

BOOST 拓扑应用指南

BOOST Topology Application Guide

以 SCT8162X 系列为例

If you have any questions please contact
wesley-lin@silicontent.com
sales@silicontent.com



- 1 Boost 控制器应用场景
- 2 Boost 电路组成
- 3 计算相关参数
 - 电感选型、采样电阻选取、采样消隐、斜坡补偿设置、MOS 管选型、续流二极管选型、输出电容选择、输入电容选择、使能控制实现、输出电压设定、补偿元件参数的计算
- 4 控制器选型与推荐

摘要

BOOST 是开关电源中的三种基础拓扑之一，应用由于供电电压低但负载需要得到比输入电压更高的场景。如汽车中的车灯、音响功放、中控、T-BOX、激光雷达等。

因应用场景的电压和功率各不相同，内置 MOSFET 升压转换器的功率及耐压有时会受限。内置 MOSFET 若是用单 Die 工艺成本会比市面上成熟的分立 MOSFET 高，且分立的 MOSFET 很多样也易选择；若采用多 Die 合封，可靠性和热及灵活性受到限制。

这时控制器加外置 MOSFET 的方式是个高性价比不错的选择。功率器件外置后给应用者带来了一定的器件选型挑战。本篇内容我们将基于 BOOST 控制器 SCT8162xQ 系列中 SCT81620 的 BOOST 拓扑应用参数计算进行梳理。

示例规格如下：

输入：DC6V-16V，耐压需要 36V；

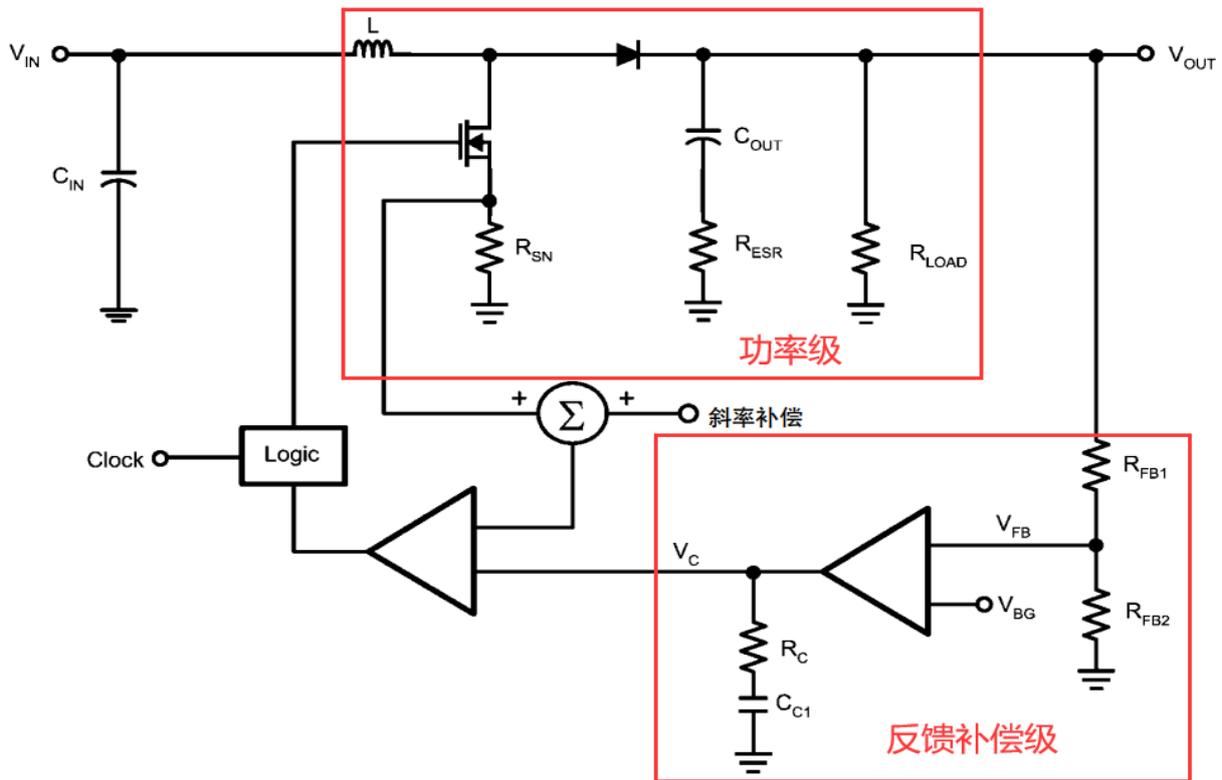
输出：DC43V 1.4A

输出纹波：±3%@静态，±5%@动态

目录

1 摘要 Boost 控制器应用场景	1
2 Boost 电路组成	3
3 计算相关参数	4
3.1 电感选型	4
3.2 采样电阻选取	4
3.3 采样消隐、斜坡补偿设置	5
3.4 MOS 管选型	5
3.5 续流二极管选型	6
3.6 输出电容选择	6
3.7 输入电容选择	7
3.8 使能控制实现	7
3.9 输出电压设定	8
3.10 补偿元件参数	8
4 控制器选型与推荐	9

