

第六章. DC-DC 升压模块

DC-DC Boost 实验模块介绍

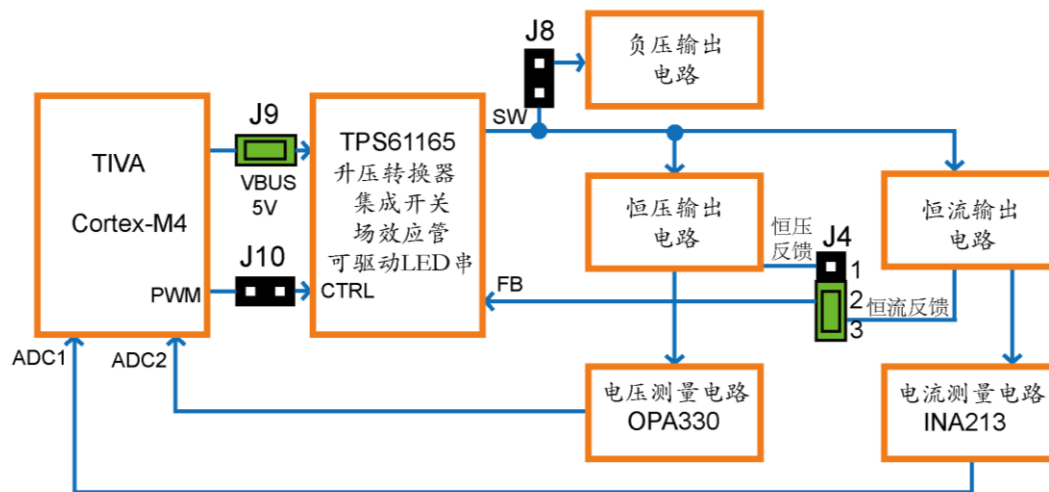
实验目的:

- 1、理解并掌握boost电源拓扑。
- 2、理解并掌握输出电压的调节方式。
- 3、理解带反馈和无反馈电路的差异。
- 4、LED恒流驱动的原理
- 5、理解并掌握各类电源参数测量方法：效率，纹波，软启动时间，电感电压与电流的变化。
- 6、理解电源设计的PCB布线的基本原则。

实验简介:

该实验以TPS61165为中心，通过跳线的变化连接，实现LED恒流驱动、恒压源输出及负压输出。通过TIVA产生PWM控制TPS61165的CTRL端，实现恒流源和恒压源输出大小的控制。

电流电压检测部分：电压测量电路，以OPA330为中心，起到电压跟随的作用，使TIVA能更准确地采到实际电压值。电流检测电路，以INA213为中心，实现高测电流检测。



