

## 双通道 4A、42V、同步降压型 Silent Switcher 2, 静态电流 6.2μA

### 特点

- Silent Switcher® 2 架构:
  - 超低 EMI, 适用于任何 PCB
  - 消除了 PCB 布局敏感性
  - 内部旁路电容可降低辐射 EMI
  - 可选扩频调制
- 每个通道同时提供 4A DC
- 任一通道最高提供 6A
- 超低静态电流突发工作模式\*:
  - $6.2\mu\text{A } I_Q$ , 调节  $12\text{V}_{\text{IN}}$  至  $5\text{V}_{\text{OUT1}}$  和  $3.3\text{V}_{\text{OUT2}}$
  - 输出纹波小于  $10\text{mV}_{\text{P-P}}$
- 可选外部 VC 引脚: 快速瞬态响应和均流 (额外  $50\mu\text{A } I_Q/\text{通道}$ )
- 强制连续模式
- 在高频时提供高效率
- 94.6% 效率 (2A、 $5\text{V}_{\text{OUT}}$ 、 $12\text{V}_{\text{IN}}$ 、2MHz)
- 93.3% 效率 (4A、 $5\text{V}_{\text{OUT}}$ 、 $12\text{V}_{\text{IN}}$ 、2MHz)
- 最短快速导通时间: 40ns
- 宽输入电压范围: 3.0V 至 42V
- 可调且可同步: 300kHz 至 3MHz
- 4mm × 6mm 32 引脚小型 LQFN 封装

### 应用

- 通用降压
- 汽车和工业电源

### 说明

LT®8650S-1 是一款双通道降压型稳压器, 两个通道均可提供高达 4A 的连续电流, 每个通道支持高达 6A 的负载。LT8650S-1 采用第二代 Silent Switcher 架构, 可在高开关频率下提供高效率的同时最大程度地降低 EMI 辐射。其集成的旁路电容可优化高频电流环路, 并通过消除布局敏感性轻松实现宣传的 EMI 性能。

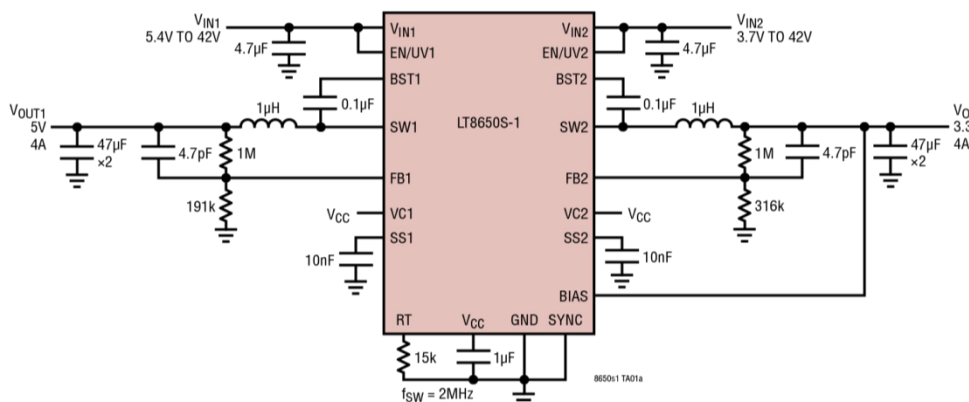
LT8650S-1 是 LT8650S 的 H 级版本。内部电容为 X8R 型, 可实现  $150^\circ\text{C}$  额定值。这要求在 BST 和 SW 节点之间使用外部升压电容。

突发工作模式静态电流为  $6.2\mu\text{A}$ , 因此在低输出电流下可实现高效率, 强制连续模式允许在整个输出负载范围内进行固定开关频率操作; 扩频操作可进一步降低 EMI 辐射。通过外部 VC 引脚可提供最优环路补偿, 以实现快速瞬态响应。VC 引脚也可用于均流; CLKOUT 引脚可使两个 LT8650S-1 芯片同步, 产生一个四相 16A 电源。

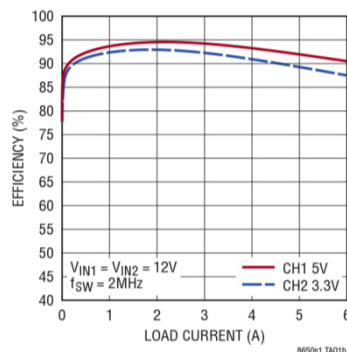
所有注册商标和商标均属各自所有人所有。受美国专利 (包括 8823345) 保护。

### 典型应用

5V/4A、3.3V/4A 2MHz 降压型转换器



效率



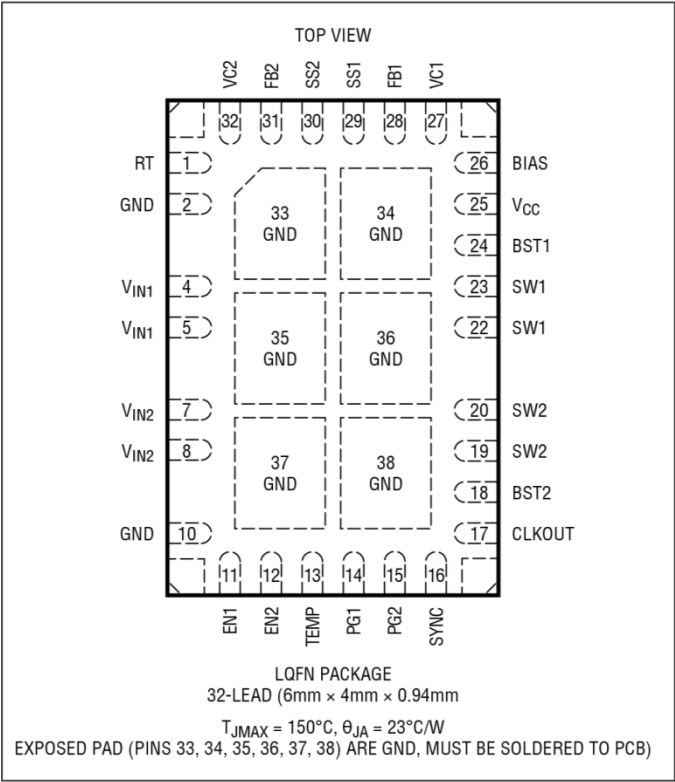
# LT8650S-1

## 绝对最大额定值

(注释 1)

|                                              |             |
|----------------------------------------------|-------------|
| $V_{IN1}$ 、 $V_{IN2}$ 、EN/UV1、EN/UV2、PG1、PG2 | 42V         |
| BIAS                                         | 30V         |
| FB1、FB2、SS1、SS2                              | 4V          |
| VC1、VC2                                      | 3.5V        |
| SYNC                                         | 6V          |
| 工作结温范围 (注释 2)                                |             |
| LT8650SH-1                                   | -40 至 150°C |
| 存储温度范围                                       | -65 至 150°C |
| 最大回流 (封装体)                                   |             |
| 温度                                           | 260°C       |

## 引脚配置



## 订购信息

| 产品型号            | 焊盘或焊球表面处理 | 器件标识   |        | 封装**类型             | MSL 额定值 | 温度范围 (见注释 2)  |
|-----------------|-----------|--------|--------|--------------------|---------|---------------|
|                 |           | 器件     | 表面处理代码 |                    |         |               |
| LT8650SHV-1#PBF | Au (RoHS) | 650SV1 | e4     | LQFN (QFN 尺寸的层压封装) | 3       | -40°C 至 150°C |

- 器件温度等级由运输容器上的标签指示。
- 焊盘或焊球表面处理代码依据 IPC/JEDEC J-STD-609 标准。
- 以 PBF 结尾的器件符合 RoHS 和 WEEE 标准。

- 推荐的 PCB 装配和制造程序
- 封装和托盘图纸

\*\* LT8650S-1 封装尺寸与标准 6mm x 4mm QFN 封装相同

## 电气特性

● 表示规格适用于整个工作温度范围，其他规格的适用温度为  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 。

| 参数                                 | 条件                                                                                                              | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位            |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 最小输入电压                             |                                                                                                                 | ●   | 2.6 | 3   | V             |
| 关断时的 $V_{IN1}$ 静态电流                | $V_{EN/UV1} = V_{EN/UV2} = 0V$ , $V_{SYNC} = 0V$                                                                | ●   | 1.7 | 4   | $\mu\text{A}$ |
|                                    |                                                                                                                 | ●   |     | 8   | $\mu\text{A}$ |
| 休眠时采用内部补偿的 $V_{IN1} + V_{CC}$ 静态电流 | $V_{EN/UV1} = V_{EN/UV2} = 2V$ , $V_{FB1} = V_{FB2} > 0.8V$ , $V_{VC1} = V_{VC2} = V_{CC}$ , $V_{SYNC} = 0V$    | ●   | 3.7 | 8   | $\mu\text{A}$ |
|                                    |                                                                                                                 | ●   |     | 16  | $\mu\text{A}$ |
| 休眠时采用外部补偿的 $V_{IN1} + V_{CC}$ 静态电流 | $V_{EN/UV1} = V_{EN/UV2} = 2V$ , $V_{FB1} = V_{FB2} > 0.8V$ , $V_{VC1} = V_{VC2} = \text{浮空}$ , $V_{SYNC} = 0V$ | ●   | 90  | 120 | $\mu\text{A}$ |
|                                    |                                                                                                                 | ●   |     | 140 | $\mu\text{A}$ |

## 电气特性

● 表示规格适用于整个工作温度范围，其他规格的适用温度为  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

| 参数                           | 条件                                                                                                             |   | 最小值   | 典型值   | 最大值   | 单位       |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------|-------|-------|----------|
| 工作时 $V_{IN1} + V_{CC}$ 的静态电流 | $V_{EN/UV1} = V_{EN/UV2} = 2V$ , $V_{FB1} = V_{FB2} > 0.8V$ , $V_{VC1} = V_{VC2} = V_{CC}$ , $V_{SYNC} = 3.4V$ | ● |       | 5     | 7     | mA       |
| 调节时的 $V_{IN}$ 电流             | $V_{IN} = 12V$ , $V_{OUT} = 3.3V$ , 输出负载 = $100\mu A$ , $V_{VC1} = V_{VC2} = V_{CC}$ , $V_{SYNC} = 0V$         |   |       | 45    | 75    | $\mu A$  |
|                              | $V_{IN} = 12V$ , $V_{OUT} = 3.3V$ , 输出负载 = $1mA$ , $V_{VC1} = V_{VC2} = V_{CC}$ , $V_{SYNC} = 0V$              |   |       | 350   | 550   | $\mu A$  |
| 反馈基准电压                       |                                                                                                                | ● | 0.794 | 0.800 | 0.806 | V        |
|                              |                                                                                                                | ● | 0.790 | 0.800 | 0.810 | V        |
| 反馈电压线路调整率                    | $V_{IN} = 4.0V$ 至 $36V$                                                                                        |   |       | 0.004 | 0.02  | %/V      |
| 反馈引脚输入电流                     | $V_{FB} = 0.8V$                                                                                                |   | -20   |       | 20    | nA       |
| 最小导通时间                       | $I_{LOAD} = 3A$ , $SYNC = 3.4V$                                                                                | ● |       | 40    | 60    | ns       |
| 振荡器频率                        | $R_T = 133k$                                                                                                   | ● | 270   | 300   | 330   | kHz      |
|                              | $R_T = 35.7k$                                                                                                  | ● | 0.95  | 1.0   | 1.05  | MHz      |
|                              | $R_T = 15k$                                                                                                    | ● | 1.85  | 2.00  | 2.15  | MHz      |
| 顶部功率 NMOS 电流限值               |                                                                                                                | ● | 10    | 12    | 14    | A        |
| 底部功率 NMOS 电流限值               |                                                                                                                |   | 6.5   | 8.5   | 10.5  | A        |
| SW 漏电流                       | $V_{IN} = 42V$ , $V_{SW} = 0V, 42V$                                                                            |   | -2    |       | 2     | $\mu A$  |
| EN/UV 引脚阈值                   | EN/UV 下降                                                                                                       | ● | 0.7   | 0.74  | 0.78  | V        |
| EN/UV 引脚迟滞                   |                                                                                                                |   |       | 30    |       | mV       |
| EN/UV 引脚电流                   | $V_{EN/UV} = 2V$                                                                                               |   | -20   |       | 20    | nA       |
| 来自 $V_{FB}$ 的 PG 上阈值失调       | $V_{FB}$ 下降                                                                                                    | ● | 5.5   | 7.5   | 9     | %        |
| 来自 $V_{FB}$ 的 PG 下阈值失调       | $V_{FB}$ 上升                                                                                                    | ● | -9.5  | -7.5  | -6    | %        |
| PG 迟滞                        |                                                                                                                |   |       | 0.3   |       | %        |
| PG 泄漏                        | $V_{PG} = 12V$                                                                                                 |   | -40   |       | 40    | nA       |
| PG 下拉电阻                      | $V_{PG} = 0.1V$                                                                                                | ● |       | 600   | 1200  | Ohm      |
| SYNC 阈值                      | SYNC DC 和时钟低电平电压                                                                                               |   | 0.4   |       |       | V        |
|                              | SYNC 时钟高电平电压                                                                                                   |   |       |       | 1.5   | V        |
|                              | SYNC DC 高电平电压                                                                                                  |   |       |       | 2.8   | V        |
| SYNC 引脚电流                    | $V_{SYNC} = 6V$                                                                                                |   |       | 120   |       | $\mu A$  |
| SS 拉电流                       |                                                                                                                | ● | 1.0   | 2.0   | 3.0   | $\mu A$  |
| SS 下拉电阻                      | 故障状况, $SS = 0.1V$                                                                                              |   |       | 200   |       | $\Omega$ |
| 误差放大器跨导                      | $V_C = 1.25V$                                                                                                  |   |       | 0.9   |       | mS       |
| VC 拉电流                       | $V_{FB} = 0.6V$ , $V_{VC} = 1.25V$                                                                             |   |       | 170   |       | $\mu A$  |
| VC 灌电流                       | $V_{FB} = 1.0V$ , $V_{VC} = 1.25V$                                                                             |   |       | 170   |       | $\mu A$  |
| VC 引脚至开关电流增益                 |                                                                                                                |   |       | 9.6   |       | A/V      |
| TEMP 输出电压                    | $I_{TEMP} = 0\mu A$ , 温度 = $25^{\circ}C$                                                                       |   | 190   | 250   | 310   | mV       |
|                              | $I_{TEMP} = 0\mu A$ , 温度 = $125^{\circ}C$                                                                      |   | 1100  | 1200  | 1300  | mV       |

