

# 一种双输出 PWM 型电流模式控制的 DC/DC 转换器的设计\*

## Design of a Dual-Output DC/DC Converter Controlled in Current Mode and Based on PWM Technology

郑凯华, 吴 焯, 孙伟锋, 吴建辉

(东南大学国家专用集成电路系统工程研究中心 江苏南京 210096)

**【摘要】** 提出了一个基于脉宽调制(PWM)技术并在非连续电流导通模式控制下工作的双输出 DC/DC 转换器的设计,该转换器在 5 V 输入电压下利用一个电感实现升压和反压两路电压输出。详细介绍了该转换器实现双电压输出的工作原理和驱动逻辑,并采用 HSPICE 电路模拟软件进行了仿真验证。

**关键词:** DC/DC 转换器, 脉宽调制, 非连续电流模式, 双电压输出

**【Abstract】** The design of a dual-out DC/DC converter is introduced, which is based on pulse width modulation and work in discontinuous current mode. The converter can provide two different outputs with a 5 V input using only one inductor. The logic structure which drive the converter to provide dual-output is described. Finally, the design of circuit is simulated and verified with HSPICE circuit simulation software.

**Keywords:** DC/DC converter, pulse width modulation(PWM), discontinuous current mode, dual-output

### 1 引言

DC/DC 转换器广泛应用于各种使用电池供电的便携式电子产品中,例如笔记本电脑、数字照相机、PDA 等。许多应用场合常常需要多电源供电,例如 SOC 芯片内部各模块根据其不同的速度和功耗的要求,需要不同的电源电压供电,因此,要求 DC/DC 转换器能在一个输入电源下转换输出多个电源。

### 2 DC/DC 转换器实现多电源输出的方法

DC/DC 转换器在同一个输入电源下实现多个电源输出的传统方法,是通过在开关电源的主输出电感的绕组线圈上增加副绕组线圈,再经过滤波来获得多个输出电压<sup>[1-2]</sup>,如图 1 所示。

虽然这种方法可以灵活地实现多电源输出,但有以下 2 个缺点:

(1) 实现一个附加电源输出就需要附加一个电感作为次级线圈,而增加电感会引入更大的电磁干扰,降低 DC/DC 的转换效率。

(2) 通过次级线圈获得的输出电压必须给电源控

制器引入反馈才能保持稳定,这样就增加了电源控制器设计的难度和复杂度。

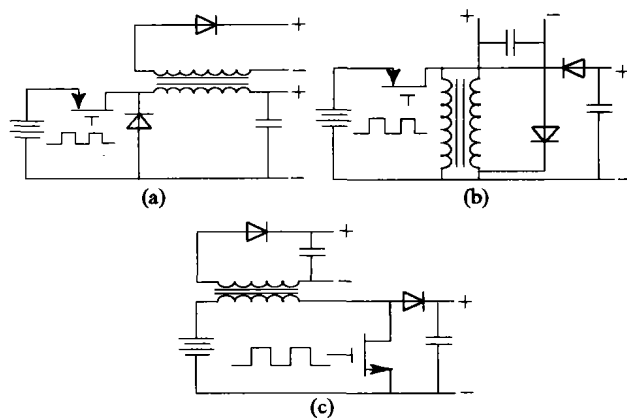


图 1 传统的多输出转换结构

另一种实现途径是通过一定的逻辑控制用一个电感实现多路电源输出<sup>[3]</sup>。这种转换器由于可以减少电感元件,提高转换效率,因而在各种便携式电子产品中应用更为广泛。本文所设计的双输出 DC/DC 转换器就是通过控制功率管 PMOS 和 NMOS 的开关时序,使同一个电感上的电流时分传输到不同的转换输出

\* 收稿日期:2003-06-23

端,从而实现升压输出和反压输出。

### 3 电路结构和模块功能

本文提出的双输出 PWM 型电流模式控制 DC/DC 转换器主要电路结构如图 2 所示<sup>[4-5]</sup>。

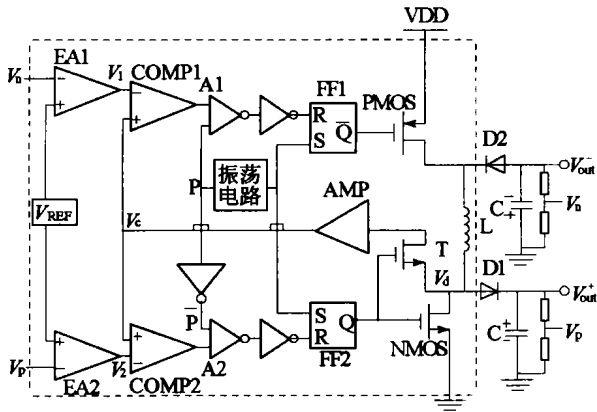


图 2 双输出 DC/DC 转换器电路结构

图 2 虚线内为芯片的内部电路,可以分为以下 5 个模块:

- (1) 基准电压源 VREF。利用带隙电压结构和分压电路,产生多个基准电压  $V_{REF}$ , 供给其它模块使用。
- (2) 振荡电路。产生周期为  $5 \mu\text{s}$  的脉冲, 输入触发器 FF1 和 FF2 的 S 端, 以及周期为  $10 \mu\text{s}$  的方波 P。
- (3) 电流取样电路。由开关管 NMOS、传输管 T 和放大电路 AMP 组成。NMOS 管的导通电阻  $R_{on}$  将电感电流转换为漏端电压  $V_d$ , 经传输管 T 和放大电路 AMP 后输出电压为  $V_c$ 。
- (4) 误差放大器 EA1、EA2 和比较器 COMP1、COMP2。误差放大器将参考电压和反馈电压的误差信号进行放大, 其输出  $V_1$ 、 $V_2$  加到比较器的负输入端。当 PMOS 和 NMOS 功率管同时导通时, 电感电流  $I_L$  线性增大, 电流取样电路使  $V_c$  线性增大, 达到  $V_1$  或者  $V_2$  时, 比较器由“0”翻转为“1”。
- (5) 逻辑控制和输出电路。用来产生驱动功率晶体管 PMOS 和 NMOS 的开关时序逻辑, 把电感电流  $I_L$  时分传输到不同输出端, 从而得到升压和反压 2 路输出。

### 4 双输出转换器的控制机理

转换器的主要工作波形示意图如图 3 所示。

振荡电路产生周期为  $5 \mu\text{s}$  的脉冲 S 和周期为  $10 \mu\text{s}$  的方波 P。当脉冲 S 到来时, 触发器 FF1 输出  $\bar{Q}$  被置“0”, FF2 输出 Q 被置“1”, PMOS 管和 NMOS 管同时导通。在第 1 个脉冲周期内,  $P = “0”$ , 使触发器

FF1 的 R 端保持为“0”, 故  $\bar{Q}$  保持“0”态, 所以 PMOS 管恒导通。电感电流  $I_L$  以  $\frac{di}{dt} = \frac{V_d}{L}$  的速率线性上升, 电流取样电路使  $V_c$  也线性上升, 经时间  $t_{on1}$  后,  $I_L$  达到  $I_{max1}$ , 使  $V_c > V_2$ , 比较器 COMP2 的输出 A2 翻转, 由“0”变为“1”, 触发器 FF2 的 R 端由“0”跳变为“1”, 故输出 Q 由“1”跳变为“0”, 使开关管 NMOS 截止。电感电流  $I_L$  维持原来的方向, 以  $\frac{di}{dt} \approx -\frac{V_{out}^+ - V_d}{L}$  的速率经续流二极管 D1 输出到升压转换端  $V_{out}^+$ , 经时间  $t_{off1}$  后线性下降到“0”, 因此在第 1 个脉冲周期内, 电路产生升压输出。

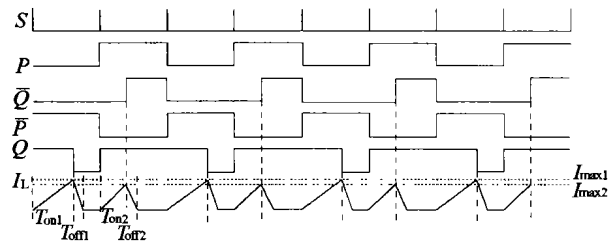


图 3 转换器主要工作波形示意图

在下一个 S 脉冲周期内, S 脉冲的到来使 PMOS 管和 NMOS 管再次同时导通, 但此脉冲周期内  $\bar{P} = “0”$ , 触发器 FF2 的 R 端保持为“0”, 输出 Q 保持“1”, 故 NMOS 管恒导通, 电感电流  $I_L$  也以  $\frac{di}{dt} = \frac{V_d}{L}$  的速率线性上升, 电流取样电路使  $V_c$  线性上升, 经时间  $t_{on2}$  后,  $I_L$  达到  $I_{max2}$ , 使  $V_c > V_1$ , 比较器 COMP1 的输出 A1 由“0”翻转为“1”, 使触发器 FF1 的 R 端由“0”跳变为“1”, 故输出  $\bar{Q}$  由“0”变“1”, P 管截止。此时, 电感电流  $I_L$  维持原来的方向, 以  $\frac{di}{dt} = -\frac{0 - V_{out}^-}{L}$  的速率经续流二极管 D2 输出到反压转换端  $V_{out}^-$ , 经时间  $t_{off2}$  后线性下降到“0”, 故电路在第 2 个脉冲周期内产生反压输出。

总之, 控制电路产生功率管 PMOS 和 NMOS 的开关时序逻辑, 把电感电流时分传输到不同的电压转换输出端, 从而得到在一定范围内可以独立调整的升压和反压 2 路输出电压。由于该转换器工作在非连续导通模式, 故  $t_{on} + t_{off} < T$ , 这 2 路输出电压的计算公式<sup>[6]</sup>如下:

$$V_{out}^+ \approx \sqrt{\frac{kR_{L1}T_{on1}}{2L}}$$

$$k = \frac{T_{on1} + T_{off1}}{T} V_{out}^- \approx -V_d T_{on2} \sqrt{\frac{R_{L2}}{2TL}}$$

