

具有 50 μ A 静态电流的 36V、2A、2.8MHz 降压型开关稳压器

特点

- 宽输入范围：3.6V 至 34V 工作电压，最高为 36V
- 2A 的最大输出电流
- 低纹波突发模式 (Burst Mode[®]) 操作
50 μ A I_Q (在 12V I_{IN} 至 3.3V I_{OUT} 条件下)
输出纹波 < 15mV
- 可调开关频率：300kHz 至 2.8MHz
- 低停机电流： $I_Q < 1\mu$ A
- 集成升压二极管
- 电源良好标记
- 饱和开关设计：0.18 Ω 接通电阻
- 1.265V 反馈基准电压
- 输出电压：1.265V 至 20V
- 软起动功能
- 可同步范围：275kHz 至 475kHz
- 小外形耐热增强型 MSOP 和 (3mm \times 3mm) DFN 封装

应用

- 车用蓄电池稳压
- 便携式产品电源
- 分布式电源稳压
- 工业电源
- 墙上变压器稳压

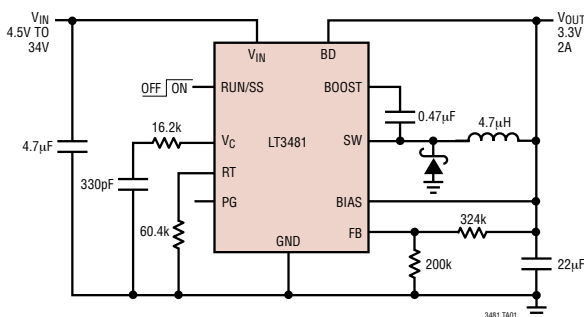
描述

LT[®]3481 是一款可调频率 (300kHz 至 2.8MHz) 单片式降压型开关稳压器，可接受高达 34V (最大值为 36V) 的输入电压。在芯片上集成了一个高效 0.18 Ω 开关和一个升压肖特基二极管以及必需的振荡器、控制器和逻辑电路。采用了电流模式拓扑结构，以实现快速瞬态响应和良好的环路稳定性。在典型应用中，低纹波突发模式操作在低输出电流时保持高效率，同时把输出纹波维持在 15mV 以下。此外，LT3481 还能够通过在 V_{OUT} 高于 3V 时从输出端吸收偏置电流来进一步提高低输出电流条件下的效率。当 RUN/SS 引脚上的电阻器和电容器提供一个受控输出电压斜坡时 (软起动)，停机功能将把输入电源电流减小至 1 μ A 以下。当 V_{OUT} 达到设定输出电压的 90% 时，电源良好标记将发出指示信号。LT3481 采用带裸露衬垫的 10 引脚 MSOP 和 3mm \times 3mm DFN 封装，以实现低热阻。

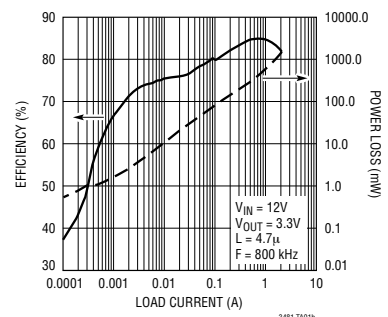
LT、LT、LTC 和 LTM 是凌力尔特公司的注册商标。
所有其他商标均为其各自拥有者的产权。

典型应用

3.3V 降压型转换器



效率



LT3481

绝对最大额定值 (注1)

| | | | |
|-------------------------------|-------|------------------|---------------|
| V_{IN} , RUN/SS 电压 | 36V | 工作温度范围(注 2) | |
| BOOST 引脚电压 | 56V | LT3481E | -40°C 至 85°C |
| BOOST 引脚电压高出 SW 引脚电压的幅度 | 30V | LT3481I | -40°C 至 125°C |
| FB, RT, V_C 电压 | 5V | 贮存温度范围 | -65°C 至 150°C |
| BIAS, PG, BD 电压 | 30V | 引脚温度(焊接时间 10 秒) | |
| 最大结温 | 125°C | (仅 MSE 封装) | 300°C |

封装/订购信息

| | | | |
|---|------------------------|---|--------------------------|
| <p>DD PACKAGE 10-LEAD (3mm x 3mm) PLASTIC DFN</p> <p>EXPOSED PAD (PIN 11) IS GND MUST BE CONNECTED TO GND $T_{JMAX} = 125^{\circ}\text{C}$, $\theta_{JA} = 45^{\circ}\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 10^{\circ}\text{C/W}$</p> | 产品型号 | <p>MSE PACKAGE 10-LEAD PLASTIC MSOP</p> <p>EXPOSED PAD (PIN 11) IS GND MUST BE CONNECTED TO GND $T_{JMAX} = 125^{\circ}\text{C}$, $\theta_{JA} = 45^{\circ}\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 10^{\circ}\text{C/W}$</p> | 产品型号 |
| | LT3481EDD LT3481IDD | | LT3481EMSE LT3481IMSE |
| | DD 器件标记 | | MSE 器件标记 |
| | LBVS LBVW | | LTBVT LTBVW |
| 订购选项 卷带：加 #TR 无铅型：加 #PBF 无铅型卷带：加 #TRPBF 无铅型器件标记： http://www.linear.com/leadfree/ | | | |

对于规定工作温度范围更宽的器件，请咨询凌力尔特公司。

电特性 凡标注 ● 表示该指标适合整个工作温度范围，否则仅指 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 。 $V_{IN} = 10\text{V}$ ， $V_{RUN/SS} = 10\text{V}$ ， $V_{BOOST} = 15\text{V}$ ， $V_{BIAS} = 3.3\text{V}$ ，除非特别注明。(注 2)

| 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-------------------|---------------------------------|-----|------|-----|---------------|
| 最小输入电压 | | ● | 3 | 3.6 | V |
| 来自 V_{IN} 的静态电流 | $V_{RUN/SS} = 0.2\text{V}$ | | 0.01 | 0.5 | μA |
| | $V_{BIAS} = 3\text{V}$ ，未进行开关操作 | ● | 22 | 60 | μA |
| | $V_{BIAS} = 0$ ，未进行开关操作 | | 75 | 120 | μA |
| 来自 BIAS 的静态电流 | $V_{RUN/SS} = 0.2\text{V}$ | | 0.01 | 0.5 | μA |
| | $V_{BIAS} = 3\text{V}$ ，未进行开关操作 | ● | 50 | 120 | μA |
| | $V_{BIAS} = 0$ ，未进行开关操作 | | 0 | 5 | μA |

电特性 凡标注 ● 表示该指标适合整个工作温度范围，否则仅指 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。 $V_{\text{IN}} = 10\text{V}$ ， $V_{\text{RUN/SS}} = 10\text{V}$ ， $V_{\text{BOOST}} = 15\text{V}$ ， $V_{\text{BIAS}} = 3.3\text{V}$ ，除非特别注明。(注 2)

| 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 | |
|--------------------------|--|-----|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 最小偏置电压 | | | 2.7 | 3 | V | |
| 反馈电压 | | ● | 1.25 1.24 | 1.265 1.265 | 1.29 1.3 | V V |
| FB 引脚偏置电流 (注 3) | $V_{\text{FB}} = 1.25\text{V}$ ， $V_{\text{C}} = 0.4\text{V}$ | ● | 30 | 100 | nA | |
| FB 电压调整率 | $4\text{V} < V_{\text{IN}} < 34\text{V}$ | | 0.002 | 0.02 | %/V | |
| 误差放大器 GM | | | 330 | | μMho | |
| 误差放大器增益 | | | 800 | | | |
| V_{C} 源电流 | | | 65 | | μA | |
| V_{C} 吸收电流 | | | 85 | | μA | |
| V_{C} 引脚至开关电流增益 | | | 3.5 | | A/V | |
| V_{C} 箝位电压 | | | 2 | | V | |
| 开关频率 | $R_{\text{T}} = 8.66\text{k}$ $R_{\text{T}} = 29.4\text{k}$ $R_{\text{T}} = 187\text{k}$ | | 2.5 1.25 250 | 2.8 1.4 300 | 3.1 1.55 350 | MHz MHz kHz |
| 最小开关关断时间 | | ● | 130 | 200 | nS | |
| 开关电流限值 | 占空比 = 5% | | 3.2 | 3.8 | 4.4 | A |
| 开关 V_{CESAT} | $I_{\text{SW}} = 2\text{A}$ | | 360 | | mV | |
| 升压肖特基二极管反向漏电流 | $V_{\text{SW}} = 10\text{V}$ ， $V_{\text{BIAS}} = 0\text{V}$ | | 0.02 | 2 | μA | |
| 最小升压电压 (注 4) | | ● | 1.5 | 2.1 | V | |
| BOOST 引脚电流 | $I_{\text{SW}} = 1\text{A}$ | | 18 | 35 | mA | |
| RUN/SS 引脚电流 | $V_{\text{RUN/SS}} = 2.5\text{V}$ | | 5 | 10 | μA | |
| RUN/SS 输入电压高 | | | 2.5 | | V | |
| RUN/SS 输入电压低 | | | | 0.2 | V | |
| PG 门限相对于反馈电压的偏移 | V_{FB} 上升 | | 122 | | mV | |
| PG 迟滞电压 | | | 5 | | mV | |
| PG 漏电流 | $V_{\text{PG}} = 5\text{V}$ | | 0.1 | 1 | μA | |
| PG 吸收电流 | $V_{\text{PG}} = 3\text{V}$ | ● | 100 | 600 | μA | |

