

# WEBENCH 创新设计大赛

## 项目报告

---

题 目：基于 TPS54331 的 DC-DC-Buck 和 TPS54340 的

DC-DC-Buck-boost 双路可调稳压电源设计

---

学 校：中国计量学院

平 台：TPS54331 , TPS54340/Stellaris

参赛队成员名单：

姓名	学校	学院	学历	邮箱
陈一品	中国计量学院	信息工程学院	在读本科生	<a href="mailto:516311489@qq.com">516311489@qq.com</a>

视频观看地址: [http://v.youku.com/v\\_show/id\\_XNjIyOTM3NjAw.html](http://v.youku.com/v_show/id_XNjIyOTM3NjAw.html)

题 目 : 基于 TPS54331 和 TPS54340 的 DC-DC-BuckBuck-boost 双路可调稳压源

关键词 : WEBENCH 开关电源 BUCK

## 基于 TPS54331 和 TPS54340 的 DC-DC-BuckBuck-boost

### 双路可调稳压源

**摘 要：** 本文主要是介绍基于基于 TPS54331 的 DC-DC-Buck 和 TPS54340 的 Buck-boost 双路可调稳压源，用于参加 2013WEBENCH 电源设计大赛。使用的主芯片是 TI 的 TPS54331 和 TPS54340，处理器是 TI 的 Stellaris EK-LM4F120XL。实现了双路输出可调恒压源。本文主要介绍了如何用 WEBENCH 设计方案，硬件的设计，原理的分析，软件的控制流程以及实物的测试数据分析。

**关键词：** WEBENCH 开关电源 BUCK



**Abstract:** This article introduces the dual adjustable voltage source which is based on the DC-DC-Buck of TPS54331 and the Buck-boost of TPS54340 for participation in 2013WEBENCH power design contest. The main IC is using the TPS54331 and TPS54340 of TI, Processor is the Stellaris EK-LM4F120XL. Achieved a dual output adjustable voltage source. This article describes how to use the WEBENCH to design programs, the design of hardware, analysis of principles, control processes of software and the test data analysis of the physical.

**Keyword:** WEBENCH DC-DC-Buck



## 目 录

摘 要.....	I
abstract.....	II
目 录.....	III
1. 引言.....	1
2. 系统应用背景.....	1
3. 系统应用方案.....	2
4. 系统硬件设计.....	3
4.1 用 WEBENCH 选择芯片.....	3
4.1.1 三种优化方案对比.....	5
4.2 Buck 系统硬件原理.....	6
4.2.1 用 PWM 实现输出可调.....	7
4.3 Buck-boost 系统硬件原理.....	7
5. 系统软件设计.....	9
6. 测试结果与关键设计分析.....	10
附录.....	16





## 1.引言

开关电源是利用现代电力电子技术，控制开关管开通和关断的时间比率，维持稳定输出电压的一种电源，开关电源一般由脉冲宽度调制（PWM）控制 IC 和 MOSFET 构成。随着电力电子技术的发展和创新，使得开关电源技术也在不断地创新。目前，开关电源以小型、轻量和高效率的特点被广泛应用几乎所有的电子设备，是当今电子信息产业飞速发展不可缺少的一种电源方式。

## 2.系统应用背景

现代电子系统设计涉及的芯片越来越多，芯片功耗越来越大。之前 74 加 51 时代一个 5V 电压统治全板的情况不复存在。现代的电子系统对电源要求多种多样，电压方面：1V、1.2V、1.8V、3.3V 和 5V 等；性能方面：大电流的，高精度的，低噪声的，低功耗和高效率的等等。为了应对如此之多的需求，多种多样的电源芯片应运而生。

电源系统一般采用树形结构进行设计，各个芯片的电源作为树叶，各模块的支路电源作为树枝，为各个支路供电的电源作为树干。电源树中的电压自顶向下逐级变换，电源树中的电流自下而上逐级汇聚。根据这些电压和电流情况，并考虑到需要的性能、功耗和体积，工程师从众多的电源芯片中选型并优化。这是一个复杂而辛苦的过程，急需一种软件工具配合工程师工作，TI 为电源的设计选型提供了强大的设计软件：WEBENCH

### 3.系统应用方案

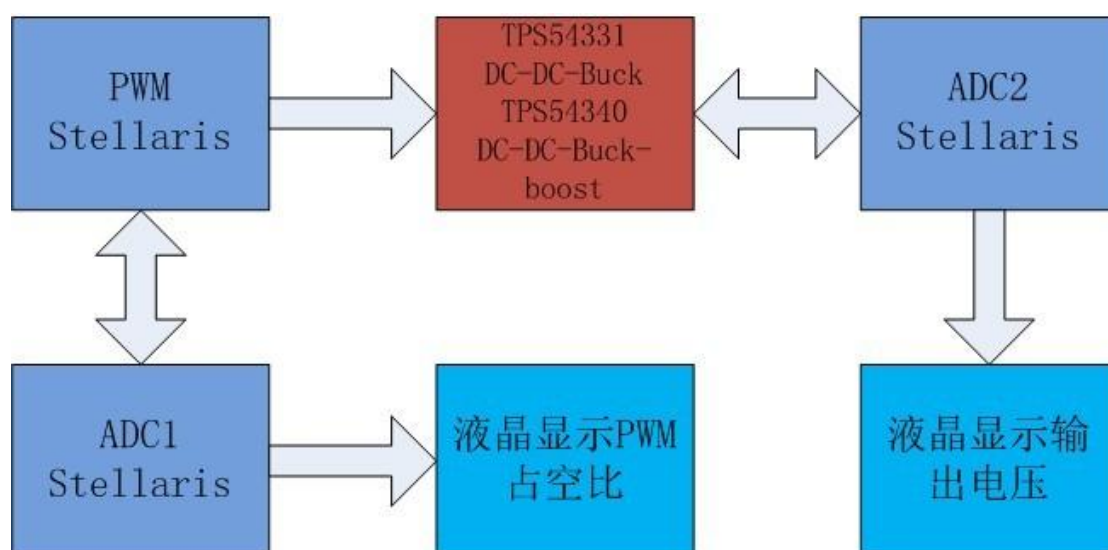


图 1 系统总方案图

本设计是一款 DC-DC-Buck 兼 DC-DC-Buck-boost 开关电源，主要用于输出一个稳定的直流电压。可以同时输出稳定的正负压供电。系统的供电电压为 24V 直流供电，输出电压中，正压的输出为 20V，负压的输出为 -12.5V，两者都可以通过 PWM 调节。