二、电路组成



电路的功率拓扑确定后，功率级参数关乎系统效率和 EMI 及成本等。

器件选型可先完成功率级器件参数设定，再通过补偿级的阻容参数配置使系统稳定工作和提供足够的负载动态响应等。

规格确认

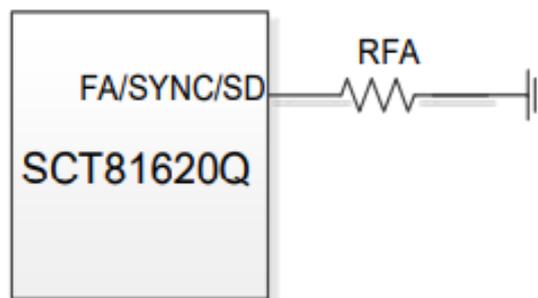
- 1、SCT81620Q 芯片输入电压范围：3.2V-50V，宽于示例要求的输入电压 DC6V-16V 和耐压 36V。
- 2、占空比 $D_{max} = 1 - \eta * V_{in_min} / (V_{out} + V_d) = 1 - 0.9 * 6 / 43.6 = 0.876$,

根据 $D_{max} = 1 - T_{off_min} * F_{sw}$, 若 T_{off_min} 固定则通过调整 F_{sw} 也是可以改变 D_{max} 。

实际上 SCT81620 的 T_{off_min} 与 F_{sw} 是成反比的，不是个固定值。

根据规格书开关频率设置在 400KHz 是可以维持 91% 占空比, 示例选择 350KHZ。

$R_{FA} = (19700 / 350) - 1.177 = 55K\Omega$, 选标准阻值 56 K Ω



三、计算相关参数

3.1 电感选型

为避免应用过程中电感饱和，须保证电感峰值电流不可大于电感的饱和电流，BOOST 拓扑电感峰值电流最恶劣条件是负载满载且在 V_{IN_min} 时。根据伏秒平衡及电感电流的纹波率可计算出电感量，其中纹波率取 20%-40%，性价比是最高的。电感量过小，电感电流纹波大，电感饱和电流就得要选的更大，开关管的温升也会高，甚至 EMI 问题也会比较明显；电感量过大，电感电流纹波会比较小，但导致动态响应变差，尺寸也会比较大，成本甚至增加。

电感的平均电流 $I_L = I_o / (1-D) = 1.4 / (1-0.876) = 11.29A$

电感的纹波电流 ΔI_L ，基于纹波率选择 30%。 $\Delta I_L = 0.3 * I_L = 3.39A$

电感峰值电流 $I_{PK} = I_L + \Delta I_L / 2 = 12.98A$ 。

考虑预留 20% 余量，可选取 $\geq 16.22A$ 饱和电流的电感

开关频率 f_{sw} 上面已预设为 350KHz

电感量 $L = (V_{in_min} * D) / (\Delta I_L * f_{sw}) = (6V * 0.876) / (3.339A * 350KHz) = 4.43\mu H$ ，如选择标准值 4.7 μH 。

3.2 采样电阻选取

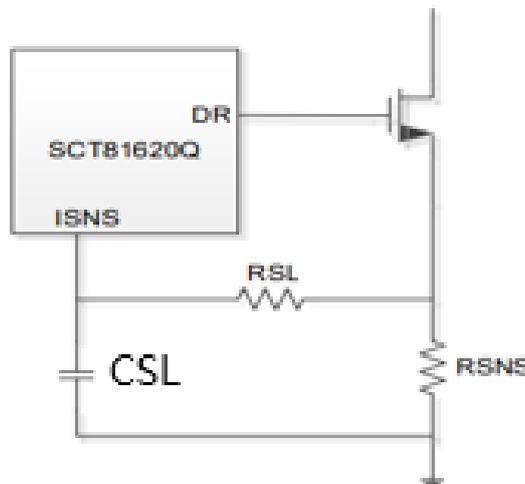
BOOST 拓扑限流电阻即采样电感的峰值电流。根据 I_{PK} 考虑预留 10% 余量，限流点可设置 14.42A。