原理框图

DC-DC Boost 模块布局及电路板跳线物理位置展示

■ PCB布局

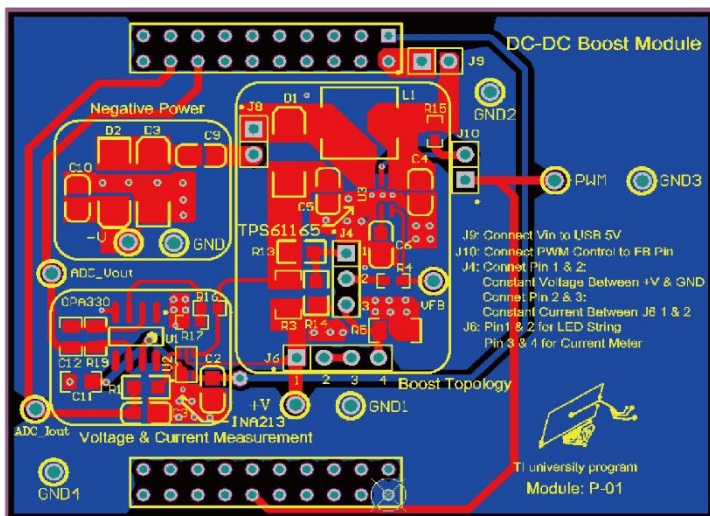


图6-1 PCB布局图

■ 实物图

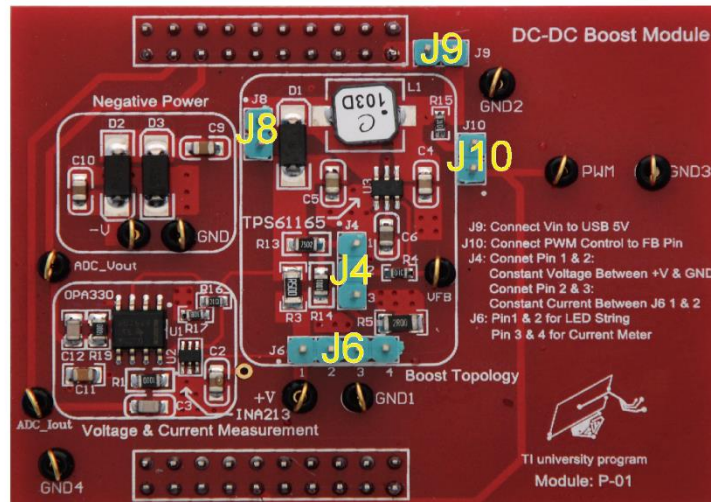


图6-2 实物图

设计考虑

- 1、通过跳线选择恒压输出和恒流输出，帮助理解恒压和恒流输出在电路上的异同，和理解反馈电路中的放大器。
- 2、通过高侧电流检测，把放大器和电源结合在一起；
- 3、通过控制CTRL端口，实现输出电压/电流控制；
- 4、了解无反馈负压输出的原理和应用

恒流源驱动LED串

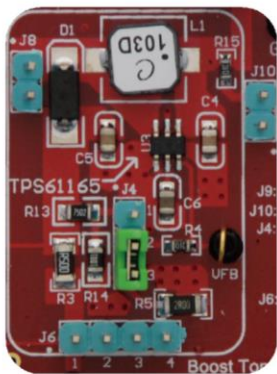
开关电源是用半导体器件作为开关，将一种形式的电源转换成另一种形式的电源。其特点是频率高、功耗低、工作效率高、体积小、输入范围宽，通过闭环系统调节，使输出电压保持稳定。

利用TPS61165搭建的电路是boost型开关电源电路。开关电源芯片TPS61165内部有一个MOSFET开关器件，它的开关频率达到1.2MHz。在MOSFET关断时，电源和电感L1给电容C5充电；当MOSFET导通时，相当于将L1的一端接地，L1释放能量。和boost型电路工作原理一样，通过电感L1和电容C5充放电，实现电压的转换。同时，该电路在FB端形成闭环通路，可以实现电压的稳定输出。

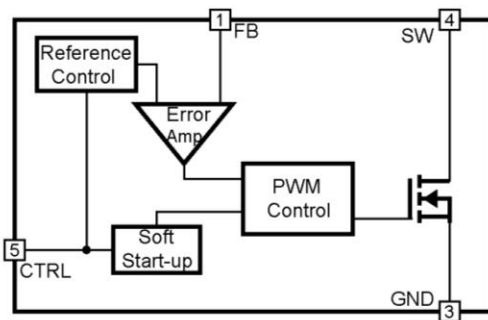
电压调节方式：

在本实验中通过PWM控制CTRL起到电压调节。在芯片的CTRL端直接送入一定占空比的PWM波形，改变芯片内部误差放大器的输入电压值，从而改变电源电压的大小。这种控制的方法简单容易实现，改变占空比即可调节电压的大小。

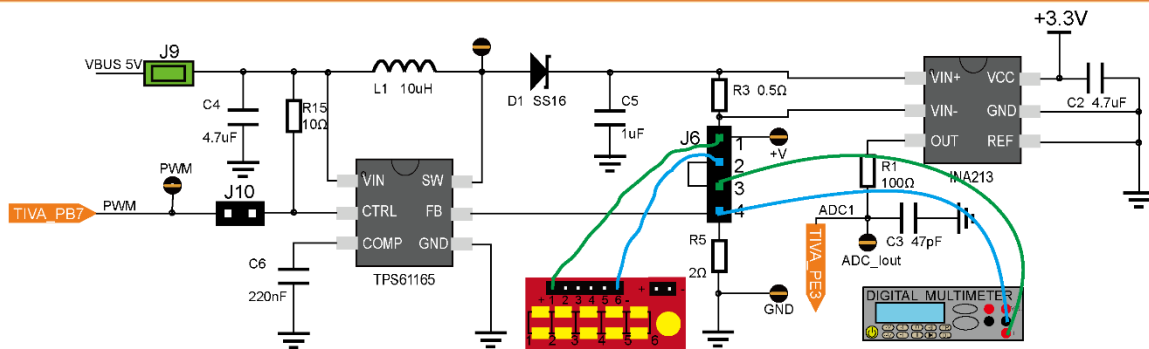
电流检测电路：此电路中采用高测电流测量。INA213正好是共模高，失调电压小，温度漂移特性好的运算放大器。