**注释 1:** 应力超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。在任何绝对最大额定值条件下长期工作会影响器件的可靠性和使用寿命。

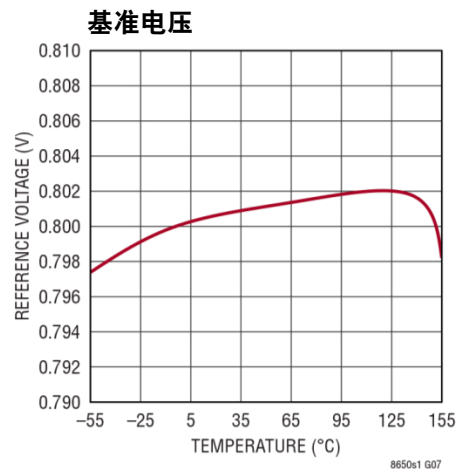
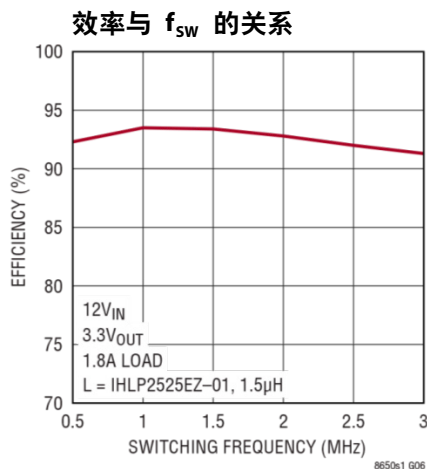
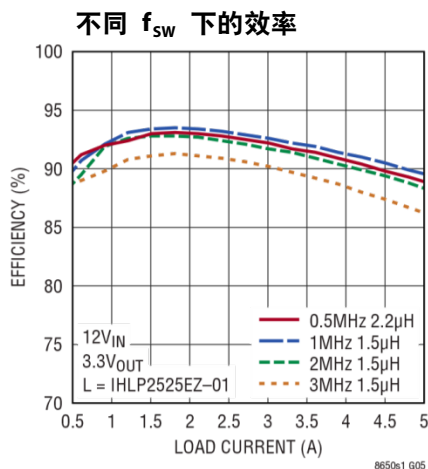
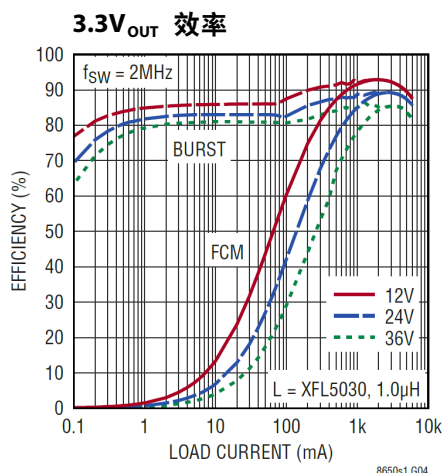
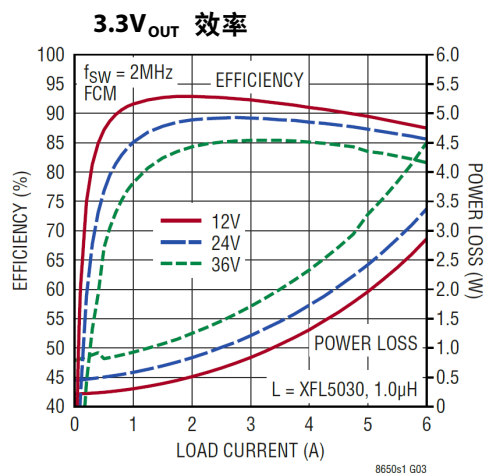
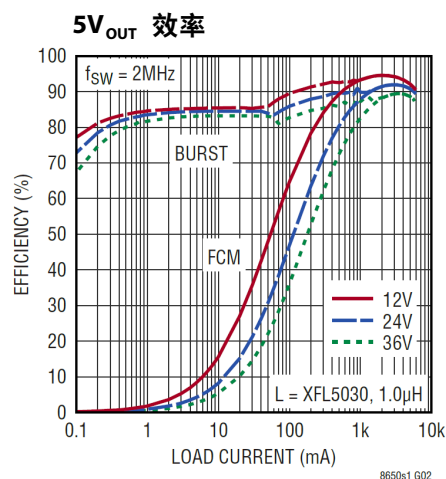
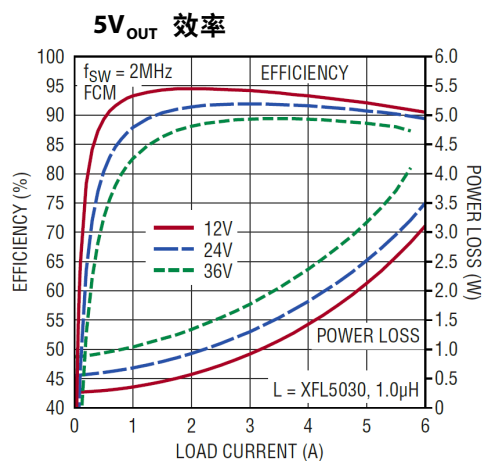
**注释 2:** LT8650S-1 的保证工作结温范围为  $-40^\circ\text{C}$  至  $150^\circ\text{C}$ 。高结温会降低使用寿命。结温高于  $125^\circ\text{C}$  时，工作寿命会缩短。结温 ( $T_J$ , 单位为  $^\circ\text{C}$ ) 根据环境温度 ( $T_A$ , 单位为  $^\circ\text{C}$ ) 和

功耗 ( $P_D$ , 单位为 W) 计算，计算公式如下：

$$T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA}), \text{ 其中 } \theta_{JA} \text{ (单位为 } ^\circ\text{C/W}) \text{ 为封装热阻抗。}$$

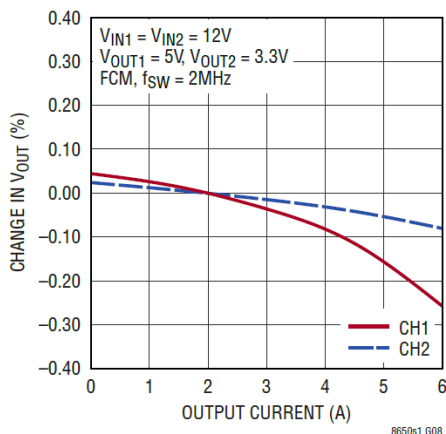
**注释 3:** 该 IC 包含过温保护功能，旨在保护器件免受过载状况影响。结温超过  $150^\circ\text{C}$  时就会启动过温保护。在额定最大工作结温以上连续工作会缩短使用寿命。

## 典型性能参数

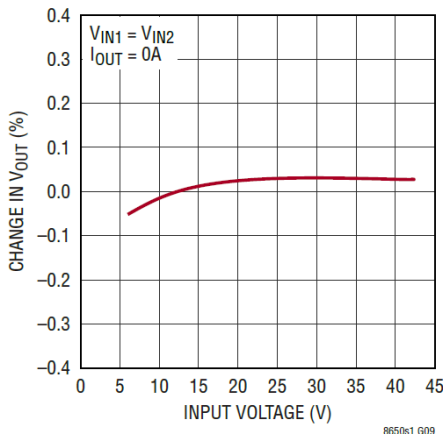


## 典型性能参数

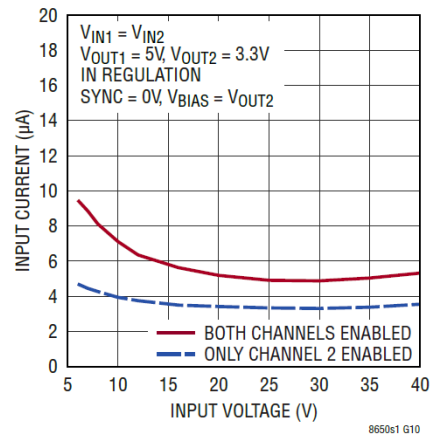
负载调整率



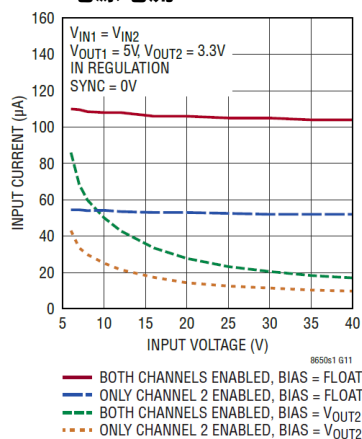
电压调整率



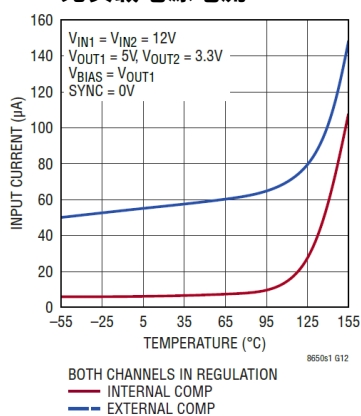
采用内部补偿的无负载电源电流



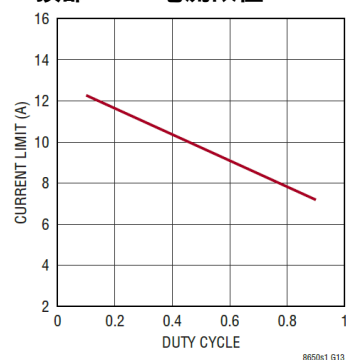
采用外部补偿的无负载电源电流



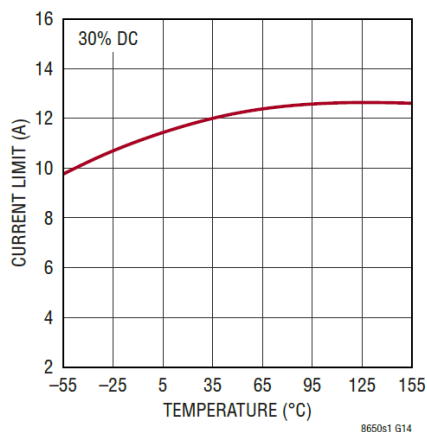
无负载电源电流



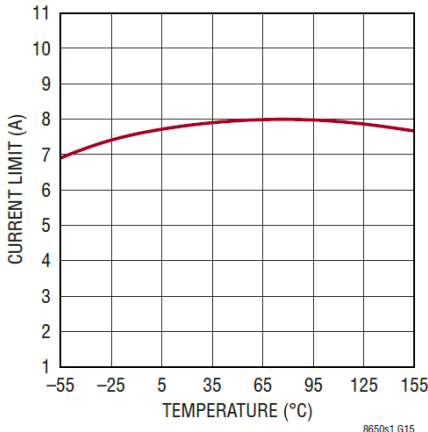
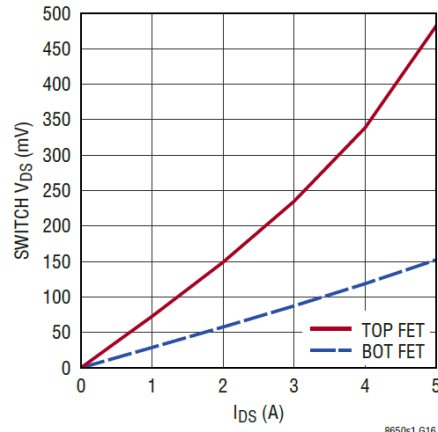
顶部 FET 电流限值