注 1： 高于“绝对最大额定值”部分所列数值的应力有可能对器件造成永久性的损害。在任何绝对最大额定值条件下暴露的时间过长都有可能影响器件的可靠性和使用寿命。

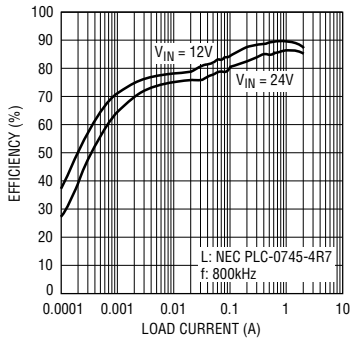
注 2： LT3481E 保证在 0°C 至 85°C 的范围内满足规定性能要求。在 -40°C 至 85°C 工作温度范围内的指标通过设计、特性分析和统计过程控制中的相关性来保证。LT3481I 的规格在 -40°C 至 125°C 的温度范围内是得到保证的。

注 3： 偏置电流流入 FB 引脚。

注 4： 它指的是用于确保开关的完全饱和和所需的升压电容器两端的最小电压。

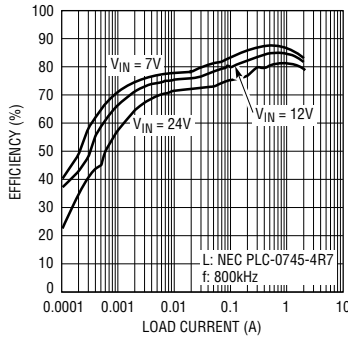
典型性能特征

效率 ($V_{OUT} = 5.0V$)



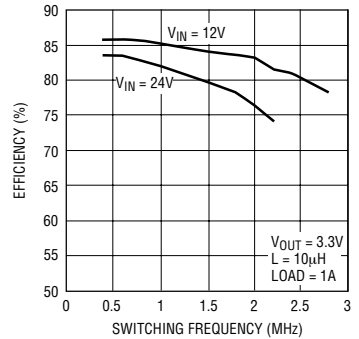
3481 G01

效率 ($V_{OUT} = 3.3V$)