电路实物图



TPS61165内部原理图



恒流测试实验

- 1、理解原理图，编写Launchpad代码（参考代码见网上资源）。
- 2、在母板上连接TIVA、LCD模块、DC-DC Boost(升压)模块，准备实验。
- 3、如图①所示，短接J9及J4的2,3。完成恒流测试的硬件配置。
- 4、如图②所示，连接负载及电流表，注意负载数不少于2对。
- 5、如图②所示，进行仪表配置。测J8观测开关节点电压波形，测+V，GND1观测输出电压的纹波，测ADC_Iout观测电流测量电路最后转化后的电压。
- 6、给TIVA上电，可以观察到LED点亮，在LCD模块及电流表上可以看到电流值大小。
- 7、断电后，改变负载，即改变串入的灯数。观察液晶和电流表上显示的电流值。了解恒流情况。

注意

- 连接仪表及跳线时，断开电源。
- 如果没有电流表，可以如图1所示，将接口进行短接即可进行实验。



恒流测试主要步骤



程序通过 PB7 口产生 PWM 波控制 tps61165 工作，完成 LED 串点亮以及电流控制，可通过 LCD 开发板上的滚轮调节 PWM 波的占空比进而实现电流的调节；通过 PE2 的 ADC 功能读取电压测量电路中的 OPA330 的输出电压，并根据电路原理图计算出测量点的电压值，显示在 LCD 上；通过 PE3 的 ADC 功能读取电流测量电路中的 INA213 的输出，并根据电路原理图以及 INA213 的放大倍数（50 倍）计算得出测量点的电流值，显示在 LCD 上。

软件流程图及关键代码分析

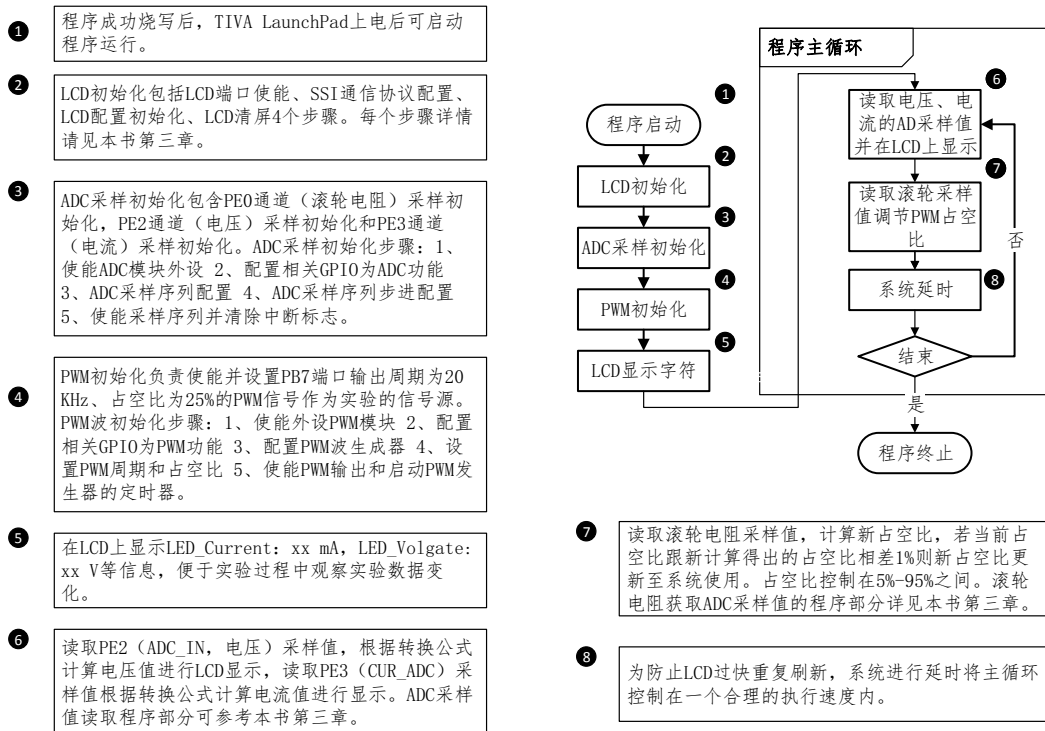


图 xx 程序流程图

此次实验程序中需要涉及 LCD 功能模块, ADC 功能模块, PWM 功能模块。其中 LCD 功能模块和 ADC 功能模块的实现可参考本书第三章内容。

PWM 功能模块实现

使用 PWM 波首先需要初始化相应功能模块, 初始化过程如程序流程图中所述, PWM 设置中较为关键的是周期的设置, 周期设置由 ROM_PWMGenPeriodSet 或者 PWMGenPeriodSet 设置完成, ROM 版本和非 ROM 版本的函数实现功能相同且参数也相同, 函数原型为:

```
void PWMGenPeriodSet(uint32_t ui32Base, uint32_t ui32Gen,  
                     uint32_t ui32Period);
```