顶部 FET 电流限值

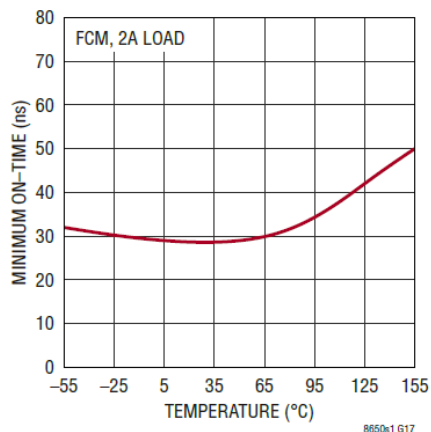


底部 FET 电流限值

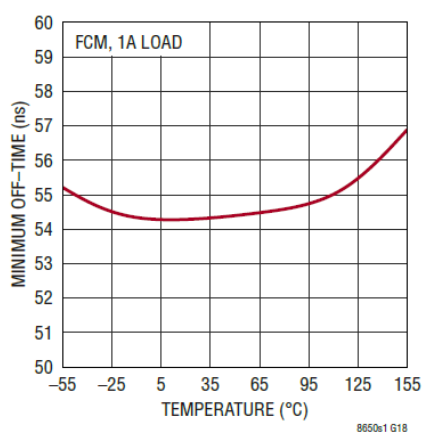
开关  $V_{DS}$ 

## 典型性能参数

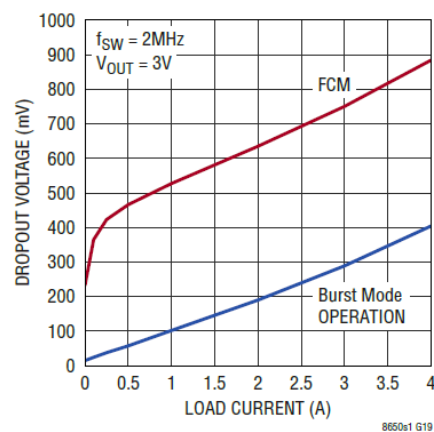
最小导通时间



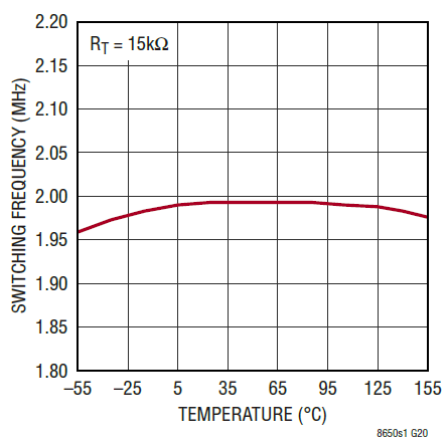
最小关断时间



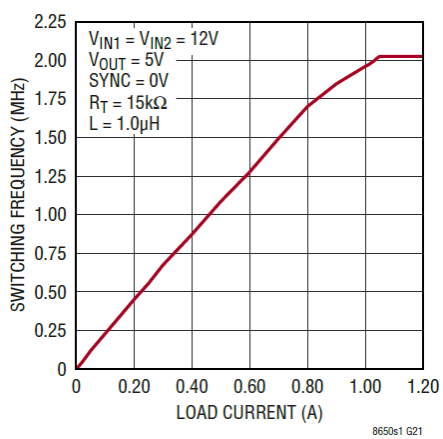
压差



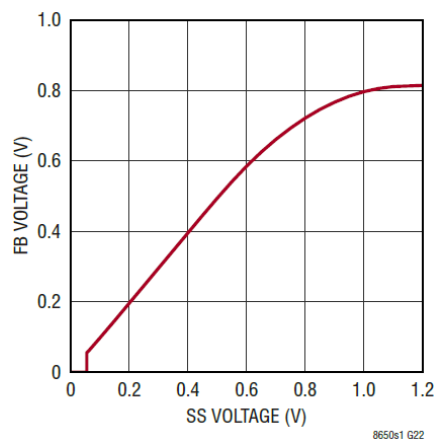
开关频率



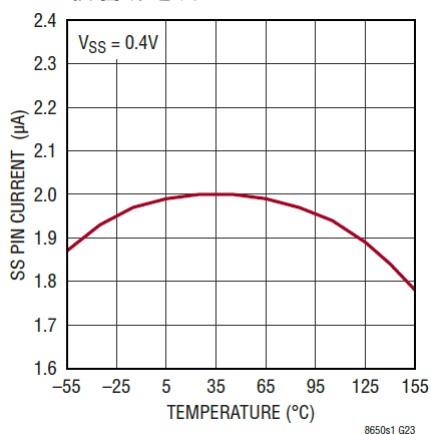
突发频率



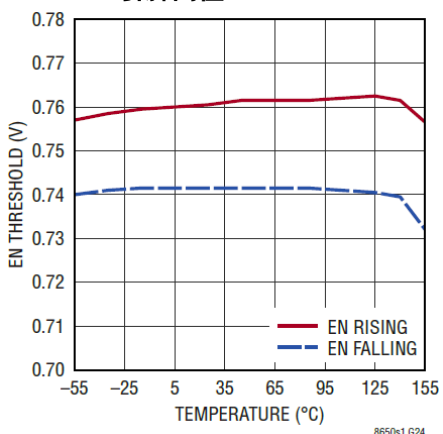
软启动跟踪



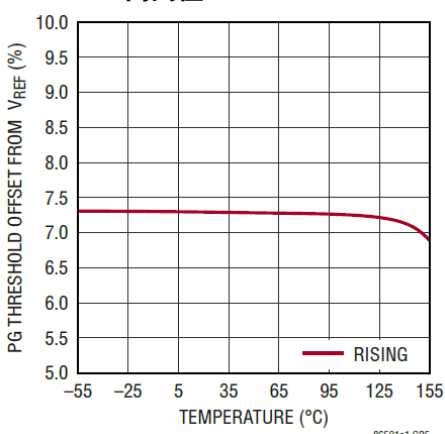
软启动电流



EN 引脚阈值

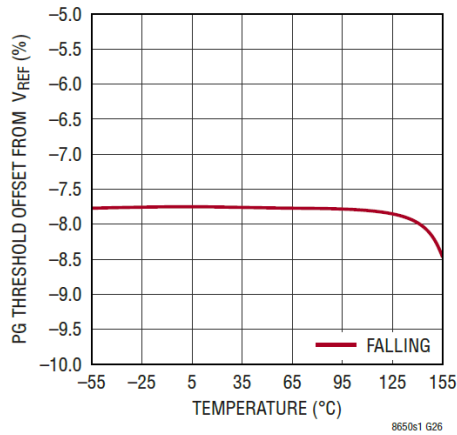


PG 高阈值

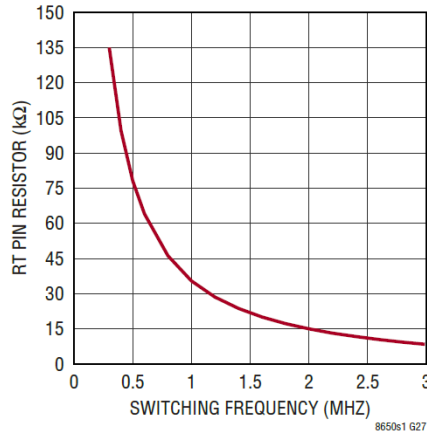


## 典型性能参数

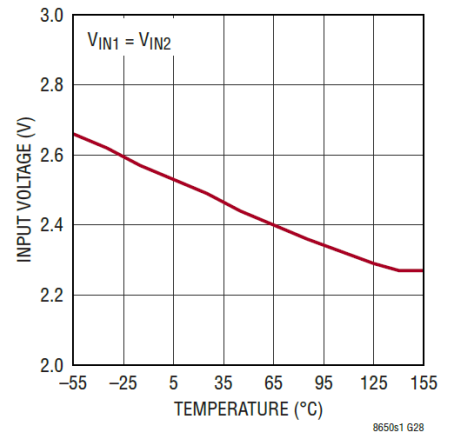
PG 低阈值



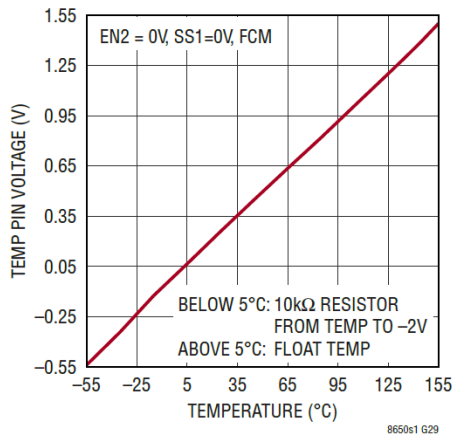
RT 编程开关频率



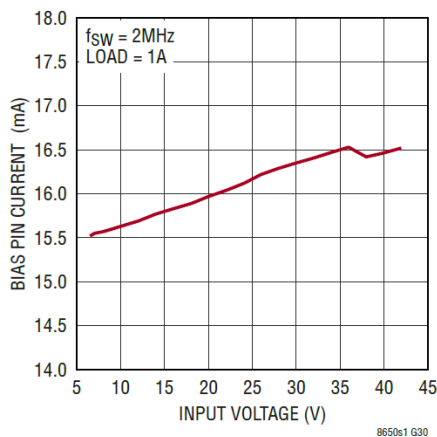
最小输入电压



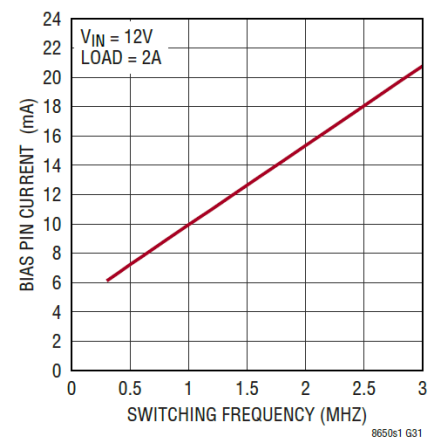
温度监视引脚



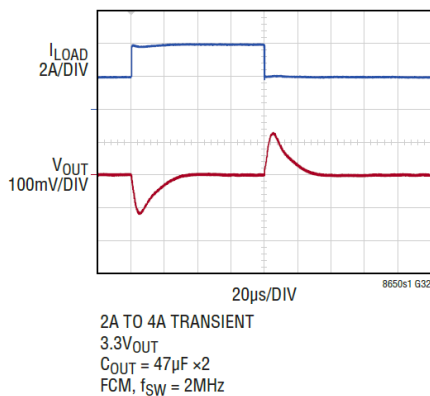
每通道偏置引脚电流



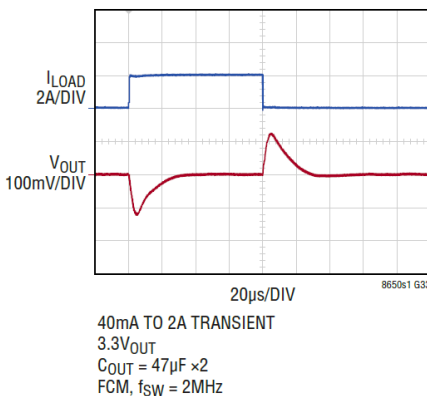
每通道偏置引脚电流



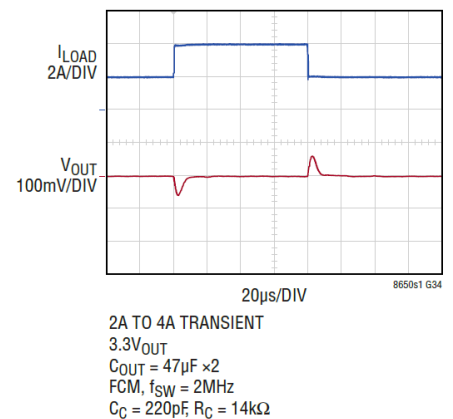
瞬态响应内部补偿



瞬态响应内部补偿

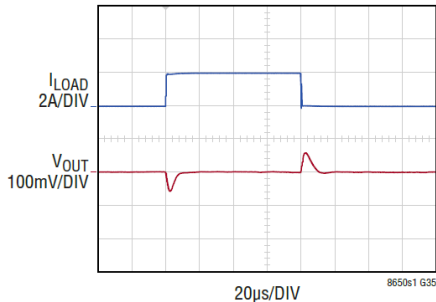


瞬态响应外部补偿



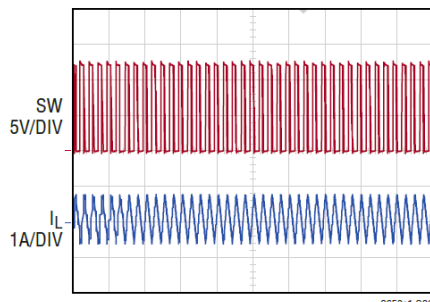
## 典型性能参数

### 瞬态响应外部补偿



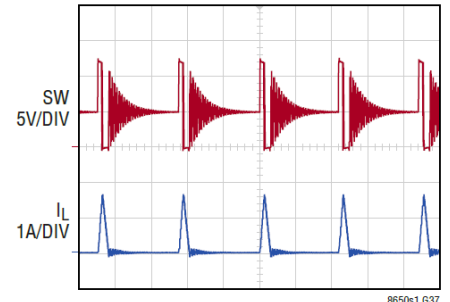
40mA TO 2A TRANSIENT  
 $3.3V_{OUT}$   
 $C_{OUT} = 47\mu F \times 2$   
 FCM,  $f_{SW} = 2MHz$   
 $C_C = 220pF$ ,  $R_C = 14k\Omega$

### 强制连续模式 (FCM)



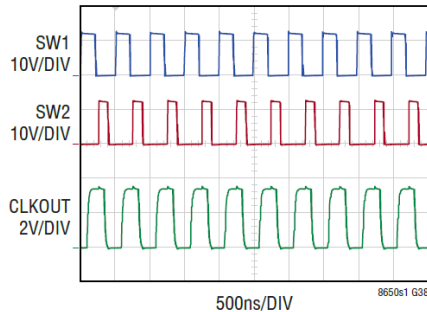
12V<sub>IN</sub> TO 5V<sub>OUT</sub> AT 100mA  
 SYNC = FLOAT

### 突发工作模式



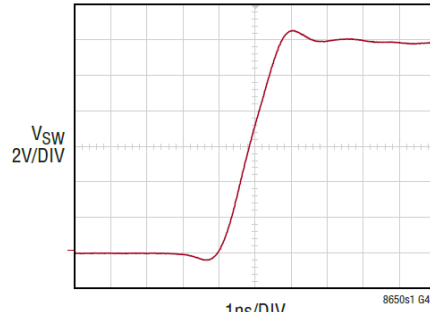
12V<sub>IN</sub> TO 5V<sub>OUT</sub> AT 100mA  
 SYNC = 0V

### CH1、CH2 和 CLKOUT

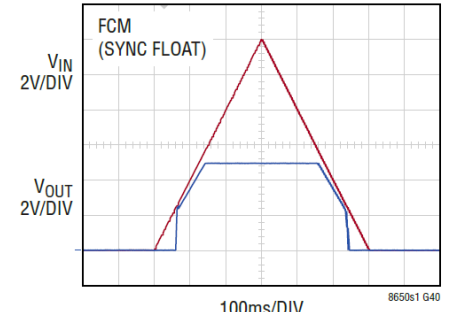


$V_{IN} = 12V$   
 $CH1 = 5V_{OUT}$   
 $CH2 = 3.3V_{OUT}$   
 SYNC = FLOAT

### 开关上升沿

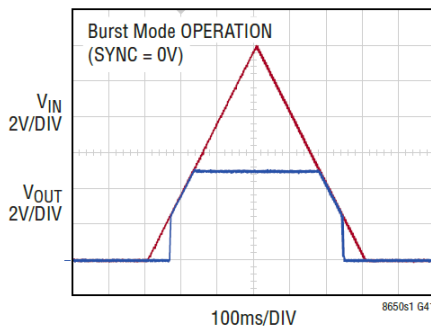


### 启动压差性能



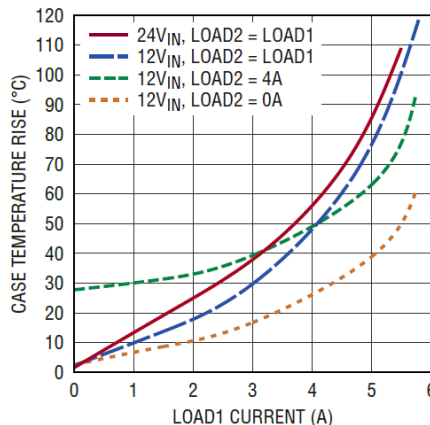
5 $\Omega$  LOAD  
 (1A IN REGULATION)

### 启动压差性能



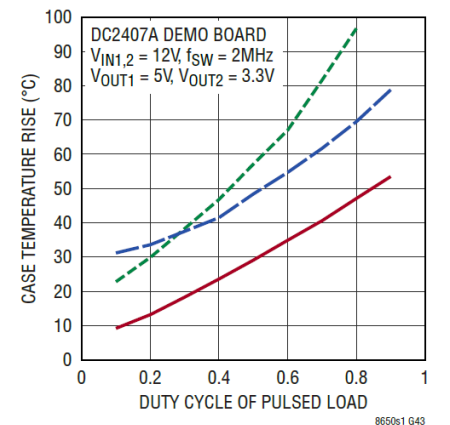
5 $\Omega$  LOAD  
 (1A IN REGULATION)

### 壳温上升



DC2407A DEMO BOARD  
 $V_{OUT1} = 5V$ ,  $V_{OUT2} = 3.3V$ ,  $f_{SW} = 2MHz$

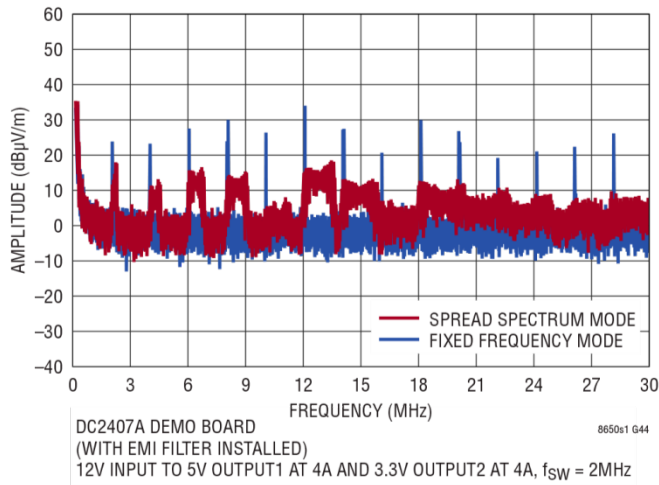
### 壳温上升



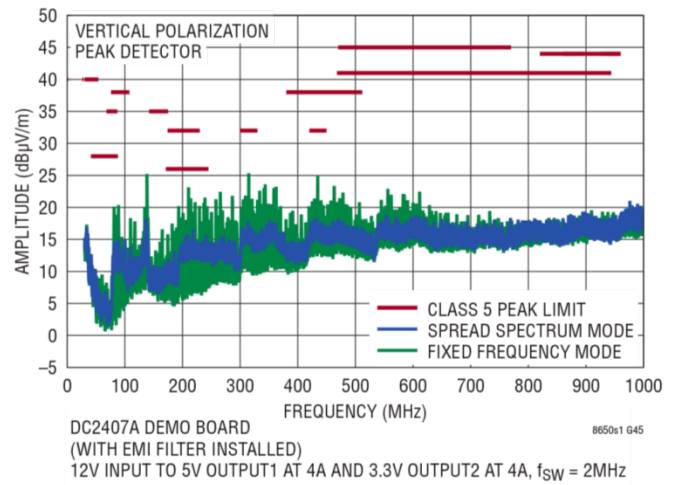
DC2407A DEMO BOARD  
 $V_{IN1,2} = 12V$ ,  $f_{SW} = 2MHz$   
 $V_{OUT1} = 5V$ ,  $V_{OUT2} = 3.3V$

## 典型性能参数

### 传导 EMI 性能



### 辐射 EMI 性能 (CISPR25 辐射发射测试, 5 类峰值限制)



## 引脚功能

**RT (引脚 1):** 在 RT 和地之间连接一个电阻以设置开关频率。

**V<sub>IN1</sub> (引脚 4、5):** V<sub>IN1</sub> 引脚为 LT8650S-1 内部电路和通道 1 的内部顶端功率开关提供电流。该引脚必须在本地予以旁路。确保输入电容的正极尽可能靠近 V<sub>IN1</sub> 引脚，负极尽可能靠近 GND 引脚。

**V<sub>IN2</sub> (引脚 7、8):** V<sub>IN2</sub> 引脚为通道 2 的内部顶端功率开关提供电流。该引脚必须在本地予以旁路。确保输入电容的正极尽可能靠近 V<sub>IN2</sub> 引脚，负极尽可能靠近 GND 引脚。此输入能够从与 V<sub>IN1</sub> 不同的电源供电。必须存在 V<sub>IN1</sub> 才能运行通道 2。

**EN/UV1 (引脚 11):** LT8650S-1 的通道 1 在该引脚为低电平时关断，在该引脚为高电平时有效。迟滞阈值电压为 0.77V (上升) 和 0.74V (下降)。如果不使用关断功能，应将其连接到 V<sub>IN1</sub>。V<sub>IN1</sub> 的外部电阻分压器可用于设置 V<sub>IN</sub> 阈值，低于该阈值时 LT8650S-1 的通道 1 会关断。勿让此引脚浮空。

**EN/UV2 (引脚 12):** LT8650S-1 的通道 2 在该引脚为低电平时关断，在该引脚为高电平时有效。迟滞阈值电压为 0.77V (上升) 和 0.74V (下降)。如果不使用关断功能，应将其连接到 V<sub>IN2</sub>。V<sub>IN2</sub> 的外部电阻分压器可用于设置 V<sub>IN</sub> 阈值，低于该阈值时 LT8650S-1 的通道 2 会关断。勿让此引脚浮空。

**TEMP (引脚 13):** 温度输出引脚。该引脚输出一个与结温成比例的电压。该引脚在 25°C 时输出 250mV，斜率为 9.5mV/°C。在突发工作模式下，当两个通道的输出负载均较轻时，此引脚的输出无效。要使 TEMP 输出在全部输出负载范围内有效，须将 LT8650S-1 置于强制连续模式。详见“应用信息”部分。

**PG1 (引脚 14):** PG1 引脚是内部比较器的开漏输出。PG1 保持低电平，直到 FB1 引脚在最终

调节电压的  $\pm 7.5\%$  范围内，并且没有故障状况。在 V<sub>IN1</sub> UVLO、V<sub>CC</sub> UVLO、热关断或 EN/UV 引脚均为低电平时，PG1 会被拉低。

**PG2 (引脚 15):** PG2 引脚是内部比较器的开漏输出。PG2 保持低电平，直到 FB2 引脚在最终调节电压的  $\pm 7.5\%$  范围内，并且没有故障状况。在 V<sub>IN1</sub> UVLO、V<sub>CC</sub> UVLO、热关断或 EN/UV 引脚均为低电平时，PG2 会被拉低。

**SYNC (引脚 16):** 外部时钟同步输入。将此引脚接地，以在低输出负载下实现低纹波突发工作模式。对于采用扩频调制的强制连续模式，应施加 2.8V 至 4V 的直流电压或连接到 V<sub>CC</sub>。对于不采用扩频调制的强制连续模式，应将 SYNC 引脚浮空。当处于强制连续模式时，I<sub>Q</sub> 将增加到数百  $\mu\text{A}$ 。将时钟源应用于 SYNC 引脚以与外部频率同步。当施加外部频率时，LT8650S-1 将处于强制连续模式。

**CLKOUT (引脚 17):** 在强制连续模式下，CLKOUT 引脚提供 50% 占空比的方波，其与通道 1 相位相差 90 度。这样，最多四相可以与其他稳压器同步。将外部时钟施加于 SYNC 引脚时，CLKOUT 引脚将输出与 SYNC 波形具有相同相位、占空比和频率的波形。在突发模式下，CLKOUT 引脚为低电平。如果不使用 CLKOUT 功能，应将此引脚浮空。

