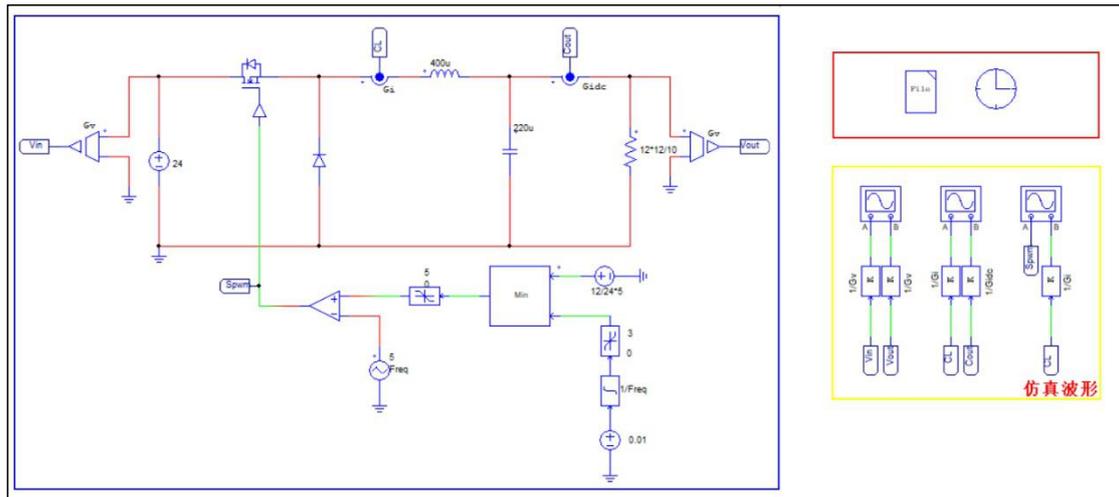


图 1 仿真原理图

## 1.2 主电路和控制电路

主电路中各个元件功能和参数如下图 2 所示，其中红色线框圈定的部分为软启动功能模块，黄色线框圈定的部分为给定值，给定值为 12V，通过比例变换将其变换为 0-5V 之间的数值，用于与比较器比较，产生方波控制开关导通、关断。

图 3 所示为控制电路部分拓扑图，其中黄色线框圈定的部分为三角波发生器 (Triangular)，其参数设置如图 4 所示。红色线框圈定的部分为积分电路，由直流电源 (DC)，积分模块 (Integrator) 和限幅模块 (Limiter) 组成，参数设置如图 5 所示。标有 Min 的方块为 Maximum/Minimum Block，用来比较多路输入的大小 (输入的信号通道数可以设置)，通过对模块的设置可以输出较大值或者输出较小值。绿色线框圈定的部分为运算放大器模块 (Op. Amp.) 用作产生方波的比较器，其参数设置如图 6 所示。