本来可以用两块 TPS54331 但是要做到高功率，而且 TPS54331 的 VIN MAX 为 28V,不能做到输入 24V，输出 -20V，所以负压这路用 VIN MAX 为 42V 的 TPS54340。

本系统以 Stellaris 处理器为控制核心。

整个系统供电通过 USB 外接 5V 稳压源供电。

TPS54331 和 TPS54340 都是通过以恒定的频率和可变的占空比切换内部 MOFET 控制开关，输出一个稳定的输出电压。Stellaris 会输出一个由旋钮调节占空比的 PWM 波，占空比会在 LCD 上显示。通过将 PWM 接入 TPS54331 的 VSENSE 引脚，和 TPS54340 的 FB 引脚。可改变芯片内部 PWM 比较器的占空比，从而改变输出电压。输出电压将会被 Stellaris 的 ADC2 采样，并在 LCD 上显示。

## 4.系统硬件设计

### 4.1 用 WEBENCH 选择芯片

分析作品的硬件结构和原理,要包括使用 WEBENCH 设计电源的设计思路,有 WEBENCH 的选型、仿真、优化。电源选型时最好选择 WEBENCH 中模型功能齐全的器件。设计中尽可能多的用到 WEBENCH 在电源设计中的强大功能。

本次设计目的是产生正负两路电压,而且希望做到高功率。下面先说正压。首先用 WEBENCH 先进行芯片优化选择,进入 WEBENCH 开始界面,在然后中输入电压和电流的要求,然后点击“显示推荐的电源管理 电路”让 WEBENCH 选择合适的开关电源。由于要做大功率,而且考虑到后面将实现电压可调所以选择一个高的输入电压,高的输出电流。

The image shows the 'Basic Selection' (基本选择) interface of the WEBENCH design tool. It includes the following elements:

- Power Type:** Radio buttons for DC (selected) and AC.
- Input Voltage:** Vin 最小: 14 V, Vin 最大: 24 V.
- Output 1:** Vout1: 3.3 V, Iout 1: 2 A.
- Temperature:** 工作环境温度: 30 °C.
- Optional Features:** Checkboxes for '显示替代拓扑' (selected), '只显示模块', and '首选国内元器件厂商'.
- Switching Features:** Radio buttons for '开/关引脚' (selected: 忽略), 'Power Good 输出' (selected: 忽略), and '同步引脚' (selected: 忽略).
- Additional Outputs:** Vout 2: 0 V, Iout 2: 0 A; Vout 3: 0 V, Iout 3: 0 A.
- Action:** A green button labeled '显示推荐的电源管理电路'.
- Display Options:** '显示所有:' (selected) with a help icon, and red text listing '开关稳压器' and '线性稳压器'.