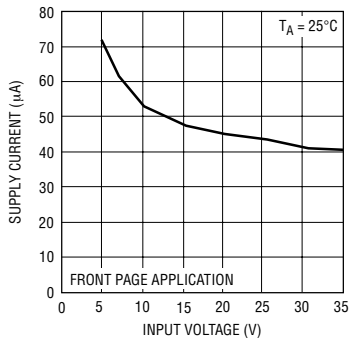
3481 G02

效率



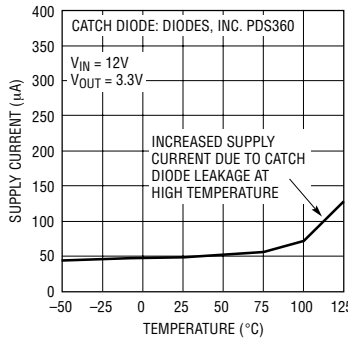
3481 G03

无负载电源电流



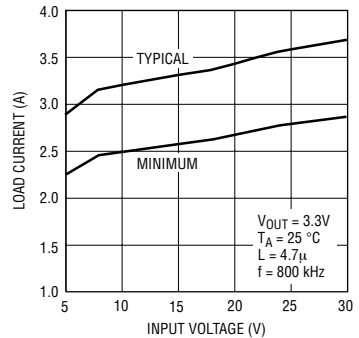
3481 G04

无负载电源电流



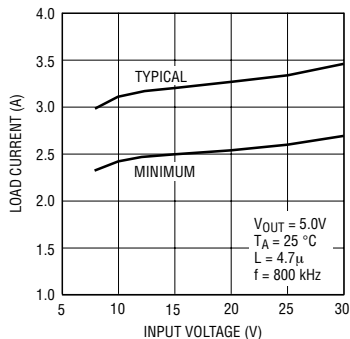
3481 G05

最大负载电流



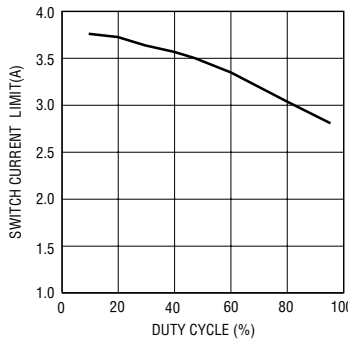
3481 G06

最大负载电流



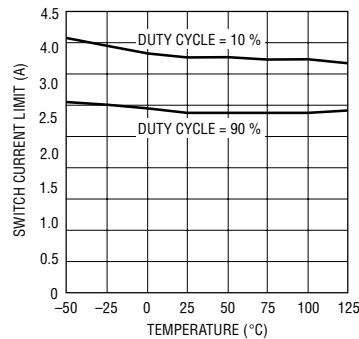
3481 G07

开关电流限值



3481 G08

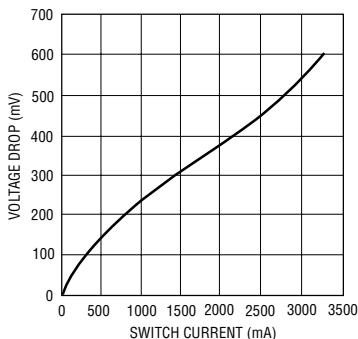
开关电流限值



3481 G09

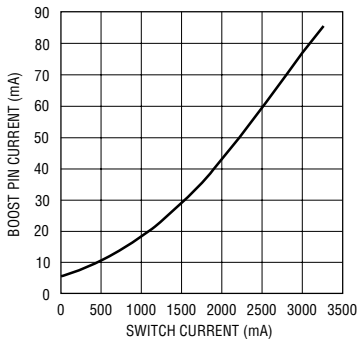
典型性能特征

开关电压降



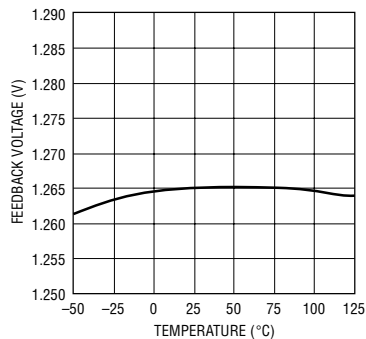
3481 G10

BOOST 引脚电流



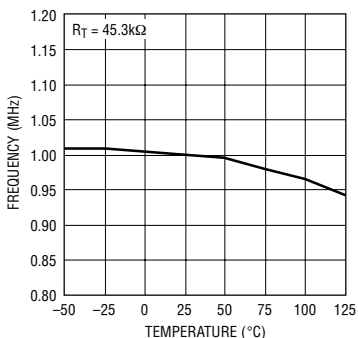
3481 G11

反馈电压



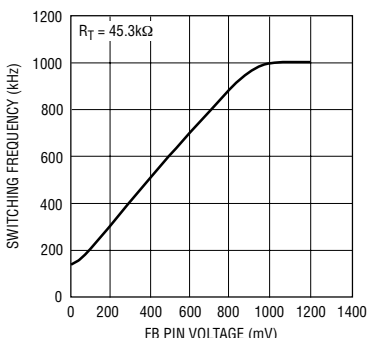
4381 G12

开关频率



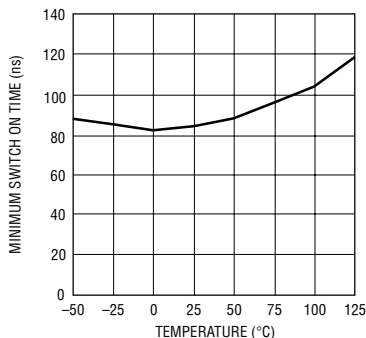
4381 G13

频率折返



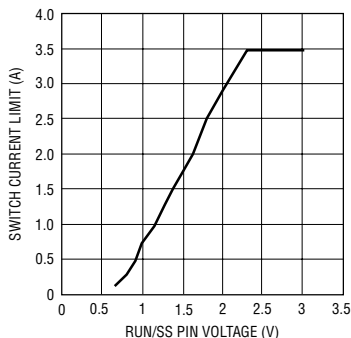
3481 G14

最小开关接通时间



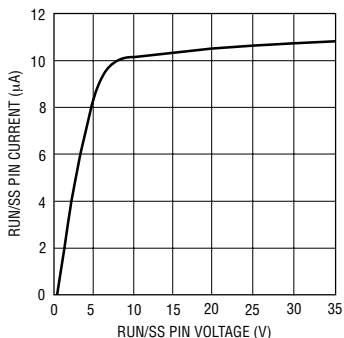
3481 G15

软起动



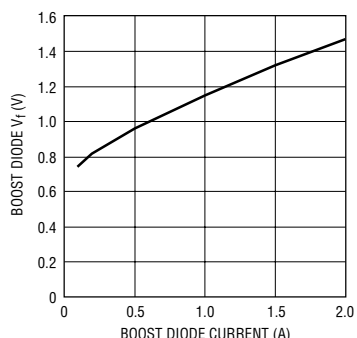
3481 G16

RUN/SS 引脚电流



3481 G17

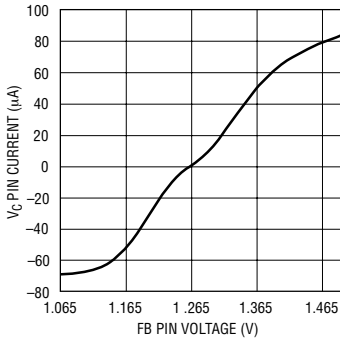
升压二极管



3481 G18

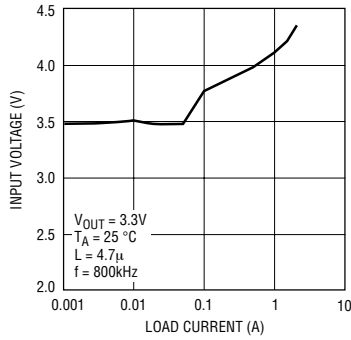
典型性能特征

误差放大器输出电流



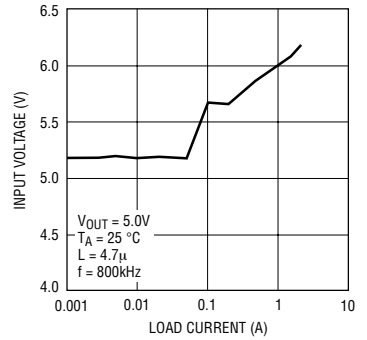
3481 G19

最小输入电压



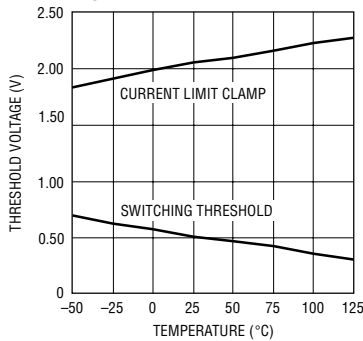
3481 G20

最小输入电压



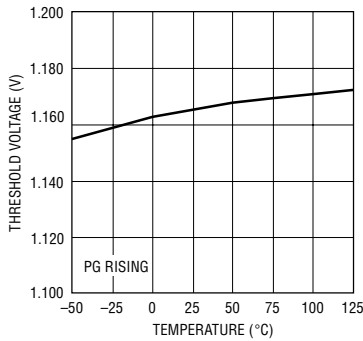
3481 G21

V_C 电压



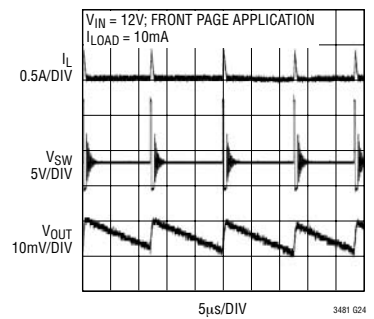
3481 G22

电源良好门限



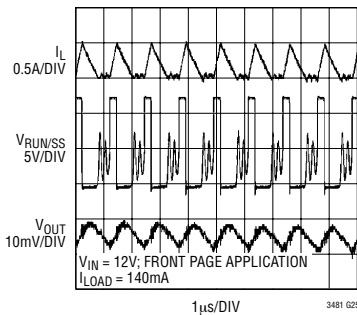
3481 G23

开关波形；突发模式



3481 G24

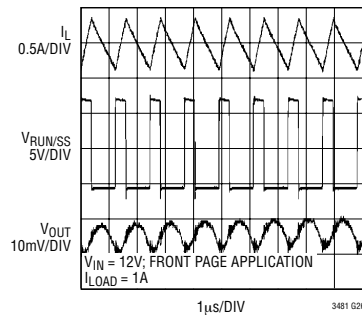
开关波形；从突发模式变换至全频模式的变换



1 μs /DIV

3481 G25

开关波形；全频连续操作



1 μs /DIV

3481 G26

引脚功能

BP (引脚 1) : 该引脚与升压肖特基二极管的正极相连。

BOOST (引脚 2) : 该引脚用于向内部双极 NPN 开关管提供一个高于输入电压的驱动电压。

SW (引脚 3) : SW 引脚是内部电源开关的输出端。把该引脚连接至电感器、箝位二极管和升压电容器。

V_{IN} (引脚 4) : V_{IN} 引脚负责向 LT3481 的内部稳压器和内部电源开关提供电流。必须对该引脚进行旁路。

RUN/SS (引脚 5) : RUN/SS 引脚用于把 LT3481 置于停机模式。把该引脚连接至地将关断 LT3481。把该引脚连接至 2.3V 或更高的电压将进行正常操作。如果未采用停机功能，则应把该引脚连接至 V_{IN} 引脚。RUN/SS 引脚还提供了一种软起动功能；见“应用信息”部分。

PG (引脚 6) : PG 引脚是一个内部比较器的集电极开路输出端。在 FB 引脚电压处于最终调节电压的 10% 以内之前，PG 引脚将保持低电平。当 V_{IN} 高于 3.5V 且 RUN/SS 引脚为高电平时，PG 输出有效。

BIAS (引脚 7) : BIAS 引脚负责向 LT3481 的内部稳压器提供电流。把该引脚连接至高于 3V 的最低可用电压源 (通常是 V_{OUT})。该架构可提升效率，特别是当输入电压远远高于输出电压的时候。

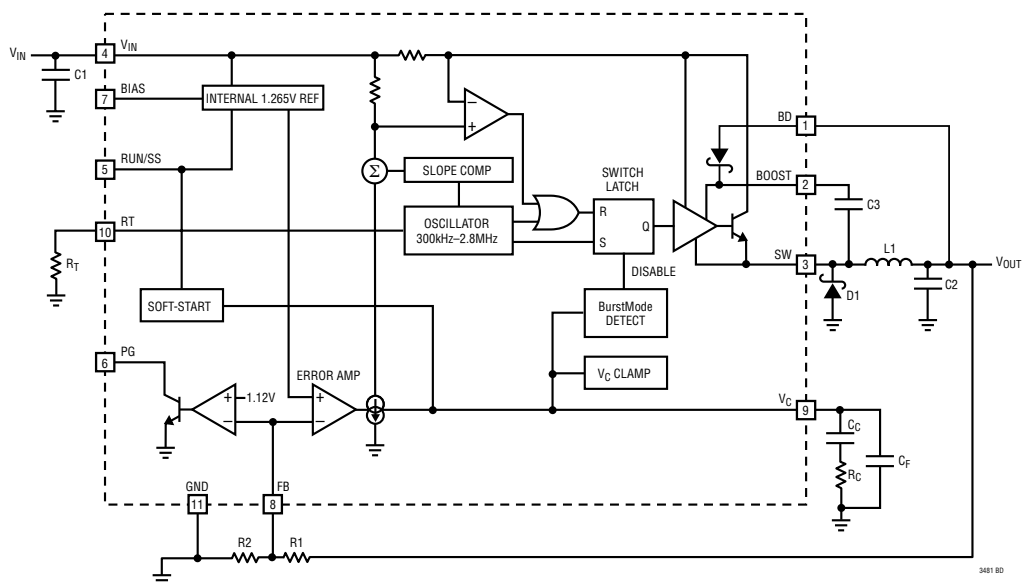
FB (引脚 8) : LT3481 把 FB 引脚电压调节至 1.265V。将反馈电阻分压器抽头连接至该引脚。

V_C (引脚 9) : V_C 引脚是内部误差放大器的输出端。该引脚上的电压用于控制峰值开关电流。在该引脚和地之间连接一个 RC 网络，以补偿控制环路。

RT (引脚 10) : 振荡器电阻器输入。在该引脚和地之间连接一个电阻器，以设定开关频率。

裸露衬垫 (引脚 11) : 地。必须把裸露衬垫焊接至 PCB。

方框图



工作原理

LT3481 是一款恒定频率、电流模式降压型稳压器。一个由 RT 来设定频率的振荡器负责使能一个 RS 触发器，从而接通内部电源开关。一个放大器和比较器用于监视在 V_{IN} 和 SW 引脚之间流动的电流，并在该电流达到一个由 V_C 上的电压所确定的水平时切断开关。一个误差放大器通过一个与 FB 引脚相连的外部电阻分压器来测量输出电压，并维持 V_C 引脚电压。如果误差放大器的输出增加，则将向输出输送更多的电流；如果误差放大器的输出减少，则向输出输送的电流变少。 V_C 引脚上的一个有源箝位电路提供了电流限值。 V_C 引脚也被箝位于 RUN/SS 引脚电压；软启动是通过采用一个外部电阻器和电容器在 RUN/SS 引脚上生成一个电压斜坡来实现的。

一个内部稳压器负责向控制电路供电。偏置稳压器一般从 V_{IN} 引脚吸取功率，但是，如果 BIAS 引脚被连接至一个高于 3V 的外部电压，则偏置功率将从外部电源（通常是已调输出电压）吸取，从而提高了效率。RUN/SS 引脚用于把 LT3481 置于停机模式时，输出被断开并将输入电流减小至 $1\mu\text{A}$ 以下。

开关驱动器可从输入或 BOOST 引脚获得工作电压。一个外部电容器和二极管在 BOOST 引脚上生成一个高于输入电源的电压。这允许驱动器使内部双极 NPN 开关管完全饱和，以实现高效运作。

为了进一步优化效率，在轻负载条件下，LT3481 将自动切换至突发模式操作。在突发脉冲之间，所有与输出开关控制相关的电路都将被关断，从而把输入电源电流减小至 $50\mu\text{A}$ （在典型应用中）。

当 FB 引脚上的电压很低时，振荡器将降低 LT3481 的工作频率。这种频率折返有助于控制启动和过载期间的输出电流。

LT3481 包含一个电源良好比较器，当 FB 引脚电压为其稳定值的 91% 时，该比较器将发生跳变。PG 输出是一个集电极开路晶体管，当输出处于调节状态时，该晶体管断开，从而允许一个外部电阻器将 PG 引脚拉至高电平。当 LT3481 被使能且 V_{IN} 高于 3.6V 时，电源良好标记功能有效。

应用信息

FB 电阻器网络

输出电压是采用一个位于输出端和 FB 引脚之间的电阻分压器来设置的。根据下式来选择 1% 精度的电阻器：

$$R1 = R2 \left(\frac{V_{OUT}}{1.265} - 1 \right)$$

参考标志符请见“方框图”。

设定开关频率

LT3481 采用一种恒定频率 PWM 架构，可采用一个连接在 RT 引脚和地之间的电阻器在 300kHz 至 2.8MHz 的范围内进行设置。图 1 中的表格列出了对期望开关频率的所需 RT 阻值。

| 开关频率 (MHz) | RT 阻值 (kΩ) |
|------------|------------|
| 0.2 | 267 |
| 0.3 | 187 |
| 0.4 | 133 |
| 0.6 | 84.5 |
| 0.8 | 60.4 |
| 1.0 | 45.3 |
| 1.2 | 36.5 |
| 1.4 | 29.4 |
| 1.6 | 23.7 |
| 1.8 | 20.5 |
| 2.0 | 16.9 |
| 2.2 | 14.3 |
| 2.4 | 12.1 |
| 2.6 | 10.2 |
| 2.8 | 8.66 |