根据 $I_{PEAK_CL} = (V_{sense} - 40\mu A * R_{SL} * D) / R_{SNS} \rightarrow 146.5mV / 14.42A = 10.16m\Omega$

初步选择 10m Ω ，此值是基于无外部斜坡补偿， $R_{SL} = 0\Omega$ 状况。若不是 0 Ω ，还需要结合 R_{SL} 值。

电阻是耗能元器件，选型时一定要评估所选的电阻额定功率是否满足要求。

根据 $P_{RSNS} = I_{2PEAK_CL} * R_{SNS} = 14.42A * 14.42A * 0.01 = 2.08W$ ，选择 3W，1% 精度的 2512 封装



3.3 采样消隐、斜坡补偿设置

因寄生参数，外置开关管的每次开启不可避免带来开关毛刺，甚至可能会引起内部误动作。为了消除开关毛刺的影响，采样延时或外接 RC 滤波电路是必要的。防止高占空比下的次谐波振荡，SCT81620Q 提供了内部固定补偿加外部可选的可调整斜率补偿方式。

当内部斜率补偿不够大的，需要使用外部 RSL 额外斜率补偿。根据峰值电流模控制理论，斜率补偿中的斜坡斜率必须大于电感电流下降斜率的一半，设置 0.75 为佳，以防止高占空比下的次谐波振荡。

$$\text{根据 } (40\mu\text{A} * \text{RSL} + 90\text{mV}) * f_{\text{sw}} / (((\text{Vo} + \text{Vd}) - \text{VIN}) * \text{RSNS} / \text{L}) = 0.39 < 0.75$$

建议外加斜率补偿。根据以上公式，RSL 可取 560Ω ，RSNS 需改为 $9\text{m}\Omega$ ，当外加斜率补偿后其限流值也跟着变化，所以采样电阻的选择是一个不断迭代过程。

外接 RC 滤波时，在消隐的这段时间内，芯片不会对过流做出反应，即导通时间小于 $2 * \text{RSL} * \text{CSL}$ 时，峰值电流限制无效，且此过流点随供电电压的变化而变化。

$$\text{根据在关断期间要使 CSL 完全放电，RC 时间常数应满足 } 3 * \text{RSL} * \text{CSL} < (1 - D) / f_{\text{sw}}$$

可推出 $\text{CSL} < 214\text{PF}$ 。

$$\text{根据 } (1 - \text{Vin}_{\text{max}} / \text{Vo}) / f_{\text{sw}} > 2 * \text{RSL} * \text{CSL} \text{ 可计算出限流有效对应的最高供电电压为 } 39.6\text{V}。$$

3.4 MOS 管选型

MOSFET 是电源核心器件之一，其选型关系到系统的性能和成本等；也是系统中主要的热源之一，车载应用大多是在密闭环境中，考虑散热处理及生产方便我们可以选择贴片的封装如 5*6，也可利用铝制外壳当散热器。基于 DC/DC 应用中的 MOSFET 常见失效模式，可重点评估 MOSFET 的雪崩与 SOA 两个指标，选择正确的 MOSFET 规格也是一个迭代过程。

① 驱动电压

根据控制器的驱动电压为 6V，我们可选择 4V 及以下开启的，考虑车载应用环境可以选择 4V 也利于提高抗干扰。

② 耐压

$$\text{Vds} > 1.25 * (\text{Vo} + \text{Vd}) = 1.25 * (43 + 0.85) = 54.8\text{V}, \text{选取耐压 } 60\text{V}$$

③ 额定电流的初步范围确认

$$\text{Id} > (3 - 5) * \text{IPEAK_CL} = (3 - 5) * 14.42\text{A} = 43\text{A} - 72\text{A}$$

④ Qg

当频率超过 100kHz 后，由于 MOSFET 的 G、D、S 各极之间存在寄生电容，驱动时电容存在充放电电流和充放电时间从而产生损耗，因此必须注意 MOSFET 的栅极电荷 Qg，输出电容 Coss，以及栅极驱动电阻对开关损耗的影响。其中总栅极电荷 (QG_total) 是重点关注的参数，不能大到足以使内部 VCC 稳压器置于电流限制状态，SCT81620 虽没有电流限制，考虑功耗建议根据如下限定。

$$\text{Qg} < 70\text{mA} / f_{\text{sw}} = 200\text{nF}$$

⑤ 热评估

根据前面 4 个步骤，初步可选用 IAUC60N06S5N074 (7.4mΩ@60V60A)。为了确保 MOSFET 可靠性，通常最大工作结温降低 10° C 至 25° C，常用 FR4 材质的 PCB，温度上限为 110 度左右。