**BST2 (引脚 18):** 该引脚用于向通道 2 的顶端功率开关提供高于输入电压的驱动电压。将 0.1 $\mu\text{F}$  升压电容尽可能靠近 IC 放置。

**SW2 (引脚 19、20):** SW2 引脚是通道 2 内部功率开关的输出。将这些引脚连接在一起，并将其连接到电感和升压电容。该节点在 PCB 上应保持较小，以获得良好的性能。

**SW1 (引脚 22、23):** SW1 引脚是通道 1 内部功率开关的输出。将这些引脚连接在一起，并将其连接到电感和升压电容。该节点在 PCB 上应保持较小，以获得良好的性能。

## 引脚功能

**BST1 (引脚 24):** 该引脚用于向通道 1 的顶端功率开关提供高于输入电压的驱动电压。将  $0.1\mu\text{F}$  升压电容尽可能靠近 IC 放置。

**V<sub>CC</sub> (引脚 25):** 内部稳压器旁路引脚。内部电源驱动器和控制电路通过该电压供电。如果  $V_{\text{BIAS}} > 3.1\text{V}$ ,  $V_{\text{CC}}$  电流将从 BIAS 提供, 否则电流将从  $V_{\text{IN1}}$  获取。当  $V_{\text{BIAS}}$  在  $3.0\text{V}$  和  $3.5\text{V}$  之间时,  $V_{\text{CC}}$  将在  $2.8\text{V}$  和  $3.3\text{V}$  之间变化。使用至少  $1\mu\text{F}$  的低 ESR 陶瓷电容将此引脚去耦至地。请勿在  $V_{\text{CC}}$  引脚上加载外部电路。

**BIAS (引脚 26):** 当 BIAS 连接到高于  $3.1\text{V}$  的电压时, 内部稳压器将从 BIAS 而不是  $V_{\text{IN1}}$  获取电流。对于  $3.3\text{V}$  及以上的输出电压, 此引脚应连接到  $V_{\text{OUT}}$ 。如果此引脚连接到  $V_{\text{OUT}}$  以外的电源, 则应在此引脚上使用一个  $1\mu\text{F}$  本地旁路电容。

**VC1 (引脚 27):** 通道 1 误差放大器输出和开关稳压器补偿引脚。将此引脚连接到适当的外部元件, 以补偿稳压器环路频率响应。此引脚连接到  $V_{\text{CC}}$  时, 使用默认内部补偿。如果使用内部补偿, 通道 1 的突发模式静态电流仅为  $2.5\mu\text{A}$ 。如果使用外部补偿, 通道 1 的突发模式静态电流增加到约  $50\mu\text{A}$ 。

**FB1 (引脚 28):** LT8650S-1 将 FB1 引脚调节到  $800\text{mV}$ 。将反馈电阻分压器分接头连接到此引脚。

**SS1 (引脚 29):** 通道 1 输出跟踪和软启动引脚。该引脚允许用户控制启动期间的输出电压斜坡速率。低于  $0.8\text{V}$  的 SS1 电压会迫使 LT8650S-1 将 FB1 引脚调节为与 SS1 引脚电压相等。当 SS1 高于  $0.8\text{V}$  时, 跟踪功能禁用, 内部基准电压源恢复对误差放大器的控制。该引脚上来自  $V_{\text{CC}}$

的内部  $2\mu\text{A}$  上拉电流允许通过一个电容设置输出电压压摆率。在关断和故障状况下, 该引脚通过内部  $200\Omega$  MOSFET 接地; 如果从低阻抗输出驱动, 则应使用串联电阻。如果不使用软启动功能, 该引脚可以浮空。

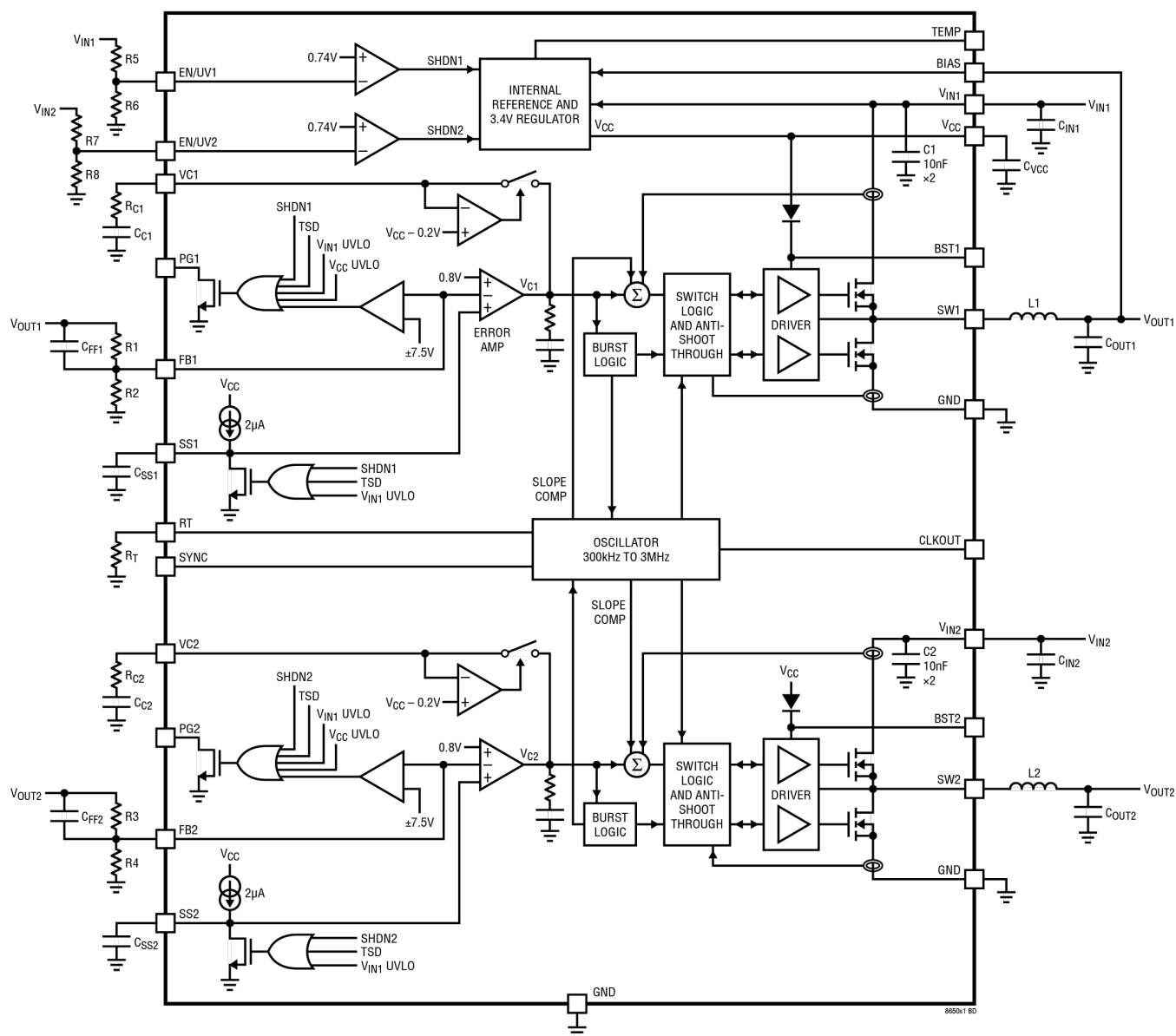
**SS2 (引脚 30):** 通道 2 输出跟踪和软启动引脚。该引脚允许用户控制启动期间的输出电压斜坡速率。低于  $0.8\text{V}$  的 SS2 电压会迫使 LT8650S-1 将 FB2 引脚调节为与 SS2 引脚电压相等。当 SS2 高于  $0.8\text{V}$  时, 跟踪功能禁用, 内部基准电压源恢复对误差放大器的控制。该引脚上来自  $V_{\text{CC}}$  的内部  $2\mu\text{A}$  上拉电流允许通过一个电容设置输出电压压摆率。在关断和故障状况下, 该引脚通过内部  $200\Omega$  MOSFET 接地; 如果从低阻抗输出驱动, 则应使用串联电阻。如果不使用软启动功能, 该引脚可以浮空。

**FB2 (引脚 31):** LT8650S-1 将 FB2 引脚调节到  $800\text{mV}$ 。将反馈电阻分压器分接头连接到此引脚。

**VC2 (引脚 32):** 通道 2 误差放大器输出和开关稳压器补偿引脚。将此引脚连接到适当的外部元件, 以补偿稳压器环路频率响应。此引脚连接到  $V_{\text{CC}}$  时, 使用默认内部补偿。如果使用内部补偿, 通道 2 的突发模式静态电流仅为  $2.5\mu\text{A}$ 。如果使用外部补偿, 通道 2 的突发模式静态电流增加到约  $50\mu\text{A}$ 。

**GND (引脚 2、10, 裸露焊盘引脚 33-38):** LT8650S-1 系统地。将这些引脚连接到系统地和电路板接地层。输入电容的负极应尽可能靠近 GND 引脚。必须将裸露焊盘焊接到 PCB 上以降低热阻。

## 框图



## 操作

### 前言

LT8650S-1 是一款双通道单片式降压型稳压器。两个通道的电流能力和功率开关规格相同。以下部分说明通道 1 和公共电路的操作。在相关的地方会突出说明通道 2 的差异和相互关系。为简化应用,假设  $V_{IN1}$  和  $V_{IN2}$  连接到同一输入电源。但请注意,为使任一通道运行, $V_{IN1}$  必须大于 3V。

### 操作

LT8650S-1 是一款双通道单片式恒频峰值电流模式降压型 DC/DC 转换器。在每个时钟周期开始时,一个振荡器(其频率通过 RT 引脚上的电阻设置)接通内部顶端功率开关。电感中的电流随后增加,直到顶部开关电流比较器脱扣并断开顶部功率开关。引起顶部开关断开的峰值电感电流由 VC 节点上的电压控制。通过比较  $V_{FB}$  引脚上的电压和内部 0.8V 基准电压,误差放大器伺服 VC 节点。当负载电流增加时,反馈电压相对于基准电压降低,导致误差放大器提升 VC 电压,直到电感平均电流与新的负载电流匹配为止。当顶部功率开关断开时,同步功率开关接通,直到下一时钟周期开始或电感电流降至零(非强制连续模式 (FCM) 时)。如果过载状况导致超过底部 NMOS 电流限值的电流流过底部开关,则下一时钟周期将被延迟,直至开关电流恢复到安全水平。

LT8650S-1 中的 S 指的是第二代 Silent Switcher 技术。该技术支持快速切换边沿,在高开关频率下可提供高效率,同时实现良好的 EMI 性能。这包括将一些陶瓷电容器集成到封装中以用于  $V_{IN1}$  和  $V_{IN2}$  (框图中的 C1 到 C2)。这些电容会使所有快速交流电流环路保持较小,从而改善 EMI 性能。

如果任一 EN/UV 引脚为低电平,则关断相应的通道。如果两个 EN/UV 引脚均为低电平,则 LT8650S-1 完全关断,仅从输入电源消耗 1.7 $\mu$ A 电流。当 EN/UV 引脚高于 0.74V 时,相应的开关稳压器变为有效。 $V_{IN1}$  为两个通道的公共偏置电路提供 3.7 $\mu$ A 电流。

每个通道可以独立进入突发工作模式,以优化轻负载时的效率。在突发操作之间,所有与控制输出开关相关的电路都关断,从而降低通道对输入电源电流的贡献。在典型应用中,当在空载下调节两个通道时,将从输入电源消耗 6.2 $\mu$ A 电流。SYNC 引脚接地时,器件以突发模式工作;该引脚浮空时,器件以强制连续模式 (FCM) 工作;施加 2.8V 至 4V 的直流电压时,器件以采用扩频调制 (SSM) 的 FCM 工作。如果将一个时钟施加于 SYNC 引脚,两个通道都会与外部时钟频率同步,并以 FCM 模式工作。在 FCM 模式下,振荡器连续工作,上升 SW 转换与时钟对齐。在轻负载期间,允许电感电流变为负值以维持设定的开关频率。两个电源开关均须遵守最小电流限值,以防止较大的负电感电流流回输入端。SSM 扰动开关频率,使其比 RT 引脚设置的频率值高出最多 20%,以在频域中扩散开关能量。CLKOUT 引脚在突发模式下没有输出,但在 FCM 模式下会输出一个相对于通道 1 相移 90 度的方波。如果将一个时钟施加于 SYNC 引脚,则 CLKOUT 引脚具有与外部时钟相同的相位和占空比。

为了提高所有负载下的效率,当偏置电压为 3.3V 或更高时,内部电路的电源电流可以从 BIAS 引脚获得。否则,内部电路将仅从  $V_{IN1}$  获取电流。BIAS 引脚应连接到设置为 3.3V 或以上的最低  $V_{OUT}$ 。

## 操作

VC 引脚允许根据设定的开关频率优化开关稳压器的环路补偿。内部补偿可通过将 VC 引脚连接到  $V_{CC}$  来选择，从而简化应用电路。外部补偿可改善瞬态响应，但每个通道的静态电流会增加大约 50 $\mu$ A。

如果输出电压相对于调节电压的变化幅度超过  $\pm 7.5\%$  (典型值)，或者出现故障，监测 FB 引脚电压的比较器将会把相应的 PG 引脚拉低。

TEMP 引脚上的电压与 LT8650S-1 的平均芯片温度成正比。芯片温度为 25 $^{\circ}$ C 时，TEMP 引脚为 250mV，斜率为 9.5mV/ $^{\circ}$ C

软启动跟踪实现如下：通过 SS 引脚向外部软启动电容提供恒定电流以产生电压斜坡。FB 电压调节到 SS 引脚的电压；如果后者超过 0.8V，则将 FB 调节到基准电压 0.8V。当 SS 引脚低于 40mV 时，相应的开关稳压器将停止开关。SS 电容在关断、 $V_{IN1}$  欠压或热关断期间复位。

两个通道均设计为输出最高 6A 的电流，但两个通道同时连续输出电流时，散热考虑实际上会将输出电流限制为 4A。通道 1 有 3V 的最低  $V_{IN1}$  要求；如果满足了最低  $V_{IN1}$  要求，通道 2 就能运行，而不用考虑最低  $V_{IN2}$ 。

## 应用信息

### 实现超低静态电流

为了提高轻负载时的效率,LT8650S-1 以低纹波突发模式工作,使输出电容充电至所需的输出电压,同时最大限度地降低输入静态电流和输出电压纹波。 $V_{IN1}$  为公共偏置电路提供  $3.7\mu\text{A}$  电流。在突发工作模式中,LT8650S-1 向输出电容提供很小的单电流脉冲,然后进入休眠周期,输出功率由输出电容提供。在休眠模式下,两个通道共消耗  $6.2\mu\text{A}$ 。

随着输出负载降低,单电流脉冲的频率降低(见图 1),LT8650S-1 处于休眠模式的时间百分比增加,导致轻负载效率远高于典型转换器效率。对于无输出负载的典型应用,通过让脉冲之间的时间最大化,转换器静态电流接近  $6.2\mu\text{A}$ 。因此,为了优化轻负载时的静态电流性能,反馈电阻分压器中的电流必须最小化,因为它在输出端看来是负载电流。

在突发工作模式下,顶部开关的电流限值约为  $1.2\text{A}$ ,产生的输出电压纹波如图 2 所示。增加输出电容会使输出纹波成比例地降低。当负载从零逐步增加时,开关频率将会提高,但以  $R_T$  引脚电阻所设置的开关频率为限,如图 1 所示。LT8650S-1 达到设定频率时的输出负载随着输入电压、输出电压和电感选择的不同而变化。

