

## **BST6056 4.5V-60V 输入，3.5A 输出，异步降压转换器**

### 1 特点

- 输入电压范围：4.5V~60V(65V ABS MAX)  
(要求最小工作电压降低到4.3V)
- 高边MOSFET内阻：90mΩ
- 150 μA 静态工作电流  
(静态工作电流降低到40uA)
- 5 μA 关断电流  
(关断电流降低到1uA@Vin=24V,corner最大值3uA)
- 开关频率可调
- 内部软启动
- 轻载模式提高轻载效率
- 工作频率可调节
- 0.8V内部基准电压
- 8-Pin SOP PowerPAD封装
- 温度范围: Tj = -40°C ~ +150°C

### 2 应用

### 4 主要电气参数 VIN = 4.5V to 60V, TA = -40°C to 150°C

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	备注
输入电压		4.5		60	V	
内部欠压阈值			3.6		V	
关机电流	EN=0V, VIN=12V, Tj=25°C		5		uA	
空载电流	VFB=0.9, VIN=12V, Tj=25°C		150		uA	
EN 脚阈值			1.20		V	
电压基准		0.784	0.8	0.816	V	
高边 MOSFET 内阻	VIN=12V, BST-LX=6V		90		mΩ	
限流阈值	VIN=12V, Tj=25°C	4.5	7		A	
过温保护点			150		°C	
开关频率	RT=200K	450	600	750	kHz	
EN/VIN/BOOT/SW 最大耐压			66		V	
FB/COMP/RT 最大耐压			7		V	

- 12V、24V和48V工业和商业低功率系统
- AEC-Q100认证，汽车电子

### 3 功能介绍

BST6056是60V，3.5A降压型稳压器，内部集成高边MOSFET。

电流模式控制模式简化了外部补偿，以及外围元件的选择。静态电流降低至40 μA(FB>0.8V)。当EN脚低(<0.6V)时，芯片关断，关断电流降低至1 μA。

欠压锁定(UVLO)在内部设置为3.6V，使用EN脚可以增加阈值。工作频率通过外部电阻可调。

BST6056提供8pin热增强型SOP8封装。

### 5 订购信息

型号	封装	标识
BST6056	ESOP8	BST6056

6 封装信息

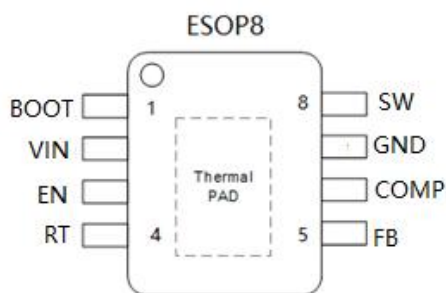


表1 管脚定义

管脚	标识	I/O	功能
1	BOOT	0	功率管驱动模块电源输入端 通过自举电容连接该管脚和管脚SW。
2	VIN	I	芯片电源
3	EN	I	使能输入端 高有效，内置上拉电流，悬空或接高电平时芯片工作，接低电平芯片关断。
4	RT	I	工作频率设置端 接电阻到地，设置芯片工作频率
5	VFB	I	反馈输入端 通过电阻分压器连接到输出电容。
6	COMP	0	补偿输入端 调节环路稳定性的频率补偿，连接补偿RC网络到地。
7	GND	-	芯片地
8	SW	0	开关输出端 功率 DMOS 晶体管的源端。连接到续流二极管的阴极和电感。
裸露焊盘		-	连接到散热片区域和 GND