其中 ui32Period 需要计算得到, 该值表示 PWM 发生器输出的周期, 使用时钟节拍来测量, 可通过如下方式计算:

$$period = \frac{SysPWM_Fre}{OutputPWM_Fre}$$

SysPWM_Fre 为当前系统 PWM 时钟频率, 该时钟频率通过函数 SysCtlPWMClockSet() 设置。其函数原型为:

```
void SysCtlPWMClockSet(uint32_t ui32Config);
```

ui32Config 是 PWM 时钟的配置, 它必须是下面的其中一个值: SYSCTL_PWMDIV_1、SYSCTL_PWMDIV_2、SYSCTL_PWMDIV_4、SYSCTL_PWMDIV_6、SYSCTL_PWMDIV_8、SYSCTL_PWMDIV_16、SYSCTL_PWMDIV_32、SYSCTL_PWMDIV_64。

这个函数提供给 PWM 模块的时钟频率作为一个处理器时钟的系数来设置, PWM 模块使用这个时钟来产生 PWM 信号, 它的速率形成所有 PWM 信号的基础。处理器时钟有函数 SysCtlClockSet() 设置, 故 PWM 的时钟由 SysCtlClockSet() 配置的系统时钟速率决定。例如: 系统时钟设置为 12.5MHz, PWM 时钟设置为 SYS_PWMDIV_1, 而 PWM 输出信号频率为 20KHz, 可计算得出 PWM 输出信号的时钟节拍值为:

$$period = \frac{SysPWM_Fre}{OutputPWM_Fre} = \frac{12.5 \times 10^6 / 1}{20 \times 10^3} = \frac{12500}{20} = 625$$

程序代码如下:

```
* @brief  初始化PWM
* @param  none
* @return none
*
*      _____
*      |
*      M4   PB7 | -->M0PWM1
*      _____|
*
*
* PERIOD_TIME计算: 系统时钟使用12.5MHz (主函数中设置), 需要产生20KHz的
* PWM波, PWM周期就是 (1/20000), 对于12.5MHz的时钟来说就是12500000*1/20000
* 个时钟节拍, 也就是约去1000后12500/20的值。
*****/
#define PERIOD_TIME      12500 / 20                //20KHz ,
void Init_PWM(void)
{ 的时钟, 1分频
    ROM_SysCtlPWMClockSet (SYSCTL_PWMDIV_1);

    //使能PWM0外设模块
    ROM_SysCtlPeripheralEnable (SYSCTL_PERIPH_PWM0);
    //使能PB端口
    ROM_SysCtlPeripheralEnable (SYSCTL_PERIPH_GPIOB);
    //配置GPIO复用功能为PWM模式
    ROM_GPIOPinConfigure (GPIO_PB7_M0PWM1);
```



```
//配置PB7供PWM外设使用
ROM_GPIOPinTypePWM(GPIO_PORTB_BASE, GPIO_PIN_7);
//配置PWM发生器, PWM0模块的, PWM_GEN_0 (发生器0) 向下计数, 立即更新参数
ROM_PWMGenConfigure(PWM0_BASE, PWM_GEN_0,
    PWM_GEN_MODE_UP_DOWN | PWM_GEN_MODE_NO_SYNC);
//PWM周期设置, 20KHz
ROM_PWMGenPeriodSet(PWM0_BASE, PWM_GEN_0, PERIOD_TIME);
//设置占空比为25%的PWM1的脉宽
ROM_PWMPulseWidthSet(PWM0_BASE, PWM_OUT_1, PERIOD_TIME / 4);

//使能输出
ROM_PWMOutputState(PWM0_BASE, PWM_OUT_1_BIT, true);
//启动发生器0的定时器
ROM_PWMGenEnable(PWM0_BASE, PWM_GEN_0);
//使能发生器模块计数器同步
ROM_PWMSyncTimeBase(PWM0_BASE, PWM_GEN_0);
}
```

程序中通过 LCD 开发板上的滚轮电阻调节 PWM 波的占空比, 而滚轮电阻数值是通过 Tiva M4 上的 ADC 模块采样得到, 得到滚轮当前值后就可以计算出当前 PWM 波的占空比。其计算公式如下 (占空比控制在 5%~95%):

$$Cur_Duty = \frac{ADCWheel_Value}{ADCM_{ax}} \times 90 + 5$$

式中 $ADCWheel_Value$ 为当前滚轮电阻的采样值, $ADCM_{ax}$ 为滚轮电阻采用的 AD 模块中的最大值, Tiva M4 中的 AD 为 12-bit, 故该值为 4096, $(ADCWheel_Value / ADCM_{ax})$ 的值为 0~1 之间, 故 $Cur_Duty \in [5, 95]$ 。