某些应用希望选择强制连续模式 (FCM),以在低至零的输出负载下维持最高开关频率。请参阅“强制连续模式”部分。

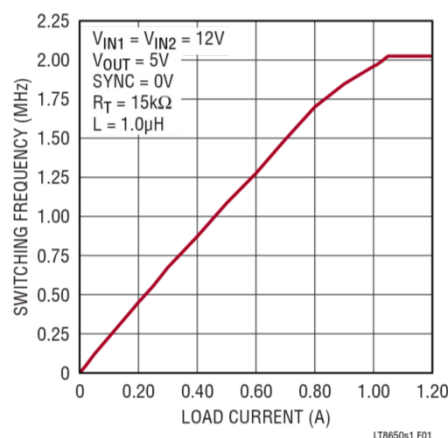


图 1. 突发频率

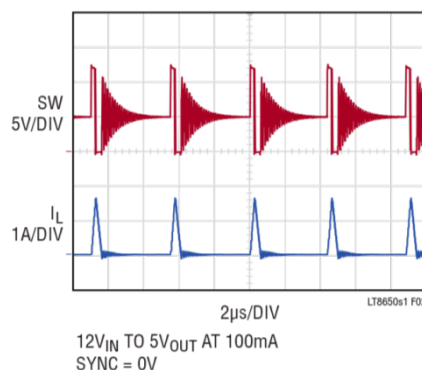


图 2. 突发工作模式

### FB 电阻网络

输出电压通过输出端和 FB 引脚之间的电阻分压器进行编程(通道 1 为  $R1-2$ , 通道 2 为  $R3-4$ )。根据以下因素选择电阻值:

$$R1=R2\left(\frac{V_{OUT1}}{0.8V}-1\right)$$

器件位号参见框图。建议使用 1% 电阻以保持输出电压精度。

# 应用信息

如果需要低输入静态电流和良好的轻负载效率，FB 电阻分压器应使用较大电阻值。分压器中的电流充当负载电流，并会增加转换器的空载输入电流，其约为：

$$I_Q = 3.7\mu A + \left( \frac{V_{OUT1}}{R1+R2} \right) \left( \frac{V_{OUT1}}{V_{IN1}} \right) \left( \frac{1}{n} \right)$$

其中，3.7μA 为通道 1 和公共电路的静态电流，第二项为反馈分压器中反射到通道 1 输入端的电流，通道 1 以轻负载效率 n 运行。对于 R1 = 1M 且 R2 = 316k 的 3.3V 应用，反馈分压器消耗 2.5μA。V<sub>IN</sub> = 12V 且 n = 80% 时，3.7μA 静态电流会增加 0.9μA，使得从 12V 电源消耗的空载电流为 4.6μA。注意，此式意味着空载电流是 V<sub>IN</sub> 的函数，其图像参见“典型性能参数”部分。

要确定通道 2 反馈电阻器的输入电流贡献，可以进行类似的计算。对于 R3 = 1M、R4 = 191k、V<sub>IN</sub> = 12V、h = 80% 的 5V 应用，输入电流会增加 2.2μA，导致两个通道均开启时总共消耗 6.8μA。

对于 1M 的典型 FB 电阻，应将一个 4.7pF 至 10pF 的相位超前电容连接在 V<sub>OUT</sub> 和 FB 之间。

## 设置开关频率

LT8650S-1 采用恒频 PWM 架构，利用从 RT 引脚连接到地的电阻可在 300kHz 到 3MHz 范围内设置其开关频率。表 1 显示了开关频率与所需 R<sub>T</sub> 值的对应关系。

设置某一开关频率所需的 R<sub>T</sub> 电阻可使用下式计算：

$$R_T = \frac{41.7}{f_{SW}} - 5.8$$

其中，R<sub>T</sub> 以 kΩ 为单位，f<sub>SW</sub> 为期望开关频率，单位为 MHz。

LT8650S-1 的两个通道以 180° 异相工作，以避免开关边沿噪声对齐，并降低输入电流纹波。

表 1. SW 频率与 R<sub>T</sub> 值

| f <sub>SW</sub> (MHz) | R <sub>T</sub> (kΩ) |
|-----------------------|---------------------|
| 0.3                   | 137                 |
| 0.4                   | 100                 |
| 0.5                   | 78.7                |
| 0.6                   | 63.4                |
| 0.8                   | 46.4                |
| 1.0                   | 35.7                |
| 1.2                   | 28.7                |
| 1.4                   | 23.7                |
| 1.6                   | 20                  |
| 1.8                   | 17.4                |
| 2.0                   | 15                  |
| 2.2                   | 13                  |
| 2.5                   | 11                  |
| 3.0                   | 8.06                |

## 工作频率选择和权衡

工作频率的选择是权衡效率、元件大小和输入电压范围的结果。高频工作的优点是可以使用较小的电感和电容值。缺点是效率较低，输入电压范围较小。

给定应用的最高开关频率 (f<sub>SW(MAX)</sub>) 可以计算如下：

$$f_{SW(MAX)} = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{t_{ON(MIN)} (V_{IN} - V_{SW(TOP)} + V_{SW(BOT)})}$$

其中，V<sub>IN</sub> 为典型输入电压，V<sub>OUT</sub> 为输出电压，V<sub>SW(TOP)</sub> 和 V<sub>SW(BOT)</sub> 为内部开关压降（在最大负载时分别为约 0.3V、约 0.12V），t<sub>ON(MIN)</sub> 为顶部开关最小导通时间 60ns（参见“电气特性”）。该式表明，V<sub>IN</sub>/V<sub>OUT</sub> 比值较高时，须选择较低的开关频率。根据哪个通道具有较低频率约束来选择开关频率。

## 应用信息

对于瞬态操作, 无论  $R_T$  值如何,  $V_{IN}$  都可能达到绝对最大额定值 42V, 但 LT8650S-1 会根据需要独立降低每个通道的开关频率, 以保持对电感电流的控制, 确保操作安全。

在突发模式下, LT8650S-1 能以大于 99% 的最大占空比工作,  $V_{IN}$  至  $V_{OUT}$  压降受顶部开关的  $R_{DS(ON)}$  限制。在此模式下, 进入压降的通道会跳过开关周期, 导致开关频率降低。在强制连续模式下, LT8650S-1 不会跳过周期以实现更高的占空比。由于最大占空比较小, 该器件将保持设定的开关频率, 并且压差将较大。

$V_{IN}/V_{OUT}$  比值较低时, 对于不允许偏离设定开关频率的应用, 应使用以下公式设置开关频率:

$$V_{IN(MIN)} = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{1 - f_{SW} \cdot t_{OFF(MIN)}} - V_{SW(BOT)} + V_{SW(TOP)}$$

其中,  $V_{IN(MIN)}$  为没有跳过周期的最小输入电压,  $V_{OUT}$  为输出电压,  $V_{SW(TOP)}$  和  $V_{SW(BOT)}$  为内部开关压降 (最大负载时分别为约 0.3V、约 0.12V),  $f_{SW}$  为开关频率 (由  $R_T$  设定),  $t_{OFF(MIN)}$  为最小开关关断时间。请注意, 开关频率越高, 则最小输入电压也越高; 若低于该电压, 器件将会跳过一些周期以实现较高占空比。

请注意,  $V_{IN2}$  没有最低电压要求, 因为它不为内部公共偏置电路供电, 只要  $V_{IN1}$  的电源电压为 3V 或更高, 通道 2 就能够在非常低的输入电压下工作。

### 电感选择和最大输出电流

LT8650S-1 设计用于最大限度地减小解决方案尺寸, 允许根据应用的输出负载要求选择电感。在过载或短路情况下, LT8650S-1 通过使用高速峰值电流模式架构, 安全地支持在饱和电感下操作。

首选的电感值为:

$$L_{1,2} = \frac{V_{OUT1,2} + V_{SW(BOT)}}{2f_{SW}}$$

其中,  $f_{SW}$  为开关频率 (以 MHz 为单位),  $V_{OUT}$  为输出电压,  $V_{SW(BOT)}$  为底部开关压降 (~0.12V),  $L$  为电感值 (以  $\mu H$  为单位)。为避免过热和效率低下, 必须选择 RMS 电流额定值大于应用的最大预期输出负载的电感。另外, 电感的饱和电流 (通常标记为  $I_{SAT}$ ) 额定值必须高于负载电流加上电感纹波电流的 1/2:

$$I_{L(PEAK)} = I_{LOAD(MAX)} + \frac{1}{2} \Delta I_L$$

其中,  $\Delta I_L$  为式 1 计算的电感纹波电流,  $I_{LOAD(MAX)}$  为给定应用的最大输出负载。

举一个简单例子, 需要 1A 输出的应用应采用 RMS 额定值大于 1A 且  $I_{SAT}$  大于 1.3A 的电感。在长时间过载或短路情况下, 电感 RMS 额定值要求必须更高, 以避免电感过热。为了保持高效率, 串联电阻 (DCR) 应小于 0.04 $\Omega$ , 并且芯材应适合高频应用。

LT8650S-1 会限制峰值开关电流, 以保护开关和系统免受过载故障的影响。顶部开关电流限值 ( $I_{LIM}$ ) 在低占空比时至少为 10A, 在  $DC = 0.8$  时线性降低至 7A。电感值必须足以提供所需的最大输出电流 ( $I_{OUT(MAX)}$ ), 后者是开关电流限值 ( $I_{LIM}$ ) 和纹波电流的函数。

$$I_{OUT(MAX)} = I_{LIM} - \frac{\Delta I_L}{2}$$

电感中的峰峰值纹波电流可计算如下:

$$\Delta I_L = \frac{V_{OUT}}{L \cdot f_{SW}} \cdot \left( 1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)}} \right) \quad (1)$$

## 应用信息

其中,  $f_{sw}$  为 LT8650S-1 的开关频率,  $L$  为电感值。因此, LT8650S-1 提供的最大输出电流取决于开关电流限值、电感值以及输入和输出电压。

每个通道都有一个第二底部开关电流限值。顶部开关断开后, 底部开关承载电感电流。如果由于任何原因电感电流过高, 底部开关将保持导通, 延迟顶部开关导通, 直至电感电流恢复到安全水平。该电平被指定为底部 NMOS 电流限值, 其与占空比无关。应用电路中的最大输出电流以此谷值电流加上电感纹波电流的一半为限。

在大多数情况下, 电流限值由顶部开关实施。当违反最小导通时间条件 (高输入电压、高频或饱和和电感) 时, 底部开关限值控制电感电流。

底部开关电流限值设计为等于峰值电流限值, 以免对 LT8650S-1 的最大额定电流产生任何影响。

有关最大输出电流和断续操作的更多信息, 请参阅 ADI 公司应用笔记 44。

最后, 对于 50% 以上的占空比 ( $V_{OUT}/V_{IN} > 0.5$ ), 存在一个最小电感要求以避免次谐波振荡。请参见应用笔记 19。

表 2. 电感制造商

| 供应商              | URL                                                      |
|------------------|----------------------------------------------------------|
| Coilcraft        | <a href="http://www.coilcraft.com">www.coilcraft.com</a> |
| Sumida           | <a href="http://www.sumida.com">www.sumida.com</a>       |
| Toko             | <a href="http://www.toko.com">www.toko.com</a>           |
| Würth Elektronik | <a href="http://www.we-online.com">www.we-online.com</a> |
| Vishay           | <a href="http://www.vishay.com">www.vishay.com</a>       |

### 输入电容

用 X7R 或 X5R 型陶瓷电容旁路 LT8650S-1 电路的输入, 该电容应尽可能靠近  $V_{IN}$  和 GND 引脚。Y5V 型在温度和施加电压方面的性能很糟糕, 不应使用。4.7 $\mu$ F 至 10 $\mu$ F 陶瓷电容足以旁路 LT8650S-1, 并且可以轻松处理纹波电流。请注意, 当使用较低开关频率时, 需要较大的输入电容。如果输入电源具有高阻抗, 或者因

为长导线或电缆而存在明显的电感, 则可能需要额外的体电容。这可以通过低性能电解电容来提供。

降压型稳压器以脉冲形式从输入电源汲取电流, 脉冲的上升和下降时间非常快。输入电容的作用是降低 LT8650S-1 产生的电压纹波, 并迫使这种极高频的开关电流进入一个紧密的本地环路, 从而最大限度地降低 EMI。通常, 应小尺寸 0402 的 0.1 $\mu$ F 电容放置在尽可能靠近 LT8650S-1 的位置, 并添加一个较大的体陶瓷电容以获得更大电容 (参见“PCB 布局”部分)。关于陶瓷输入电容的第二点注意事项涉及 LT8650S-1 的最大输入电压额定值。陶瓷输入电容与走线或电缆电感相结合, 形成高质量 (欠阻尼) 储能电路。如果将 LT8650S-1 电路插入带电电源, 输入电压可能振铃到其标称值的两倍, 超过 LT8650S-1 的电压额定值。这种情况很容易避免 (参见 ADI 公司应用笔记 88)。

### 输出电容和输出纹波

输出电容有两个基本功能。一是与电感一起, 对 LT8650S-1 产生的方波进行滤波以产生直流输出。在此过程中, 输出电容决定输出纹波, 因此开关频率对应的阻抗较低很重要。第二个功能是储存能量以满足瞬态负载需要并稳定 LT8650S-1 的控制环路。陶瓷电容具有非常低的等效串联电阻 (ESR), 可提供最佳纹波性能。“典型应用”部分给出了很好的起始值。

使用 X5R 或 X7R 类型。这种选择将提供低输出纹波和良好的瞬态响应。使用更高的输出电容值, 并在  $V_{OUT}$  和 FB 之间添加前馈电容, 可以改善瞬态性能。增加输出电容也会降低输出电压纹波。可以使用值较低的输出电容以节省空间和成本, 但瞬态性能会受到影响, 并可能导致环路不稳定。关于建议的电容值, 请参见本数据手册中的“典型应用”。

## 应用信息

选择电容时，应特别注意数据手册，计算相关工作条件（电压偏置和温度）下的有效电容。可能需要使用物理尺寸较大或具有较高电压额定值的电容。

### 陶瓷电容

陶瓷电容体积小，坚固耐用，ESR 非常低。但是，由于其压电特性，陶瓷电容与 LT8650S-1 一起使用时可能会造成问题。在突发工作模式中，LT8650S-1 的开关频率取决于负载电流；负载非常低时，LT8650S-1 在音频频率下可能激励陶瓷电容，产生可闻噪声。LT8650S-1 在突发模式期间以较低电流限值工作，因此该噪声对普通人来说通常是非常安静的。如果不能接受，应在输出端使用高性能钽电容或电解电容。还有低噪声陶瓷电容可用。

表 3. 陶瓷电容制造商

| 制造商         | 网站                                                   |
|-------------|------------------------------------------------------|
| Taiyo Yuden | <a href="http://www.t-yuden.com">www.t-yuden.com</a> |
| AVX         | <a href="http://www.avxcorp.com">www.avxcorp.com</a> |
| Murata      | <a href="http://www.murata.com">www.murata.com</a>   |
| TDK         | <a href="http://www.tdk.com">www.tdk.com</a>         |

### 使能引脚

LT8650S-1 在两个 EN/UV 引脚均为低电平时关断，在任一 EN/UV 引脚为高电平时有效。EN/UV 比较器的上升阈值为 0.74V，具有 30mV 的迟滞。如果不使用关断特性，EN/UV 引脚可以连接到  $V_{IN}$ ；如果需要关断控制功能，EN/UV 引脚可以连接到一个逻辑电平。

在  $V_{IN}$  和 EN/UV 之间添加一个电阻分压器，使得 LT8650S-1 仅在  $V_{IN}$  高于所需电压时工作（参见框图）。通常，该阈值  $V_{IN(EN)}$  用在输入电源电流受限或具有相对较高源电阻的情况下。开关稳压器从电源获取恒定功率，因此源电流随着电源电压的下降而增加。这在电源看来像是一

个负电阻负载，可能导致电源在低电压情况下限流或锁存低电平。 $V_{IN(EN)}$  阈值防止稳压器在可能发生问题的电源电压下工作。要调整该阈值，可以设置 R5 和 R6 值（通道 2 为 R7 和 R8），使之满足以下等式：

$$V_{IN(EN)} = \left( \frac{R5}{R6} + 1 \right) \cdot 0.74V$$

其中，相应通道将保持关断状态，直到  $V_{IN}$  高于  $V_{IN(EN)}$ 。由于比较器迟滞，切换要到输入略低于  $V_{IN(EN)}$  时才会停止。

对于轻负载电流，当以突发模式工作时，通过  $V_{IN(EN)}$  电阻网络的电流可能很容易大于 LT8650S-1 消耗的电源电流。因此， $V_{IN(EN)}$  电阻应该很大，使得在低负载时这些电阻对效率的影响最小。

### $V_{CC}$ 稳压器

内部低压差 (LDO) 稳压器从  $V_{IN1}$  产生 3.4V 电源，以为驱动器和内部偏置电路供电。因此，要使用任一通道， $V_{IN1}$  必须存在且有效。 $V_{CC}$  可为 LT8650S-1 电路提供足够的电流，必须用 1μF 陶瓷电容将其旁路至地。为了提供功率 MOSFET 栅极驱动器所需的高瞬态电流，必须有很好的旁路。为了提高效率，当 BIAS 引脚电压为 3.1V 或更高时，内部 LDO 也可以从 BIAS 引脚获取电流。通常，BIAS 引脚可以连接到最低输出或 3.1V 以上的外部电源。如果 BIAS 连接到  $V_{OUT}$  以外的电源，务必使用一个局部陶瓷电容予以旁路。如果 BIAS 引脚电压低于 3V，内部 LDO 将消耗  $V_{IN1}$  的电流。