# 1 功能模块框图和典型应用线路

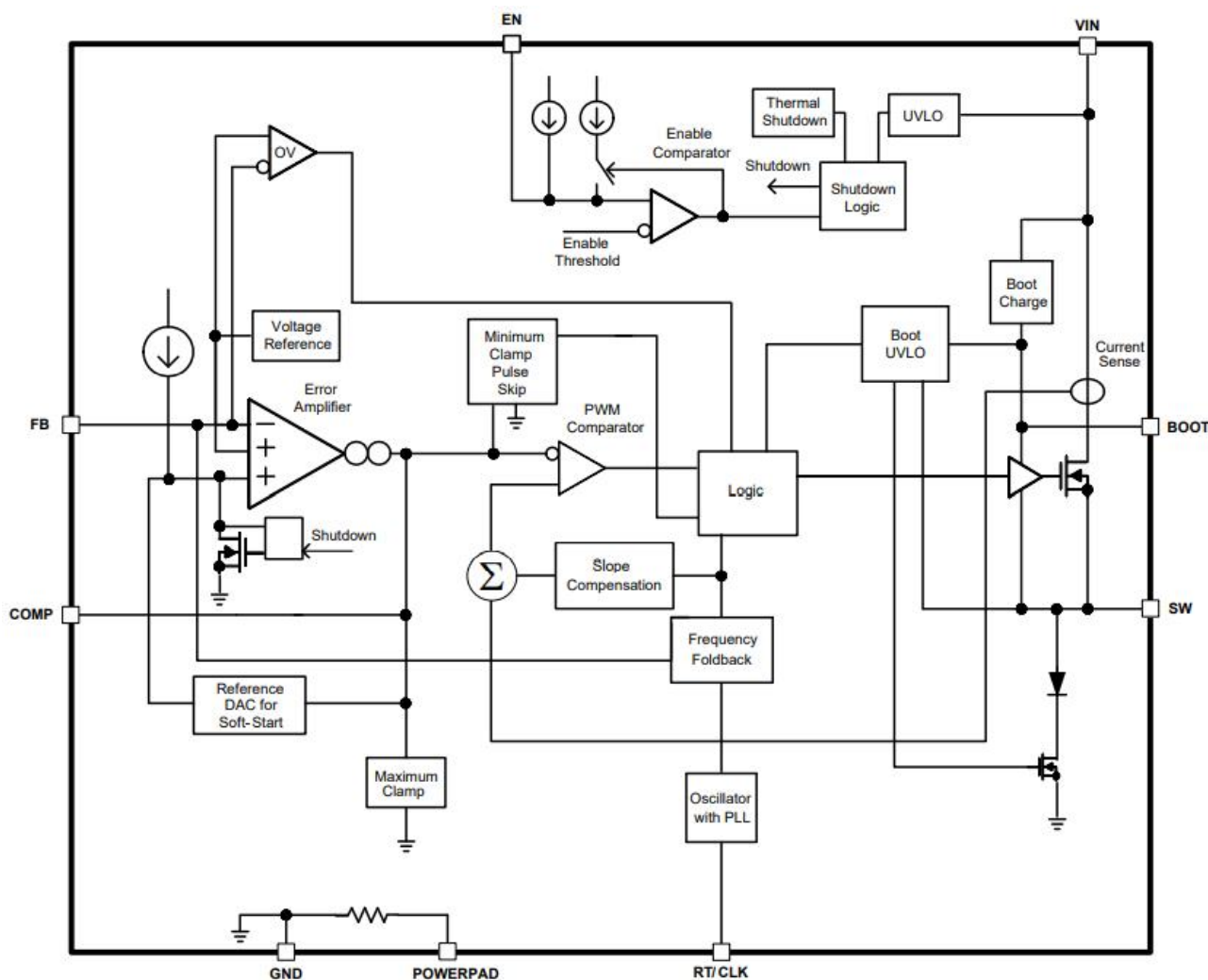


图 1 BST6056 内部模块框图

芯片简单应用电路见图 2，EN 悬空不接时，VIN 上电软启动结束后，输出正常需要的 VOUT。

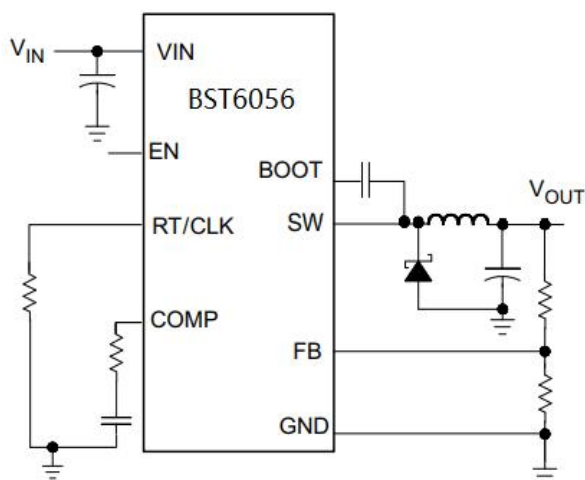


图 2 BST6056 简化应用电路

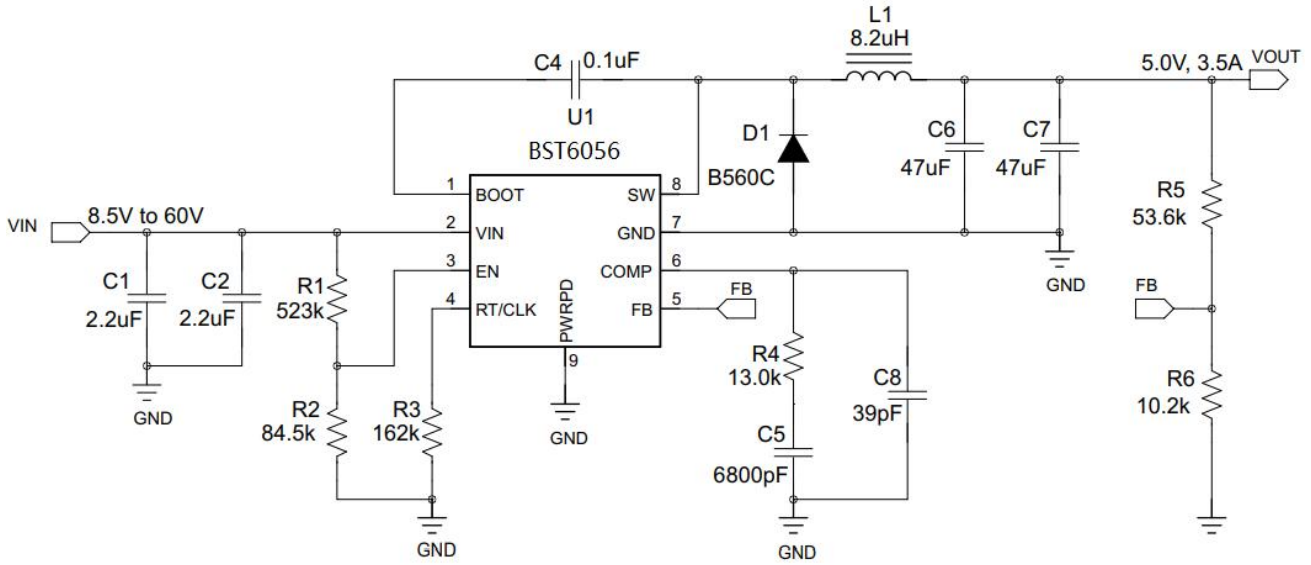


图 3 输出 5V 典型应用线路

## 2 总体描述

BST6056 是一个耐压 60V，输出电流可达 3.5A 的降压调节器，内部集成一个高边 N 沟道 MOSFET。为了提高线路和负载瞬变期间的性能，电路采用了一个恒定频率的电流模式控制，减少了输出电容并简化了外部频率补偿设计。在选择输出滤波器元件时，100kHz 至 2500kHz 的宽开关频率可实现效率和尺寸优化。在 RT/CLK 引脚上的对地电阻用来调整开关频率。

BST6056 的默认启动电压约为 4 V。EN 脚具有一个内部上拉电流源，再通过两个外部电阻器，可用于调整输入电压欠压锁定 (UVLO) 阈值。此外，上拉电流提供了默认条件，当 EN-pin 浮空时，芯片将工作。芯片没有开关动作、空载时工作电流为 150μA。当芯片被关断时，电源电流为 5μA。

集成的 90mΩ 高压侧 MOSFET，允许高效电源设计，能够向负载提供 3.5A 的连续电流。集成高压侧 MOSFET 驱动电路的电源由 BOOT 至 PH 引脚上的电容提供。启动电容器电压由一个 UVLO 电路监控，当启动电压低于预设阈值时，将关闭高压侧 MOSFET。BST6056 可以在高占空比下工作，输出电压最低可以降低到 0.8V 参考电压值。

BST6056 内部集成了软启动功能，上电期间，用于降低启动浪涌电流或提供电源上电排序。此外，BST6056 在过载条件下，通过过载恢复对软启动的内部电容器进行放电。一旦排除故障条件，过载恢复电路将使调压器输出从故障电压到额定调节电压，缓慢启动。频率折叠电路在启动和过流故障条件下降低开关频率，以帮助控制电感电流。

VFB 脚通过改变电阻分压网络，实现输出电压可调，参考电压为 0.8V。

