

基于 PSpice 的升压型开关稳压电源设计与仿真

唐卫斌^{1,2}

(1. 西安电子科技大学 研究生院, 陕西 西安 710071; 2. 陕西商洛学院 物理与电子信息工程系, 陕西 商洛 726000)

摘要 介绍并分析了升压型开关变换器的拓扑结构及其仿真波形, 以及 PWM 电流模式的不稳定性及其解决办法。借助仿真软件 PSpice 设计了一款以 UC2843 为核心的升压开关稳压电源。整个电路易调试、工作稳定、高可靠性、成本低。

关键词 PSpice 软件; 升压变换器; 开关电源; UC2843

中图分类号 TP303+.3 **文献标识码** A **文章编号** 1007-7820(2012)01-027-04

Design and Simulation of Boost-Switch-Power Based on PSpice

TANG Weibin^{1,2}

(1. Graduate School, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. Dept. of Physics & Electronic Information Engineering, Shangluo University, Shangluo 726000, China)

Abstract The topology structure and simulation waves of the boost-switch-power are introduced and analyzed. The unsteady characteristic of the PWM circular mode is presented and its solution is given. A commonly used boost-switch-power with the UC2843 as it core is designed using the popular PSpice software. The circuit is easy to debug and it has the advantages of stable operation, high reliability and low cost.

Keywords PSpice soft; boost converter; switch power; UC2843

20 世纪 50 年代,美国宇航局以小型化、重量轻为目标,为搭载火箭开发了开关电源。在半个多世纪的发展过程中,开关电源因具有体积小、重量轻、效率高、发热量低、性能稳定等优点而逐渐取代由传统技术设计制造的连续工作的线性电源,并广泛用于电子、电气设备中。20 世纪 80 年代,计算机全面实现了开关电源化,率先完成了计算机的电源换代。20 世纪 90 年代,开关电源在电子、电气设备以及家电领域得到了广泛的应用,开关电源技术进入快速发展期。

Cadence 旗下的 PSpice 是一款电路仿真软件,能够对复杂的模数混合电路进行仿真,而且开关电源也不例外。

S_1 断开期间,二极管 D_1 导通,储存了能量的电感与输入电源串联,为输出提供电能,其中一部分转移到电容 C_1 里。

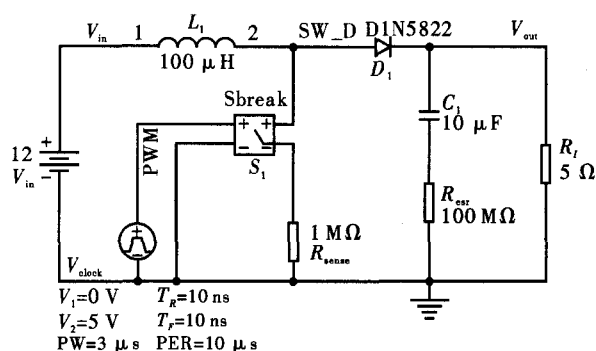


图 1 基本升压变换器结构电路

1 升压变换器拓扑结构

升压变换器属于间接能量传输变换器。供电过程包含能量的存储和释放两方面^[1-2]。如图 1 所示, V_{clock} 是脉冲信号源,提供 PWM 电压,用以功率开关 S_1 的导通与截止。 R_{sense} 为电流取样电阻, R_{est} 为电容的等效串联电阻。在开关 S_1 导通期间,二极管 D_1 截止,电感储存能量,输出电容单独为负载提供电能。在开关

1.1 工作于 CCM 条件下的升压变换器波形

对图 1 所示电路,借助 PSpice 进行仿真^[3],获得如图 2 所示的波形图。这是典型的电感电流连续导通模式(CCM)。

曲线①代表 PWM 波形,用于触发功率开关导通或断开。当开关 S_1 导通时,公共点 SW/D 电压几乎降到 0。相反,当开关 S_1 断开时,公共点 SW/D 电压增加为输出电压和二极管的正向压降之和,如曲线②所示。曲线③描述了电感两端电压的变化。高电平期间,电感左侧电压为 V_{in} ,右侧几乎为 0,对应功率开关导通;而低电平期间,电感左侧电压仍为 V_{in} ,而右侧突