高输入电压和高开关频率的应用（内部 LDO 从  $V_{IN1}$  获取电流）会提高芯片温度，因为 LDO 的功耗较高。请勿将外部负载连接到  $V_{CC}$  引脚。

## 应用信息

### 频率补偿

LT8650S-1 的 VC 引脚可用于优化每个通道的环路补偿。如果 VC 引脚短接到  $V_{CC}$ ，则使用内部补偿。这可以简化电路设计并最大限度地降低静态电流，但由于内部补偿必须在 300kHz 至 3MHz 的开关频率范围内保持稳定，因此内部补偿不是最佳的，特别是在开关频率较高时。如果需要最佳瞬态响应，可以将一个外部补偿网络连接连接到 VC 引脚，该网络通常由串联电阻和电容组成（参见框图中的  $R_C$  和  $C_C$ ）。

设计补偿网络有点复杂，最佳值取决于应用，尤其是输出电容的类型。一种实用的方法是从数据手册中与实际应用相似的一个电路开始，并调整补偿网络以优化性能。在此过程中，LTspice® 仿真可以提供帮助。然后应检查所有工作情况下的稳定性，包括负载电流、输入电压和温度。

图 3 显示了 LT8650S-1 控制环路的等效电路。误差放大器是具有有限输出阻抗的跨导放大器。功率部分由调制器、功率开关和电感组成，被建模为跨导放大器，产生与 VC 引脚电压成比例的输出电流。

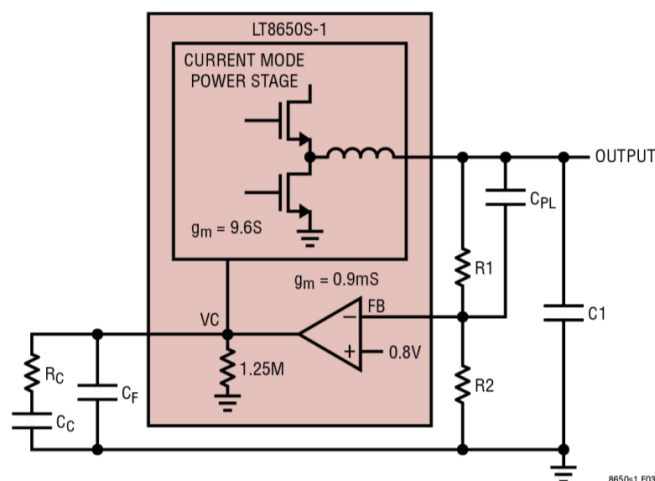


图 3. 环路响应模型

请注意，输出电容对该电流进行积分，VC 引脚上的电容 ( $C_C$ ) 对误差放大器输出电流进行积分，从而在环路中产生两个极点。需要一个零点，其来自电阻  $R_C$  和串联的  $C_C$ 。只要电感值不太高且环路交越频率远低于开关频率，这种简单模型便很有效。反馈分压器上的相位超前电容 ( $C_{PL}$ ) 可用于改善瞬态响应，而且它是抵消反馈节点至地电容引起的寄生极点所必需的。

图 4a 显示了首页上使用内部补偿的应用的瞬态响应。图 4b 显示了同一应用使用 14k $\Omega$   $R_C$  和 220pF  $C_C$  补偿网络后得到改善的瞬态响应。使用外部补偿网络时，每个通道的静态电流增加约 50 $\mu$ A。

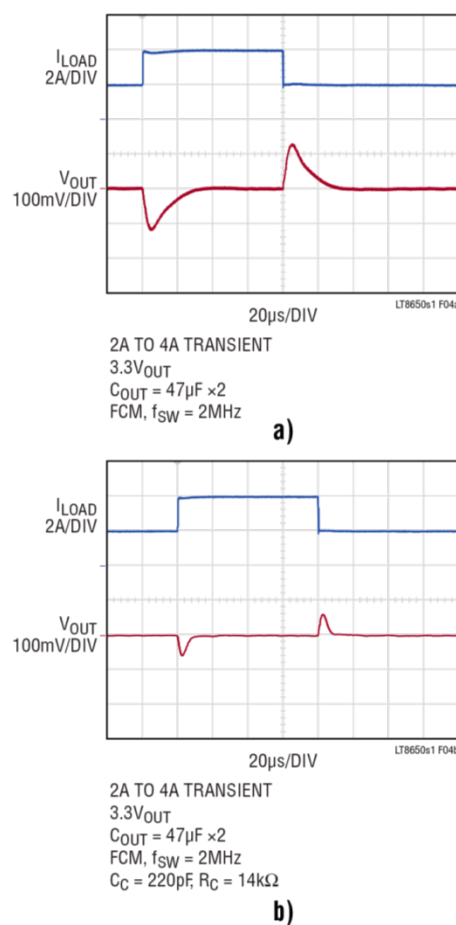


图 4. 瞬态响应

## 应用信息

### 输出电压跟踪和软启动

LT8650S-1 允许用户通过 SS 引脚对输出电压斜坡速率进行编程。内部  $2\mu\text{A}$  电流将 SS 引脚上拉至  $V_{CC}$ 。在 SS 上放置一个外部电容可以软启动输出, 防止输入电源发生电流浪涌。在软启动斜坡期间, 输出电压将按比例跟踪 SS 引脚电压。对于输出跟踪应用, SS 可以由另一个电压源从外部驱动。从  $0\text{V}$  到  $0.04\text{V}$ , SS 引脚将停止相应的通道切换, 从而允许 SS 引脚用作关断引脚。从  $0.04\text{V}$  到  $0.8\text{V}$ , SS 电压会覆盖误差放大器的内部  $0.8\text{V}$  基准输入, 从而将 FB 引脚电压调节到 SS 引脚的电压 (图 5)。当 SS 高于  $0.8\text{V}$  时, 跟踪禁用, 反馈电压将调节到内部基准电压。如果不需要该功能, SS 引脚可以浮空。请注意, 在突发模式和强制连续模式 (FCM) 下, LT8650S-1 都不会对输出放电以调节到较低的 SS 电压。当 SS 电压低于  $2\text{V}$  时, 这是通过禁用 FCM 来实现的。

在突发模式下 (SYNC 为低电平), 一个有源下拉电路连接到 SS 引脚, 发生故障时, 外部软启动电容放电; 故障清除后, 斜坡重启。清除软启动电容的故障情况包括: 相应的 EN/UV 引脚低于  $0.74\text{V}$ 、 $V_{IN1}$  电压下降得过低或热关断。

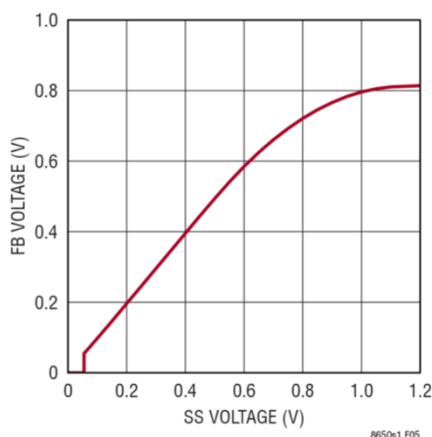


图 5. SS 引脚跟踪

### 输出电源良好

当 LT8650S-1 的输出电压在调节点的  $\pm 7.5\%$  窗口内时, 即 FB 电压在  $0.74\text{V}$  至  $0.86\text{V}$  (典型值) 范围内时, 认为输出电压良好, 开漏 PG 引脚变为高阻抗且通常通过外部电阻拉高。否则, 内部下拉器件会将 PG 引脚拉低。为了防止毛刺, 上阈值和下阈值均包括  $0.3\%$  的迟滞。

在以下几种故障情况下, PG 引脚也会被有源电路拉低: 相应的 EN/UV 引脚低于  $0.74\text{V}$ 、 $V_{CC}$  电压下降得过低、 $V_{IN1}$  欠压或热关断。

### 时序控制

LT8650S-1 可以通过多种方式配置启动顺序和跟踪。可以要求一个通道有效之后才能使能另一个通道, 从而设定其启动顺序。这可以通过将第一个通道的 PG 引脚连接到第二个通道的 EN/UV 引脚或 SS 引脚来实现。第一个通道的 SS 引脚也可以连接到第二个通道的 EN/UV 引脚 (参见图 6)。

各通道也可以同时启动, 输出电压可以按比例方式进行跟踪 (参见图 6)。

### 并联

为了增加可能的输出电流, 两个通道可以并联连接到同一输出。为此, 各通道的 VC、SS 和 FB 引脚应连接在一起, 而各通道的 SW 节点通过其自己的电感连接到公共输出。并联输出时必须使用外部补偿网络。图 7 显示了一个应用, 其中一个 LT8650S-1 稳压器的两个通道合并, 获得一个能够提供  $8\text{A DC}$ 、 $12\text{A}$  峰值瞬态的输出。

应用信息

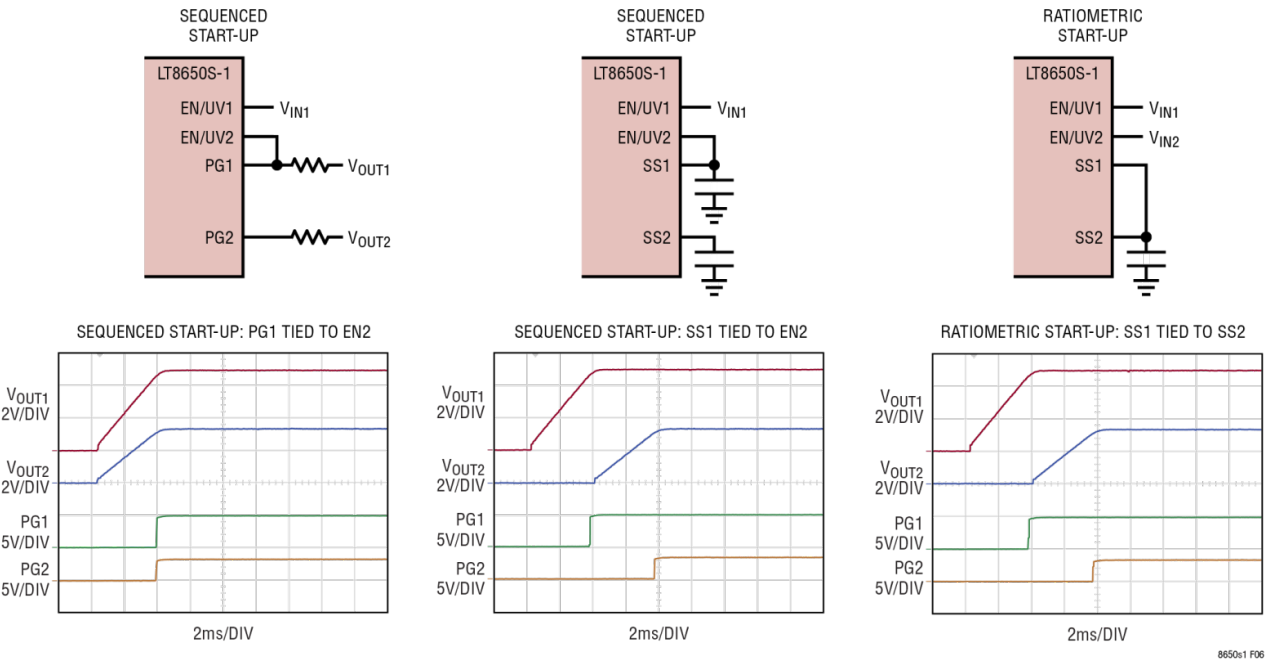


图 6. 时序控制和启动配置

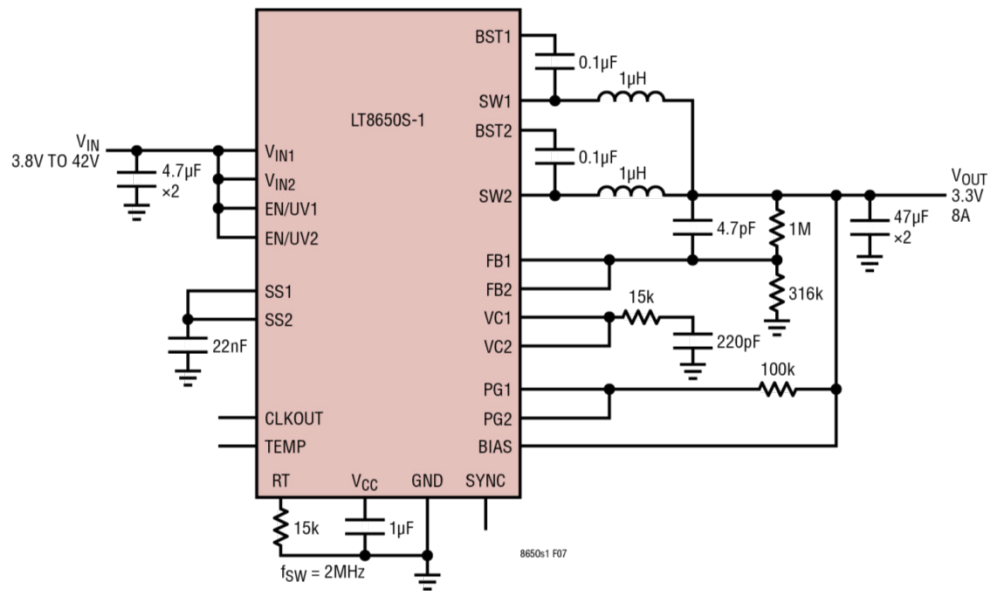


图 7. 两相应用

## 应用信息

### 同步

要选择低纹波突发工作模式，请将 SYNC 引脚连接到 0.4V 以下的电压（可以是接地或逻辑低电平输出）。要选择强制连续模式 (FCM)，请将 SYNC 引脚浮空。要选择采用扩频调制 (SSM) 的 FCM，请将 SYNC 引脚连接到 2.8V 以上的电压 (SYNC 可以连接到  $V_{CC}$ )。要使 LT8650S-1 振荡器与外部频率同步，须将一个方波 (20% 至 80% 占空比) 连接到 SYNC 引脚。方波幅度的谷值应低于 0.4V，峰值应高于 1.5V (最高 6V)。当与外部时钟同步时，LT8650S-1 使用 FCM。

通道 1 的正开关边沿转换与 SYNC 信号的正边沿同步，通道 2 与 SYNC 信号的负边沿同步。

LT8650S-1 可以在 300kHz 至 3MHz 范围内同步。所选  $R_T$  电阻应将 LT8650S-1 开关频率设置为等于或低于最低同步输入频率。例如，如果同步信号为 500kHz 或更高，则应选择  $R_T$  以设置标称 500kHz 的开关频率。

斜率补偿由  $R_T$  值设置，但避免次谐波振荡所需的最小斜率补偿由电感大小、输入电压和输出电压确定。同步频率不会改变电感电流波形的斜率，如果电感足够大，可避免  $R_T$  所设定频率下的次谐波振荡，那么斜率补偿对所有同步频率都是充分的。

包含扩频的同步信号可以降低 EMI。SYNC 信号的占空比可用于设置两个通道的相对相位，以使输入纹波最小化。

### 强制连续模式

强制连续模式 (FCM) 可通过如下方式激活：将 SYNC 引脚浮空，将 SYNC 引脚连接到  $V_{CC}$ ，将高于 2.8V 的直流电压施加到 SYNC 引脚，或将外部时钟施加到 SYNC 引脚。

在 FCM 模式下，断续工作模式被禁用，电感电流可以变为负值，使得稳压器可以按设定频率一直切换到零输出电流。这样做的好处是可以在整个负载范围内保持设定的开关频率，从而使开关谐波和 EMI 保持一致且可预测。与突发工作模式相比，FCM 的缺点是轻负载效率较低。

在低输入电压下，当器件进入压差状态时，设定的开关频率将得到保持，并且不允许跳过关断时间。这样可以使开关频率保持受控，但由于最大占空比限制，压差将高于突发模式下的压差。

负电感电流限制在最大约 -2.5A，因此 LT8650S-1 最多只能吸收约 -1.3A 的电流。这可以防止过量电流从输出流回输入。如果输入电压大于 37V，FCM 将被禁用，以防止 LT8650S-1 过压（输入电容从输出吸收电流而充电）。其他安全特性包括：当 SS 引脚电压低于 1.8V 时禁用 FCM，以防止当启动进入预偏置输出时输出放电；底部 FET 限流，以防止由于违反最小导通时间而使输出过度充电。