根据计算公式可以得出如下程序:

```
//根据滚轮采样值计算占空比
uint32_t cur_Duty = 5 + (90 * pui32ADCWheel_Value) / ADCMAX;
uint32_t period = cur_Duty * PERIOD_TIME / 100;

//改变PWM波的占空比
ROM_PWMGenPeriodSet(PWM0_BASE, PWM_GEN_0, PERIOD_TIME);
ROM_PWMPulseWidthSet(PWM0_BASE, PWM_OUT_1, period);
```

PERIOD_TIME 也就是通过#define 宏定义的值, 该值的表示的是 PWM 波的周期, 计算得出的占空比乘以该值即表示这段时间内保持高电平输出, 余下时间保持低电平输出。该控制功能由 TivaWare 库中的函数 ROM_PWMGenPeriodSet 和 ROM_PWMPulseWidthSet 配合完成。

实验的程序设计中需要在 LCD 上显示当前电流的电流值和电压值, 电流值和电压值都是采用 ADC 采样获得, ADC 采样配置以及获取采样值跟本书第三章中的滚轮控制部分相似, 故该部分可参考第三章完成。获取 ADC 采样值后需要根据实际电路计算得出实际值。

a. 电流

电流检测通过 Tiva M4 的 PE3 口的 ADC 功能采样电流测量电路中 INA213 的输出值。LCD 显示的是 INA213 输入端的电流值 (电路原理图中的 +IN、-IN 端, 即通过 R_3 电阻的电流值。INA213 本身具有 50 倍的增益。电流计算公式如下:

$$Current = \frac{CUR_ADC \times ADCRef}{ADCMAX \times 50 \times R_3}$$

根据原理图可知 $ADCRef = 3.3V$, $R_3 = 0.5\Omega$, $ADCMAX = 2^{12} = 4096$ 。

$$Current = \frac{CUR_ADC \times 3.3}{4.96 \times 50 \times 0.5} \times 1000 = \frac{CUR_ADC \times 3.3 \times 40}{4096} mA$$

在程序实现中将 *Current* 扩大 1000 倍，以方便 LCD 显示模块使用。程序代码如下

```
unsigned long CUR_ADC_Sample = (pui32CUR_ADC_Value *  
                                3300 * 40) / ADCMAX;
```

b. 电压

电压检测通过 Tiva M4 的 PE2 口的 ADC 功能采样电压测量电路中 OPA330 的输出值。而在 LCD 上显示的却是 R_{16} 和 R_{17} 之间的电压，OPA330 的输入端为 TO_BUF（可见原理图），根据分压可以计算出电压值。计算公式如下：

$$Volt = \frac{To_Buf}{ADCM_{ax}} \times ADCRef \times \frac{R_{16} + R_{17}}{R_{17}}$$

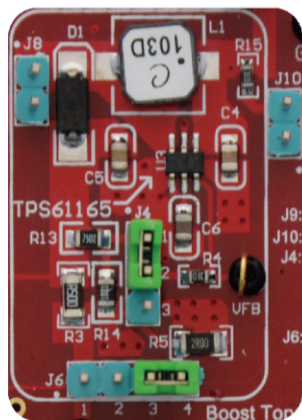
根据原理图可知 $ADCRef = 3.3V$, $ADCM_{ax} = 2^{12} = 4096$, $R_{16} = 10k$, $R_{17} = 2k$ 。

$$Volt = \frac{To_Buf \times 3.3 \times 6}{4096} \times 1000mV$$

电压值计算成 mV 方便 LCD 显示模块使用，程序代码如下

```
unsigned long ADC_IN_Sample = (pui32ADC_IN_Value * 3300 * 6) / ADCMAX;
```