收稿日期: 2011-05-29

作者简介: 唐卫斌(1982—),男,硕士研究生,讲师。研究方向: 航天类 DC/DC 转换器抗辐射能力评估。

变为 V_{out} , 因为功率开关截止, 同时二极管导通, 此时对应电感电压为负值, 这就意味着输出电压大于输入电压。

电感电路在平衡时, 电感两端电压平均值为 0, 即电感的电压时间平衡^[4]。也就是图中阴影部分面积 $S_1 = S_2$ 。假设 D 为 PWM 的占空比, T_{SW} 为开关周期。则

$$DV_{in}T_{SW} = (V_{out} - V_{in})(1 - D)T_{SW} \quad (1)$$

整理得到

$$M = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - D} \quad (2)$$

可见, 在理想情况下, D 越接近 1, 输出电压将趋于无穷大。实际上, 只要输出一定的电流, 就难以得到传输系数超过 4~5 的升压变换器。

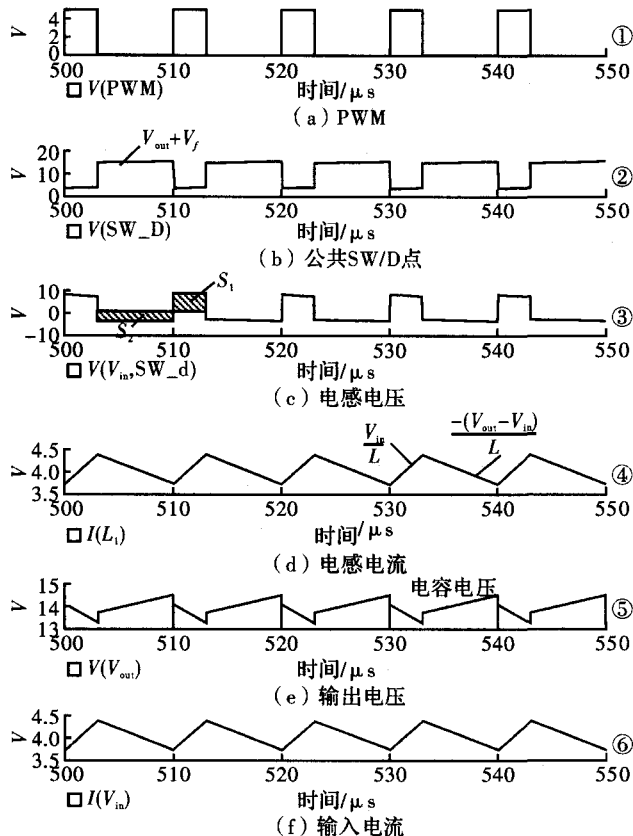


图2 工作于 CCM 条件下的 Boost 变换器波形

曲线④为电感电流波形。可以看到电感电压虽然出现了跳变, 但电感电流仍然是连续的。

曲线⑤是输出电压波形, 也是电容电压。可以看到恢复尖峰以及电压纹波。若考虑输出电容的 ESR, 则相对纹波为^[5]

$$\frac{\Delta V_{ESR}}{V_{out}} = \left(\frac{I_{out}}{V_{out}D'} + \frac{V_{in}DT_{SW}}{V_{out}2L} \right) R_{ESR} = \left(\frac{1}{R_L D'} + \frac{D' DT_{SW}}{2L} \right) R_{ESR} \quad (3)$$

曲线⑥是输入电流, 明显它是连续的。

1.2 工作于临界导通模式下的电感电流

当电感电流纹波降到 0 时, 功率开关 S_1 立即闭合, 电感电流又向上增大。如图 3 所示电感电流处于临界点的电流变化。此时, 电感电流平均值即对称三角形的电流平均值为最大值的 1/2。即