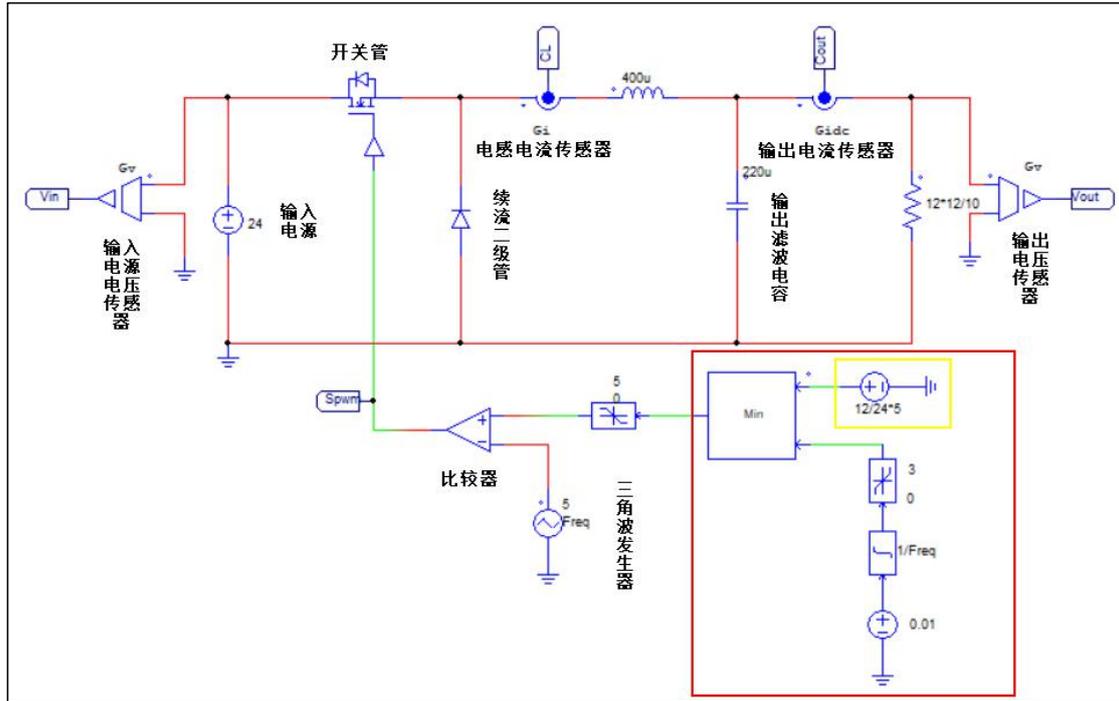


图 2 主电路和控制电路拓扑图

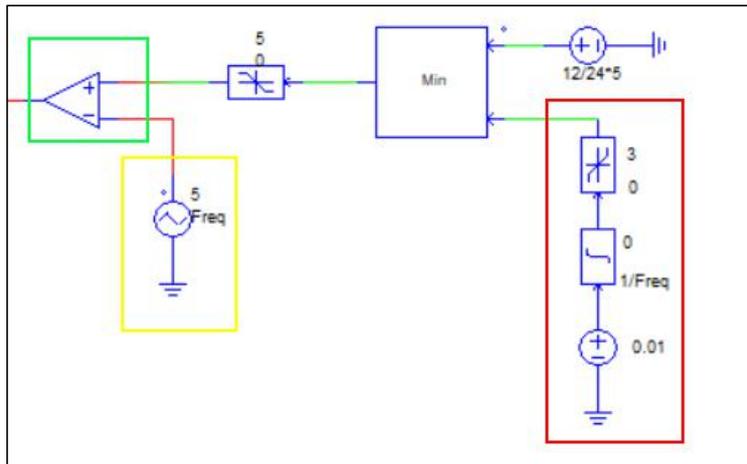


图 3 控制电路拓扑图

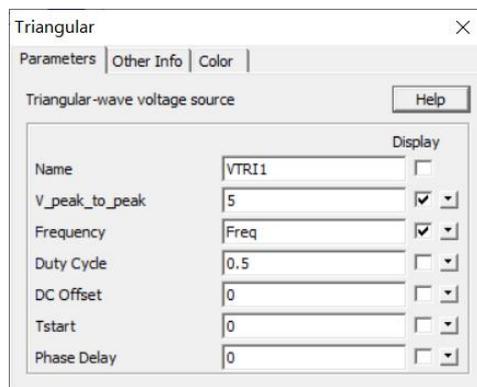


图 4 Triangular 模块参数设置

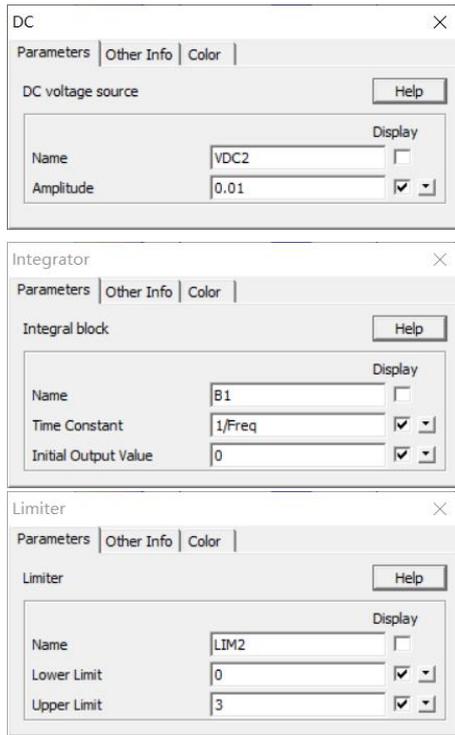


图 5 积分模块参数设置

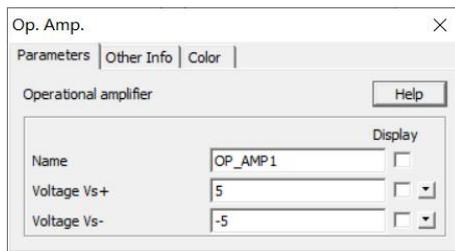


图 6 运算放大器模块

### 1.3 仿真参数设置部分

仿真参数和主电路中的变量参数的设置在仿真参数设置部分完成，由 Parameter file 模块和 Simulation Control 模块，其中 Parameter File 模块用来设置放置模型中的一些参数的设置，Simulation Control 模块用来设置仿真步长、仿真时间等一些仿真参数。具体参数设置如图 7、图 8 所示。