### 3 主要电气参数 VDD = 4.5V to 60V, TA = -40°C to 150°C

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	备注
输入电压		4.5		60	V	
内部欠压阈值			3.6		V	
关机电流	EN=0V, VIN=12V, Tj=25°C		5		uA	
空载电流	VFB=0.9, VIN=12V, Tj=25°C		150		uA	
EN 脚阈值			1.2		V	
电压基准		0.784	0.8	0.816	V	
高边 MOSFET 内阻	VIN=12V, BST-LX=6V		90		mΩ	
限流阈值	VIN=12V, Tj=25°C	4	6		A	
过温保护点			150		°C	
开关频率	RT=200K	450	600	750	kHz	
RT 模式开关频率范围		100		2500	kHz	
误差放大器						
输入电流			50		nA	
误差放大器跨导(gm)	-2uA<Icomp<2uA, Vcomp=1V		310		uS	
误差放大器跨导(gm) 缓启动过程中	-2uA<Icomp<2uA, Vcomp=1V Vsense=0.4V		70		uS	
误差放大器 DC 增益	Vsense=0.8V		10,000		V/V	
误差放大器带宽			2700		kHz	
误差放大器推/拉	Vcomp=1V, 100mV 过驱动		±27		uA	
COMP 至开关电流 gm			10		S	
电压基准						
电压基准值		0.784	0.8	0.816	V	
使能和欠压保护 (EN 脚)						
使能阈值电压	无电压迟滞		1.2		V	
输入电流	阈值电压+50mV		-3.8		uA	
	阈值电压-50mV		-0.9		uA	

### 4 子电路功能描述及规格

BST6056 采用可调的固定频率峰值电流模式控制。Vsense 引脚上的外部电阻分压与内部电压基准，通过误差放大器进行比较，输出电压驱动 COMP 引脚。内部振荡器负责初始化启动高压侧电源开关，而误差放大器输出与高压侧电源开关电流比较，当电源开关电流达到 COMP 设定的电压，内部 MOS 开关关闭。随着输出电流的增加和减少，COMP 引脚电压也将增加和减少。芯片通过电流限制功能，可以把 COMP 引脚电压钳制在一个最大电平。在 COMP 引脚被钳制在最小电平时，芯片进入轻载模式工作。