图 1：开关频率与 RT 阻值的对应关系

工作频率折衷

工作频率的选择应在效率、元件尺寸、最小压降和最大输入电压之间进行权衡折衷。高频操作的优点是可以采用较小的电感器和电容器数值，而缺点则是效率较低、最大输入电压较低和输出压降较高。对于一个给定的应用，可接受的最高开关频率 ($f_{SW(MAX)}$) 可由下式计算：

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

式中的 V_{IN} 为典型输入电压， V_{OUT} 为输出电压， V_D 为箝位二极管压降 (约 0.5V)， V_{SW} 为内部开关压降 (在最大负载条件下约为 0.5V)。该公式表明：为了安全地适应高 V_{IN}/V_{OUT} 比，需要较低的开关频率。而且，如下一节所述，较低的频率将提供一个较低的压降。输入电压范围取决于开关频率的原因是 LT3481 开关具有有限的最小接通和关断时间。开关的最小接通时间和最小关断时间均约为 150ns。这意味着最小和最大占空比为：

$$DC_{MIN} = f_{SW} t_{ON(MIN)}$$

$$DC_{MAX} = 1 - f_{SW} t_{OFF(MIN)}$$

式中的 f_{SW} 为开关频率， $t_{ON(MIN)}$ 为最小开关接通时间 (约 150ns)， $t_{OFF(MIN)}$ 为最小开关关断时间 (约 150ns)。这些公式说明：当开关频率下降时，占空比范围增加。

开关频率的一种上佳选择应提供足够的输入电压范围 (见下一节)，并保持很小的电感器和电容器数值。

输入电压范围

LT3481 应用的最大输入电压取决于开关频率、 V_{IN} 和 BOOST 引脚的绝对最大额定值以及工作模式。

如果输出处于启动或短路工作模式，则 V_{IN} 必须低于 34V 且低于下式的计算结果：

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

式中的 $V_{IN(MAX)}$ 为最大工作输入电压， V_{OUT} 为输出电压， V_D 为箝位二极管压降 (约 0.5V)， V_{SW} 为内部开关压降 (在最大负载条件下约为 0.5V)， f_{SW} 为开关频率 (由 R_T 设定)， $t_{ON(MIN)}$ 为最小开关接通时间 (约 150ns)。请注意，一个较高的开关频率将降低最大工作输入电压。反之，如欲在高输入电压条件下实现安全操作，则将需要一个较低的开关频率。

应用信息

如果输出处于调节状态且预料不会发生短路或启动事件，则容许高达 36V 的输入电压瞬变，这与开关频率无关。在该模式中，LT3481 有可能进入跳脉冲操作状态，此时，某些开关脉冲将被跳过，以维持输出稳压作用。与正常操作模式相比，这种操作方式中的输出电压纹波和电感器电流纹波将较高。

最小输入电压由 LT3481 的最小工作电压 (约 3.6V) 或其最大占空比来决定 (见上一节中的计算公式)。由占空比所决定的最小输入电压为：

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

式中的 $V_{IN(MIN)}$ 为最小输入电压， $t_{OFF(MIN)}$ 为最小开关关断时间 (约 150ns)。请注意，较高的开关频率将使最小输入电压有所增加。如果需要较低的压降，则应采用较低的开关频率。

电感器的选择

对于一个给定的输入和输出电压，电感值和开关频率将决定纹波电流。纹波电流 ΔI_L 随 V_{IN} 或 V_{OUT} 的升高而增加，并随电感值和开关频率的增加而减小。选择纹波电流的一个合理的起点是：

$$\Delta I_L = 0.4(I_{OUT(MAX)})$$

式中的 $I_{OUT(MAX)}$ 为最大输出负载电流。为了保证足够的输出电流，峰值电感器电流必须小于 LT3481 的开关电流限值 (I_{LIM})。峰值电感器电流为：

$$I_{L(PEAK)} = I_{OUT(MAX)} + \Delta I_L/2$$

式中的 $I_{L(PEAK)}$ 为峰值电感器电流， $I_{OUT(MAX)}$ 为最大输出负载电流， ΔI_L 为电感器纹波电流。在低占空比条件下，LT3481 的开关电流限值 (I_{LIM}) 至少为 3.5A，

并在 $DC = 0.8$ 时线性下降至 2.5A。最大输出电流是电感器纹波电流的一个函数：

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

一定要选择一个能够提供足够的最大输出电流 ($I_{OUT(MAX)}$) 的电感器纹波电流。

最大电感器纹波电流出现在最高 V_{IN} 条件下。为了确保纹波电流处于规定的最大值以下，应根据下式来选择电感值：

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

式中的 V_D 为箝位二极管压降 (约 0.4V)， $V_{IN(MAX)}$ 为最大输入电压， V_{OUT} 为输出电压， f_{SW} 为开关频率 (由 RT 设定)， L 为电感值。

电感器的 RMS 额定电流必须大于最大负载电流，而且，其饱和电流应再高出 30% 左右。为了在故障 (启动或短路) 和高输入电压 (>30V) 条件下实现稳固的操作，饱和电流应高于 3.5A。为了保持高效率，串联电阻 (DCR) 应小于 0.1Ω ，而且应采用适合高频应用的磁芯材料。表 1 罗列了一些供应商和合适的电感器型号。

表 1：电感器供应商

| 供应商 | 网址 | 器件系列 | 类型 |
|--------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Murata | www.murata.com | LQH55D | 开放式 |
| TDK | www.componenttdk.com | SLF7045 SLF10145 | 屏蔽式 屏蔽式 |
| Toko | www.toko.com | D62CB D63CB D75C D75F | 屏蔽式 屏蔽式 屏蔽式 开放式 |
| Sumida | www.sumida.com | CR54 CDRH74 CDRH6D38 CR75 | 开放式 屏蔽式 屏蔽式 开放式 |

应用信息

当然，这样一个简单的设计指导将不会总是为您的应用带来最佳的电感器。采用一个数值较大的电感器将提供稍高的最大负载电流并减小输出电压纹波。如果您的负载小于 2A，则可以减小电感值并在纹波电流较高的条件下运作。这将允许您使用一个体积较小或 DCR 较低的电感器，从而实现较高的效率。在本数据表的“典型性能特征”部分中提供了几幅曲线图，用于显示在几种常见输出电压条件下最大负载电流与输入电压和电感值的函数关系。低电感有可能导致不连续模式操作，虽然这并无大碍，但将进一步减小最大负载电流。如需了解最大输出电流和不连续模式操作的详细信息，请参阅爱特公司的“应用指南 44” (Application Note 44)。最后，对于大于 50% ($V_{OUT}/V_{IN} > 0.5$) 的占空比，为避免发生次谐波振荡，需要一个最小电感。见 AN19。

输入电容器

采用一个 X7R 或 X5R 型陶瓷电容器来对 LT3481 电路的输入进行旁路。Y5V 型电容器因其在温度和施加电压变化的情况下性能低劣，所以不能使用。一个 4.7 μ F 至 10 μ F 的陶瓷电容器足以对 LT3481 进行旁路，并可轻松地处理纹波电流。请注意，当采用一个较低的开关频率时，将需要较大的输入电容。如果输入电源具有高阻抗，或者由于长电线或电缆而导致存在相当大的电感，则可能需要额外的体电容。这可以利用一个低性能的电解电容器来提供。

降压型稳压器以具有非常快的上升和下降时间的脉冲的方式从输入电源吸收电流。需要采用输入电容器来减小 LT3481 上的合成电压纹波，并强制该开关频率非常高的电流进入一个紧密的本机环路，从而最大限度地降低了 EMI。一个 4.7 μ F 电容器能够胜任这一工作，但只有当其被布设得靠近 LT3481 和箝位二极管时方可奏效 (请见“PCB 布局”

部分)。与陶瓷输入电容器有关的第二个注意事项涉及 LT3481 的最大额定输入电压。一个陶瓷输入电容器与走线或电缆电感组合起来，形成了一个高质量 (欠阻尼) 谐振电路。如果 LT3481 电路被插入一个通电电源，则输入电压会产生高达其标称值二倍的振铃，有可能超过 LT3481 的额定电压。可以很容易地避免这种情况的发生 (见“热插拔安全”部分)。

对于那些对空间敏感的应用，可采用一个 2.2 μ F 陶瓷电容器来对 LT3481 的输入进行本机旁路。然而，较低的输入电容将导致输入电流纹波和输入电压纹波的增加，并有可能把噪声耦合到其他电路中。而且，电压纹波的增加还将把 LT3481 的最小工作电压减小到约 3.7V。

输出电容器和输出纹波

输出电容器具有两项基本功能。它与电感器一道滤除 LT3481 生成的方波，以产生 DC 输出。在该作用中，它决定了输出纹波，而且，在开关频率条件下具有低阻抗是很重要的。第二个功能是储存能量，以满足瞬变负载要求并稳定 LT3481 的控制环路。陶瓷电容器具有非常低的等效串联电阻 (ESR)，并提供了最佳的纹波性能。一个上佳的起始值是：

$$C_{OUT} = \frac{100}{V_{OUT}f_{SW}}$$

式中的 f_{SW} 的单位为 MHz， C_{OUT} 为推荐的输出电容 (单位： μ F)。应采用 X5R 或 X7R 型电容器。这种选择将提供低输出纹波和上佳的瞬态响应。如果补偿网络也被调整 (以维持环路带宽)，则采用一个较高数值的电容器将能够改善瞬态性能。可采用一个数值较低的输出电容器以节省空间和成本，但瞬态性能将受损。请参见“频率补偿”部分，以选择一个合适的补偿网络。

应用信息

表 2：电容器供应商

| 供应商 | 电话 | 网址 | 器件系列 | 备注 |
|-------------|----------------|---------------------|------------------|-----------|
| Panasonic | (714) 373-7366 | www.panasonic.com | 陶瓷， 聚合物， 钽 | EEF 系列 |
| Kemet | (864) 963-6300 | www.kemet.com | 陶瓷， 钽 | T494，T495 |
| Sanyo | (408) 749-9714 | www.sanyovideo.com | 陶瓷， 聚合物， 钽 | POSCAP |
| Murata | (404) 436-1300 | www.murata.com | 陶瓷 | |
| AVX | | www.avxcorp.com | 陶瓷， 钽 | TPS 系列 |
| Taiyo Yuden | (864) 963-6300 | www.taiyo-yuden.com | 陶瓷 | |