图 7 Parameter file 模块参数设置

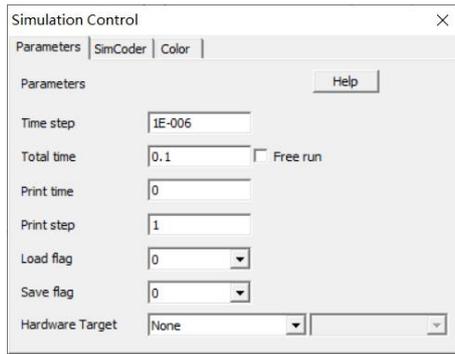


图 8 Simulation Control 模块参数设置

#### 1.4 仿真波形图

根据上面描述完成软件仿真模型的搭建, 并进行仿真得到关键点的仿真波形如下, 仿真获得的波形均为真实值波形。

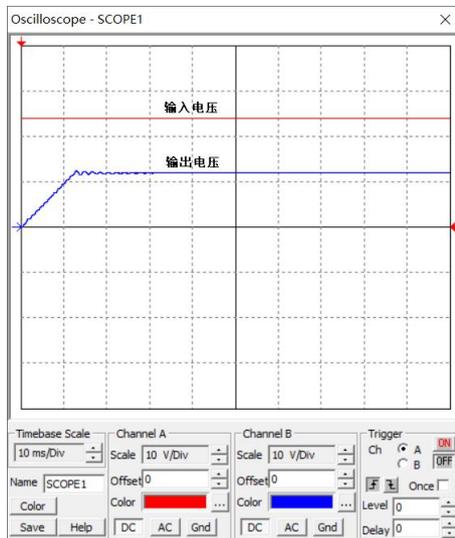


图 9 输入、输出电压波形

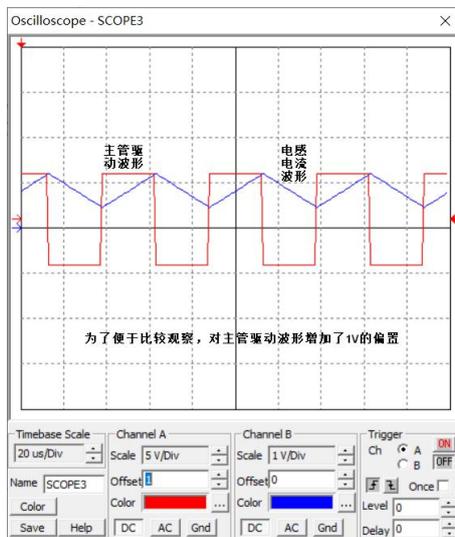


图 10 主管驱动波形和电感电流波形

## 2. 匹配目标硬件的仿真模型搭建

### 2.1 仿真主电路的组成

主电路拓扑图与仿真原理图结构一样，只是根据硬件电路进行了部分调整，其中续流二极管由 MOS 管 T2 的反并联二极管来替代，电路工作过程中 MOS 管 T2 始终处于关闭状态，如图 11 所示。