### 扩频调制

将 SYNC 引脚连接到  $V_{CC}$ ，或将 2.8V 至 4V 的直流电压施加到 SYNC 引脚，就会激活扩频调制 (SSM)。SSM 在  $R_T$  设定的值和比该值高约 20% 的范围内调制开关频率，从而降低 EMI 辐射。开关频率线性向上调制，然后以 5kHz 的速率线性向下调制。这是一项模拟功能，因此每个开关周期都与前一个不同。例如，当 LT8650S-1 设置为 2MHz 且 SSM 特性使能时，开关频率将以 5kHz 的速率从 2MHz 变化到 2.4MHz。在 SSM 中，该器件同样以强制连续模式运行。

## 应用信息

### 时钟输出

CLKOUT 引脚输出一个时钟，其可用于将其他稳压器与 LT8650S-1 同步。在突发模式下 (SYNC 引脚为低电平)，CLKOUT 引脚接地。在强制连续模式下 (SYNC 引脚浮空或 DC 高电平)，CLKOUT 引脚输出一个 50% 占空比时钟，其中 CLKOUT 上升沿相对于通道 1 相移约 90 度。如果将此 CLKOUT 波形施加到另一个 LT8650S-1 稳压器的 SYNC 引脚，便可实现四相操作。如果将外部时钟施加到 LT8650S-1 的 SYNC 引脚，CLKOUT 引脚将输出一个与 SYNC 引脚时钟具有相同相位和占空比的波形。CLKOUT 引脚的低电平和高电平分别为地和  $V_{CC}$ 。CLKOUT 引脚的驱动强度为数百欧姆，因此 CLKOUT 波形的上升和下降时间为数十纳秒。如果 CLKOUT 走线具有额外电容，边沿速率将更慢。

### 温度监视功能

TEMP 引脚输出一个与芯片温度成比例的电压。温度为 25°C 时，TEMP 引脚通常输出 250mV，其斜率为 9.5mV/°C。在没有外部电路的帮助下，TEMP 引脚输出在 20°C 至 150°C 范围内有效 (200mV 至 1.5V)。TEMP 引脚的负载不应超过 100 $\mu$ A。要将 TEMP 引脚输出扩展到 20°C 以下，须将一个电阻连接在 TEMP 引脚和一个负电压之间。

作为安全措施，LT8650S-1 有一个额外的热关断设置，其典型值为 165°C。如果超过热关断限值，LT8650S-1 的两个通道都将关断，直到热过载事件结束。

应注意，TEMP 引脚电压代表稳态平均芯片温度，不应用于保证未超过最大结温。瞬时功率、热梯度和时间常数可能导致芯片某些部分的温度超过最大额定值。务必计算稳态 (>1 分钟) 和脉冲情况下的芯片温度升幅。

### 短路和反向输入保护

LT8650S-1 可承受短路输出。底部开关电流受到监控，如果电感电流超过安全水平，顶部开关的切换将被延迟，直到电感电流降至安全水平为止。除非器件进入热关断状态，否则一个通道的故障状况不会影响另一个通道的运行。

系统中还有一种情况需要考虑：当 LT8650S-1 没有输入时，输出将保持高电平。这可能发生在电池充电应用或电池备用系统中，其中电池或其他电源与通道 1 的输出进行“或”连接。如果允许  $V_{IN1}$  引脚浮空且 EN/UV 引脚保持高电平 (通过逻辑信号或因为它连接到  $V_{IN1}$ )，则 LT8650S-1 的内部电路将通过 SW1 引脚拉取静态电流。如果系统在此状态下可以容忍电流消耗，那么这是可以接受的。如果两个 EN/UV 引脚均接地，SW1 引脚电流将降至 1.7 $\mu$ A 左右。但是，如果  $V_{IN1}$  引脚接地且通道 1 输出保持高电平，则无论 EN/UV1 如何，LT8650S-1 内部的寄生体二极管都能通过 SW1 引脚和  $V_{IN1}$  引脚从输出中拉取电流，损坏 IC。

$V_{IN2}$  未连接到共享内部电源，如果浮空，则不会消耗任何电流。如果  $V_{IN1}$  和  $V_{IN2}$  均浮空，则无论 EN/UV 引脚状态如何，通道 2 的输出端都不会出现负载。但是，如果  $V_{IN2}$  引脚接地且通道 2 输出保持高电平，则 LT8650S-1 内部的寄生体二极管可通过 SW2 引脚和  $V_{IN2}$  引脚从输出中拉取电流，损坏 IC。

图 8 显示了  $V_{IN}$  和 EN/UV 引脚的连接，这种情况下 LT8650S-1 只能在输入电压存在时运行，防止短路或反向输入。

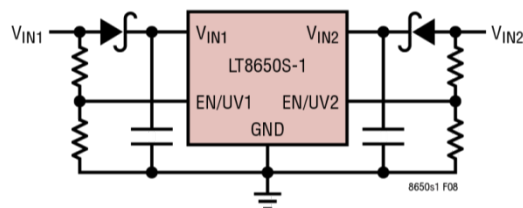


图 8. 针对两个独立输入电压的反向  $V_{IN}$  保护

## 应用信息

### PCB 布局

为实现正确操作和最低 EMI，在印刷电路板布局布线期间务必小心。图 9 显示了建议的元件布局，包括走线、接地层和过孔位置。请注意，LT8650S-1 的  $V_{IN}$  引脚、GND 引脚和输入电容中有较大开关电流流过。输入电容形成的环路应尽可能小，并且电容应放置在  $V_{IN}$  和 GND 引脚附近。当使用物理尺寸较大的输入电容时，所得环路可能过大；在这种情况下，更好的做法是使用一个小外壳/小值电容并将其靠近  $V_{IN}$  和 GND 引脚放置，同时在远处使用一个较大电容。这些元件连同电感和输出电容，应放置在电路板的同一侧，并且应在该层上进行连接。应用电路下方的局部不间断接地层应放在最靠近表面层的层上。SW 和 BOOST 节点应尽可能小。最后，FB 和 RT 节点应很小，以便接地走线将其与 SW 和 BOOST 节点屏蔽开来。裸露焊盘充当散热器，并通过电气连接接地。为了保持较低的热阻，应尽可能扩展接地层，并在 LT8650S-1 下方和附近添加热过孔，以连接到电路板内部和底部的其他接地层。PCB 布局示例参见图 9。

### 高温考虑

应注意 PCB 的布局布线，确保 LT8650S-1 具

有良好的散热性能。封装底部的裸露焊盘必须焊接到接地层。此接地应连接到下方带热过孔的较大覆铜层，这些层将 LT8650S-1 产生的热量散发出去。增加过孔可进一步降低热阻。当环境温度接近最大结温额定值时，最大负载电流应减额。为了估算 LT8650S-1 的功耗，可以根据效率测量计算总功率损耗，然后减去电感损耗。芯片温度通过 LT8650S-1 的功耗与结到环境的热阻相乘来计算。

如果结温超过  $165^{\circ}\text{C}$ ，LT8650S-1 的内部热关断保护将停止切换并指示故障状态。当温度回落到  $160^{\circ}\text{C}$  以下时，故障状态将清除，切换恢复。

在高负载、高  $V_{IN}$  和高开关频率下工作时，LT8650S-1 的温升最高。对于给定应用，如果壳温太高，可以降低  $V_{IN}$ 、开关频率或负载电流以将温度降低到可接受的水平。图 10 显示了壳温与  $V_{IN}$ 、开关频率、负载的关系示例。

LT8650S-1 内部功率开关能够安全地提供高达 6A 的峰值输出电流。但是，由于热限制，封装只能短时间处理 6A 负载。图 11 显示了壳温上升如何随 1kHz 脉冲 6A 负载的占空比而变化的例子。

应用信息

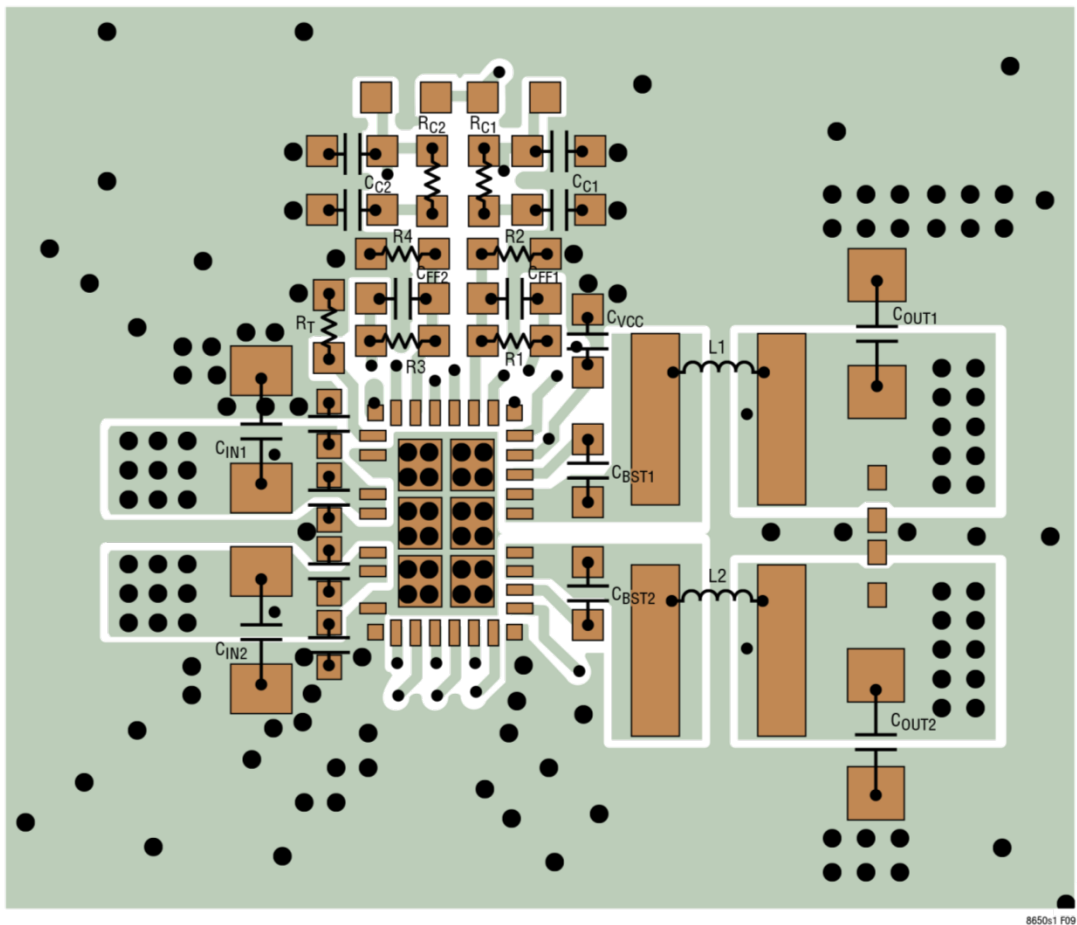


图 9. 推荐布局

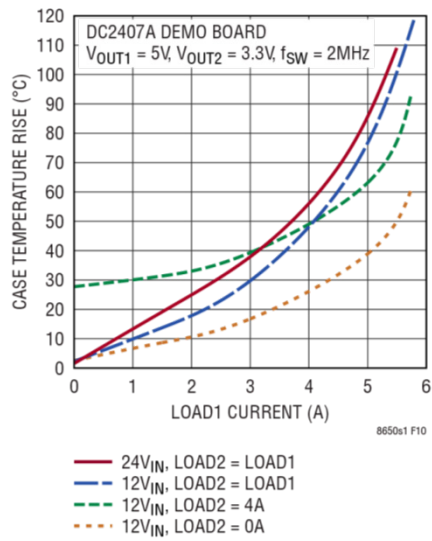


图 10. 壳温上升

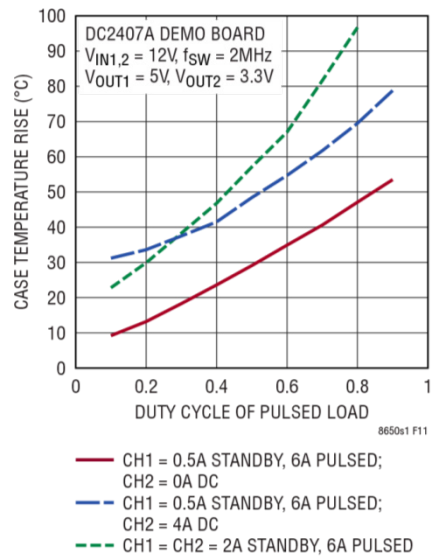
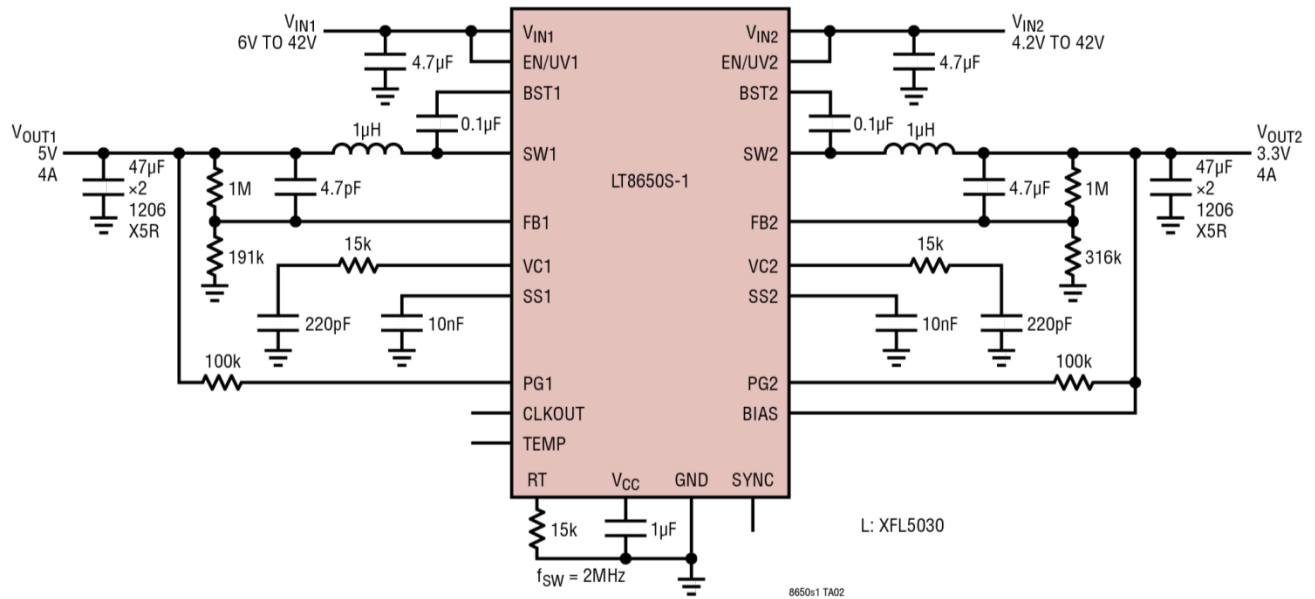