根据所选择的 MOSFET 参数计算温度降额后电流

$$I_d(25^{\circ}\text{C}@V_{gs}=6\text{V}) = \sqrt{(T_{jmax}-T_c) / (R_{dson_max} * a * R_{\theta jc})}$$

$$= \sqrt{((175^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C}) / (11\text{m}\Omega * 1.62 * 2.9\text{K/W}))} = 53.87\text{A}$$

$$I_d(110^{\circ}\text{C}) = I_{ds}(25^{\circ}\text{C}) * (T_j - T_c) / (T_{jmax} - 25^{\circ}\text{C}) = 53.87\text{A} * (150^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}) / (150^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$= 17.2\text{A} > I_{PEAK_CL}$$

再根据 MOSFET 损耗来判断 MOSFET 本身的热阻是否可以满足散热要求，其中导通损耗、开关损耗、驱动损耗占大头。也可根据对 MOSFET 实测波形用线性近似法来对各个时间范围进行分割从而计算功率损耗。必要的话需外加散热器辅助散热。

3.5 续流二极管选型

车载应用一般是密闭环境，温度会比较。因此续流二极管选型时，除了低 VF 之外，从降低热失控风险的观点来看，低 IR 特性和封装的散热性能也变得非常重要。还需特别注意，因升压拓扑启机瞬间输入输出存在必然通路所以续流二极管需能承受此浪涌电流。

二极管的反向额定电压必须大于负载电压， $V_{rrm} > 1.25 * V_o = 1.25 * 43\text{V} = 53.75\text{V}$ ，选取耐压 60V

续流管电流 $I_D = (3 \sim 5) * I_o = (3 \sim 5) * 1.4\text{A} = 4.2 \sim 7\text{A}$ ，如选择 DIODES 的 PDS760Q

3.6 输出电容选择

① 耐压

$(1.25 \sim 1.5) * V_o = 1.25 * 43\text{V} = 53.75\text{V}$ ，可以选择 63V。

② 容量

考虑负载 10%-90% 阶跃时，即从 0.14A 至 1.26A 变化，输出电流全由输出电容提供，输出电压变化量不超过 5%=2.15V，此时对电容量要求最为苛刻，所以输出电容必须足够大，提供芯片足够时间响应，从而将输出电压保持在指定范围内。BOOST 拓扑由于是在 Toff 时能量传递至输出，存在不可补偿的右半平面零点，因此系统响应带宽建议设置在 1/3-1/5 右半平面零点。基于低 ESR 选用 MLCC 陶瓷电容，需考虑电容精度、MLCC 直流偏置。

1) 右半平面零点频率

$$f_{rhpz} = (R_o(1-D)^2) / (2\pi * L) = ((43/1.4) * (1-0.87)^2) / (6.28 * 4.7\mu\text{H}) = 17.58\text{KHz}$$

2) 取 1/3 的 f_{rhpz} 作为带宽频率 $f_c = 5.86\text{KHz}$

根据电容方程 $I * \Delta T = C * \Delta U$ ； $I = \Delta I_o = 1.12\text{A}$ ， $\Delta T = 0.3 / f_c$ ， $\Delta U = 2.15\text{V}$

可推出输出电容值：

$$C_{out} > 0.3 \cdot \Delta I_o / (f_c \cdot \Delta V_o) = 0.3 \cdot 1.12A / (5.86KHz \cdot 2.15V) = 26.66\mu F$$

可以选 8 个 63V 1210 封装的 10uF 。

考虑成本及大容量选用电解电容时，需注意其耐纹波电流以及 ESR 的影响，ESR 应尽量小。输出电容第一任务是滤除输出高频纹波，但电容因 ESR 产生的零点频率与穿越频率范围相当，所以会影响穿越频率附近的增益大小与相位。应用中电解电容同时并联 MLCC 提高滤波效果。

$$ESR < \Delta V_o / (I_o / (1-D)) + (D \cdot V_{IN} / (2 \cdot f_{sw} \cdot L))$$

$$= 2.15 / 10.769 + 5.22 / 3.29 = 0.1996 + 1.5866 = 1.78\Omega$$

3.7 输入电容选择

BOOST 拓扑的输入电流具有连续性，输入电容不像输出电容那么关键。由于电感电流的变化，引起输入电容充放电和内部 ESR 使得电容电压存在纹波，不同客户对输入电压纹波要求不同，建议输入有足够的电容量以使输入电压纹波在规定范围内，示例按 200mV。