图 2 WEBENCH 设计界面

然后进入 WEBENCH 设计界面，在对 WEBENCH 有了适当的了解以后便可以进行设计方案的选择和优化了。

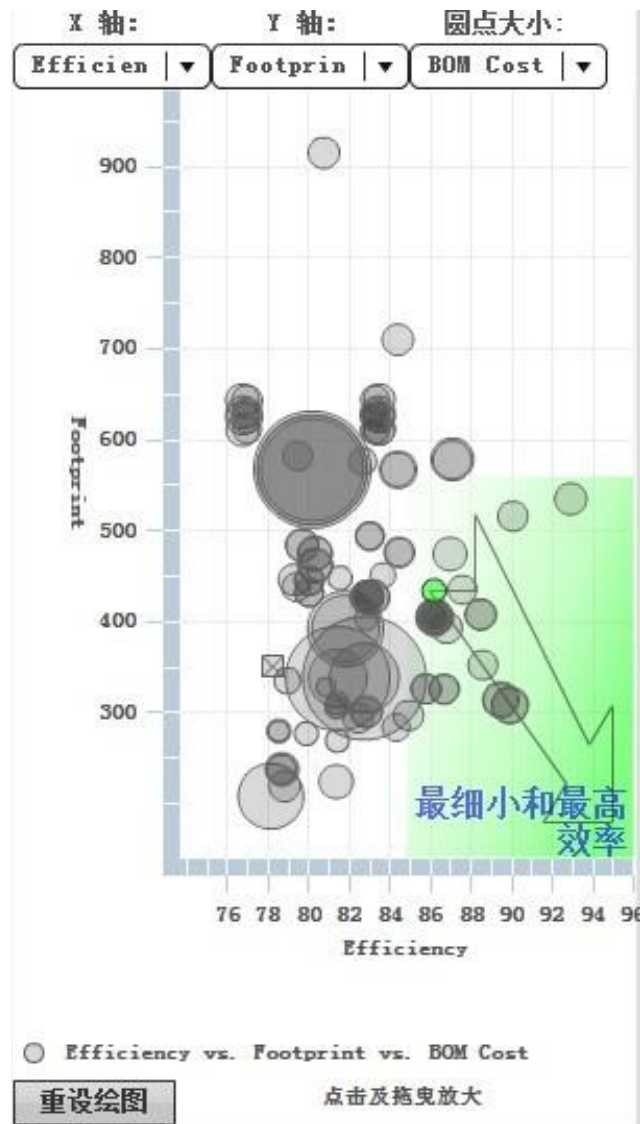


图 3 WEBENCH 筛选出的所有方案

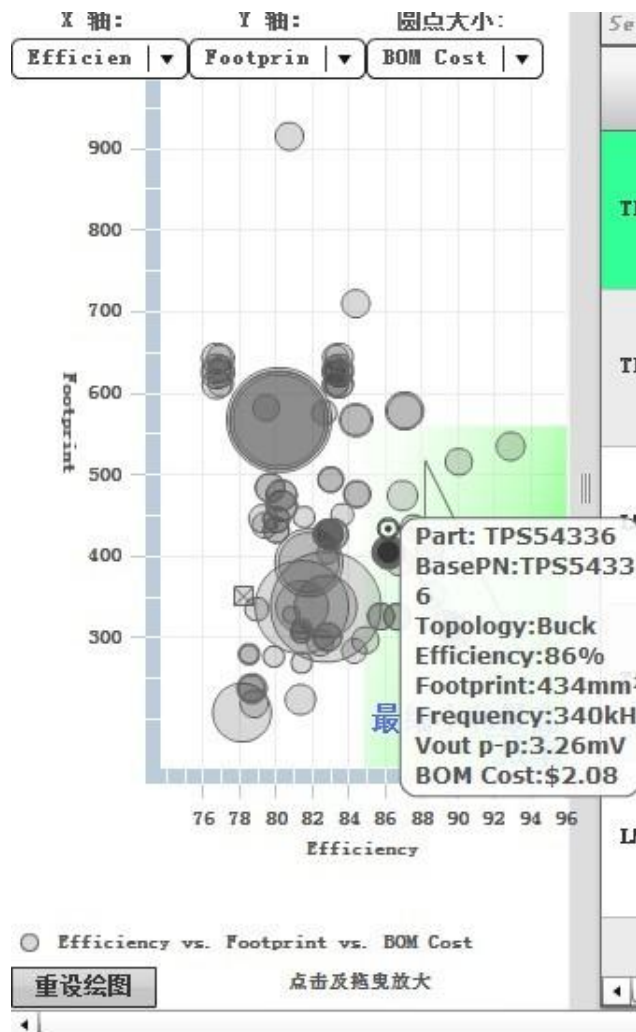


图 4 最优方案

在图标中可以看到 WEBENCH 筛选出的几个解决方案。X 轴表示效率，Y 轴表示占用 PCB 面积，Z 轴表示成本（用圈的面积表示大小）。可以看到成本和效率较为折中的方案是中间的圆。右上方的圆虽然效率很高，但是成本和面积太大。点击中间的圆，可以看到表格中显示出 TPS54336 芯片解决方案。但是考虑得免费样片的申请，还有之前我们便有申请了 TI 的 TPS54331 的芯片还有剩余。为了节省资源，而且用 WEBENCH 看了 TPS54331 的设计方案，和 TPS54336 的方案区别不大，看了芯片手册也发现 TPS54331 的功能都挺好的，于是决定用 TPS54331 做正压的输出。

#### 4.1.1 三种优化方案对比

表 1 三种优化对比

方案	面积	开关频率/k	效率/%	成本/\$	输出电流/A
----	----	--------	------	-------	--------

效率最高	1162	570	82	3.84	2
最小面积	347	570	80	2.06	2
折中	277	570	81	3.9	2

由于本次我的设计最终将做成用 Stellaris EK-LM4F120XL 处理器为控制核心所以最终板子的大小会做成和 LM4F120XL 一样的大小，所以面积和成本和效率对比，效率更加重要。所以最终用效率最高的设计方案为以下方案。

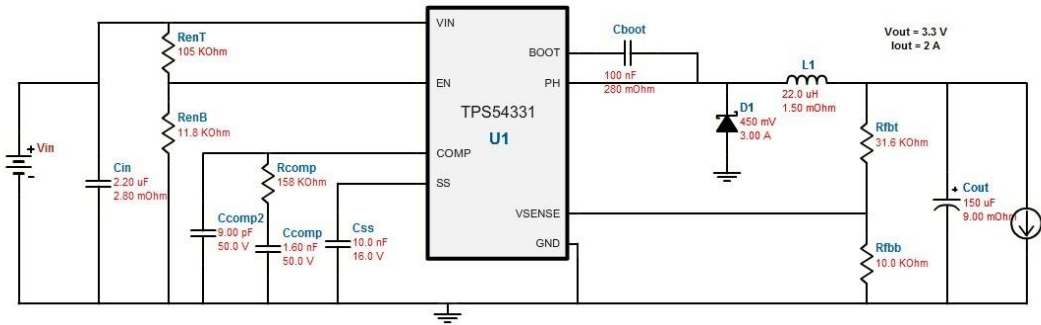


图 5 效率最高的设计方案

## 4.2 Buck 系统硬件原理

TPS54331 为典型的 Buck 拓扑如图所示：

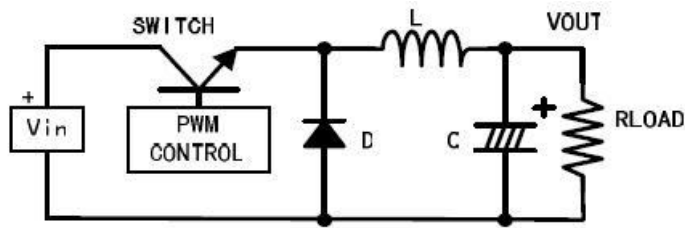


图 6 Buck 拓扑

电路中的 TPS54331 便是开关，而电路中并没有输入电阻，因为输入电阻的作用是滤波。并且做了实验不管电容大小必须有输入电容，否则电路功能将不能实现。

芯片中输出恒定的电压的工作原理为反馈端电压 VFB 和内部参考电压 VREF 比较，VSW 等于  $VFB \times (R1 + R2) / R2$ ，当 Vin 输入电后，如果 VOUT 过低则  $VFB < VREF$  这时芯片内部的定时器电路便会调节 PWM 从而改变开关频率。使 VOUT 上升到指定值。如果 VOUT 过高也是相同的反馈调节方式。

