

BUCK-BOOST 拓扑电路浅析

引言

BUCK-BOOST 电路是一种常用的 DC/DC 变换电路，其输出电压既可低于也可高于输入电压，但输出电压的极性与输入电压相反。下面我们详细讨论理想条件下，BUCK-BOOST 的原理、元器件选择、设计实例以及实际应用中的注意事项。

BUCK-BOOST 电路原理

BUCK-BOOST 电路简图如图 1。

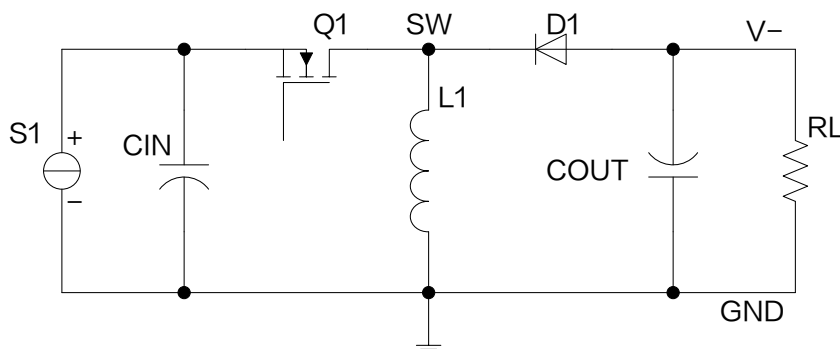


图 1.BUCK-BOOST 电路简图

当功率管 Q1 闭合时，电流的流向见图 2 左侧图。输入端，电感 L1 直接接到电源两端，此时电感电流逐渐上升。导通瞬态时 di/dt 很大，故此过程中主要由输入电容 CIN 供电。输出端，COUT 依靠自身的放电为 RL 提供能量。

当功率管 Q1 关断时，电流的流向见图 2 右侧图。输入端 VIN 给输入电容充电。输出端，由于电感的电流不能突变，电感通过续流管 D1 给输出电容 COUT 及负载 RL 供电。

系统稳定工作后，电感伏秒守恒。Q1 导通时，电感电压等于输入端电压 VIN；Q1 关断时，电感电压等于输出端电压 VOUT。设 T 为周期，TON 为导通时间，TOFF 为关断时间，D 为占空比 ($D = T_{ON}/T$)，下同。由电感伏秒守恒有：

$$\begin{aligned} V_{IN} \cdot T_{ON} &= V_{OUT} \cdot T_{OFF} \\ V_{IN} \cdot D \cdot T &= V_{OUT} \cdot (1-D) \cdot T \end{aligned}$$

