

一款户外开关电源的设计、仿真与实验研究*

胡治伟, 郭震宁, 杨菲菲

(华侨大学 信息学院 光电系, 福建 厦门 361021)

摘要: 根据目前主流笔记本电脑的电源适配器使用特性, 设计了一款可应用于户外的开关电源。与传统适配器电源相比, 该设计可以增强笔记本电脑的使用范围。利用开关电源仿真软件 LTspice IV 进行仿真并对该款户外开关电源工作原理进行了详细分析。仿真与实验结果表明, 在不同工作模式及不同带载情况下, 该户外电源能输出纹波较小的稳定电压。

关键词: 笔记本电脑; 开关电源; LTspice IV

中图分类号: TM914.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)11-0035-03

Design, simulation and experimental study of an outdoor switching mode power supply

Hu Zhiwei, Guo Zhenning, Yang Feifei

(School of Institute of Information Science & Technology, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: According to the using characteristics of power adapter of the current mainstream notebook computer, this paper designs a switching power supply can be used in outdoor. Compared with the traditional adapter power supply, the application design can enhance the use of the laptop. Through the switching mode power supply simulation software LTspice IV to simulate and analyze its working principle in detail, the experimental tests show that in the case of different operating modes and different load, the outdoor power can output stable voltage with less ripple.

Key words: notebook; switching mode power supply; LTspice IV

开关电源是通过控制开关管开通与关断的时间比率来维持电压稳定输出的一种电源^[1], 笔记本电脑电源适配器是将交流变换为直流的反激式开关电源。笔记本电脑随着社会经济的发展应用愈加广泛, 但其功耗无法进一步降低及电池容量上的局限, 直接影响其户外的应用。现在主流笔记本电脑电池一般只能工作 2 小时左右, 在没有交流电源的户外, 工作时长要求一直是笔记本电脑使用者的困扰。因此, 本文设计的户外开关电源, 结合柔性非晶硅太阳能电池弱光性好、便携可折叠、价格低廉的特点^[2], 可以很好地解决该困扰。

1 系统设计要求

根据笔记本电脑电池、适配器等参数, 确定开关电源恒压输出 V_{out} 为 19.6 V, 最大功率在 65 W 左右, 输出纹波小于 $0.02 V_{out}$ 。根据太阳能电池输出电压特

* 基金项目: 福建省自然科学基金项目(2010J01338); 福建省科技计划重点项目(2009H0034); 福建省发改委发明创造扶持基金(fc200905)

性, 确定开关电源为降压-升压(Buck-Boost)拓扑结构, 因此本文选定凌力尔特公司生产的一款高性能降压-升压开关型芯片 LTC3780。它可在输入电压高于、低于或等于输出电压的条件下运行; 其恒定频率电流模式架构提供了一个高达 400 kHz 的可锁频率; 凭借 4 V~30 V(最大值为 36 V) 的宽输入和输出范围以及不同操作模式间的无缝切换, LTC3780 成为汽车、电信和电池供电型系统的理想选择^[3]。

2 电路结构及工作原理分析

图 1 所示电路结构运用了 4 个 NMOS 开关(Q1、Q2、Q3、Q4)的同步整流技术, 该技术采用通态电阻极低的电力 MOSFET 来取代整流二极管, 能大大降低整流电路的损耗, 提高 DC/DC 变换器的效率, 满足低压、大电流整流器的需要^[4]。电流的主要通路是: 输入电源 $V_1 \rightarrow$ NMOS 管 Q1 \rightarrow 储能电感 L1 \rightarrow NMOS 管 Q3 \rightarrow 负载 R_{load} 。 R_7 和 R_8 构成分压取样电路, 取样电压经 V_{osense} 反馈输入