### 4.2.1 用 PWM 实现输出可调

之前的电路是输出 3.3V 电压，这不能满足很大的功率，所以接下来要调整比例电阻。使输出达到 20V，然后再通过 LM4F120XL 产生 PWM 降低电压以实现输出调节。

电感的计算如下：

$$D = \frac{V_O}{V_{IN}}$$

$$D = \frac{20}{24} = 0.83$$

$$t_{on} = \frac{D}{f} = \frac{0.83}{570000} = 1.4\mu s$$

$$V_{ON} = V_{IN} - V_O = 4V$$

$$E_t = V_{ON} \times t_{ON} = 5.6V\mu s$$

$$(L \times I_L) = \frac{E_t}{r} = \frac{5.6}{0.3} = 18.6\mu H \cdot A$$

$$L = \frac{18.6\mu H \cdot A}{3A} = 6.2\mu H$$

$$I_{PK} = (1 + \frac{r}{2}) \times I_L = 1.15 \times 3 = 3.45A$$

所以用感值为 18.6 $\mu H$ ，饱和电流为 4A 的电感。

### 4.3 Buck-boost 系统硬件原理

虽然负压芯片很少，但是我们可以把 Buck 芯片改成 Buck-boost，下面是一个用 TPS62175 实现 Buck 转 Buck-boost 的例子：

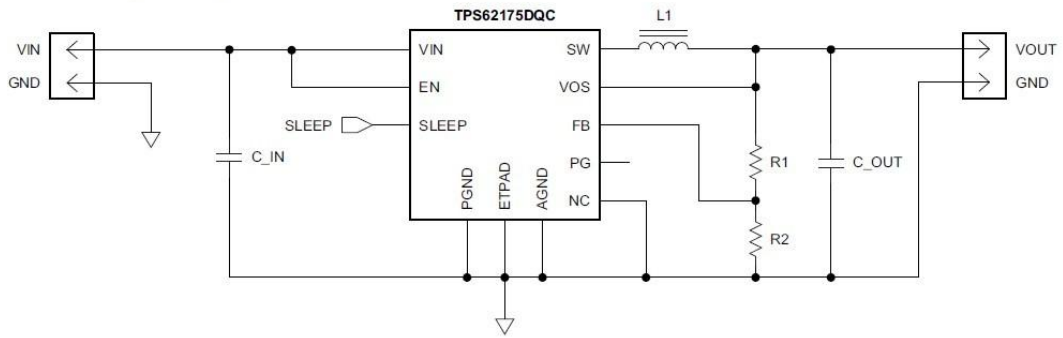


Figure 1. TPS62175 Buck Topology

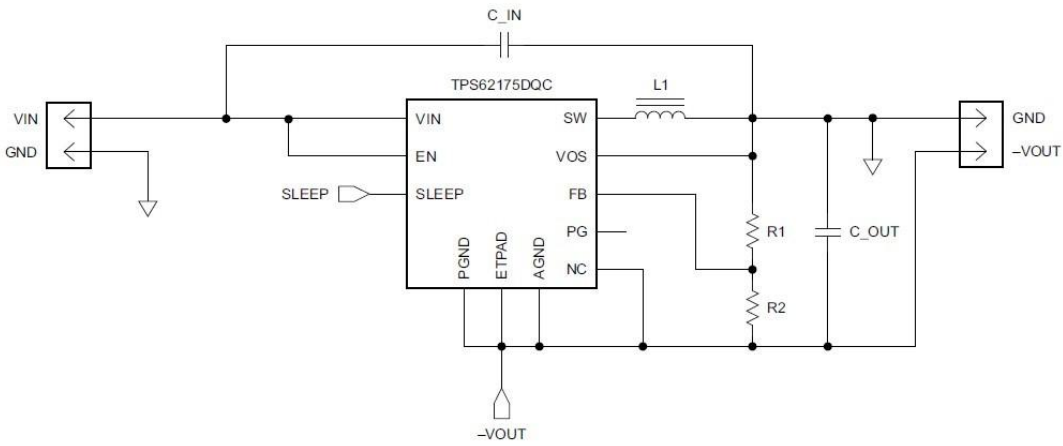


图 7 用 TPS62175 实现 Buck 转 Buck-boost 电路图

这个也是典型的 Buck-boost 的拓扑。所以我用 TPS54340 产生负压的电路图如下。