由此可得：

$$V_{OUT} = \frac{D}{1-D} \cdot V_{IN}$$

$$D = \frac{V_{OUT}}{V_{OUT} + V_{IN}}$$

占空比小于 0.5 时，输出降压；占空比大于 0.5 时，输出升压。以上式子只考虑电压的绝对值，未考虑输出电压的方向。

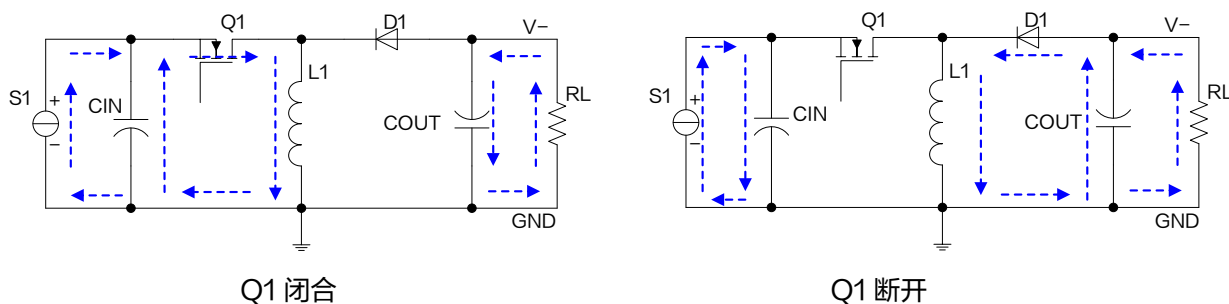


图 2.BUCK-BOOST 电流流向

BUCK-BOOST 元器件计算及各点波形（电感电流连续模式）

以下均在电感电流连续模式下讨论，即 CCM。

首先我们先看一下各点理想情况下的波形：

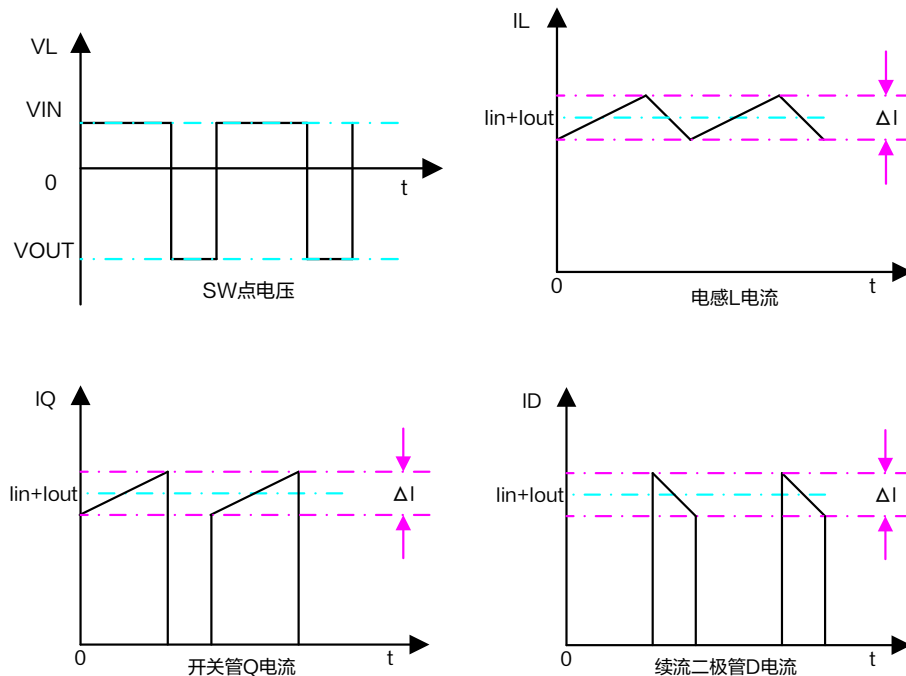


图 3.关键元器件电压、电流波形

电感 L1

通常 ΔI 可以取 0.3 倍的 $I_{IN}+I_{OUT}$ ，在导通时，电感的电压等于输入电压，电感感量可由下式计算：

$$L = \frac{D \cdot V_{IN}}{0.3 \cdot F_{SW} \cdot (I_{IN} + I_{OUT})}$$

若按上述感量选择电感，则流过电感的峰值电流：

$$I_{LPEAK} = I_{IN} + I_{OUT} + \frac{\Delta I}{2} = 1.15 \cdot (I_{IN} + I_{OUT})$$

实际应用应留有一定的余量，电感的电流能力通常取 $1.5 \cdot (I_{IN} + I_{OUT})$ 以上。

续流二极管 D1

当 Q1 导通时，续流二极管的阴极 SW 点电压为 V_{IN} ，续流二极管的阳极电压为 $-V_{OUT}$ ，故 D1 承受的电压为：

$$V_D = |V_{IN}| + |V_{OUT}|$$

当 Q1 关断时，续流二极管续流，电流的峰值为 I_{LPEAK} ，平均电流为 I_{OUT} 。

由于二极管在高温下漏电容容易造成芯片的损坏，故通常要留有一定的余量，其中电压建议 1.5 倍的余量。

功率管 Q1

当 Q1 关断时，SW 点电压被钳位到 $-V_{OUT}$ ，故功率 MOS 承受的最大电压：

$$V_{MOS} = |V_{IN}| + |V_{OUT}|$$

当 Q1 导通时，Q1 的电流峰值为 I_{LPEAK} ，平均电流为 I_{IN} 。

输入电容

输入电容纹波电流有效值可用下式计算：

$$I_{CINRMS} = I_{IN} \cdot \sqrt{\frac{1-D}{D}}$$

如果设 C_{IN} 电容在 MOS 导通时, 电压跌落不超过 ΔV_1 , 则可用下式计算最小容量:

$$C_{IN} = \frac{(1-D) \cdot I_{IN}}{\Delta V_1 \cdot F_{SW}}$$

输出电容

输出电容纹波电流有效值可用下式计算:

$$I_{COUTRMS} = I_{OUT} \cdot \sqrt{\frac{D}{1-D}}$$

如果设 C_{OUT} 电容在 MOS 导通时, 电压跌落不超过 ΔV_2 , 则可用下式计算最小容量:

$$C_{OUT} = \frac{D \cdot I_{OUT}}{\Delta V_2 \cdot F_{SW}}$$

设计实例

要求

输入电压 10~14V, 输出电压 -5V, 输出电流 1A, 选取合适的芯片, 并计算主要元器件参数。

解决步骤

1. 计算输入电流: 输出功率约 5W, 输入最大电流, 假设 80% 的效率, 则输入电流为 $5W/0.8/10V=0.625A$;
2. 计算输入峰值电流: $1.15 \cdot (1A+0.625A)=1.87A$;
3. 计算功率管、续流肖特基管峰值电压: $|-5V|+|14V|=29V$;
4. 选择合适的芯片, 可选耐压为 40V 左右, 电流能力大于 2A 以上的 BUCK 降压芯片, 此处选择 XL4201;
5. 计算 10V 时的占空比: $D=5V/(5V+10V)=0.33$;
6. 计算电感量: $L=0.33 \cdot 10V/(0.3 \cdot 150KHz \cdot (1A+0.625A))=45\mu H$;
7. 计算最小电流能力 $I_L=1.5 \cdot (1A+0.625A)=2.44A$, 选用 47uh/3A 电感;
8. 肖特基二极管耐压要大于 29V, 平均电流 1A, 峰值电流约 1.87A, 可选 SS36;
9. 输入电容纹波电流有效值: $I_{CINRMS}=0.625A \cdot \sqrt{((1-0.33)/0.33)}=0.89A$, “sqrt” 代表根号;
10. 假设输入电压最大跌落 0.05V, 则 $C_{IN}=(1-0.33) \cdot 0.625A/(0.05V \cdot 150KHz)=56\mu F$, 选用 47uF 电解电容;
11. 输出电容纹波电流有效值: $I_{COUTRMS}=1A \cdot \sqrt{0.33/(1-0.33)}=0.70A$;
12. 假设输出放电电压最大跌落 0.05V, 则 $C_{OUT}=0.33 \cdot 1A/(0.05V \cdot 150KHz)=44\mu F$, 选用 100uF 电解电容。

实际电路可参考下图:

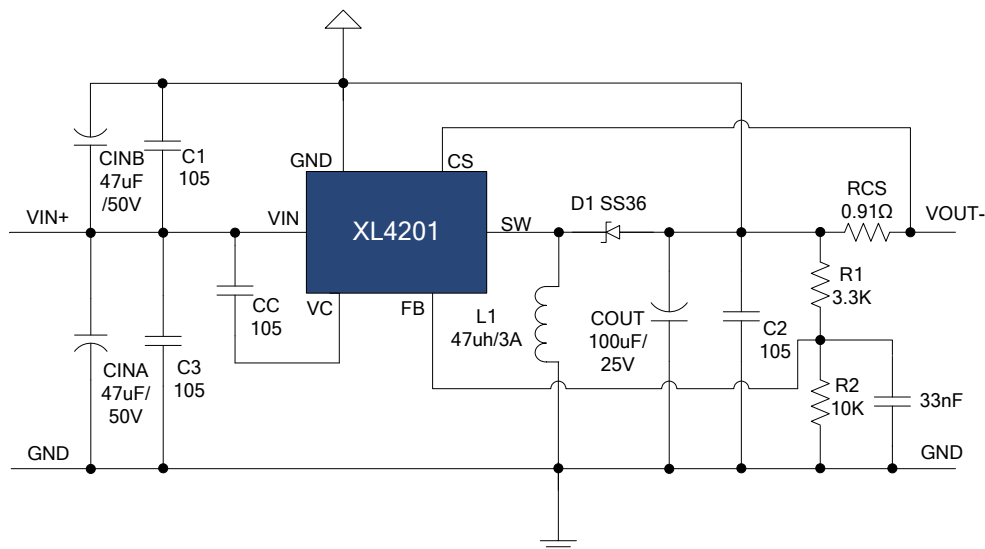


图 4.XL4201 BUCK-BOOST 参考电路图

注意事项

1. 芯片与肖特基二极管 D1 的耐压均要大于输入电压与输出电压绝对值之和；
2. CINB 与 C1 为芯片提供纯净电源，CINB 可以选用 10uF 以上电容即可；
3. 芯片的 GND 引脚与输入、输出功率地不是同一属性，注意区分；
4. BUCK-BOOST 电路的效率要低于单纯的 BUCK 或 BOOST 电路，实际使用时要注意多留余量。