

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。

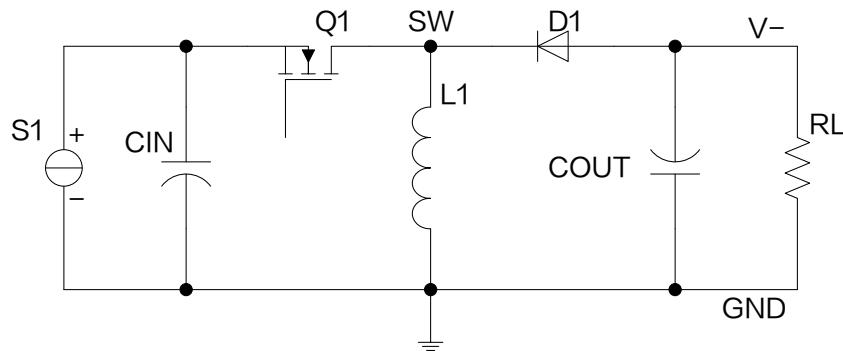


图 1.BUCK-BOOST 电路简图

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， T_{ON} 为导通时间， T_{OFF} 为关断时间，D 为占空比 ($D=T_{ON}/T$)，下同。由电感伏秒守恒有：

$$VIN \cdot T_{ON} = VOUT \cdot T_{OFF}$$

$$VIN \cdot D \cdot T = VOUT \cdot (1-D) \cdot T$$

由此可得：

$$VOUT = \frac{D}{1-D} \cdot VIN$$

$$D = \frac{VOUT}{VOUT + VIN}$$

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。

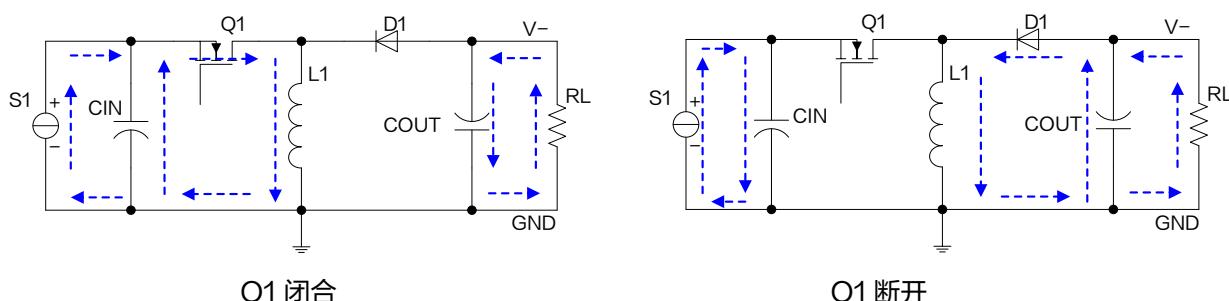


图 2.BUCK-BOOST 电流流向

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:

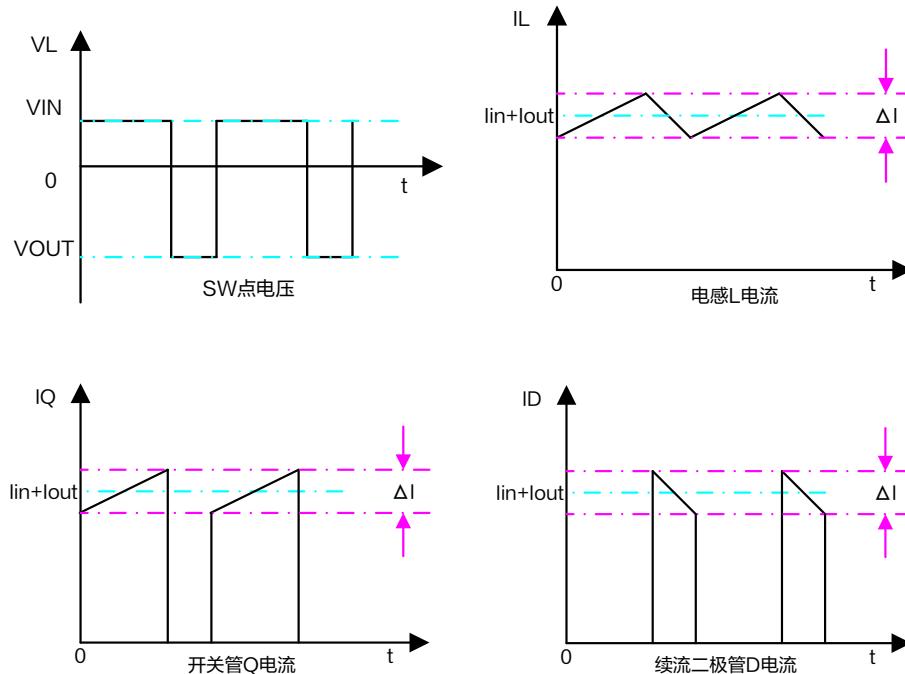


图 3. 关键元器件电压、电流波形

电感 L1

通常 ΔI 可以取 0.3 倍的 $I_{IN+IOUT}$, 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:

$$L = \frac{D * V_{IN}}{0.3 * FSW * (I_{IN+IOUT})}$$

若按上述感量选择电感, 则流过电感的峰值电流:

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

实际应用应留有一定的余量, 电感的电流能力通常取 $1.5 * (I_{IN+IOUT})$ 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:

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

如果设 CIN 电容在 MOS 导通时，电压跌落不超过 $\Delta V1$ ，则可用下式计算最小容量：

$$C_{IN} = \frac{(1-D)*I_{IN}}{\Delta V1 * F_{SW}}$$

输出电容

输出电容纹波电流有效值可用下式计算：

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

如果设 COUT 电容在 MOS 导通时，电压跌落不超过 $\Delta V2$ ，则可用下式计算最小容量：

$$C_{OUT} = \frac{D * I_{OUT}}{\Delta V2 * F_{SW}}$$

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： $1.15*(1A+0.625A)=1.87A$ ；
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： $L=0.33*10V/(0.3*150KHz*(1A+0.625A))=45uH$ ；
7. 计算最小电流能力 $I_{L}=1.5*(1A+0.625A)=2.44A$ ，选用 47uh/3 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： $I_{CINRMS}=0.625A*sqrt((1-0.33)/0.33)=0.89A$ ，“sqrt”代表根号；
10. 假设输入电压最大跌落 0.05V，则 $C_{IN}=(1-0.33)*0.625A/(0.05V*150KHz)=56uF$ ，选用 47uF 电解电容；
11. 输出电容纹波电流有效值： $I_{COUTRMS}=1A*sqrt(0.33/(1-0.33))=0.70A$ ；
12. 假设输出放电电压最大跌落 0.05V，则 $C_{OUT}=0.33*1A/(0.05V*150KHz)=44uF$ ，选用 100uF 电解电容。

实际电路可参考下图：

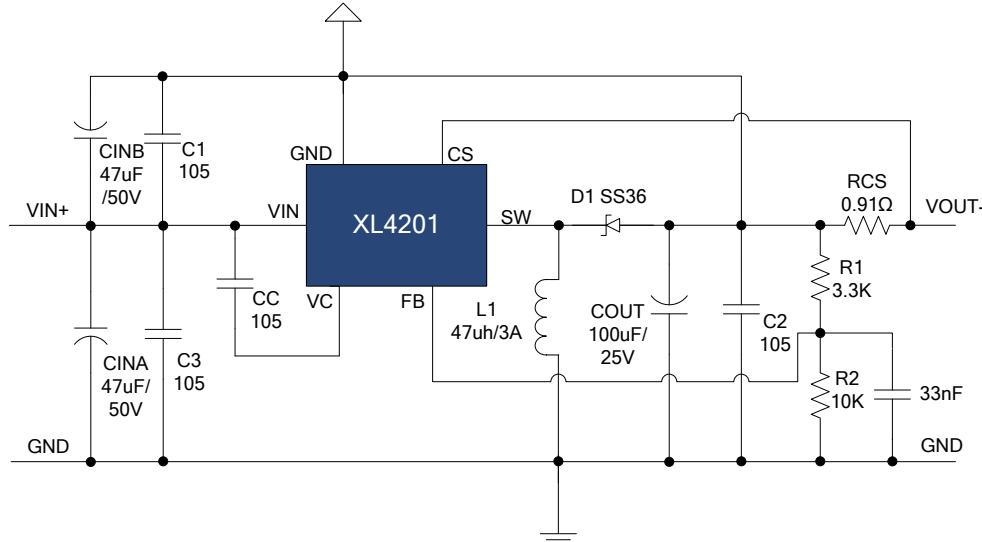


图 4.XL4201 BUCK-BOOST 参考电路图

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。