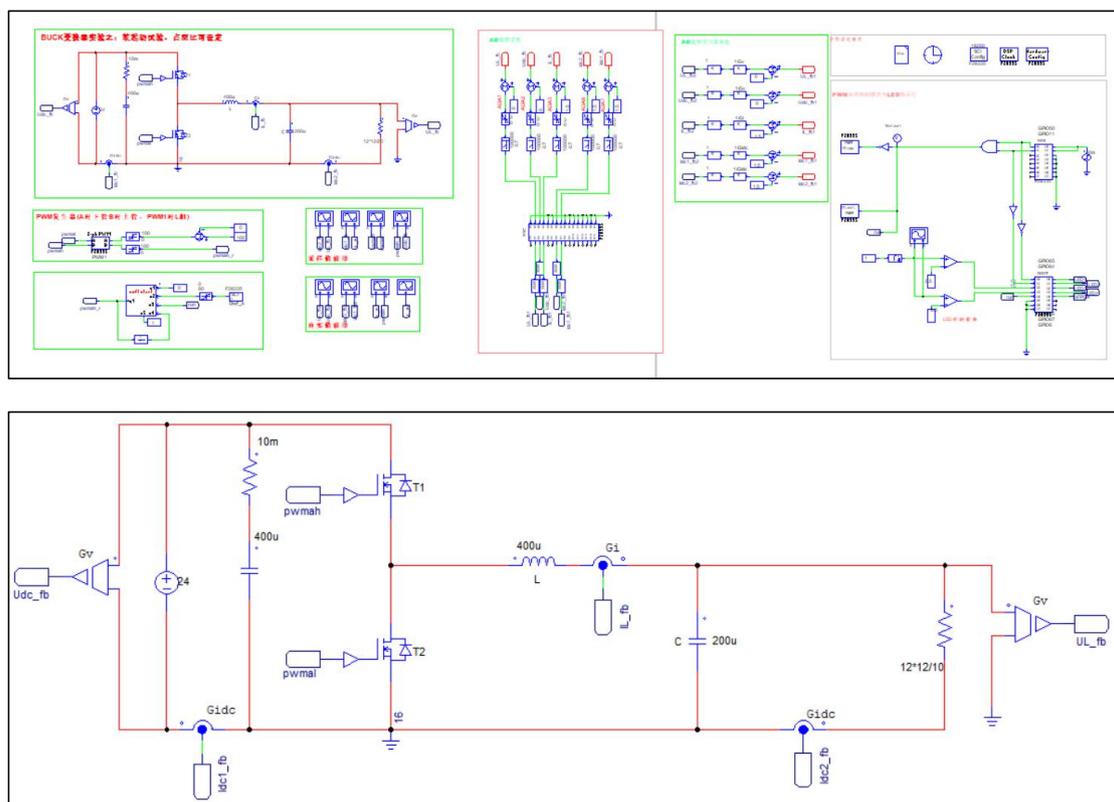


图 11 主电路拓扑图

### 2.2 方波发生电路

方波发生电路如下图 12 所示，其中 pwmal 驱动 MOS 管 T2 并使其时钟处于关闭状态，pwmah 驱动 MOS 管 T1 使得电路工作在 Buck 电路模式下。方波发生电路由 TI DSPF28335 集成的 PWM 模块产生，其为 PSIM 内部集成的匹配 F28335 的模块，如图 13 所示，其参数设置如图 14 所示。