#### (1) 斜率补偿电流

BST6056 为开关电流信号增加了一个斜坡补偿。这种斜坡补偿可以防止次谐波振荡。在整个占空比范围内，芯片的峰值电感电流保持恒定。

## (2) Pulse-Skip 轻载模式

BST6056 在轻负载电流下，以脉冲跳跃的轻载模式运行，通过减少开关次数和栅极驱动损耗来提高效率。如果输出电压在调节范围内，并且任何开关周期结束时的峰值开关电流低于 pulse-skipping 电流阈值，BST6056 进入轻载模式。该电流阈值是与额定 COMP 电压等于 400mV 相对应的电流水平。

在轻载模式下，COMP 引脚电压被钳制在 400 mV，高压侧 MOS 开关被关闭。负载电流或输出电压的进一步降低不能驱动 COMP 引脚低于该钳位电压。

由于 PWM 没有继续工作，输出电压开始衰减。当电压控制回路补偿输出电压下降时，COMP 引脚电压开始上升。此时，高压侧 MOSFET 被使能，在下一个开关周期启动开关脉冲，峰值电流由 COMP 引脚电压设定。输出电压重新充电到调节值，然后峰值开关电流开始下降，最终降至轻载模式阈值以下，此时再次进入轻载模式。

对于轻载模式工作，BST6056 感测峰值电流，而不是平均或负载电流，因此进入轻载模式后，负载电流取决于输出电感值。例如，图 3 中输出 5V 的应用电路，进入轻载模式后输出电流大约在 5 mA。当负载电流较低且输出电压在规定范围内时，进入休眠模式，仅 150  $\mu$ A 输入静态电流。

## (3) Low-Dropout 模式和自举电压 (BOOT)

BST6056 集成了一个自举调节器，需要在 BOOT 和 PH 引脚之间加一个小的陶瓷电容器来为高压侧 MOSFET 提供栅极驱动电压。当高压侧 MOSFET 关闭，低压侧二极管导通时，BOOT 电容器充满。陶瓷电容器的值应为 0.1  $\mu$ F。为了保证过温和电压的稳定特性，建议使用额定电压为 10V 或更高的 X7R 或 X5R 级介质的陶瓷电容器。

为了改善压差，只要 BOOT 至 PH 引脚电压大于 2.1 V，BST6056 可以工作在 100% 占空比。当 BOOT 至 PH 的电压降至 2.1 V 以下时，用一个 uvlo 电路关闭高侧 MOSFET，允许低侧二极管导通和充满 BOOT 电容器上的电荷。由于来自 BOOT 电容器的电源电流较低，因此相对于充满电容器所需的来说，高压侧 MOSFET 可以保持开启更多的开关周期，因此开关调节器的有效占空比较高。

调压器降压过程中，有效占空比主要受功率 MOSFET 管电压降、电感电阻、低压侧二极管和 PCB 电阻的影响。

注意在最大占空比应用时，轻负载或空负载情况下将经历更长的时间周期。当 BOOT 电容器上的电压降到 2.1V UVLO 阈值以下时，高压侧 MOSFET 将关闭，但可能没有足够的电感电流来下拉 PH 管脚，为 BOOT 电容器重新充电。由于 BOOT 电容器上的电压小于 2.1 V，调节器的高压侧 MOSFET 停止开关。然后输出电容器放电，直到输入电压和输出电压的差大于 2.1 V，PWM 再次开始开关，直到达到所需的输出电压。在输入电压和/或负载电流增加之前，此工作状态一直存在。

典型 5V 输出应用，启动和停止电压如图 4 所示。电压与负载电流成正比。启动电压定义为调节输出在 1% 以内所需的输入电压。停止电压是指输出电压下降 5% 或停止开关的输入电压。

在高占空比条件下，BOOT 电容器充电时，电感电流纹波增大，导致输出纹波电压增大。这是因为每个周期都出现开关时，BOOT 电容器的充电时间比典型的高压侧关闭时间长。

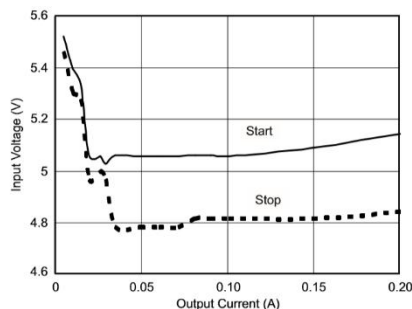


图 4 5V 启动和关闭电压

### (4) 误差放大器

BST6056 具有用于误差放大器的跨导放大器，误差放大器将 Vsense 电压与 SS/TR 引脚电压或内部 0.8 V 参考电压的较低值进行比较。在正常工作时，误差放大器的跨导 (gm) 为 310 μS。在慢启动期间，跨导是正常工作 gm 的一小部分。当 Vsense 引脚的电压低于 0.8V，并且使用 SS/TR 电压进行调节时，gm 为 70 μS。频率补偿元件（电容器、串联电阻和电容器）由 COMP 引脚连接到地。