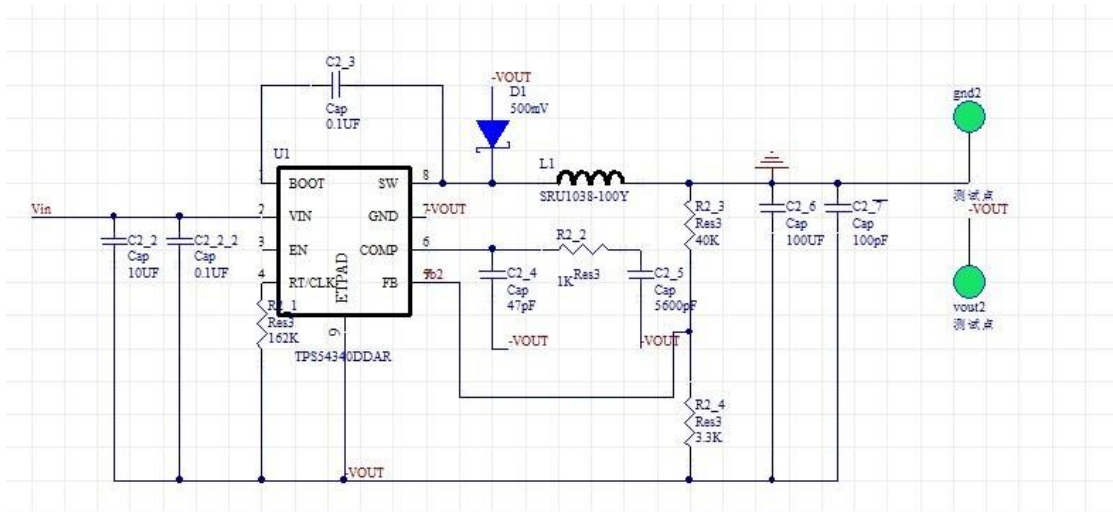


图 8 用 TPS54340 产生负压的电路图



## 5.系统软件设计

软件流程图：

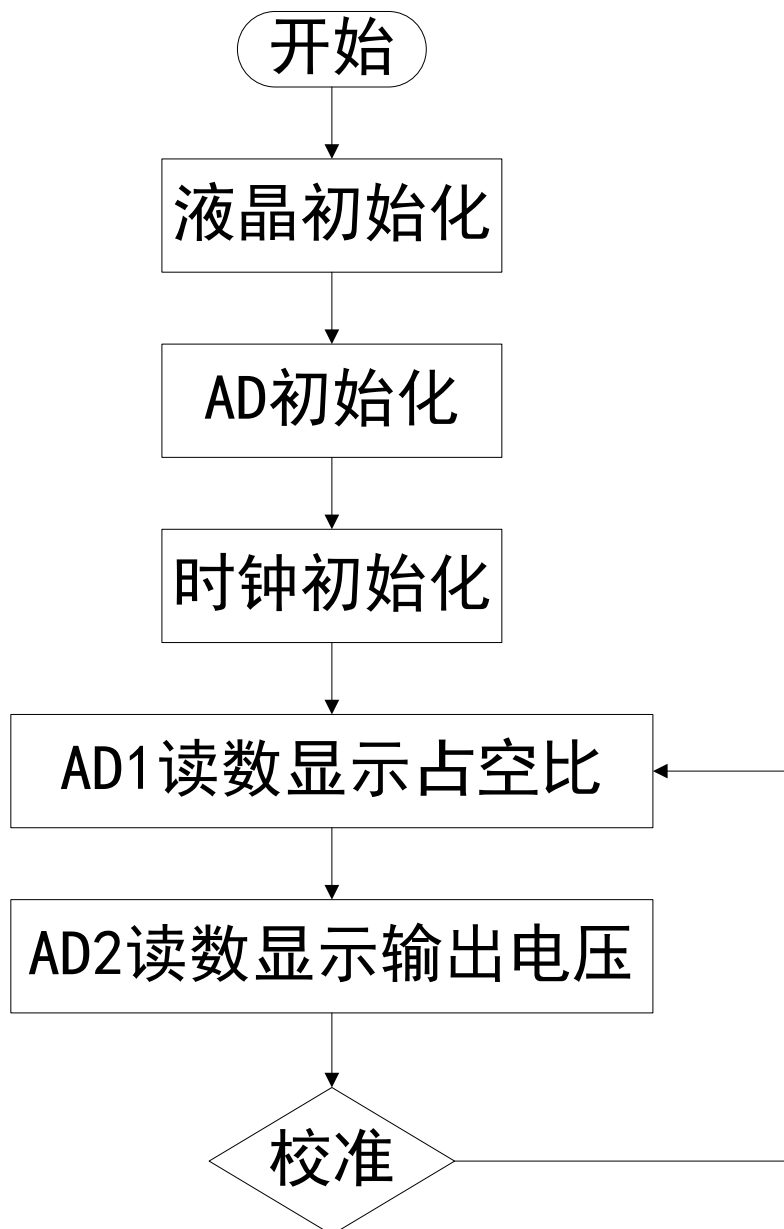


图 9 软件流程图

MCU 开发平台为 Code Composer Studio V5。如流程图所示，MCU 上电后先进行液晶，ADC，时钟的初始化设置，然后 ADC1 读取 Stellaris 输出 PWM 占

空比的电压有效值，经过计算后得到 PWM 的占空比并在 LCD 上显示。同时 ADC2 读取输出电压并在 LCD 上显示。

## 6.测试结果与关键设计分析

表 2 TPS54331DC-DC-BUCK 测试结果

负载/ $\Omega$	输入电压/V	输入电流/A	输出电压/V	输出电流/A	效率/%	纹波/MV	纹波率/%
空载	24		19.5			168	0.86
50	24	0.36	19.5	0.39	88.3	174	0.89
25	24	0.73	19.5	0.76	84.6	172	0.88
20	24	0.91	19.5	0.95	84.8	187	0.95
10	14	1.25	12.65	1.25	90.4	111	0.88

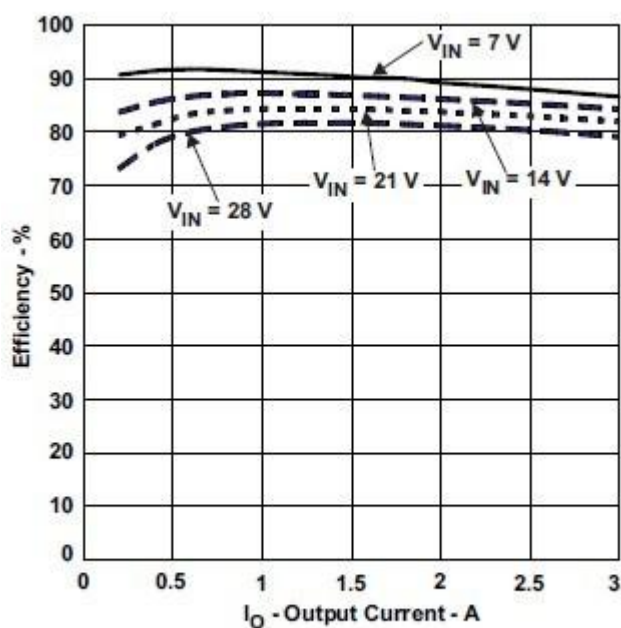


Figure 17. TPS54331D Efficiency

图 10 TPS54331 芯片手册测试数据

对比 TPS54331 芯片手册的测量数据可以发现效率已经和芯片手册差不多，甚至有点高于芯片手册。这表明设计性能还是相当好的。

但是纹波有点大，原因可能是布局的时候为了保证布局不受测试点的影响，就没去掉了输出测试点。导致测量时不能用最好的方法测量。现在发现这个步骤不能省略，而且合理放置测试点是不太会影响布局的。