当选择电容器时，应仔细阅读产品手册，以查明工作条件下（施加电压和温度）的实际电容是多少。有可能需要采用一个体积较大或具有较高额定电压的电容器。输出电容器可采用高性能钽电容器或电解电容器。低 ESR 是很重要的，因此应选择一个指定用于开关稳压器的电容器。ESR 应由供应商来规定，并应为 0.05Ω 或更小。这样一个电容器的体积将大于陶瓷电容器，并将具有一个较大的电容值，因为电容器必须很大才能实现低 ESR。表 2 罗列了一些电容器供应商。

箝位二极管

箝位二极管只在开关断开的时间里流过电流。正常操作状态中的平均正向电流可由下式计算：

$$I_{D(AVG)} = I_{OUT} (V_{IN} - V_{OUT}) / V_{IN}$$

式中的 I_{OUT} 为输出负载电流。之所以考虑采用一个具有高于标称操作所需的额定电流的二极管，唯一的理由便是为了应对短路输出这种最差条件。二极管电流因而将增加至典型峰值开关电流。峰值反向电压等于稳压器输入电压。应采用一个额定反向电压高于输入电压的二极管。表 3 列出了几款肖特基二极管及其制造商。

表 3：二极管供应商

| 器件型号 | V_R (V) | I_{AVE} (A) | $V_F/1A$ (mV) | $V_F/2A$ (mV) |
|-------------------------|--------------|------------------|------------------|------------------|
| On Semiconductor | | | | |
| MBRM120E | 20 | 1 | 530 | 595 |
| MBRM140 | 40 | 1 | 550 | |
| Diodes Inc. | | | | |
| B120 | 20 | 1 | 500 | |
| B130 | 30 | 1 | 500 | |
| B220 | 20 | 2 | | 500 |
| B230 | 30 | 2 | | 500 |
| DFLS240L | 40 | 2 | | 500 |
| International Rectifier | | | | |
| 10BQ030 | 30 | 1 | 420 | 470 |
| 20BQ030 | 30 | 2 | | 470 |

陶瓷电容器

陶瓷电容器小巧、可靠，并且具有非常低的 ESR。然而，由于其压电特性的原因，陶瓷电容器在与 LT3481 一起使用时会引发问题。在突发模式操作中，LT3481 的开关频率取决于负载电流，而当负载非常轻的时候，LT3481 会在音频条件下激励陶瓷电容器，从而产生噪声。由于 LT3481 在突发模式操作期间工作于一个较低的电流限值条件下，因此，噪声通常非常低，如果不注意听的话并不明显。如果不能接受这种噪声水平，则可在输出端上采用一个高性能钽电容器或电解电容器。

应用信息

与陶瓷电容器有关的最后一个注意事项涉及到 LT3481 的最大额定输入电压。一个陶瓷输入电容器与走线或电缆电感组合起来，形成了一个高质量（欠阻尼）谐振电路。如果 LT3481 电路被插入一个通电电源，则输入电压会产生高达其标称值两倍的振铃，有可能超过 LT3481 的额定电压。可以很容易地避免这种情况的发生（见“热插拔安全”部分）。

频率补偿

LT3481 采用电流模式控制来调节输出。这简化了环路补偿。特别地，LT3481 不需要借助输出电容器的 ESR 来实现稳定性，因此，您可以随意地使用陶瓷电容器来获得低输出纹波和小电路尺寸。如图 2 所示，频率补偿是利用与 V_C 引脚相连的元件来提供的。通常采用一个接地的电容器 (C_C) 和电阻器 (R_C)。此外，还可以布设与它们并联的低值电容器。该电容器 (C_F) 并非环路补偿电路的组成部分，但被用来滤除开关频率上的噪声，而且只有在采用了一个相位超前电容器或输出电容器具有高 ESR 的时候才需要。

环路补偿决定了稳定性和瞬态性能。补偿网络的设计有点复杂，而且，最佳数值取决于应用，特别是输出电容器的类型。一种实用型方法是从本数据表中与您的应用相似的某一款电路入手，并调整补偿网络以优化性能。然后，应在所有的工作条件下检查稳定性，包括负载电流、输入电压和温度。LT1375 数据表对环路补偿做了更加全面的讨论，并介绍了采用一个瞬变负载来测试稳定性的方法。图 2 示出了 LT3481 控制环路的等效电路。误差放大器是一个具有有限输出阻抗的跨导放大器。由调制器、电源开关和电感器组成的电源部分被模拟为一个跨导放大器，用于生成一个与 V_C 引脚上的电压成比例的输出电流。请注意，输出电容器负责对该电流进行积分，而 V_C 引脚上的电容器 (C_C) 则用于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。在大多数场合中，需要一个由输出电容器

ESR 或与 C_C 串联的电阻器 R_C 所产生的零点。只要电感值不太高，而且环路交叉频率远远低于开关频率，则这种简单的电路模型将很奏效。在反馈分压器的两端跨接一个相位超前电容器 (C_{PL}) 可以改善瞬态响应。图 3 示出了负载电流从 500mA 阶跃至 1500mA 并回归 500mA 时的瞬态响应。

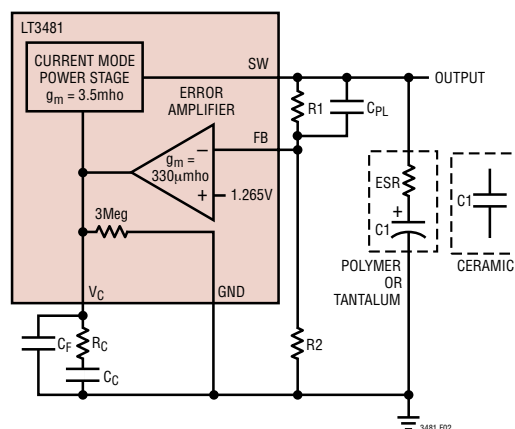


图 2：用于环路响应的电路模型

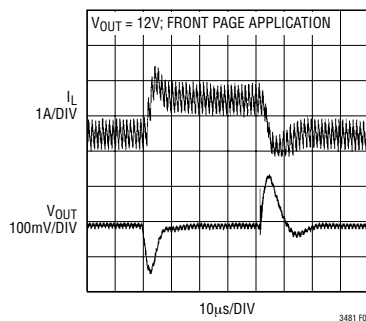


图 3：当负载电流从 500mA 阶跃至 1500mA 时，LT3481 应用（本数据表首页上的“典型应用”）的瞬态负载响应。V_{OUT} = 3.3V

应用信息

突发模式操作

为了提高轻负载效率，LT3481 将在轻负载条件下自动切换至突发模式操作，该模式可使输出电容器充电至一个正确的电压，同时最大限度地减小输入静态电流。在突发模式操作期间，LT3481 向输出电容器输送单周期电流脉冲，之后进入睡眠期，此时将由输出电容器向负载提供输出功率。另外， V_{IN} 和 BIAS 静态电流在睡眠期间通常分别被减小至 $20\mu\text{A}$ 和 $50\mu\text{A}$ 。当负载电流减小并接近一个无负载条件时，LT3481 工作于睡眠模式的时间百分比增加，平均输入电流大幅度减小，从而提高了效率。见图 4。

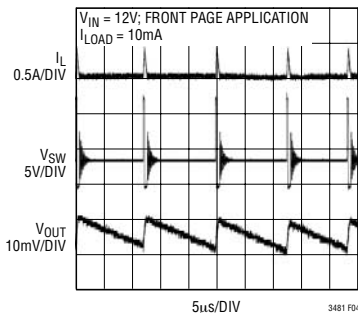
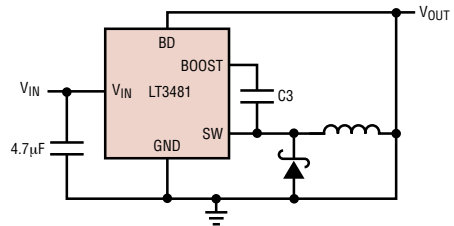


图 4：突发模式操作

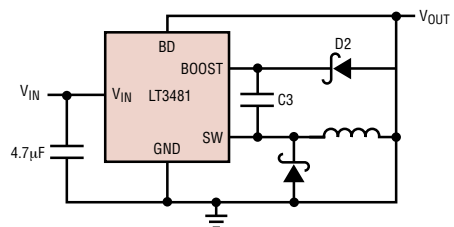
BOOST 和 BIAS 引脚考虑

电容器 C3 和内部升压肖特基二极管（见“方框图”）用于生成一个高于输入电压的升压电压。在大多数场合，采用一个 $0.22\mu\text{F}$ 电容器将起到很好的效果。图 5 示出了升压电路的三种接线方法。BOOST 引脚电压必须比 SW 引脚电压高 2.3V 以上，以实现最佳的效率。对于 3V 及更高的输出，标准电路（图 5a）是最好的。对于 2.8V 和 3V 之间的输出，应采用一个 $1\mu\text{F}$ 的升压电容器。2.5V 输出是一种特殊的情形，因为在采用内部升压二极管的时候，它只能勉强支持升压驱动级。为了在 2.5V 输出时实现可靠的 BOOST 引脚操作，应采用一个质量上乘的外部肖特基二极管（例如：On Semi MBR0540）和一个 $1\mu\text{F}$ 升压电容器（见图 5b）。对于较低输出电压，可把升压