### (5) 电压基准

通过缩放带隙基准电路的输出，产生精确的 ±2% 的电压基准，见图 5。

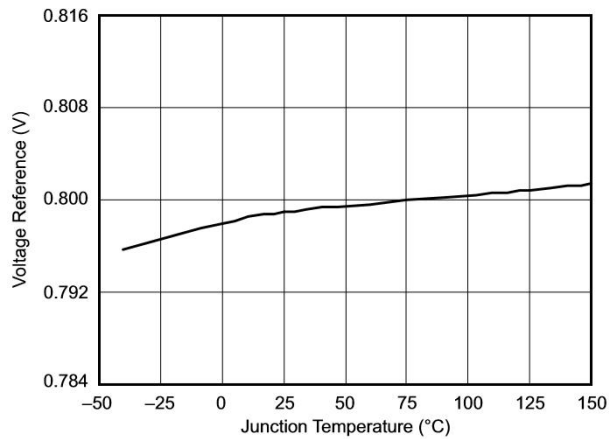


图 5 基准电压的温度特性

### (6) 设置输出电压

输出电压通过电阻分压器来设置，从输出节点到 Vsense 引脚，电阻分压器见图 6。建议使用 1% 的公差或更好的分压电阻。从一个 10 kΩ 的 R2 电阻开始，用公式 1 计算 R1。为了提高轻负载下的效率，考虑使用更大的电阻值。如果电阻值太高，调节器将更容易受到噪声的影响，并且注意来自 Vsense 输入电流的电压误差。

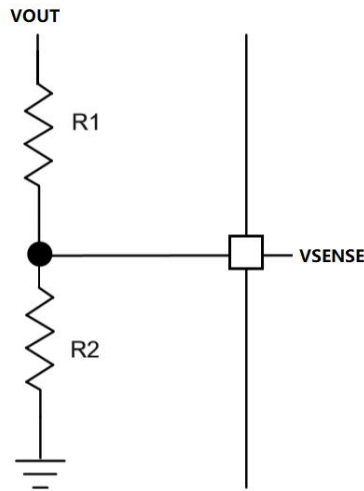


图 6 通过 VSENSE 设置输出电压

$$V_{OUT} = 0.8 * (R1 + R2) / R2$$

公式(1)

在靠近 VSENSE 管脚处建议添加一个 0.5 nF 的电容。

### (7) 使能和可调欠压保护

当 VIN 引脚电压低于 3.6 V 时，BST6056 将被关断。也可以使用图 7 所示的 EN 引脚的两个外部电阻器，来调整输入电压 UVLO。EN 脚有一个 0.9 μA 的内部上拉电流源 I1，当 EN 脚悬空时，提供 BST6056 工作的缺省条件。一旦 EN 脚的电压超过 1.25 V，则会增加额外的 2.9 μA 滞回 I<sub>hys</sub>。这个附加电流有助于输入电压滞回。使用公式(2)设置输入电压的外部滞回。使用公式(4)设置输入起始电压。

$$R1 = (V_{start} - V_{stop}) / I_{hys}; \quad \text{公式(2)}$$

$$R2 = V_{ena} / [(V_{start} - V_{ena}) / R1 + I1] \quad \text{公式(3)}$$

另一种增加输入电压滞回的方法如图 8 所示。如果电阻值比之前的方法高，并且需要更宽的电压滞后，则可以使用此方法。电阻 R3 向 EN 引脚提供额外的滞后电流。

$$R1 = (V_{start} - V_{stop}) / (I_{hys} + V_{out} / R3); \quad \text{公式(4)}$$

$$R2 = V_{ena} / [(V_{start} - V_{ena}) / R1 + I1 - V_{ena} / R3] \quad \text{公式(5)}$$

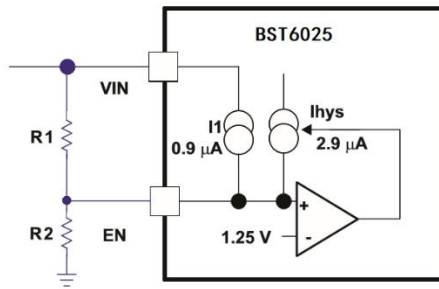


图 7 可调整的 uvlo 电压

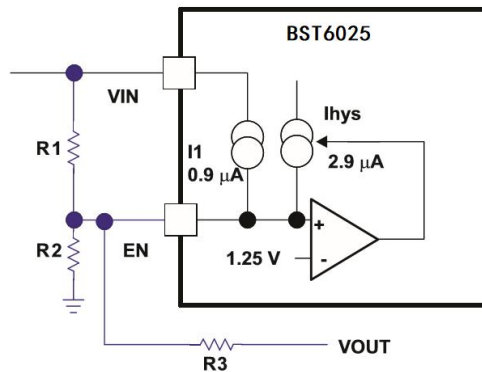


图 8 增加额外的滞回系数

### (8) 固定开关频率和 Timing Res (RT 引脚)

BST6056 的开关频率可在大约 100 kHz 到 2500 kHz 的范围内进行调节，通过在 RT/CLK 引脚上放置一个电阻。RT/CLK 引脚电压通常为 0.5 V，必须具有接地电阻以设置开关频率。为了确定给定开关频率的定时电阻，使用公式 7 设置芯片工作频率。为了减小解决方案的尺寸，通常会将开关频率设置得尽可能高，但应考虑电源效率、最大输入电压和最小可控制导通时间的权衡。最小可控开启时间通常为 135ns，它限制了