表 3 TPS54340DC-DC-BUCK-boost 测试结果

负载/ $\Omega$	输入电压/V	输入电流/A	输出电压/V	输出电流/A	效率/%	纹波/mV	纹波率/%
空载	24		-12.5			86	0.68
50	24	0.16	-12.5	0.24	78.1	91	0.72
25	24	0.34	-12.5	0.49	75.1	97	0.77
20	24	0.50	-12.5	0.63	65.6	101	0.81
10	24	1.09	-12.5	1.26	60.2	106	0.84

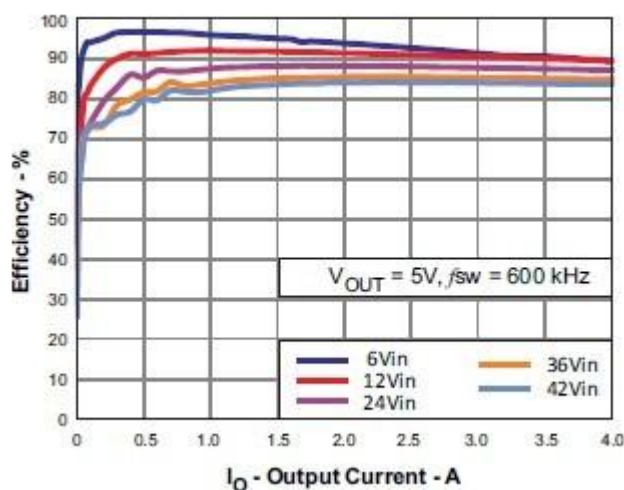


图 11 TPS54340 芯片手册测试数据

负压模块效率过低，可能将 Buck 改为 Buck-boost 不能简单的拿芯片手册的数据对比。

表 4 PWM 调节测试

占空比/%	输入电压/V	输出电压/V	纹波/mV	纹波率/%
95	24	2.1	23	1.95
35	24	4.9	39	0.80

30	24	12.4	86	0.78
25	24	19.15	142	0.74
20	24	22	154	0.7
5	24	22.4	168	0.61

通过从 stellaris 上输出一个 PWM 波送入反馈引脚,从而调节芯片内部 PWM 比较器的占空比,从而到达调节输出电压的目的。加入 PWM 后,输出电压的纹波率依旧非常低,是因为 PWM 输入反馈引脚之前,增加了二阶低通滤波的设计,有效的增加了反馈脚电压的稳定性。