$$\langle I_L \rangle_{T_{SW}} = \frac{V_{in}DT_{SW}}{2L} \quad (4)$$

假设效率为 100%, 则有

$$\langle I_L \rangle_{T_{SW}} = \frac{V_{out}^2}{RV_{in}} \quad (5)$$

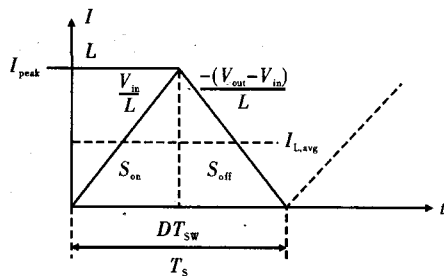


图3 电感电流处于临界点的电流变化

联立以上两式, 可得 R 和 L 的临界值

$$R_{critical} = \frac{2F_{SW}LV_{out}^2}{V_{in}^2 \left(1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \right)} \quad (6)$$

$$L_{critical} = \frac{\left(1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \right) V_{in}^2 R}{2F_{SW}V_{out}^2} \quad (7)$$

2 PWM 开关模式

1986 年前后, 脉宽调制 (Pulse Width Modulation, PWM) 开关模式被提出^[6], 先后出现了电压模式和电流模式。电流模式是目前常用的控制方法之一。

2.1 电流模式及其不稳定性

电流模式检测电感电流和开关电流, 并在逐个脉冲的基础上同误差放大器的输出进行比较, 控制 PWM 脉宽, 由于电感电流随误差信号的变化而变化, 从而更容易设置控制环路, 改善了线性调整率。

在 CCM 条件下, 占空比超过 50% 时, 电流模式存在固有不稳定性, 也称为次谐波振荡。这种不稳定性与稳压器的闭环特性无关, 它是由固定频率和峰值电流取样同时工作所引起^[7]。图 4(a) 显示了这种现象, 在 t_0 时刻, 开关开始导通, 使电感电流以斜率 m_1 上升, t_1 时刻, 电流取样输入达到由控制电压建立的门限。这导致开关断开, 电流以斜率 m_2 衰减, 直至下一个振荡器周期。如果有一个扰动加到控制电压上, 产生一个小的 ΔI , 在一个固定的振荡器周期内, 电流衰减时间减少, 最小电流在开关接通时刻 t_2 上升了 ΔI +

$\Delta I * m_2 / m_1$ 。最小电流在下一个周期 t_3 减小至 $(\Delta I + \Delta I * m_2 / m_1) m_2 / m_1$ 。如果 $m_2 > m_1$, 这样扰动经过几个开关周期的逐渐积累后, 就会出现占空比一大一小的现象, 即发生了次谐波振荡。图 4(b) 显示了通过在控制电压上增加一个与脉宽调制时钟同步的人为斜坡, 该斜坡的斜率如果 $\leq m_2 / 2$, 才能使得电感电流跟随控制电压, 达到真正的电流模式工作。

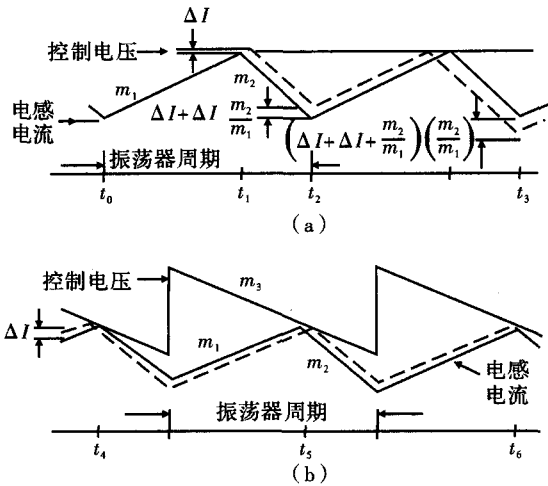


图 4 连续电流波形图

2.2 高性能电流模式控制器 UC2843 简介

UC2843 是一种电流型脉宽调制电源芯片^[7], 价格低廉, 广泛应用于电子信息设备的电源电路设计, 常用作反馈式开关电源的控制电路。UC2843 工作电压为 8.5 ~ 36 V, 是专为离线和 DC - DC 变换器应用而设计, 提供了只需少量外部元件就能获得低成本高效益的解决方案。具有可微调的振荡器、能进行精确的占空比控制、温度补偿的参考电压、高增益的误差放大器。电流取样比较器和大电流图腾柱式输出, 是驱动功率 MOSFET 的理想器件。其它的保护特性包括滞后式欠压锁定, 低压锁定门限为 8.5 V (通) 和 7.6 V (断), 还有逐周电流限制、可控输出静区时间等。