恒压源输出



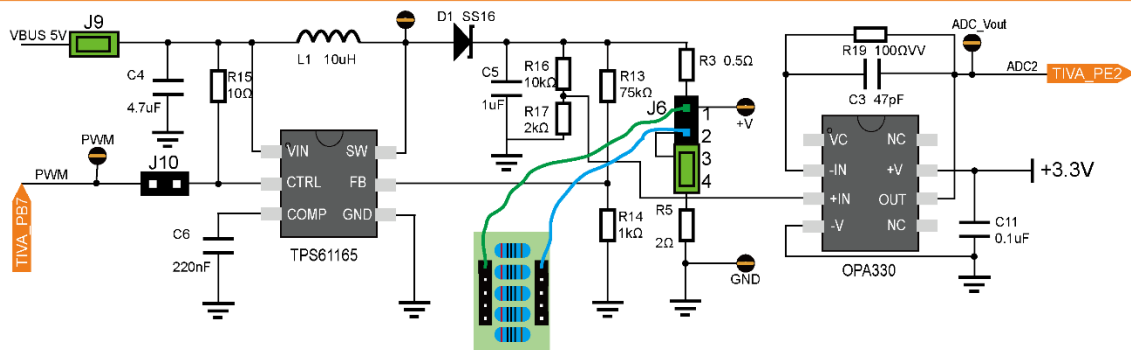
实物图

恒压源输出是开关电源能输出稳定的电压，且电压不会随着负载的变化而变化。需要注意的是在恒流控制点亮LED时，负载是LED串。但是，在恒压源输出时负载不能仅仅是LED串，这是因为二极管LED会使输出的电压发生钳位，导致电源芯片偏离了正常工作的轨道。因此，用功率电阻作为负载进行试验，测试恒压源的输出和调节恒压输出的大小。

恒压输出的实现是：在反馈端FB和地之间接入电阻R14，则R14两端的电压被控制在一个设定值。由于FB端是运放的反相输入端，故其输入/输出电流几乎为零，这样，流过R14的电流就可以计算出来。在R14与R1之间接入电阻R13，把电压抬高。因为FB端的电压恒定，流过R13和R14的电流就恒定，所以在R13和R14两端产生电压也恒定，从而实现了恒压源的输出。

电压检测电路：

由于输出电压比较大，单片机难以直接采集数据，需要进行分压。但是分压后的信号，其输出阻抗比较大，若直接由单片机采样，可能造成信号的衰减，影响测量精度。为此，增加一级由OPA330运放搭建的电压跟随电路，以避免对ADC输入阻抗的影响，提高采样精度。在电压跟随电路中，在运放的反相输入端和输出之间并联一个电阻和一个电容，使电压跟随电路工作更加稳定。



恒压测试实验

- 1、理解原理图，编写Launchpad代码（参考代码见网上资源）。
- 2、在母板上连接TIVA、LCD模块、DC-DC Boost(升压)模块，准备实验。
- 3、如图 1 所示，短接J9、J4的1,2及J6的3,4。完成恒压测试的硬件配置。
- 4、连接负载，如图 ① 所示，注意负载功率及阻值大小。

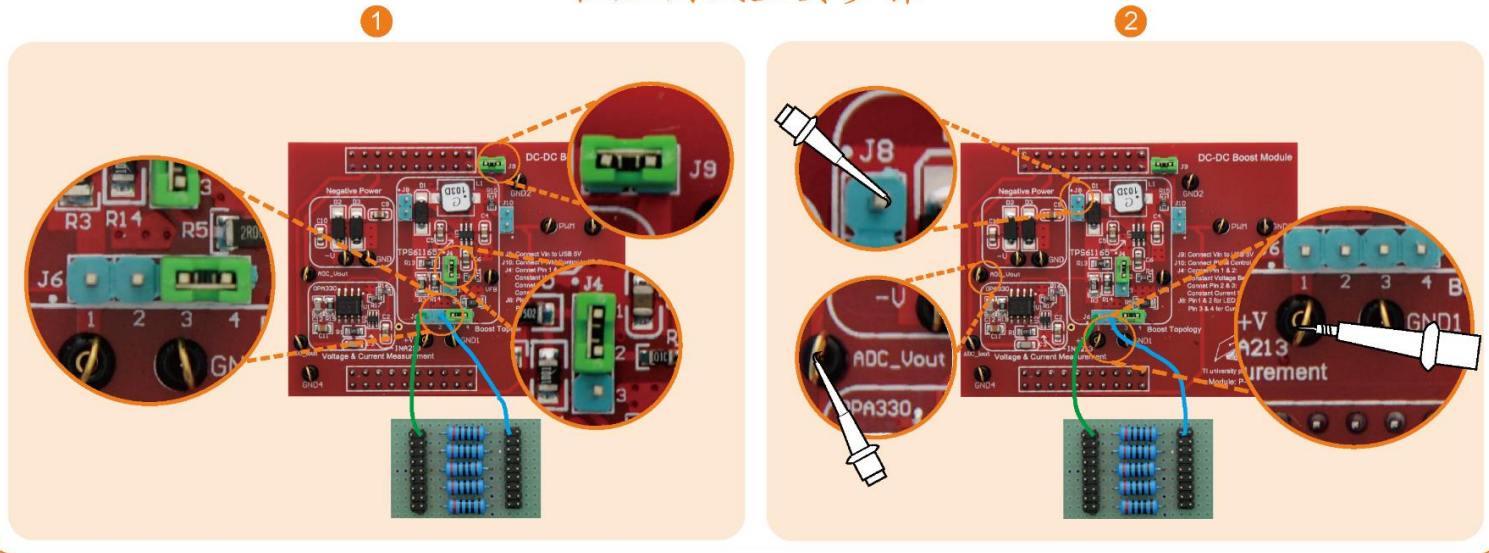
- 5、如图 ② 所示，进行仪表配置。测J8观测开关节点电压波形，测+V，GND1观测输出电压的纹波，测ADC_Vout观测电压测量电路最后转化后的电压。
- 6、给TIVA上电，在LCD模块上可以看到测量得到的电压值。
- 7、变换负载的大小，注意受USB供电功率限制，负载的大小不得低于100Ω。