最大工作输入电压。

$$RT(k\Omega) = 206033 / f_{sw} (kHz)^{1.0888} \quad \text{公式 (6)}$$

图 9 给出了 RT 和频率的对应关系。

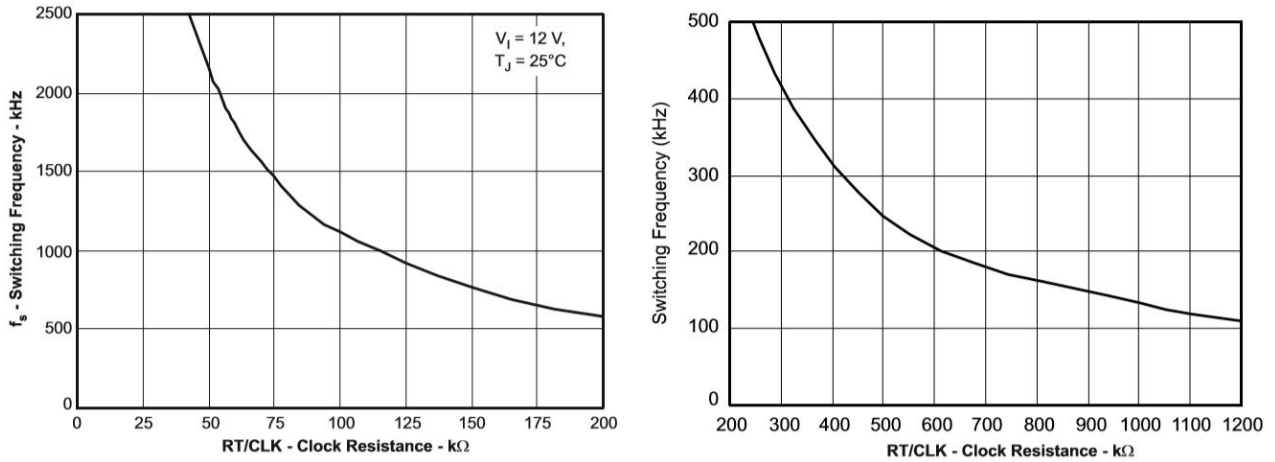


图 9 频率与 RT 下拉电阻的关系

### (9) 固定过流保护和频率偏移

BST6056 执行电流模式控制，该控制使用 COMP 引脚电压来逐个周期关闭高压侧 MOSFET。每个周期比较开关电流和 COMP 引脚电压，当峰值开关电流与 COMP 电压相交时，高压侧开关关闭。在输出电压拉低的过电流条件下，误差放大器将通过驱动 COMP 引脚置高电平来响应，从而增加开关电流。误差放大器的输出将被内部箝位，起到开关电流限制的作用。

在高输入电压下，为了增加最大工作开关频率，BST6056 执行频率偏移。当 Vsense 引脚上的电压从 0 到 0.8 伏，开关频率除以 8、4、2 和 1。

在正常启动和故障条件下，一个数字频移被执行。由于该线路只能将开关频率除以 8，因此有一个最大输入电压限制，在该限制下，该线路工作，并且仍有频移保护。

在短路事件期间（尤其是在高输入电压应用中），控制回路具有有限的最小可控制接通时间，而输出具有低电压。在开关接通时间内，由于输入电压高和接通时间短，电感电流会上升到峰值电流限制。在开关断开时间内，电感器通常没有足够的断开时间和输出电压使电感器按斜坡上升量来斜坡下降。频移有效地增加了关闭时间，使电流下降。

### (10) 选择开关频率

开关频率的选择应为两个公式（公式 7 和公式 8）的较低值。式 7 是由最小可控制接通时间设置的最大开关频率限制。将开关频率设置在该值以上将导致调节器 skip switching pulses。

公式 8 是由频移保护设置的最大开关频率限制。在高输入电压下，为了有足够的输出短路保护，开关频率应设置为小于 f<sub>sw</sub> (maxshift) 频率。在公式 9 中，要计算最大开关频率，必须考虑到输出电压从额定电压降低到 0 V，fdiv 整数系数从 1 增加到 8，与频移相对应。

$$f_{SW(maxskip)} = \left( \frac{1}{t_{ON}} \right) \times \left( \frac{(I_L \times R_{dc} + V_{OUT} + V_d)}{(V_{IN} - I_L \times R_{hs} + V_d)} \right) \quad \text{公式(7)}$$

$$f_{SW(shift)} = \frac{fdiv}{t_{ON}} \times \left( \frac{(I_L \times R_{dc} + V_{OUTSC} + V_d)}{(V_{IN} - I_L \times R_{hs} + V_d)} \right) \quad \text{公式(8)}$$