图 5 所示为 UC2843 的内部框图。

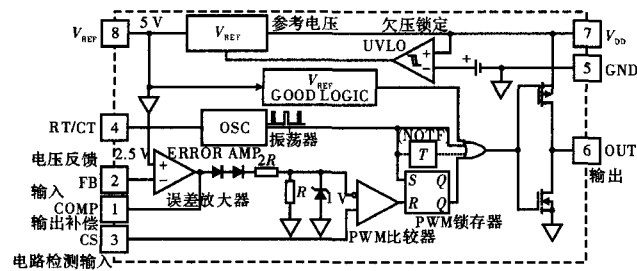


图 5 UC2843 的内部框图

3 升压型开关稳压电源设计

电源的技术指标为: 输入标称 12 V, 动态范围 9 ~

18 V, 输出 24 V, I_o 为 1 A, 频率为 300 kHz, 输出电压精度为 1%。设计电路如图 6 所示^[8]。

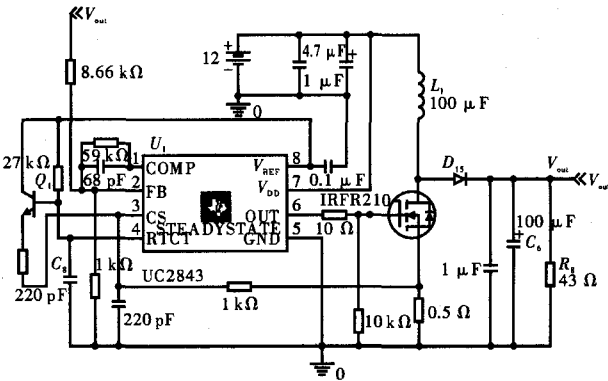


图 6 12 ~ 24 V 升压变换器电路

3.1 元件参数选择

(1) 储能电感。

在保证电感电流连续模式前提下, 电感值应满足^[9]

$$L \geq \frac{2(V_i - V_s)D(1 - D)}{I_o F_{sw}} \tag{8}$$

其中, V_s 为为开关管导通时漏极电位。假定电路在额定输出时, 电感纹波电流为平均电流的 30%, 即

$$\Delta I_L = 30\% \times \frac{I_o}{1 - D} \tag{9}$$

故, 电感值可取

$$L = \frac{(V_i - V_s)D}{\Delta I_L F_{sw}} \tag{10}$$

综合考虑, 电感可取 50 ~ 150 µH。

(2) 其它元件参数选择。

为得到 300 kHz 的工作频率, 选择 R_T 电阻为 27 kΩ, C_T 为 220 pF。UC2843 内部脚 2 为误差放大器的反向输入端, 正向输入基准为 2.5 V, 可知输出电压为 $V_o = 2.5(1 + R_1/R_2)$, 由此可确定输出取样电阻 R_1 和 R_2 值分别 8.7 kΩ 和 1 kΩ。开关管, 由于工作在大电流状态, 且频率为 300 kHz。应选择 R_{ds} 小的功率开关 MOS 管。输出二极管应选择快恢复二极管以保证开关的正常工作。输出电容是一个重要的储能元件, 所以应选用 100 µF 及以上的电解电容, 其余元件参数如图 6 所示。为防止次谐波振荡, 特加入了由 Q_1 组成的斜坡补偿电路。

3.2 电路模拟仿真

运行 PSpice 仿真, 得到如图 7 所示波形^[10]。在 9 V 输入电压下, 输出电压 23.899 V, 电压纹波 11 mV, 电感电流 1.545 9 A, 纹波 271 mA, 占空比 75%。由于加入了斜坡补偿, 所以并没有出现次谐波振荡, 即占空比时大时小的现象。电源效率为 70%。电路元件参