LTC3780 Design · High Efficiency Buck-Boost DC/DC Converter

Input: 6 to 30 V Output: 19.6 V

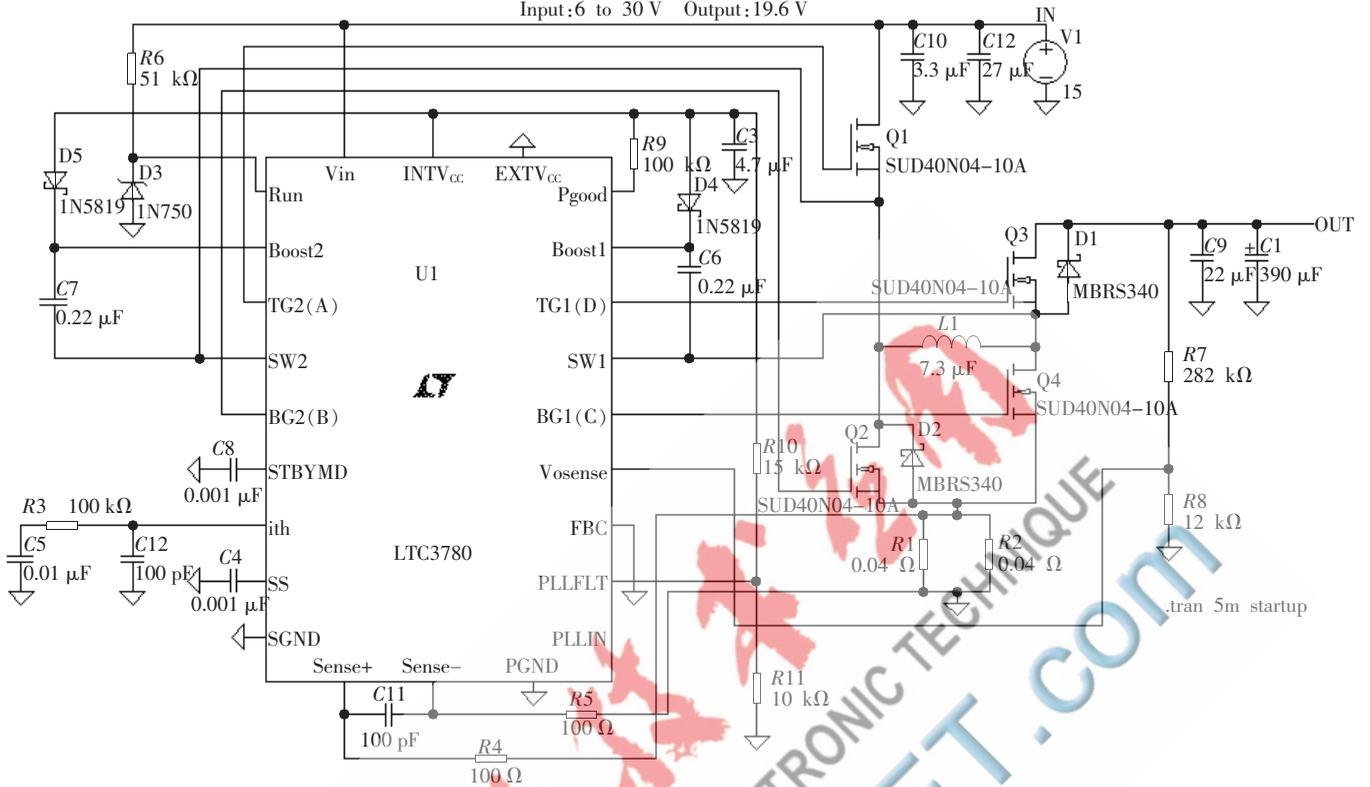


图1 DC/DC 变换电路图

后, LTC3780 根据反馈电压的大小调整开关信号的占空比^[3], 从而实现电压输出稳定。通过 $V_{out} = 0.8(1 + R_7/R_8)$ 选定 R_7 和 R_8 阻值为 282 kΩ 和 12 kΩ, 通过带载能力约为 65 W 确定 R_{sense} (即图中 $R_1//R_2$) 为 20 mΩ。

4 个 NMOS 管的不同开关状态决定了电路的不同工作方式。现结合基本 Buck、Boost 拓扑结构对比分析该户外电源电路结构中的 4 个 NMOS 管同步整流工作原理。

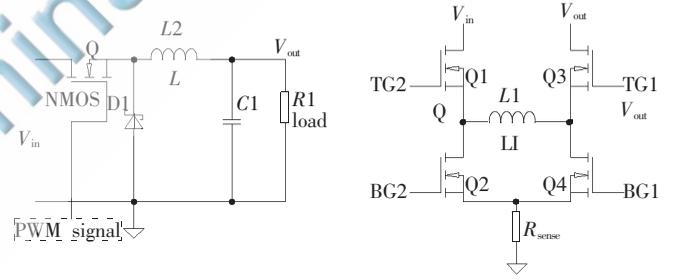
2.1 降压 (Buck) 工作方式

图 2(a) 为 Buck 拓扑结构, NMOS 管 Q 工作在开关状态 (导通与截止), Q 导通时, 整流二极管 D 截止, 储能电感 L 的电流增量为 $\Delta i^+ = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \cdot t_{on}$; Q 关断截止时, D 导通, 忽略 D 的导通压降, 则电感 L 的电流增量为 $\Delta i^- = -\frac{V_{out}}{L} \cdot t_{off}$ 。当达到稳定时, $\Delta i^+ + \Delta i^- = 0$, 由此得 $V_{out} =$

$$\frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \cdot V_{in} = d \cdot V_{in}^{[5]}$$