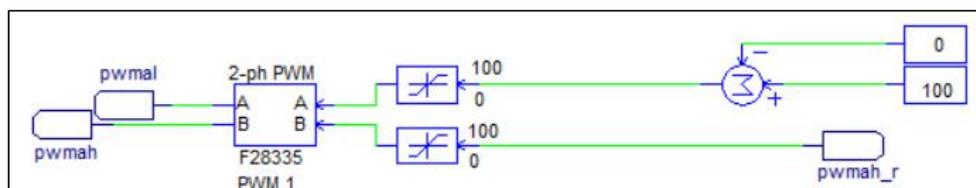


图 12 方波发生电路

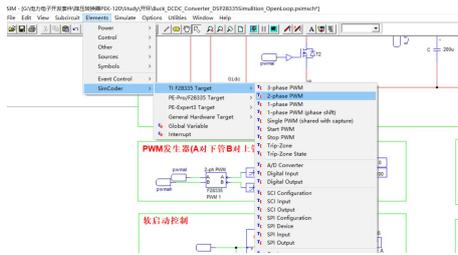


图 13 PWM 模块的选择

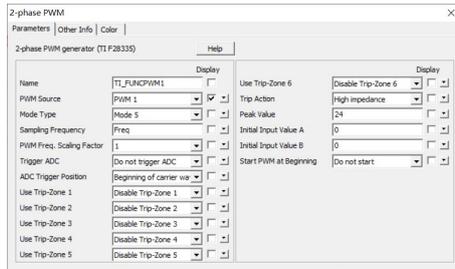


图 14 2-ph PWM 模块的设置

### 2.3 软启动模块的设置

软启动模块由 Simplified C Block 模块实现，通过简单的 C 代码实现软启动控制，C 代码如图 16 所示。给定参数可以通过 SCI Input 模块通过串口给定，该模块可以设置初始值，在 SCI 没有设置参数时默认使用初始值，初始值通过变量在 Parameter file 模块里设置，SCI Input 模块的参数设置如图 17 所示。

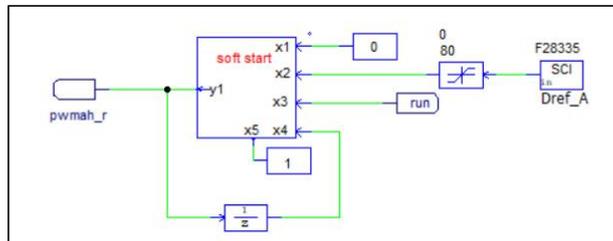


图 15 软启动模块

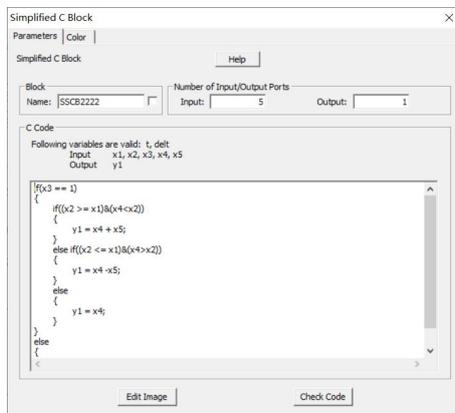


图 16 软启动 C 代码

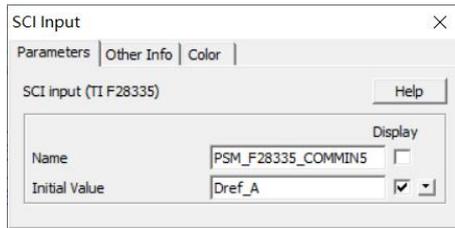


图 17 SCI Input 模块的设置

## 2.4 数据采集和转换模块（ADC 转换模块）

主电路的运行参数，通过 F28335 内部集成的 ADC 转换器完成采集，如图 18 中黄色线框圈定的模块，其中 A0-A7、B0-B7 为模拟输入口（不使用时应接地），D0-D15 位数字输出口（不使用时可以悬空），与模拟输入口一一对应，参数设置如图 19 所示。红色圈定的模块为 2 阶低通滤波器，用于对模拟量进行滤波器，设置方式如图 20 所示。