图 12 输入 24V, 输出 -12.5V 时候的纹波

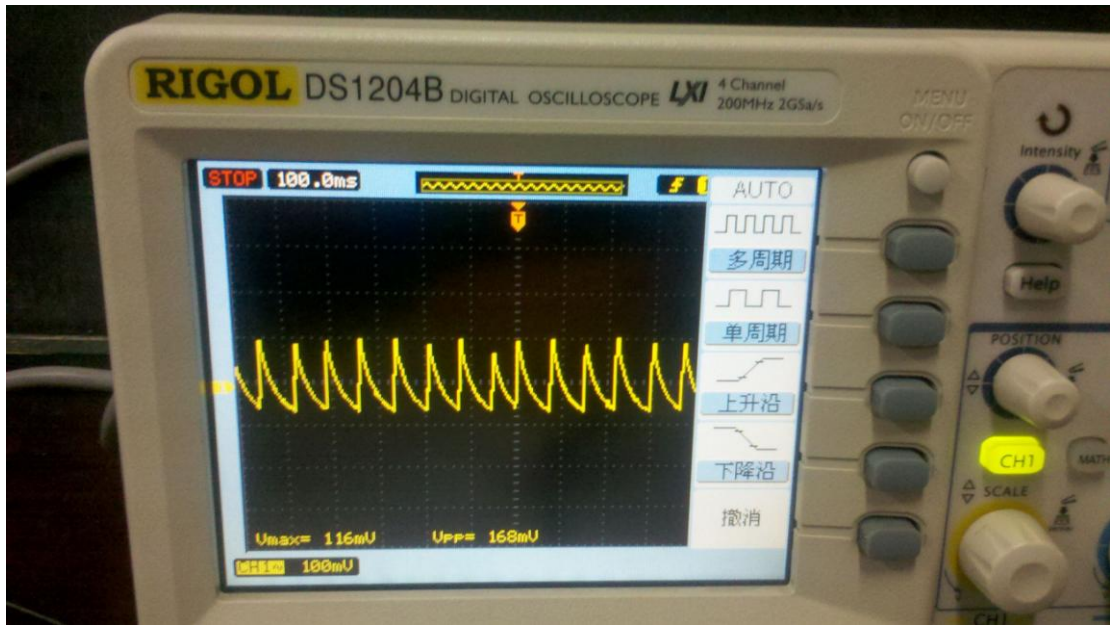


图 13 输入 24V，输出 19.5V 时候的纹波

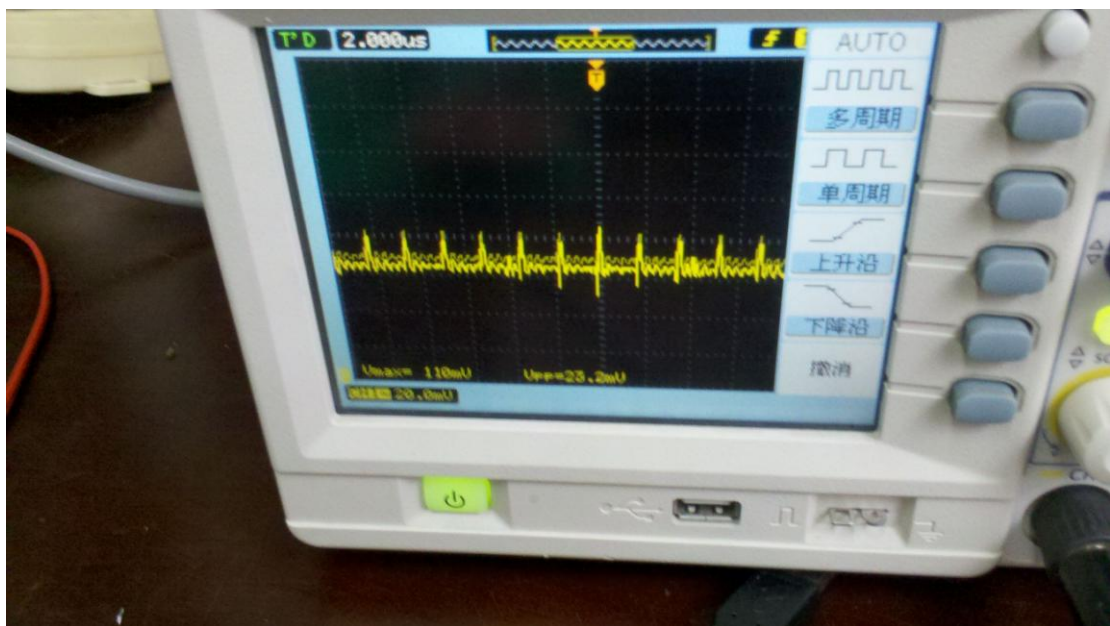


图 14 PWM 为 95%时候的纹波



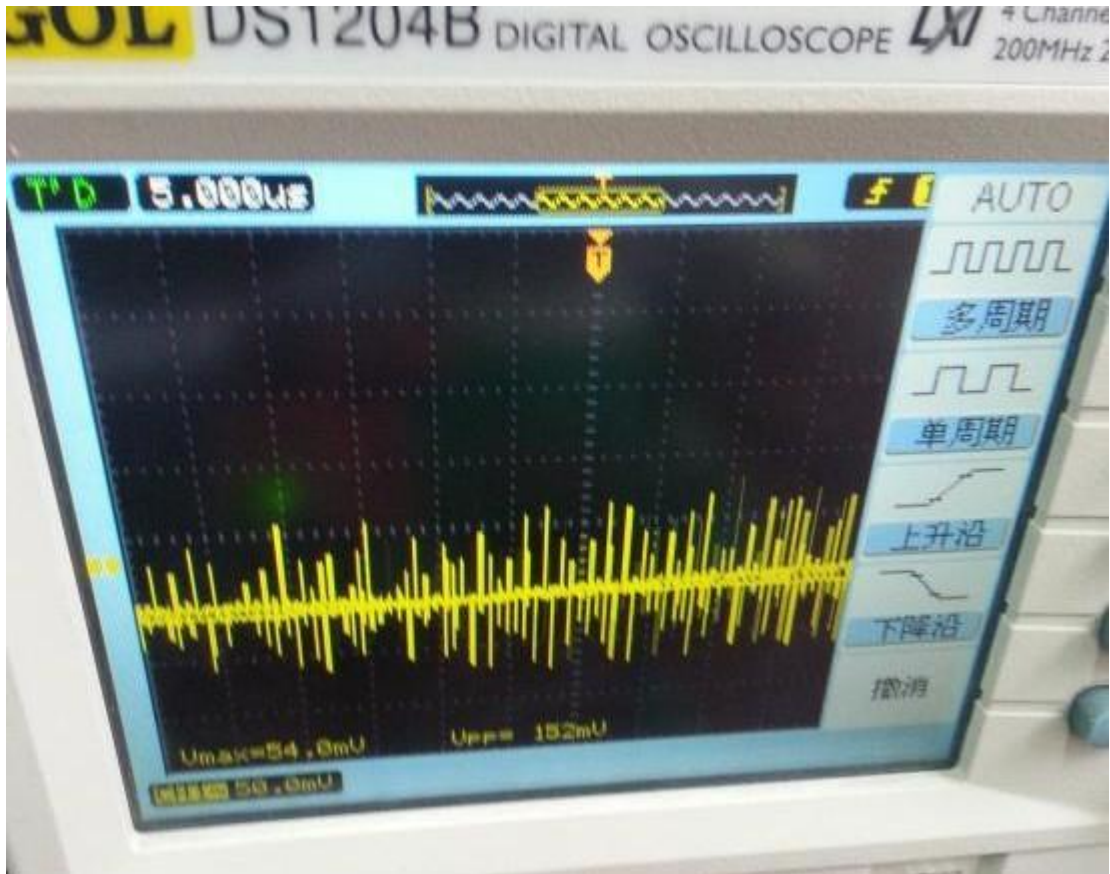