① 耐压

$$(1.25 - 1.5) \cdot V_{INmax} = 1.25 \cdot 36V = 45V \text{ 可以选择 } 50V$$

② 容量

基于低 ESR 首选 MLCC 陶瓷电容，但容量也相对较小，其容值对纹波起决定作用。根据如下公式可以计算出来容值为 5.659uF，可以选 3 个 50V 1210 封装的 10uF。

$$C_{in} > V_{INmin} \cdot D / (8 \cdot f_{sw} \cdot f_{sw} \cdot L \cdot \Delta V_{in})$$

$$= 6 \cdot 0.874 / (8 \cdot 350KHz \cdot 350KHz \cdot 4.7\mu H \cdot 200mV) = 5.69 \mu F$$

3.8 使能控制实现

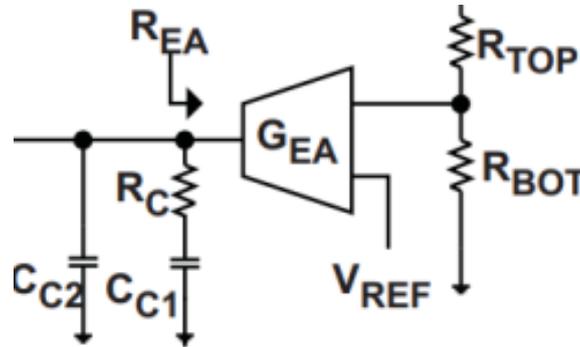
通过将 SD 的 PIN 脚上拉超过 1.3V 即可实现关断芯片。

需注意 SCT81620 此 PIN 脚耐压是 5.5V。

3.9 输出电压设定

考虑电压精度和避免噪声干扰及损耗，建议 RBOT 取值在 60KΩ 内，这里选择 24.9KΩ，根据给定的反馈参考电压 Vref，可以计算出分压电阻 RTOP 的值。

$$R_{TOP} = R_{BOT} * (V_o / V_{ref} - 1) = 24.9K * (43V / 1.26V - 1) = 825K\Omega$$



3.10 补偿元件参数的计算

由于功率级电路部分含有 LC 器件所以环路增益会有时间的延迟或相位差异，所以误差放大器需有频域的增益大小与相位补偿。其中误差放大器由于电压控电流型运放结构相对简单容易实现，SCT81620/Q 的误差放大器也是采用此结构，且采用峰值电流模控制。

BOOST 拓扑由于是在 Toff 时能量传递至输出，存在不可补偿的右半平面零点，因此系统带宽建议设置在 1/3-1/5 右半平面零点。

通过设置 RC 提供足够的相位裕量，根据零极点抵消法，CC1 的选取需要将其与 RC 生成的补偿器零点放置在功率级负载极点处(输出电容与负载等效阻抗产生的极点)或略高的地方如 0.1*fsw。相关参数的计算如下：

① 补偿电阻

$$R_c = (2\pi * V_o * R_{sns} * f_c * C_o) / ((1-D) * V_{ref} * G_{ea})$$

$$= (6.28 * 43V * 0.009 * 5860 * 40\mu F) / ((1-0.87) * 1.26 * 0.0009) = 3.86K\Omega \text{ 取 } 3.9K\Omega$$

② 补偿电容

$$C_{C1} = (R_o * C_o) / (2 * R_{comp}) = (30.7 * 12.8\mu F) / (2 * R_{comp}) = 50nF \text{ 取 } 47nF$$

CC2 产生的高频极点是用来抵消输出电容的 ESR 零点，当输出电容为陶瓷电容时，由其 ESR 零点频率远高于工作频率，所以，对于采用陶瓷输出电容的应用 CC2 可以被省略掉。输出电容若是电解电容，带宽需要低一些，另需要注意 ESR 随温度变化影响环路的问题。

四、控制器选型与推荐

产品	控制拓扑	最小输入电压(V)	最大输入电压(V)	静态电流(μA)	电流保护模式	开关频率(Hz)	抖频功能	封装和管脚数
SCT81620	升压, 反激, Semic	3.2	50	450	Hiccup	100k-2.2M	√	MSOP-8
SCT81621	升压, 反激, Semic	3.1	50	415	Hiccup	100k-2.2M	√	MSOP-10
SCT81624	升压, 反激, Semic	3.1	50	415	恒流	100k-2.2M	-	MSOP-10
SCT81620Q	升压, 反激, Semic	3.2	50	450	Hiccup	100k-2.2M	√	MSOP-8
SCT81621Q	升压, 反激, Semic	3.1	50	415	Hiccup	100k-2.2M	√	MSOP-10
SCT81624Q	升压, 反激, Semic	3.1	50	415	恒流	100k-2.2M	-	MSOP-10