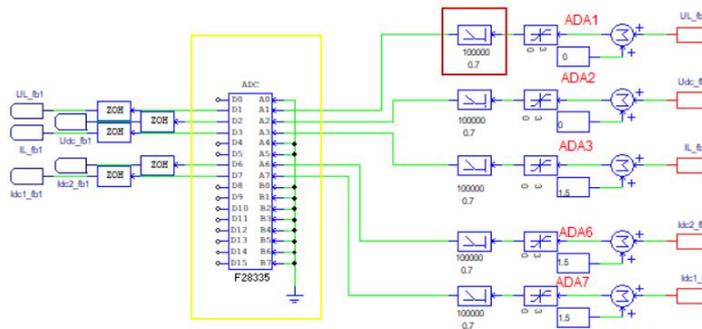


图 18 数据采集模块

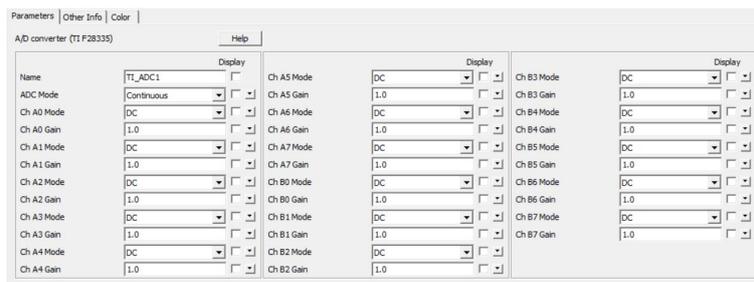


图 19 ADC 转换模块设置

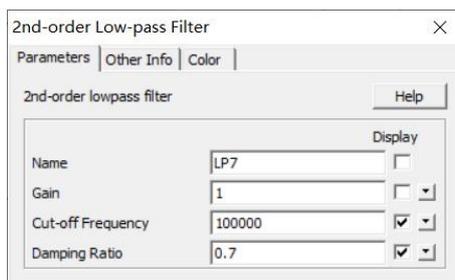


图 20 2 阶低通滤波器设置

## 2.5 数据转换模块

为满足 ADC 数据采集模块的电压参数范围，电压、电流等参数在输入 ADC 转换模块前均需经过变换，因此要想得到电压、电流的真实值需要对采集到的数据进行反向变换，具体变换方式如图 21 所示。其中，红色线框圈定的模块为直流偏置常数，因 F28335 的 ADC 转换模块只能采集正电压、电流，因此采集时需进行偏置设置。

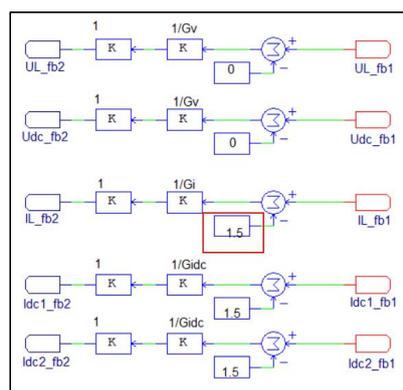


图 21 数据转换模块

## 2.6 全局参数设置部分

为确保仿真模型能正常运行，需对仿真环境和 F28335 模块的全局参数进行设置，需要设置的模块如下，图 22 为仿真变量及参数设置模块，图 23 为仿真环境参数设置模块，图 24 为 SCI 模块参数设置模块，主要为设置 SCI 通信的波特率和引脚分配(需与硬件匹配)。图 25 为 F28335 时钟设置模块，外部时钟为 30MHz，F28335 内部倍频为 150MHz。图 26 为 F28335 全局设置模块，用于设置 GPIO 的工作模式，