图 15 PWM 为 25%时候的纹波

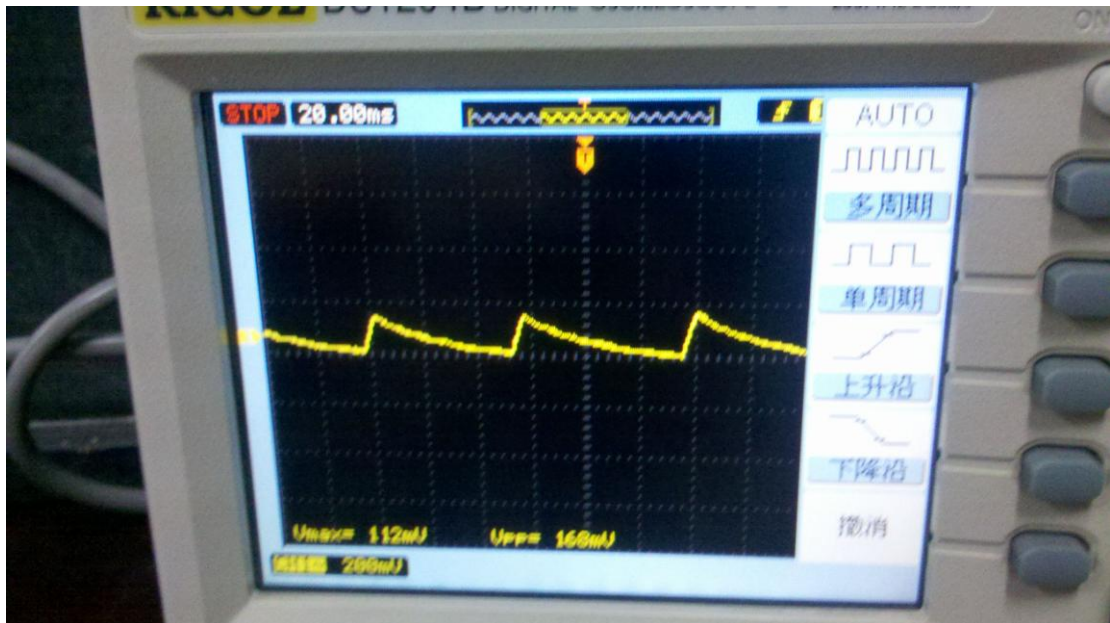


图 16 PWM 为 5%时候的纹波



# 附录

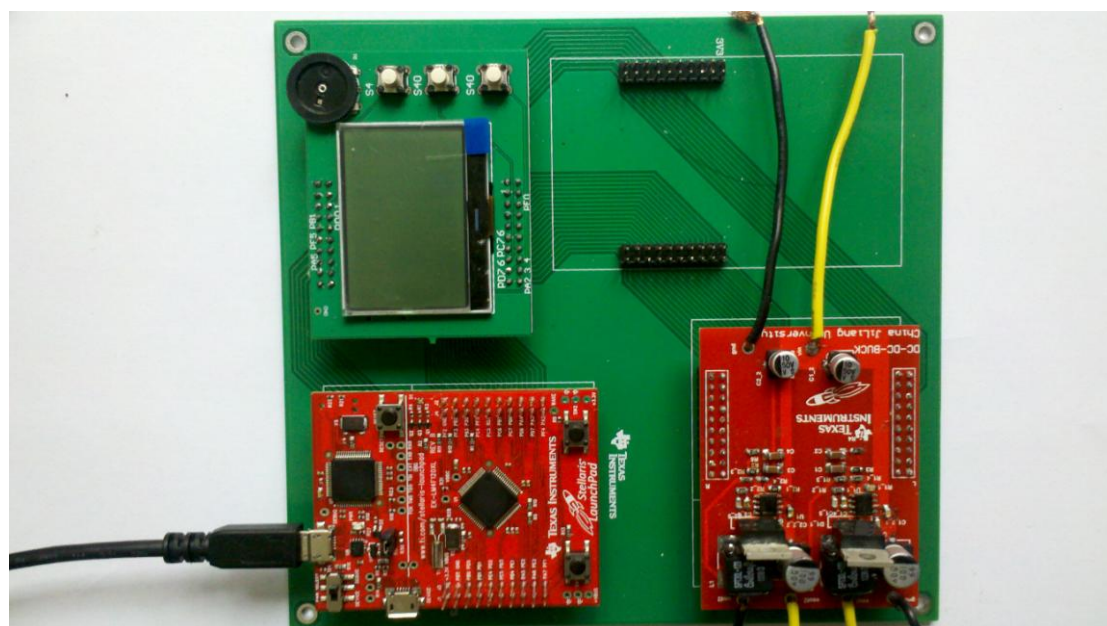
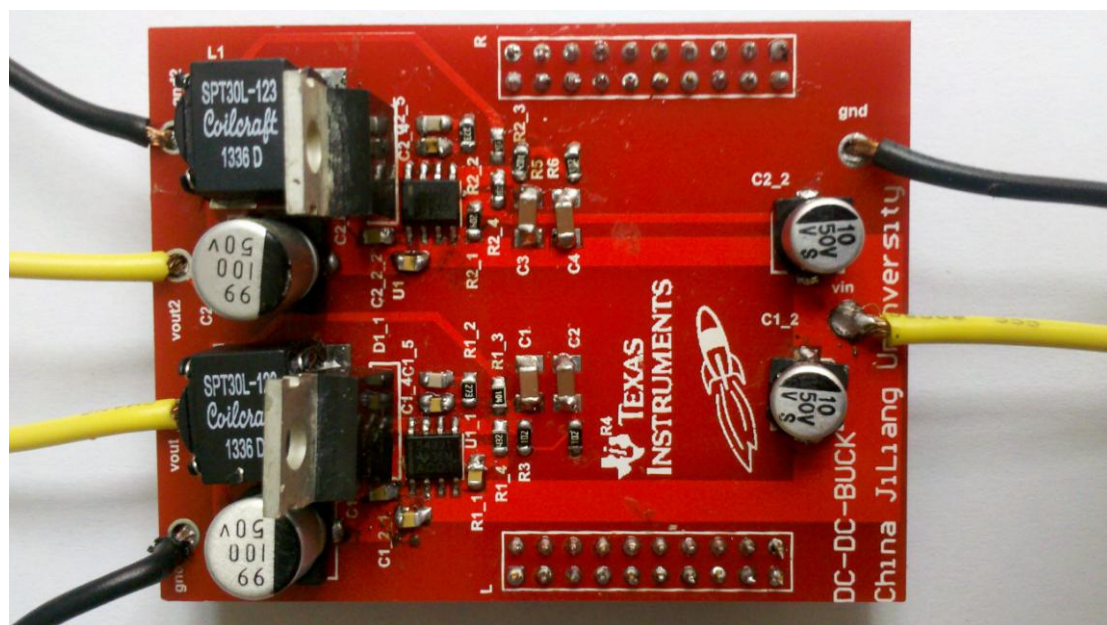


图 17 作品图片