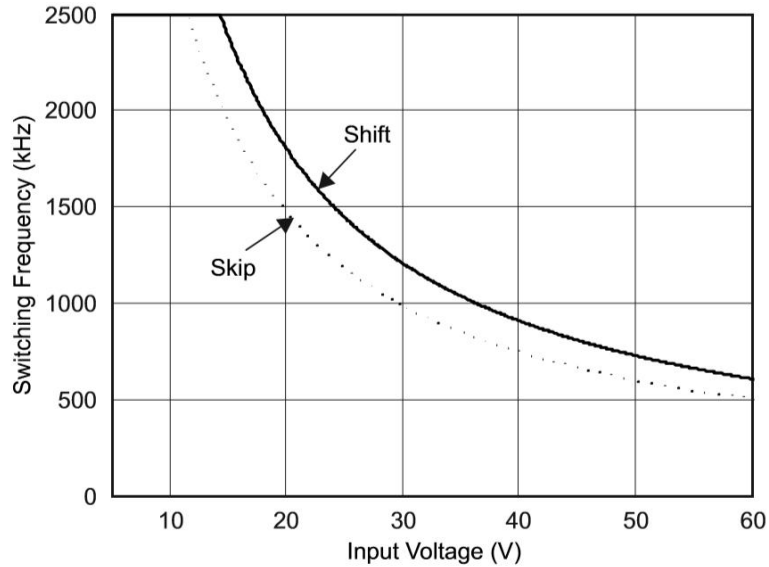


图 10 最大开关频率与输入电压的关系

## (11) 过压保护

BST6056 集成了一个过电压瞬态保护 (OVTP) 电路, 当从输出故障条件恢复或在具有低值输出电容的电源设计上进行强卸载瞬态时, 最小化电压过冲。例如, 当电源输出过载时, 误差放大器将实际输出电压与内部参考电压进行比较。如果  $V_{sense}$  引脚电压在相当长的时间内低于内部参考电压, 误差放大器的输出将通过将误差放大器输出钳制到高电压来响应。因此, 请求最大输出电流。一旦条件消除, 调节器输出上升, 误差放大器输出过渡到稳态占空比。在某些应用中, 电源输出电压的响应速度比误差放大器输出的响应速度快, 这一现状导致了输出超调的可能性。当使用低值输出电容器时, OVTP 功能将  $V_{sense}$  引脚电压与内部参考电压的 109% 的 OVTP 阈值进行比较, 从而最小化输出过冲。如果  $V_{sense}$  引脚电压大于 OVTP 阈值, 则高侧 MOSFET 将被禁用, 以防止电流流入输出并最小化输出超调量。当电压降低到低于 OVTP 阈值时, 高侧 MOSFET 可以在下一个时钟周期打开。

## (12) 热关断

当结温超过  $150^{\circ}\text{C}$  时, 执行内部热关机以保护自身。当结温超过热跳闸阈值时, 热关机强制芯片停止开关。一旦 die 温度降低到  $150^{\circ}\text{C}$  以下, 电路通过对 SS/TR 引脚放电, 重新启动加电顺序。

# 5 芯片功能模式

## (1) 靠近最小输入电压的工作

建议 BST6056 在输入电压高于 4.5V 的情况下工作。典型的  $V_{IN\ UVLO}$  阈值为 3.5 V, 并且芯片可以在输入电压低于 UVLO 电压的情况下工作。当输入电压低于实际的 UVLO 电压时, 芯片将不再开关。如果 EN 浮空或外部拉高到大于典型的 1.2 V 阈值, 当  $V(V_{IN})$  通过 UVLO 阈值时, BST6056 将激活。开关重新使能, 并启动慢启动序列。根据 SS/TR 引脚上的电容确定的缓慢启动时间, BST6056 缓慢增加输出电压。

## (2) 使能控制的工作

启动阈值电压通常为 1.2V。当 EN 保持在 1.2 伏以下时，即使 VIN 高于其 UVLO 阈值，BST6056 也会被禁用，并且开关也会被禁止。在这种状态下，输入电流减小。如果在 V (VIN) 高于 UVLO 阈值的情况下，EN 电压高于上升阈值电压，则芯片激活。启用开关，并启动慢启动序列。BST6056 根据 SS/TR 引脚上的电容确定的缓慢启动时间，缓慢增加输出电压。如果将 EN 拉至 1.2V 典型阈值以下，BST6056 将再次进入降低输入电流状态。