注意

- 连接仪表及跳线时，断开电源。
- 输出电压测量过程中，测纹波需要将示波器切换到交流模式，而测电压值则为直流模式。
- 实验套件中没有提供电阻负载，实验中的负载需要自己制作。这里的负载是阻值100Ω、功率1W的电阻。通过电阻的串并联改变负载大小。



恒压测试主要步骤



电压调节测试主要步骤

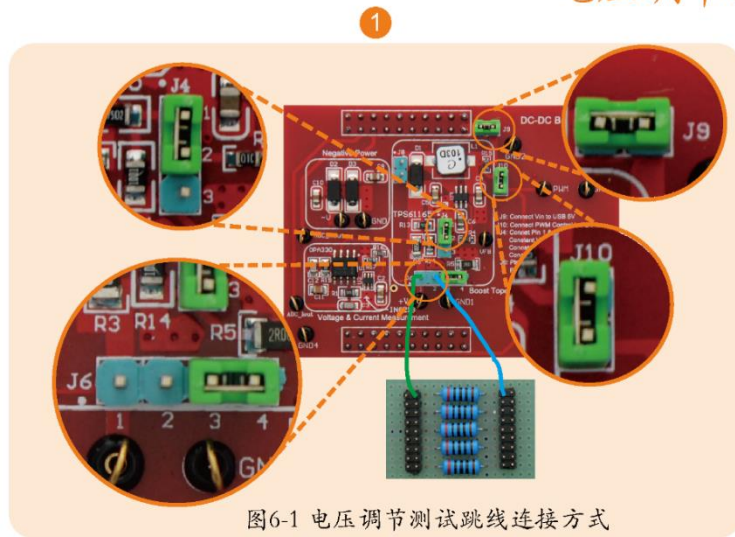


图6-1 电压调节测试跳线连接方式



图6-2 电压调节测试仪表连接方式

电压调节测试实验

1、理解原理图，编写Launchpad代码（参考代码见网上资源）。

2、在母板上连接TIVA、LCD模块、DC-DC Boost(升压)模块，准备实验。

3、如图①所示，短接J9、J4的1,2、J6的3,4及J10。完成电压调节测试的硬件配置。

4、连接负载，如图①所示，注意负载功率及阻值大小。

5、如图②所示，进行仪表配置。测J8观测开关节点电压波形，测+V，GND1观测输出电压的纹波，测ADC_Vout观测电压测量电路最后转化后的电压。测PWM观测TIVA输出的PWM波形。

6、给TIVA上电，在LCD上可以看到测量得到的电压值。

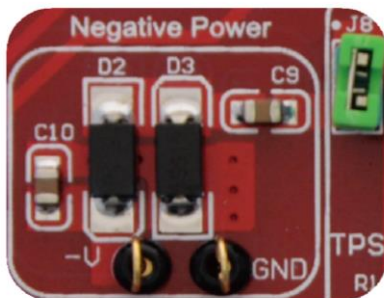
7、拨动滚轮，记录PWM的占空比和对应的输出电压值，可以发现他们之间的控制关系。

注意

- 连接仪表及跳线时，断开电源。
- 输出电压测量过程中，测纹波需要将示波器切换到交流模式，而测电压值则为直流模式。
- 实验套件中没有提供电阻负载，实验中的负载需要自己制作。这里的负载是阻值100Ω、功率1W的电阻。通过电阻的串并联改变负载大小。