式中:  $R_{L1}$  为升压输出负载;  $R_{L2}$  为反极性输出端负载。

## 5 HSPICE 电路模拟

采用 HSPICE 电路模拟, 在电源电压为 5 V、升压端负载电阻  $R_{L1}$  为 2 k $\Omega$ 、反极性端负载电阻  $R_{L2}$  为 1 k $\Omega$ 、电感  $L = 30 \mu\text{H}$  时, 得到 2 路输出电压的模拟结果如图 4 所示。

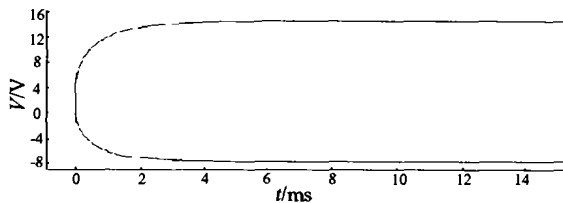


图 4 双输出电压的 HSPICE 仿真结果

其中, 升压输出电压为 14 V, 输出电流为 7 mA; 反压输出电压约为 -7.8 V, 输出电流为 -7.8 mA; 纹波电压  $V_{\text{ripple}} \leq 30 \text{ mV}$ ; 两端输出到达稳定值的过渡时间约为 5 ms。通过调节分压电阻的比值, 可以使升压输出最大达 24 V, 反压输出电压最低达到 -9 V, 最大输出电流为  $\pm 10 \text{ mA}$ 。在系统正常工作时, 芯片内部总功耗  $P_i$  约为 15 mW。由模拟结果可以估算出电路的输出效率可为:

$$\eta \approx \frac{P_{\text{out}}^+ + P_{\text{out}}^-}{P_{\text{out}}^+ + P_{\text{out}}^- + P_i} = \frac{98 + 60.84}{98 + 60.84 + 15} \approx 91.4\%$$

可见, 在这种模拟情况下, 效率是比较高的。

电感电流的 Hspice 模拟仿真结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出, 转换器工作在电流非连续导通模式, 并且通过电感的电流有 2 个峰值, 分别是时分传

到 2 个不同的转换输出端的电感电流峰值。

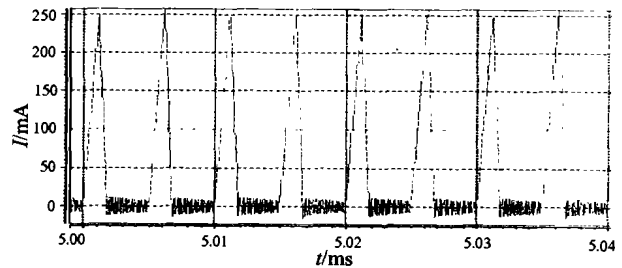


图 5 电感电流的 HSPICE 模拟仿真结果

## 6 结束语

本文提出了一种 PWM 型在电流非连续导通模式控制下工作的双输出 DC/DC 转换器的设计, 并结合波形分析了其工作原理。模拟的结果验证了本设计可以只用 1 个电感实现升压和反压 2 路电压输出, 并且电路具有转换效率高、纹波电压小、过渡时间短等优点。

### 参 考 文 献

- 1 王海永, 李永明, 陈泓毅. 便携式电子系统的 DC/DC 开关电源系统结构设计和研究. 固体电子学研究进展, 2002, 22(5): 164 ~ 169
- 2 Moore B D. Regulator Topologies Standardize Battery-Power System. EDN, 1994(1): 59 ~ 64
- 3 Wu Keng C. Pulse Width Modulated DC-DC Converters. New York: Chapman & Hall, 1997
- 4 Michell D M. DC-DC Switching Regulator Analysis. New York: McGraw-Hill, 1988
- 5 Pressman A I. Switching Power Supply Design. New York: McGraw-Hill, 1991

(上接第 46 页)

当前采样值;  $R_x$  为当前采样值所对应的电阻值;  $R_2$  为阻值上限值。

本装置中有 4 挡量程, 故对应 4 张表格。

### 4.5 采样子程序

采样子程序用来采样被测参数并转换成数字量, 供计算机处理。具体做法是检测 A/D 转换结果寄存器的 S 位状态, 并判断 A/D 转换是否完成。

### 4.6 键盘显示子程序

键盘显示子程序用来完成各键值的识别、键盘功能的实现以及各参数值的显示。

## 5 结束语

本装置于 2001 年初在扬子石化生产厂投入使用, 并于同年通过省级鉴定。由于其原理正确, 设计合理, 两年来运行正常, 检测效果良好, 对高压电机的安全运行发挥了重要作用, 同时也为电机现场绝缘性能测试和评估提供了极大方便, 具有很好的经济效益。

### 参 考 文 献

- 1 刘振安, 张培仁. MCS-96 系列单片微机原理与实践. 合肥: 中国科技大学出版社, 1992
- 2 沈标正. 电机故障诊断技术. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 3 唐兴祚. 高电压技术. 重庆: 重庆大学出版社, 1991