## 6 PCB 布板建议

在靠近 BST6056 电源输入端 VIN 脚建议增加一个低 ESR 的陶瓷电容，尽量减小续流二极管和 PH 脚的电流路径，PCB 布局参考图 11。

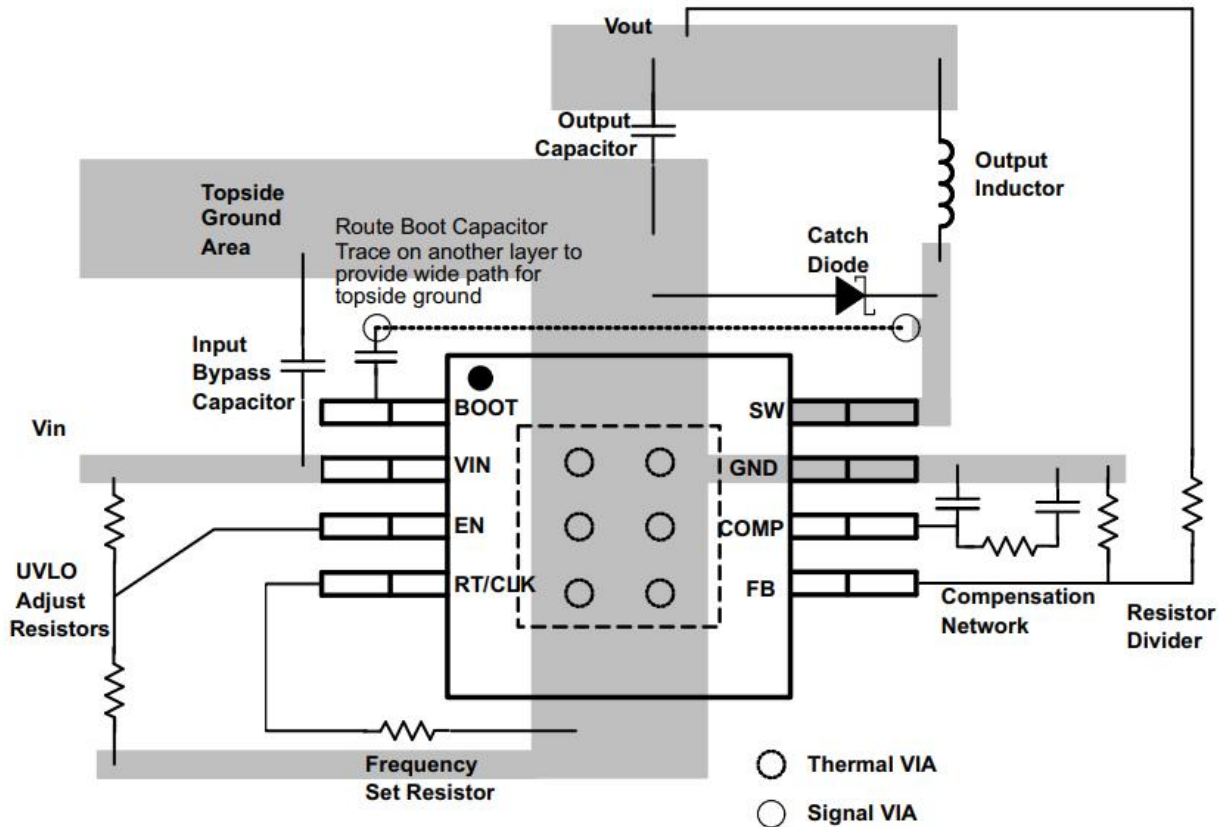
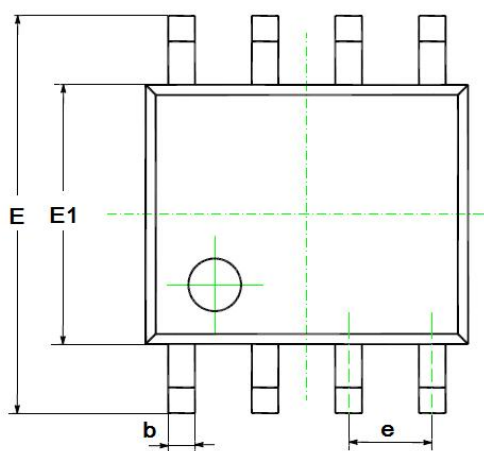


图 11 PCB layout 参考示意图

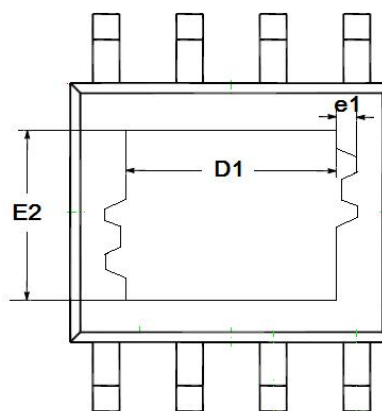
## 7 封装信息

封装信息见图 12

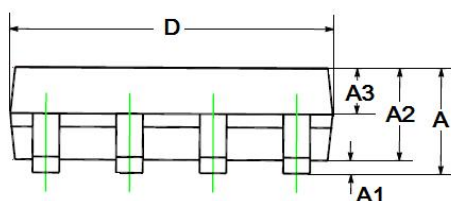
## 封装尺寸 eSOP8, 8LEAD



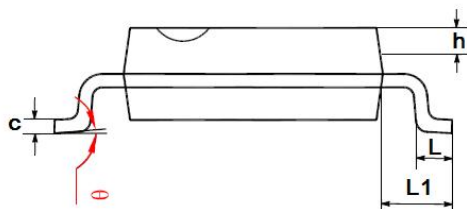
顶视图



底视图



侧视图



端视图

符号	毫米		
	最小值	典型值	最大值
A	-	-	1.65
A1	0.05	-	0.15
A2	1.30	1.40	1.50
A3	0.60	0.65	0.70
b	0.39	-	0.48
b1	0.38	0.41	0.43
c	0.21	-	0.25
c1	0.19	0.20	0.21
D	4.70	4.90	5.10
D1	3.10REF		
E	5.80	6.00	6.20
E1	3.70	3.90	4.10
E2	2.21REF		
e	1.27BCS		
e1	0.10REF		
h	0.25	-	0.50
L	0.50	0.60	0.80
L1	1.05BSC		
θ	0	-	8°

图 12 ESOP 封装外形图