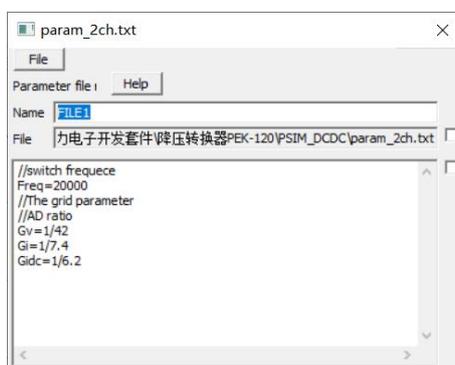


图 22 Parameter file 模块参数设置

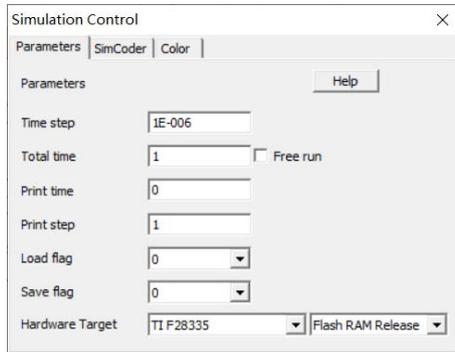


图 23 Simulation Control

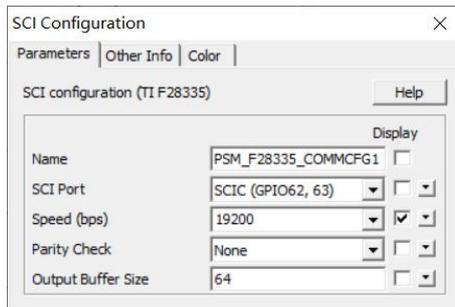


图 24 SCI 模块参数设置模块

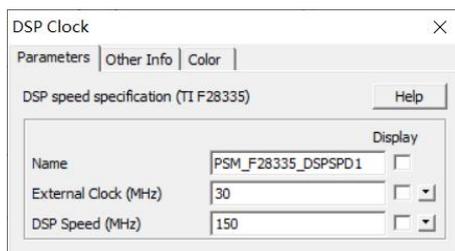


图 25 F28335 时钟设置



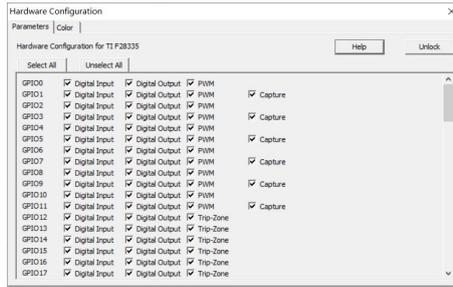


图 26 F28335 全局参数设置。

## 2.7 仿真波形

根据上述描述，完成匹配目标硬件的软件模型的搭建，并进行仿真，得到关键仿真模型如下。

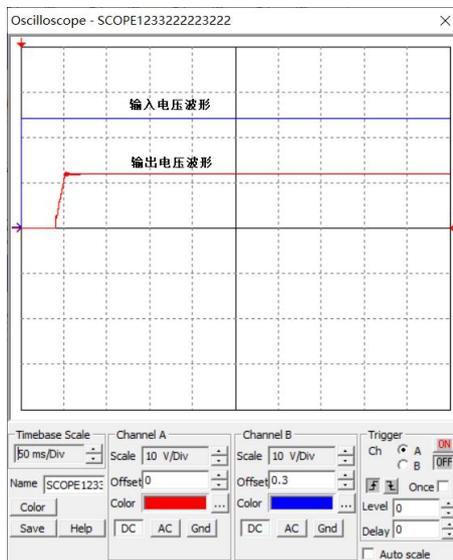


图 27 输入、输出电压波形

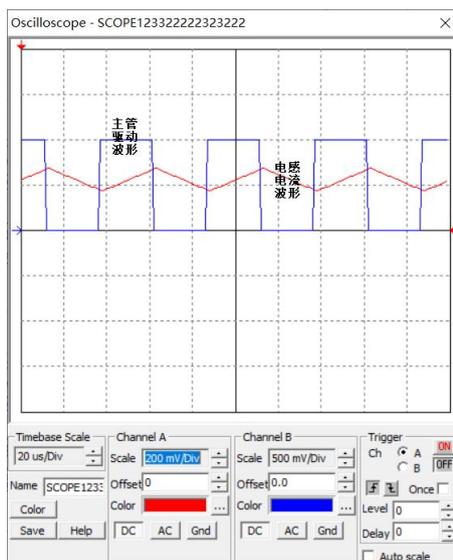


图 28 主管驱动波形和电感电流波形

### 3 硬件验证

#### 3.1 生成匹配 F28335 芯片的 C 程序

当仿真电路在 PSIM 中仿真通过后，就可以使用 **Simulate >> Generate Code** 生成 C 代码，点击 **Generate Code** 选项后，将在仿真文件的目录下生成一个同名的文件夹，这个文件夹里纪委生成的 C 代码工程文件，这个工程文件可以通过 TI 公司的 Code Composer Studio 6.0（缩写为 CCS 6.0）编译工具打开。

#### 3.2 C 代码的编译

PSIM 生成的 C 代码工程的具体导入步骤如下图所示，使用 TI 公司开发的 Code Composer Studio 6.0 编译工具打开，打开以后即可完成编译功能，以下示例为编译为下载至 Flash 中的 C 代码，而非 RAM。