其中占空比 $d = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$, 由于 $0 < d < 1$, 因此实现了降压。同理, 图 2(b) 中 Q1 以占空比 d 工作在开关状态, Q2 相当于 Buck 拓扑结构中的整流二极管 D, Q2 以 $1-d$ 的占空比工作, 由于 NMOS 管的导通电阻远小于整流二极管, 因此 Q2 功耗远低于二极管 D, 这就是同步整流技术的优势之处。Q4 一直处于截止状态, Q3 每 10 个周期将强制关断约 300 ns, 以便对自举电容器

C7 充电^[3], 其余时间处于一直导通状态。其工作波形图如图 3、图 4 所示。



(a) Buck 拓扑结构 (b) LTC3780 开关示意图
图 2 基本 Buck 拓扑与 LTC3780 开关简化示意图

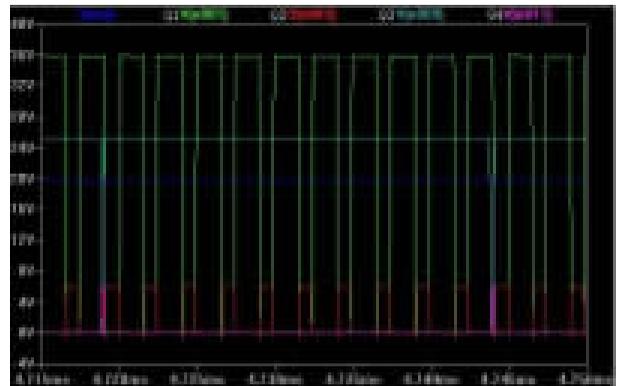


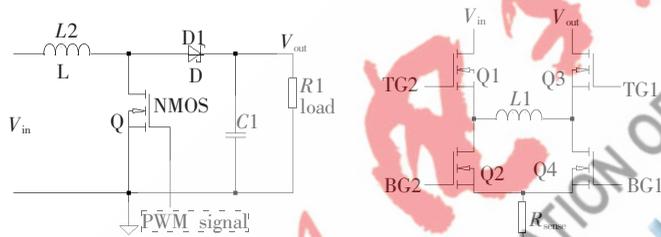
图 3 LTC3780 降压模式时 4 个 NMOS 管驱动波形



图4 LTC3780 降压模式时 Q1、Q2 实测波形

2.2 升压 (Boost) 工作方式

图 5(a) 为 Boost 拓扑结构, NMOS 管 Q 工作在开关状态 (导通与截止), Q 导通时, 整流二极管 D 截止, 储能电感 L 的电流增量为 $\Delta i^+ = \frac{V_{in}}{L} \cdot t_{on}$; Q 关断截止时, D 导通, 忽略 D 的导通压降, 则电感 L 的电流增量为 $\Delta i^- = -\frac{V_{in}-V_{out}}{L} \cdot t_{off}$ 。当达到稳定时, $\Delta i^+ + \Delta i^- = 0$, 由此得 $V_{out} = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} \cdot V_{in} = \frac{1}{1-d} \cdot V_{in}$ ^[5], 由于 $0 < d < 1$, 因此实现了升压。同理, 图(5)b 中 Q1 每 10 个周期将强制关断约 300 ns, 以便对自举电容器 C6 充电, 其余时间处于一直导通状态, Q2 一直关断截止, Q3 按 $1-d$ 的占空比工作, Q4 以占空比 d 工作在开关状态。其工作波形图如图 6、图 7 所示