数的具体选择,可参考仿真结果,查看每个元件的电流和耗散功率加以确定。

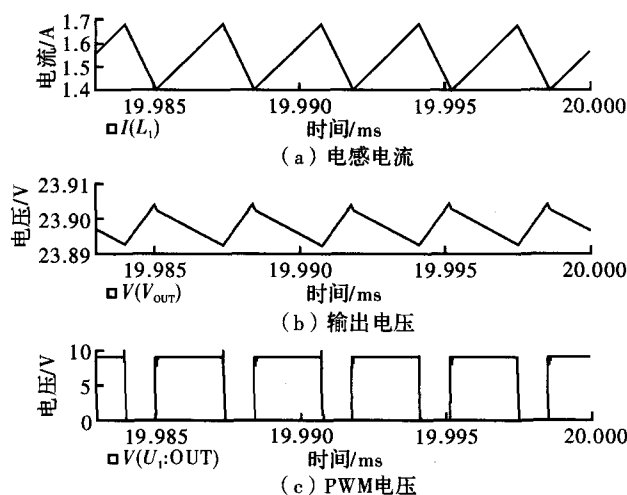


图7 PSpice 仿真波形

4 结束语

借助 PSpice 仿真软件,设计了一款常用的 12 ~ 24 V 升压型开关稳压电源电路。整个电路调试容易,工作稳定、可靠性高、成本低。另外,可根据具体的电路指标要求,对电路进行灵活控制、变动,设计出其他的应用电路。

参考文献

- [1] 裴云庆,杨旭,王兆安. 开关稳压电源的设计和应用[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 丁道宏. 国内外开关电源的技术与市场[J]. 电子产品世界,1999,8(2):43-47.
- [3] Cadence Software. Cadence - OrCAD - PSpice 软件使用手册[EB/OL]. (2010-09-18) [2011-03-12] www.simteaching.com.
- [4] 周志敏,周纪海,纪爱华. 开关电源实用技术:设计与应用[M]. 2版. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [5] CHRISTOPHE P B. 开关电源 Spice 仿真与实用设计[M]. 吕章德,译. 北京:电子工业出版社,2009.
- [6] VORPERIAN V. Simplified analysis of PWM converters using the model of the PWM Switch, Parts I (CCM) and II (DCM) [J]. Transactions on Aerospace and Electronics Systems, 1990,26(3):25-29.
- [7] TI Conpration. UC2843 - BiCMOS Low - Power Current - Mode PWM Controller [M]. USA Texas:TI Conpration,2010.
- [8] 包伟,蔡宣三. 用 Pspice 仿真研究 PWM 开关电源[J]. 电工电能新技术,1995(2):25-29.
- [9] 杜少武,刘保松. 基于 UC3846 的大功率 DC/DC 变换器[J]. 电源技术应用,2004(4):24-30.
- [10] 王联,潘孟春. UC3842 应用于电压反馈中的探讨[J]. 电源技术应用,2004(8):31-36.

中国电子科技集团公司第十研究所

中国电子科技集团公司第十研究所(以下简称“十所”)于1955年5月25日在北京组建,是新中国成立后创建的第一个综合性电子技术研究所,属于国家一类科研事业单位,现位于四川省省会成都市,拥有“信号与信息处理”和“电磁场与微波技术”两个硕士学位授权点和“成都天奥实业有限公司”博士后科研工作站。

十所本部主要从事军用电子装备和信息系统的研制、生产及售后服务,拥有3个研究部、3个中心、一个装备事业部和一个制造事业部,在职员工约1700名。

建所至今,十所先后荣获了200多项省部级以上科技成果奖,其中6项获国家科技进步特等奖、4项获国家科技进步一等奖、18项获国家科技进步二等奖。

十所把“追求卓越品质,超越顾客期望”作为企业的质量方针,先后荣获过1项国家质量金质奖、4项国家质量银质奖,1997年获GJB/Z9001质量体系认证证书。2004年取得“一级保密资格单位证书”,2005年获“军工电子装备生产许可证”。

1999年,十所被中央精神文明委员会授予“全国精神文明建设工作先进单位”称号,2000年、2005年因“神舟”号飞船发射成功两次荣获全国总工会“五一劳动集体奖”,2004年被人事部、国资委授予“中央企业先进集体”称号。2005年获得“全国文明单位”称号。

“十五”期间,十所经济收入保持年均30%的增长速度,2006年产值超过10亿元人民币,2010年度预计经济收入将达到20亿。