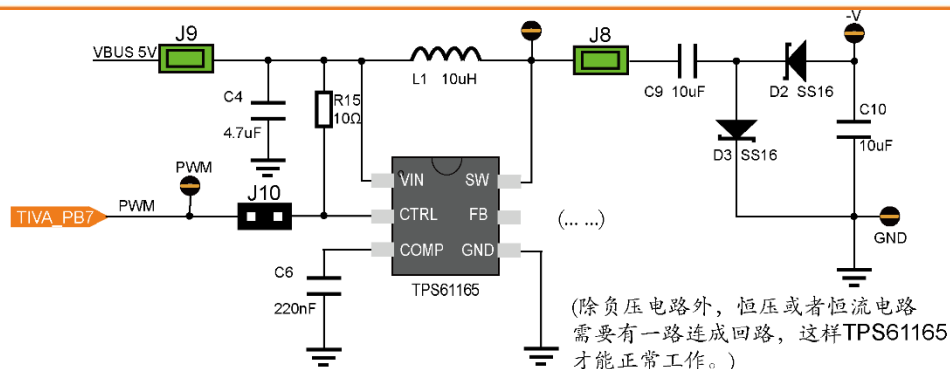
负压生成



实物图

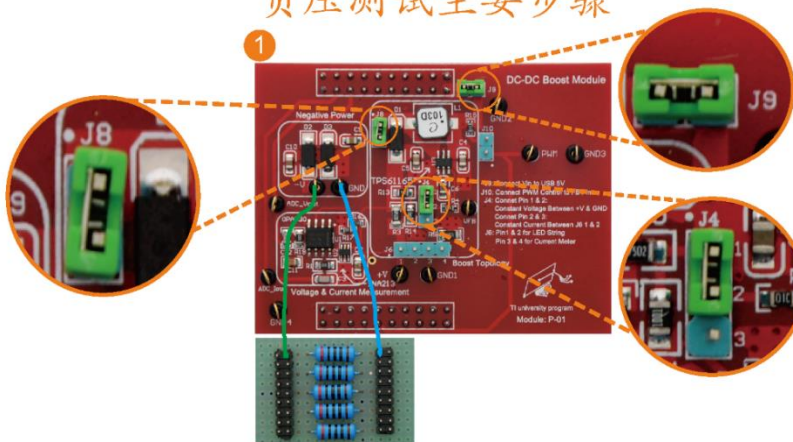
负压生成电路借用二倍压电路实现负压产生。通过MOSFET的导通和关断，在SW端不断产生高电平和低电平。当MOSFET关断时，在SW端产生高电平，电流经过C9、D3到地，对C9充电。当MOSFET导通时，电流从地，经过C10、D2、C9。此时，C9放电，C10充电。C10的上端为负，下端为正；而正端接地，所以，由C10的上端输出负压。

在以TPS61165为平台，通过外扩电路实现负压产生的条件是：利用该芯片搭建开关电源电路要形成闭环反馈电路。因此在恒流控制电路和恒压源输出电路时均能产生负压，因为恒压时电路接法简单点，下面按照恒压源输出电路的接法研究负压产生电路。

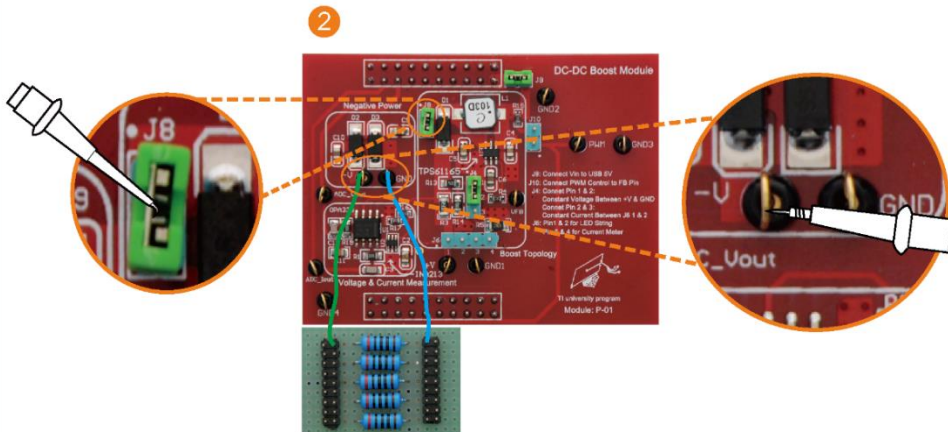


负压测试主要步骤

1



2



负压测试实验

- 1、理解原理图，编写Launchpad代码（参考代码见网上资源）。
- 2、在母板上连接TIVA、LCD模块、DC-DC Boost(升压)模块，准备实验。
- 3、如图1所示，短接J9、J4的1,2及J8。完成负压测试的硬件配置。
- 4、连接负载，如图1所示，注意负载的功率和阻值大小。
- 5、如图2所示，进行仪表配置。测J8观测开关节点电压波形，测-V，GND1观测输出电压的纹波。
- 6、给TIVA上电，观察输出电压的电压值、纹波波形及开关节点波形。
- 7、变换负载的大小，受USB供电功率限制，负载的大小不得低于100Ω。记录不同负载下输出电压的电压值和纹波，比较负压输出和正压输出之间的区别，即有反馈和无反馈之间的差异。

注意

- 连接仪表及跳线时，断开电源。
- 试验箱不提供负载，需自己配备，本实验中使用100Ω、1W电阻，通过串并联实现不同负载变化。