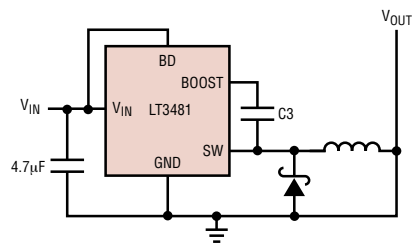
二极管连接至输入端（图 5c）或另一个高于 2.8V 的电源。图 5a 中的电路效率较高，因为 BOOST 引脚电流和 BIAS 引脚静态电流来自一个较低的电压源。您还必须确定 BOOST 和 BIAS 引脚的最大额定电压未被超过。



(5a) 对于 $V_{OUT} > 2.8\text{V}$



(5b) 对于 $2.5\text{V} < V_{OUT} < 2.8\text{V}$



(5c) 对于 $V_{OUT} < 2.5\text{V}$

图 5：用于生成升压电压的 3 款电路

如上一节简要说明的那样，LT3481 应用的最小工作电压受限于最小输入电压 (3.6V) 和最大占空比。为了实现正确的启动，最小输入电压还受限于升压电路。如果输入电压缓慢斜坡上升，或者 LT3481 在输出已经处于调节状态的情况下利用其 RUN/SS 引脚来接通，则升压电容器有可能未被满充电。由

应用信息

于升压电容器是利用电感器中的储能来充电的，因此，该电路将依靠某个最小负载电流来使升压电路正确运行。该最小负载将取决于输入和输出电压以及升压电路的接线方法。一旦该电路启动，则最小负载通常变至零。图 6 示出了最小负载的启动和运行与输入电压的函数关系曲线图。在许多场合中，放电输出电容器将向开关电源提供一个负载，这将允许它启动。该曲线图给出了最坏情况 (V_{IN} 非常缓慢地斜坡上升)。对于较低的启动电压，可把升压二极管连接至 V_{IN} ；不过，这将把输入范围限制为 BOOST 引脚绝对最大额定值的 1/2。

在轻负载条件下，电感器电流变成不连续的电流，而且有效占空比会非常高。这将把最小输入电压降至比 V_{OUT} 高 300mV 左右。在较高的负载电流条件下，电感器电流是连续的，且占空比受限于 LT3481 的最大占空比，因而需要一个较高的输入电压来维持稳压作用。

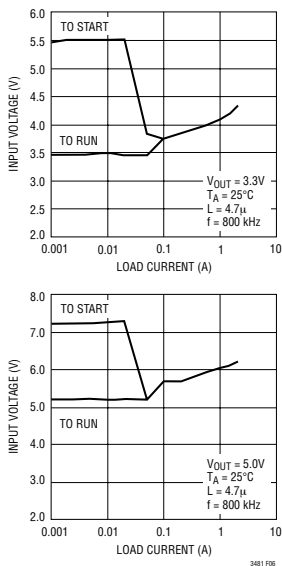


图 6：最小输入电压取决于输出电压、负载电流和升压电路

软起动

RUN/SS 引脚用于实现 LT3481 的软起动，以减少启动期间的最大输入电流。RUN/SS 引脚是通过一个外部 RC 滤波器来驱动，以在该引脚上生成一个电压斜坡。图 7 示出了采用软起动电路时的启动和停机波形。通过选择一个大 RC 时间常数，可将峰值启动电流减小至实现输出稳压所需的电流值，且无过冲现象。应选择合适的电阻器阻值，这样它就能在 RUN/SS 引脚电压达到 2.3V 时提供 20 μ A 的电流。

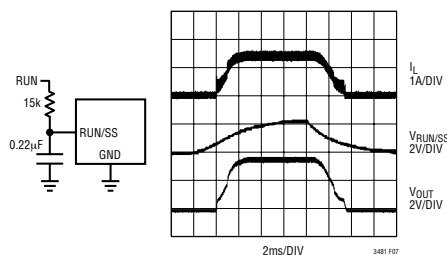


图 7：为了实现 LT3481 的软起动，应在 RUN/SS 引脚上增设一个电阻器和电容器

同步

通过采用一个 5pF 至 20pF 电容器将时钟信号连接至 RT 引脚，可使 LT3481 的内部振荡器与一个 275kHz 至 475kHz 的外部时钟同步。把 RT 引脚连接至地的电阻器的所选阻值应使 LT3481 的振荡频率比预期的同步频率低 20% (见“设定开关频率”部分)。

在 LT3481 的输出接近稳压状态 (由 PG 标记来指示) 之前，不应对其进行同步处理。这可以利用系统微控制器/微处理器来完成，也可以通过采用 PG 输出由一个分立电路来实现。如果在 PG 为低电平时施加一个同步信号，则 LT3481 有可能发生操作不稳定的现象。见“典型应用”。

当施加一个同步信号时，正时钟变换将使 LT3481 的内部时钟复位，而负时钟变换则将启动一

应用信息

个开关周期。同步信号的幅度必须至少为 2V。同步信号占空比可在 5% 至一个由下式给定的最大值之间变化：

$$DC_{SYNC(MAX)} = \left(1 - \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SW} + V_D} \right) - f_{SW} \cdot 600ns$$

式中的 V_{OUT} 为编程输出电压， V_D 为二极管正向压降， V_{IN} 为典型输入电压， V_{SW} 为开关压降， f_{SW} 为期望的开关频率。例如：300kHz 频率条件下的一个 24V 输入至 5V 输出可被同步至一个最大占空比为 60% 的方波。对于某些应用(比如：350kHz 频率下的 12V_{IN} 至 5V_{OUT}) 而言，最大容许同步占空比将低于 50%。如果不能从系统获得一个低占空比时钟，则应在同步信号与 LT3481 之间采用一个单触发电路。见“典型应用”。

用于把时钟信号连接至 RT 引脚的耦合电容器的数值应根据时钟信号幅度来选择。适合 3.3V 和 5V 时钟信号的上佳起始值分别为 10pF 和 5pF。应针对各具体应用来测试和调整这些数值，以确保可靠的操作。

当在高出初始开关频率(由 RT 电阻器设定)达 50% 以上的条件下进行同步处理时应谨慎，这是因为在较高的时钟频率条件下，用于防止次谐波开关操作的内部斜率补偿的幅度减小。此类次谐波开关操作只在输入电压低于 2 倍输出电压时发生。采用较高的电感值往往能够消除这一问题。

短路和反向输入保护

如果选择的电感器不会发生过度饱和，则 LT3481 降压型稳压器将容许短路输出。当 LT3481 的输入未接入的时候把输出保持于高电平的系统中，需要考虑另一种情况。在电池充电应用或一个电池或其他某个电源与 LT3481 的输出进行二极管“或”运算的电池后备系统中，有可能出现这种情形。如果允许 V_{IN} 引脚浮置且 RUN/SS 引脚被保持于高电平(通过一个逻辑信号来实现或因其与 V_{IN} 相连的缘故而如此)，则 LT3481 的内部电路将通过其 SW

引脚来获得静态电流。如果您的系统在该状态中能够承受几毫安(mA)的电流，则这没有任何问题。如果您将 RUN/SS 引脚接地，则 SW 引脚电流将基本下降至零。然而，如果 V_{IN} 引脚在输出被保持于高电平的情况下接地，则 LT3481 内部的寄生二极管能够通过 SW 引脚和 V_{IN} 引脚从输出获取大电流。图 8 示出了一款将只在输入电压接入的情况下运行并可保护器件免受短路或反向输入之损害的电路。

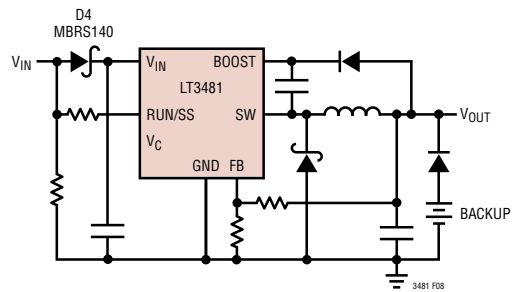


图 8：二极管 D4 用于防止短路输入对一个与输出端相连的后备电池进行放电；它还起到了保护电路免遭反向输入损坏的作用。LT3481 仅在输入电压接入的情况下运行

PCB 布局

为了实现正确的操作和最小的 EMI，在进行印刷电路板布局时必须谨慎。图 9 示出了推荐的元件布局，并标出了走线、接地平面和通孔的位置。需注意流过 LT3481 的 V_{IN} 和 SW 引脚、箝位二极管(D1)和输入电容器(C1)的大开关电流。由这些元件所形成的环路应尽可能小。这些元件应和电感器和输出电容器布设在电路板的同一侧，而且它们的接线应做在该电路层上。在这些元件的下方设置一个完整的本机接地平面。SW 和 BOOST 节点应尽可能小。最后，应保持很小的 FB 和 V_C 节点，这样接地走线将使之免受 SW 和 BOOST 节点的影响。封装底部上的裸露衬垫必须焊接至地，这样衬垫可以起到散热器的作用。为了保持低热阻，应尽可能地扩大接地平面，并把位于 LT3481 下方及近旁的散热通孔加至电路板内部和封装底部上的附加接地平面。

应用信息

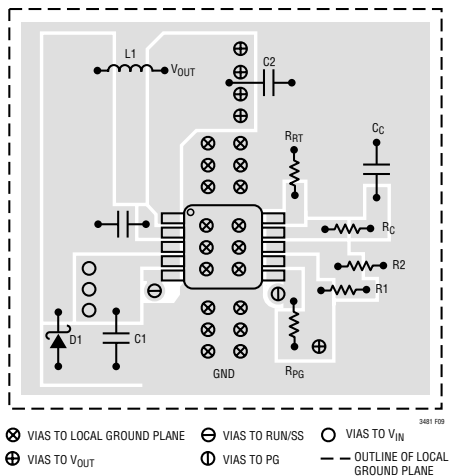


图 9：上佳的 PCB 布局保证了正确的低 EMI 操作

热插拨安全

陶瓷电容器的小外形尺寸、坚固性和低阻抗使得它们很适合作为 LT3481 电路的输入旁路电容器。然而，如果 LT3481 被插入一个通电电源，则这些电容器将会引发一些问题(完整的讨论请见凌力尔特公司出版的“Application Note 88”)。低损耗陶瓷电容器和与电源相串联的杂散电感形成了一个欠阻尼谐振电路，而且，LT3481 的 V_{IN} 引脚的电压会产生两倍于标称输入电压的振铃，因此很可能超过 LT3481 的额定电压，从而导致器件受损。如果未能很好地控制输入电源，或者用户将把 LT3481 插入一个通电电源，则应适当地设计输入网络以防止该过冲的发生。图 10 示出了当一个 LT3481 电路通过一根长 6 英尺的 24-gauge 双绞线与一个 24V 电源相连时所产