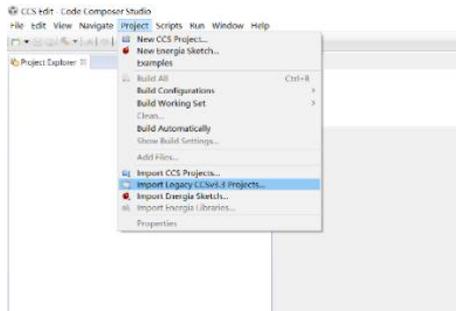


图 29 选择入 3.3 版本的工程

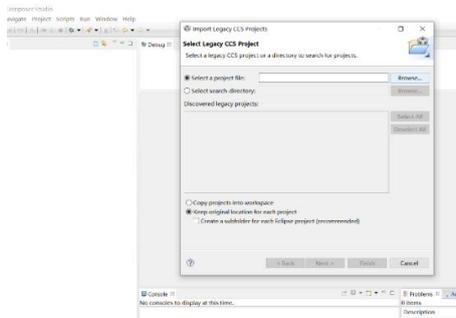


图 30 选择工程所在目录

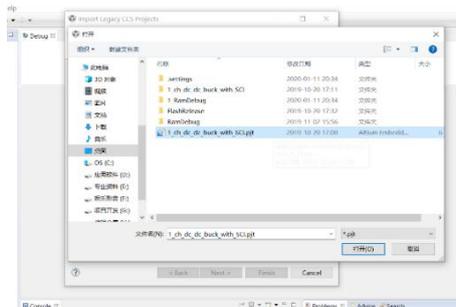


图 31 打开 Psim 生成的工程

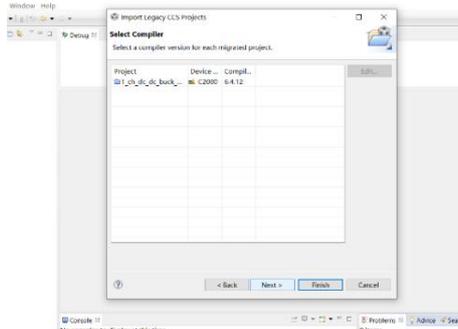


图 32 完成工程的导入

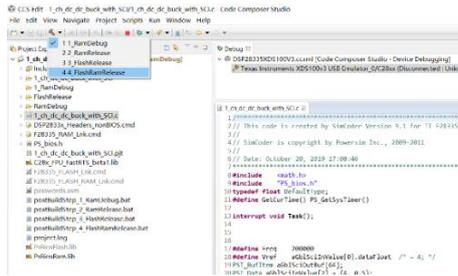


图 33 完成工程的编译

### 3.3 C 代码的下载

工程导入至 Code Composer Studio 6.0 编译工具并完成编译后，下一步即为完成代码的下载，代码的下载是在 CCS 6.0 的 Debug 环境下完成的，所以编译完成后需切换至 CCS Debug 环境下。此外，在进行下载之前需通过 DSP 仿真器将计算机与 F28335 的 JTAG 接口完成连接，连接完成以后即可通过以下步骤完成下载，下载完成后重新为 F28335 目标板进行上电后即可运行程序。



图 34 选择 .ccxml 文件右键单击

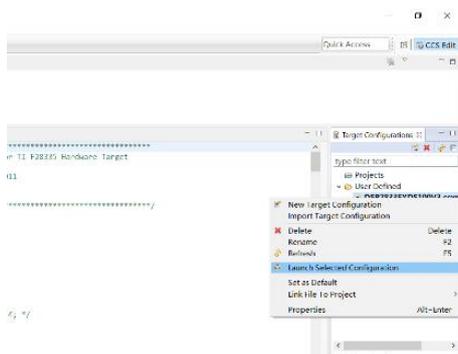


图 35 打开 Debug 模式

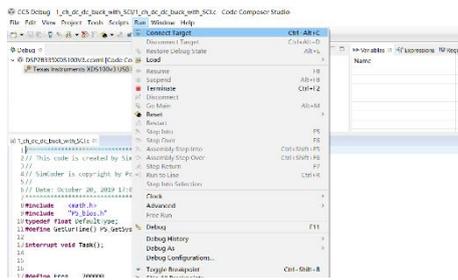


图 36 链接 F28335 目标板子

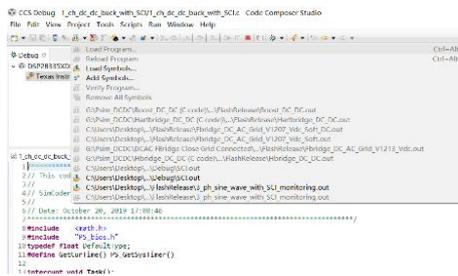


图 37 编译文件的下载

#### 4. 硬件验证

完成代码下载后，就可以启动硬件进行验证，通过示波器检测关键部位的波形，进行验证，如下图所示。