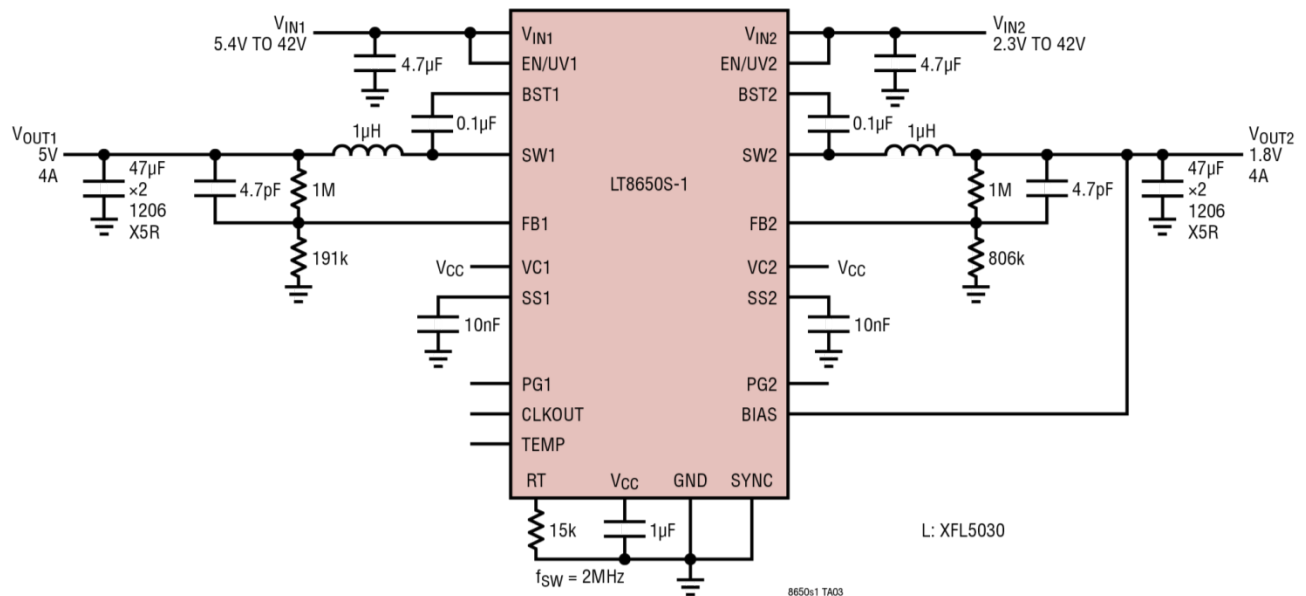
图 11. 壳温上升与 6A 脉冲负载的关系

## 典型应用

采用 FCM 和外部补偿的 5V、3.3V、2MHz 降压型转换器

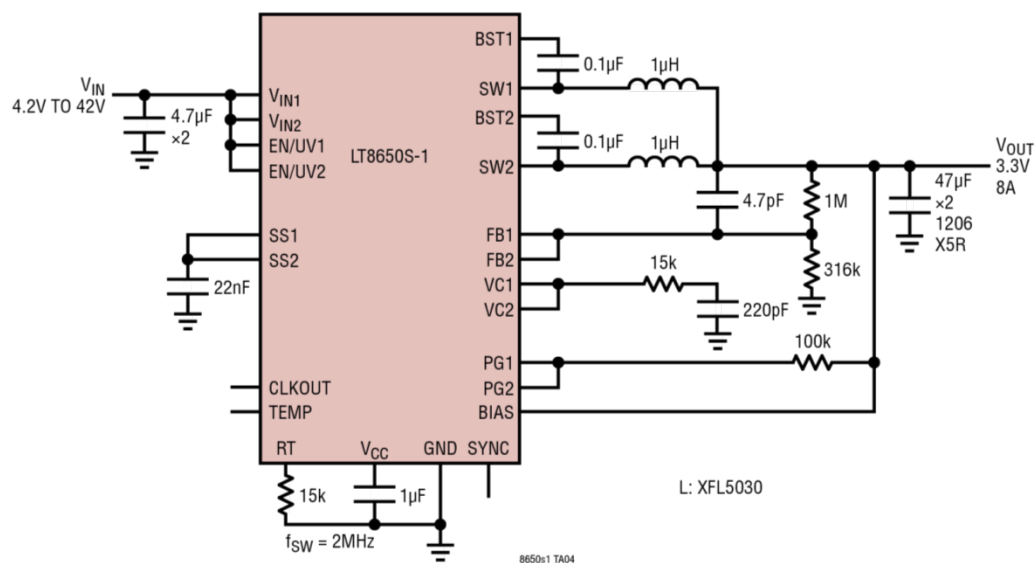


采用突发模式和内部补偿的 5V、1.8V、2MHz 降压型转换器

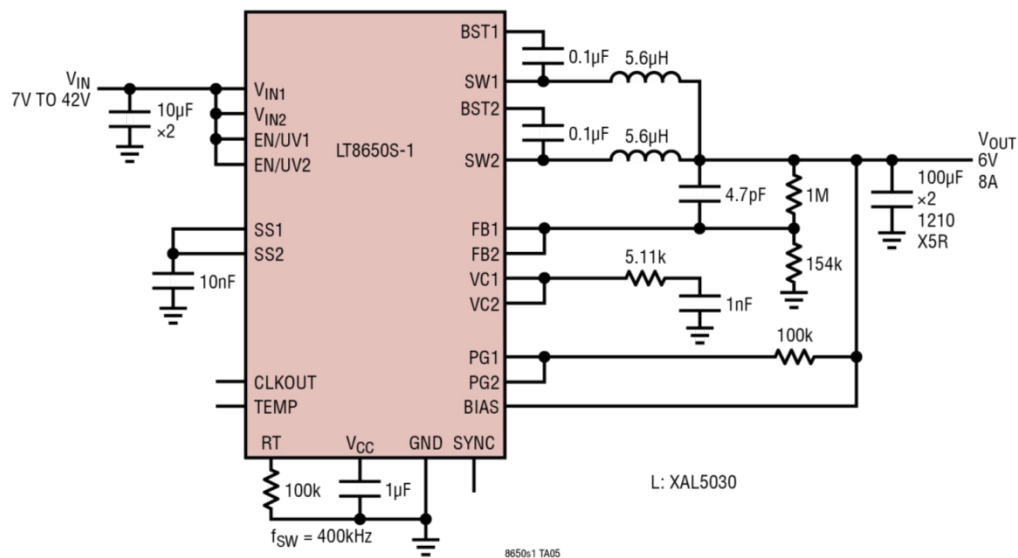


## 典型应用

两相、3.3V、8A、2MHz 降压型转换器

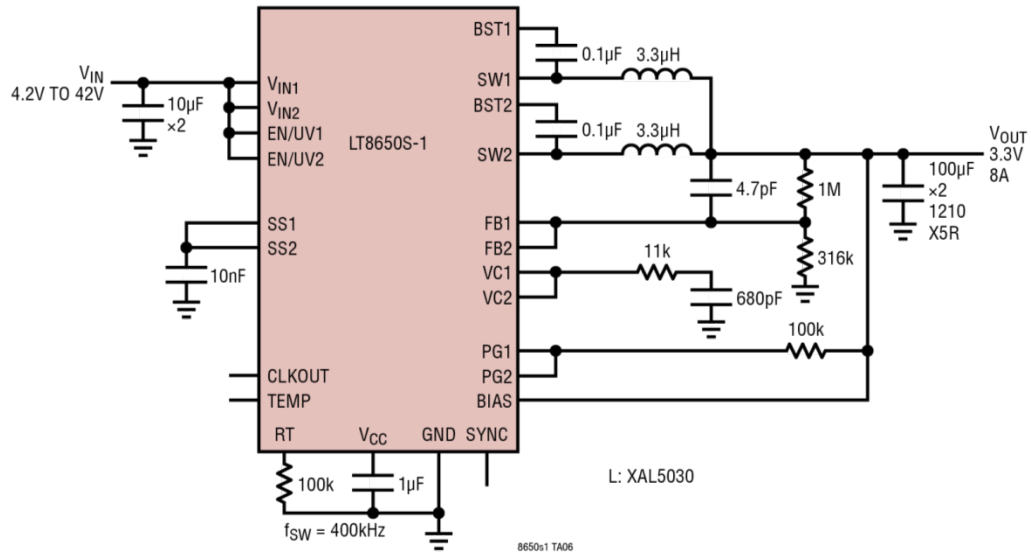


两相、6V、8A、400kHz 降压型转换器



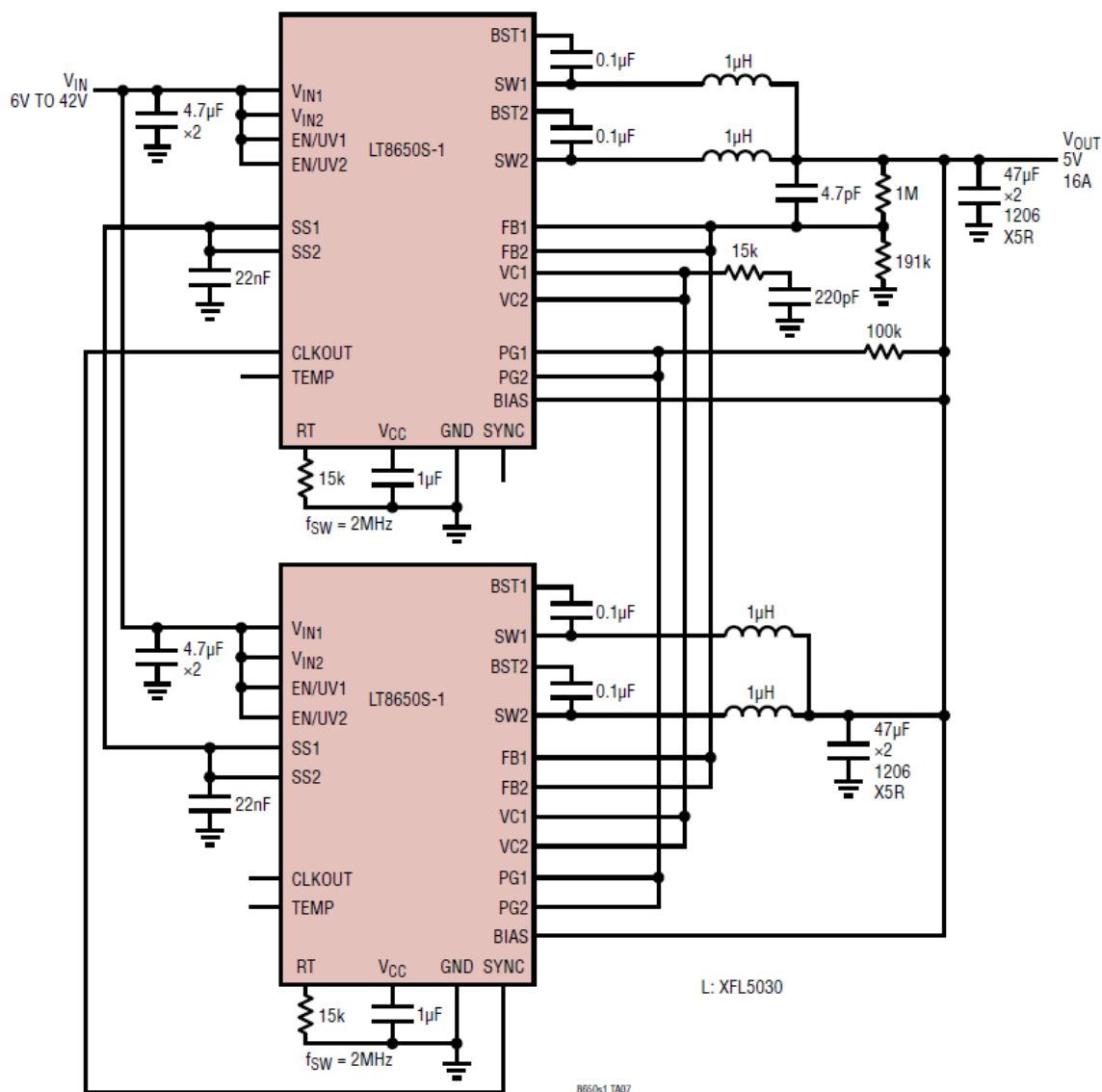
## 典型应用

两相、3.3V、8A、400kHz 降压型转换器



## 典型应用

四相、5V、16A、2MHz 降压型转换器



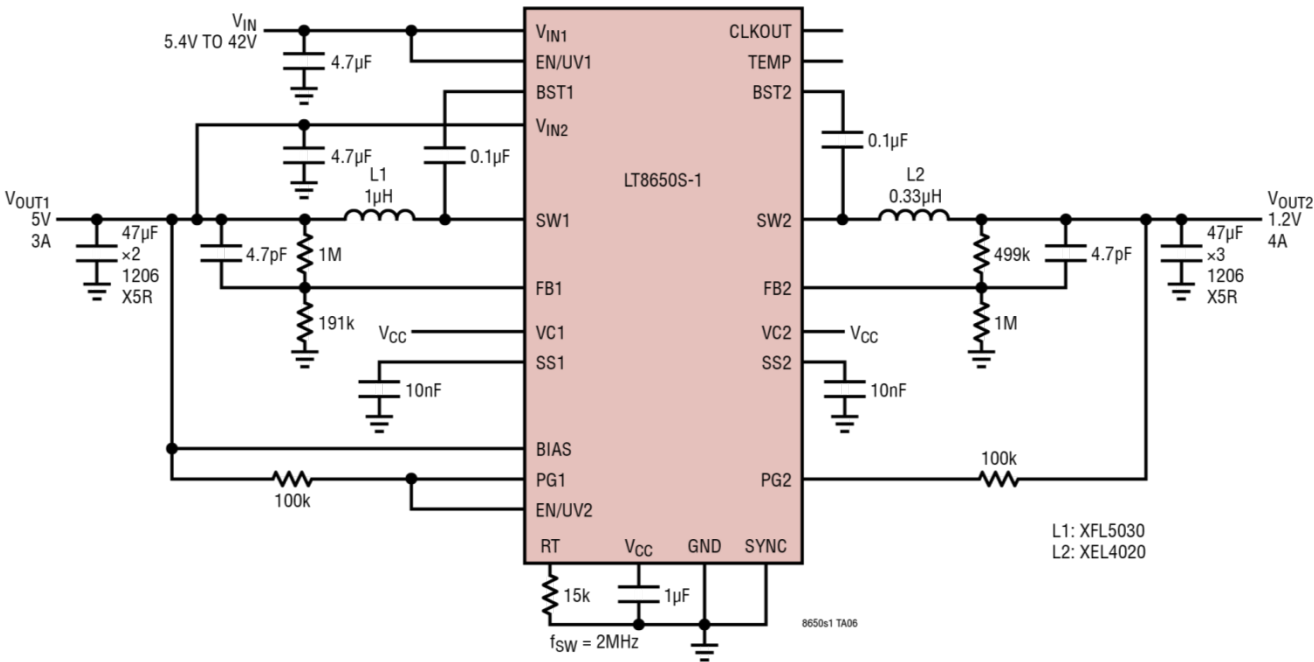
32(28) 引脚 (6mm × 4mm × 0.94mm)  
(参考 LTC DWG # 05-08-1665 修订版 C)



# LT8650S-1

## 典型应用

带输出时序控制的 5V、1.2V、2MHz 两级降压型转换器



## 相关器件

| 产品型号                              | 说明                                                                                | 备注                                                                                                            |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">LT8650S</a>           | 42V、双通道 4A、94% 效率、3MHz 同步 Silent Switcher 2 DC/DC 转换器, $I_Q = 6.2\mu A$           | $V_{IN} = 3V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ , $I_Q = 6.2\mu A$ , 4x6 QFN-32 封装                                 |
| <a href="#">LT8640S</a>           | 42V、5A、95% 效率、2.2MHz 同步 Silent Switcher 2 降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 2.5\mu A$         | $V_{IN} = 3.4V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ , $I_Q = 2.5\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , 4x4 QFN-24 封装          |
| <a href="#">LT8609S</a>           | 42V、2A、95% 效率、2.2MHz 同步 Silent Switcher 2 降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 2.5\mu A$         | $V_{IN} = 3V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ , $I_Q = 2.5\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , 3x3 QFN-16 封装             |
| <a href="#">LT8645S</a>           | 65V、7A、95% 效率、2.2MHz 同步 Silent Switcher 2 降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 2.5\mu A$         | $V_{IN} = 3.4V$ 至 65V, $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ , $I_Q = 2.5\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , 4x6 QFN-32 封装           |
| <a href="#">LT8609/ LT8609A</a>   | 42V、2A、94% 效率、2.2MHz 同步低功耗降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 2.5\mu A$                         | $V_{IN} = 3V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ , $I_Q = 2.5\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , MSOP-10E 封装               |
| <a href="#">LT8616</a>            | 42V、双通道 2.5A + 1.5A、95% 效率、3MHz 同步低功耗降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 6.5\mu A$              | $V_{IN} = 3.4V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ , $I_Q = 6.5\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , TSSOP-28E、3x6 QFN-28 封装 |
| <a href="#">LT8610A/ LT8610AB</a> | 42V、3.5A、96% 效率、2.2MHz 同步低功耗降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 2.5\mu A$                       | $V_{IN} = 3.4V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ , $I_Q = 2.5\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , MSOP-16E 封装            |
| <a href="#">LT8610AC</a>          | 42V、3.5A、96% 效率、2.2MHz 同步低功耗降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 2.5\mu A$                       | $V_{IN} = 3V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ , $I_Q = 2.5\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , MSOP-16E 封装               |
| <a href="#">LT8610</a>            | 42V、2.5A、96% 效率、2.2MHz 同步低功耗降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 2.5\mu A$                       | $V_{IN} = 3.4V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ , $I_Q = 2.5\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , MSOP-16E 封装            |
| <a href="#">LT8612</a>            | 42V、6A、96% 效率、2.2MHz 同步低功耗降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 2.5\mu A$                         | $V_{IN} = 3.4V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ , $I_Q = 3.0\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , 3x6 QFN-28 封装          |
| <a href="#">LT8602</a>            | 42V、四通道输出 (2.5A+1.5A+1.5A+1.5A)、95% 效率、2.2MHz 同步低功耗降压型 DC/DC 转换器, $I_Q = 25\mu A$ | $V_{IN} = 3V$ 至 42V, $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ , $I_Q = 25\mu A$ , $I_{SD} < 1\mu A$ , 6x6 QFN-40 封装              |