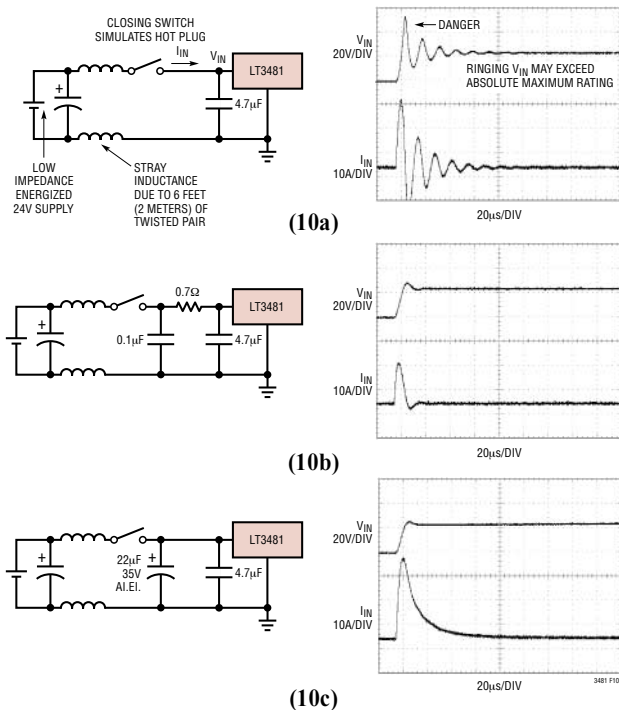


图 10：一个精心挑选的输入网络可在 LT3481 与一个通电电源相连的情况下防止发生输入电压过冲，并确保可靠的运作

应用信息

生的波形。第一幅曲线图是在输入端上采用一个 4.7 μF 陶瓷电容器时的响应。输入电压振铃高达 50V，输入电流峰值为 26A。图 10b 示出了一款上佳的解决方案。增设了一个与输入端相串联的 0.7 Ω 电阻器，旨在消除电压过冲(它还减小了峰值输入电流)。一个 0.1 μF 电容器改善了高频滤波。对于高输入电压，其对效率的影响是轻微的，例如：对于一个 5V 输出，当在 24V 输入电压条件下满负载运作时，效率仅下降 1.5%。

高温的考虑

PCB 必须提供散热以保持 LT3481 的冷却。位于封装底部的裸露衬垫必须焊接至一个接地平面。应利用散热通孔把该接地点连接至位于其下方的大面积铜层；这些铜层将散播 LT3481 产生的热量。增设通孔能够进一步地减小热阻。借助这些措施，从芯片(或结点)至环境的热阻可被减小至 $\theta_{JA} = 35^\circ\text{C}/\text{W}$ 或更低。利用 100LFPM 气流冷却，可把该热阻再减

小 25%。增加气流量将使热阻进一步降低。由于 LT3481 具有高输出电流能力，因此有可能产生足以使结温超过 LT3481 的绝对最大额定值 (125°C) 的热量。当在高环境温度条件下运作时，如果环境温度接近 125°C ，则最大负载电流应降额使用。

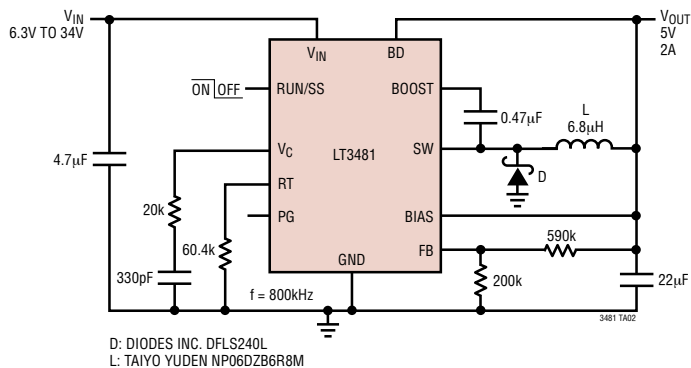
LT3481 的内部功耗可通过从一个效率测量结果计算出总功耗并减去箝位二极管损耗来加以估算。芯片温度则是通过把 LT3481 的功耗与从结点到环境的热阻相乘来计算的。

凌力尔特公司的其他相关出版物

应用指南 19、35 和 44 包含更多有关降压型稳压器和其他开关稳压器的详细说明和设计信息。LT1376 数据表对输出纹波、环路补偿和稳定性测试进行了更加广泛的讨论。设计要点 100 说明了如何采用一个降压型稳压器来生成一个双极输出电源。

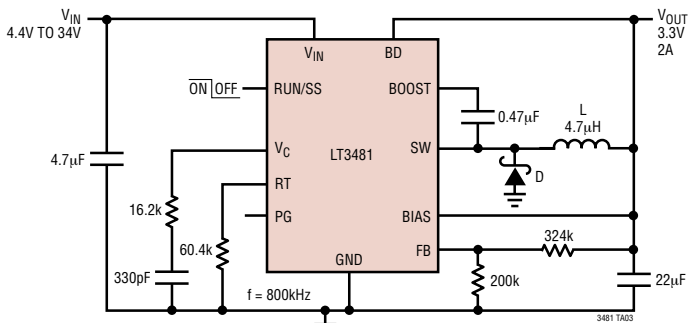
典型应用

5V 降压型转换器



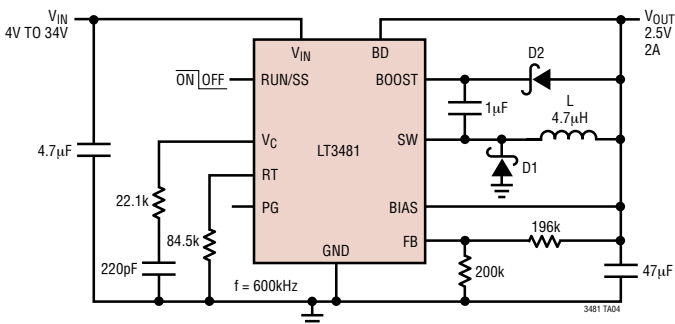
典型应用

3.3V 降压型转换器



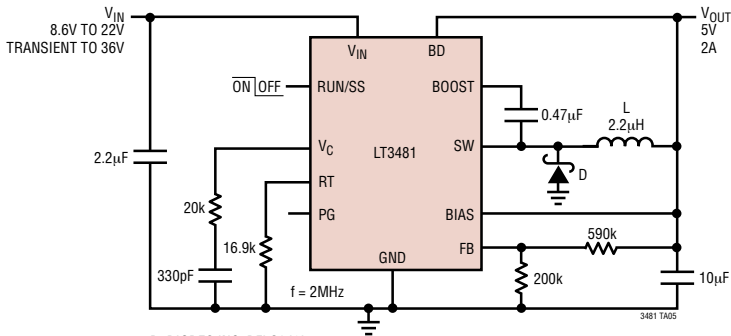
D: DIODES INC. DFLS240L
L: TAIYO YUDEN NP06DZB4R7M

2.5V 降压型转换器



D1: DIODES INC. DFLS240L
D2: MBR0540
L: TAIYO YUDEN NP06DZB4R7M

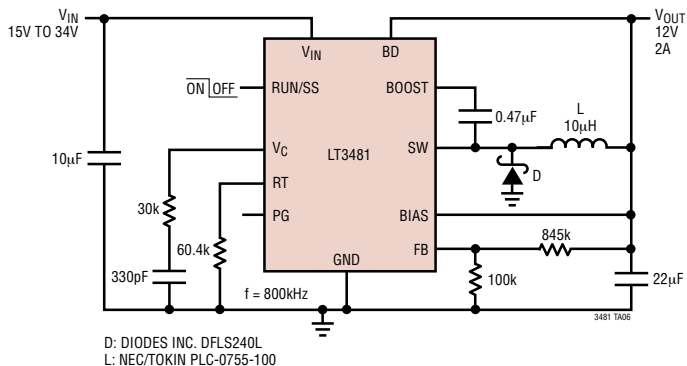
5V、2MHz 降压型转换器



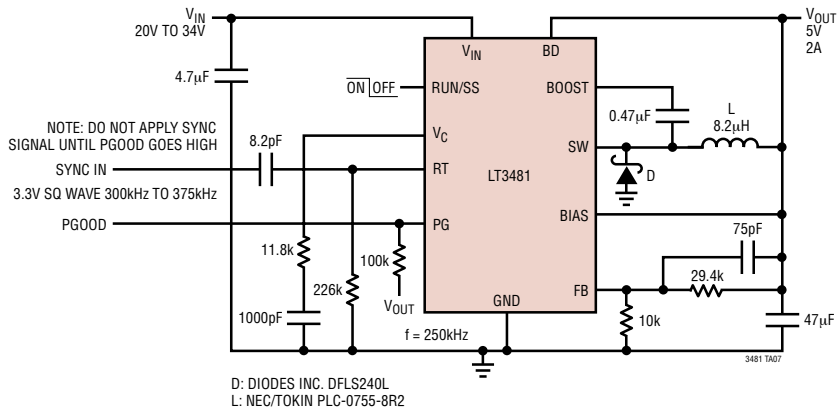
D: DIODES INC. DFLS240L
L: SUMIDA CDRM4D22/HP-2R2