(a) Buck 拓扑结构

(b) LTC3780 开关示意图

图5 基本 Boost 拓扑与 LTC3780 开关简化示意图

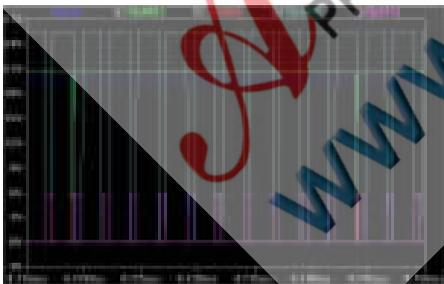


图6 LTC3780 升压模式时 4 个 NMOS 管驱动波形

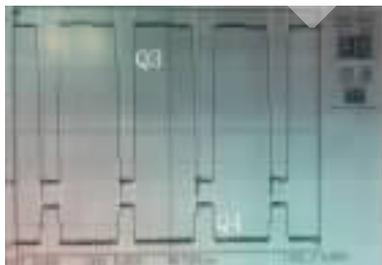
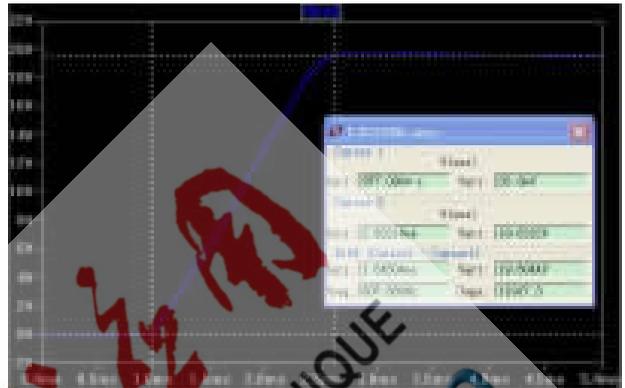


图7 LTC3780 升压模式时 Q3、Q4 实测波形

3 仿真结果及分析

仿真结果如图 8 所示。从图 8(a) 可以看出, 该电源启动过程约为 1.6 ms; 如图 8(b) 可以看出, 约 300 mV 的最大电压纹波出现在启动过程的上升阶段, 从最大纹波到稳定在 19.6 V 历时约为 2 ms。



(a) 电源启动过程



(b) 输出纹波

图8 仿真结果

实验室采用直流电源模拟柔性非晶硅太阳能电池, 模拟不同光照条件 (即不同输入电压和不同带载要求) 下的测试数据如表 1 所示^[6]。测试结果表明, 轻负载下约为 200 mV, 重负载下约为 350 mV, 表明纹波随输出带载能力不同而略有波动, 带载要求越高, 输出电压纹波越大, 总体测试与仿真结果较为接近。

表 1 不同负载、不同模式下的纹波水平

| 模式 | | 纹波/mV | | |
|----|------|---------|---------|---------|
| | | 0.75 带载 | 1.75 带载 | 2.75 带载 |
| 降压 | 30 V | 160~200 | 200~280 | 260~360 |
| | 28 V | 160~220 | 180~300 | 240~320 |
| | 25 V | 160~200 | 220~280 | 240~360 |
| | 20 V | 160~240 | 260~300 | 300~380 |
| 升压 | 18 V | 200~240 | 260~300 | 320~360 |
| | 15 V | 160~240 | 280~300 | 320~360 |
| | 12 V | 200~220 | 260~320 | 280~380 |
| | 10 V | 180~240 | 240~300 | 320~380 |

本文针对笔记本电脑在户外无法长时间使用而设计了一款户外开关电源,采用 LTspice IV 能方便、快速地仿真开关电源电路中的各点工作波形并分析电源输出随负载的变化。仿真结果表明,该款户外开关电源开关响应快,上升和稳定过程短;实物模拟测试结果表明,负载电流越大,该户外电源输出电压纹波越大,总体纹波大小在不同负载、不同模式下符合设计要求。

参考文献

- [1] 李定宣.开关稳压电源设计与应用[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [2] 张旭鹏,杨盛文,张金玲.非晶硅薄膜电池应用及前景分析[J].光源与照明,2010(1):39-41.
- [3] Linear Tech 公司.LTC3780 datasheet[DB/OL].[2013-01-06].
http://www.linear.com.
- [4] 黄海宏,王海欣,张毅.同步整流的基本原理[J].电气电子教学学报,2007(1):27-29.
- [5] PRESSMAN A I, BILLINGS K. Switching power supply design(Third Edition)[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [6] 沈超,付丽璋,吴世通.电源转换模块 LTC3780 的工作性能仿真分析[J].航天返回与遥感,2010(6):58-65.

(收稿日期:2013-01-06)

作者简介:

胡治伟,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:半导体照明。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.ChinaAET.com