典型应用

12V 降压型转换器

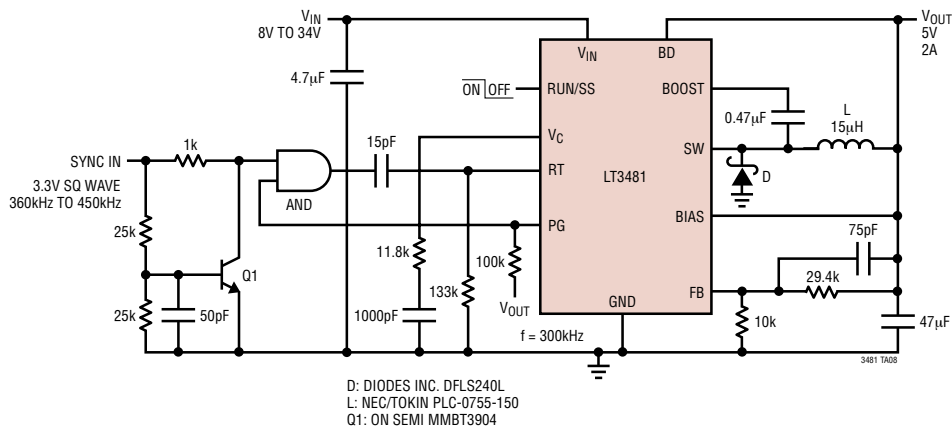


具有同步输入的 5V 降压型转换器

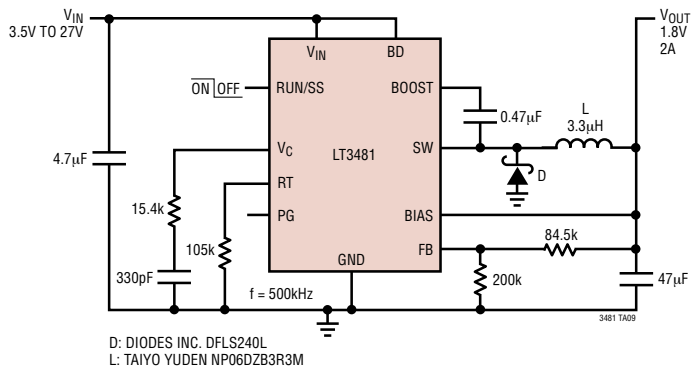


典型应用

具有同步和单发电路的 5V 降压型转换器

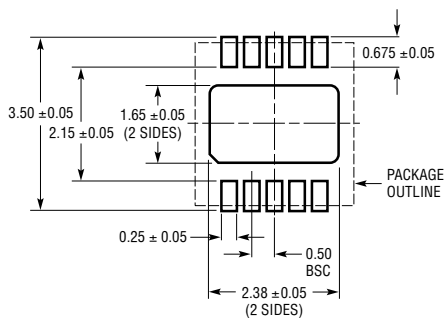


1.8V 降压型转换器

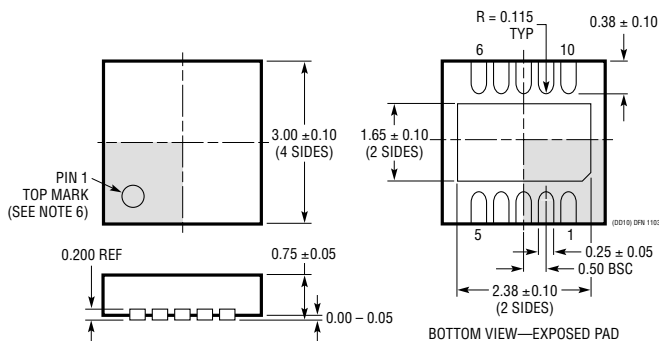


封装描述

DD 封装 10 引脚塑料 DFN (3mm × 3mm) (参考 LTC DWG # 05-08-1699)



RECOMMENDED SOLDER PAD PITCH AND DIMENSIONS

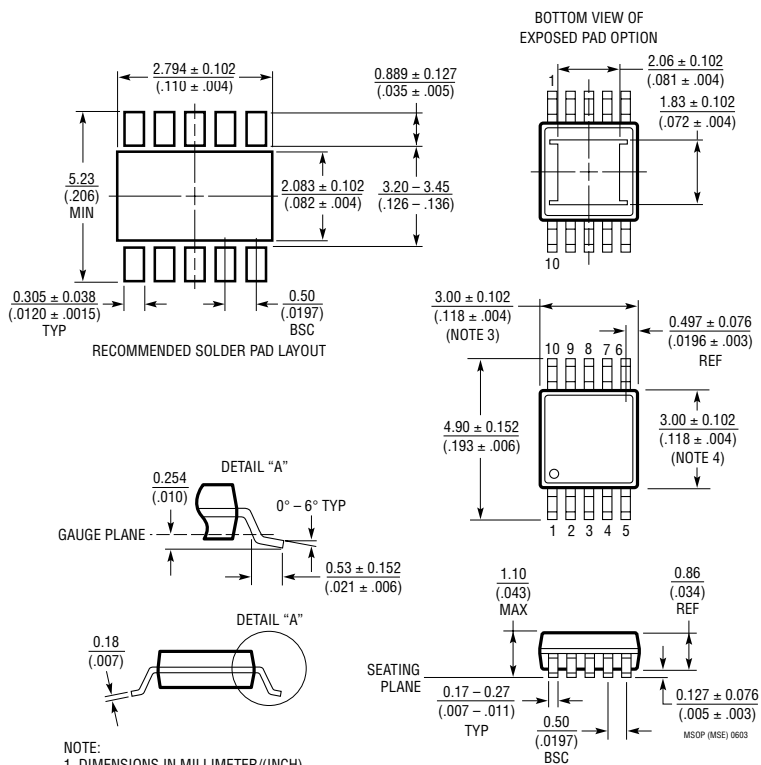


NOTE:

1. DRAWING TO BE MADE A JEDEC PACKAGE OUTLINE MO-229 VARIATION OF (WEED -2). CHECK THE LTC WEBSITE DATA SHEET FOR CURRENT STATUS OF VARIATION ASSIGNMENT
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
4. DIMENSIONS OF EXPOSED PAD ON BOTTOM OF PACKAGE DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH, IF PRESENT, SHALL NOT EXCEED 0.15mm ON ANY SIDE
5. EXPOSED PAD SHALL BE SOLDER PLATED
6. SHADED AREA IS ONLY A REFERENCE FOR PIN 1 LOCATION ON THE TOP AND BOTTOM OF PACKAGE

封装描述

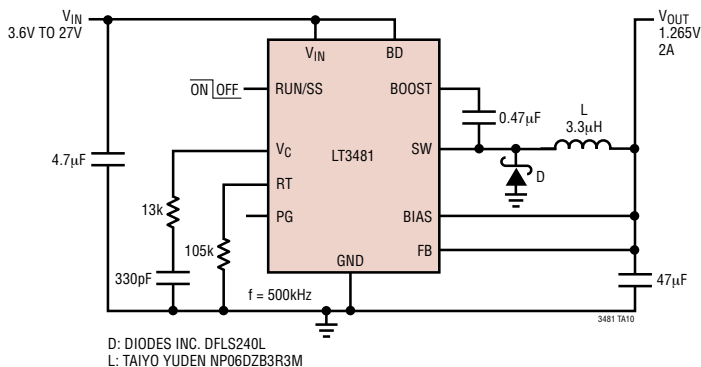
MSE 封装
10 引脚塑料 MSOP
(参考 LTC DWG # 05-08-1663)



1. DIMENSIONS IN MILLIMETER/(INCH)
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS. MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.152mm (.006") PER SIDE
4. DIMENSION DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSIONS. INTERLEAD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.152mm (.006") PER SIDE
5. LEAD COPLANARITY (BOTTOM OF LEADS AFTER FORMING) SHALL BE 0.102mm (.004") MAX

典型应用

1.265V 降压型转换器



相关器件

| 器件型号 | 描述 | V _{IN} MIN(V) | V _{IN} MAX(V) | V _{OUT} MIN(V) | I _Q | I _{SD} | 封装 |
|-------------------|--|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------|
| LT1933 | 采用 SOT-23 封装的 500mA(I _{OUT})，500kHz 降压型开关稳压器 | 3.6 | 36 | 1.2 | 1.6mA | <1µA | ThinSOT |
| LT3437 | 具突发模式操作功能的 60V，400mA(I _{OUT})，微功率降压型 DC/DC 转换器 | 3.3 | 80 | 1.25 | 100µA | <1µA | DFN |
| LT1936 | 36V，1.4A(I _{OUT})，500kHz 高效降压型 DC/DC 转换器 | 3.6 | 36 | 1.2 | 1.9mA | <1µA | MS8E |
| LT3493 | 36V，1.2A(I _{OUT})，750kHz 高效降压型 DC/DC 转换器 | 3.6 | 40 | 0.8 | 1.9mA | <1µA | DFN |
| LT1976/ LT1977 | 具突发模式操作功能的 60V，1.2A(I _{OUT})，200kHz/500kHz，高效降压型 DC/DC 转换器 | 3.3 | 60 | 1.20 | 100µA | <1µA | TSSOP16E |
| LT1767 | 25V，1.2A(I _{OUT})，1.1MHz，高效降压型 DC/DC 转换器 | 3.0 | 25 | 1.20 | 1mA | <6µA | MS8E |
| LT1940 | 双 25V，1.4A(I _{OUT})，1.1MHz，高效降压型 DC/DC 转换器 | 3.6 | 25 | 1.20 | 3.8mA | <30µA | TSSOP16E |
| LT1766 | 60V，1.2A(I _{OUT})，200kHz，高效降压型 DC/DC 转换器 | 5.5 | 60 | 1.20 | 2.5mA | 25µA | TSSOP16E |
| LT3434/ LT3435 | 具突发模式操作功能的 60V，2.4A(I _{OUT})，200kHz/500kHz，高效降压型 DC/DC 转换器 | 3.3 | 60 | 1.20 | 100µA | <1µA | TSSOP16E |