

700mA、1.4MHz 同步降压型开关稳压器 UCT5406

特点:

- 效率高达 95%
- 输出电流可达到 700mA
- 极低的静态工作电流, $\leq 20\mu\text{A}$
- 待机电流小于 1 μA
- 2.5V~5.5V 输入电压范围
- 输出电压范围 0.6~5.5V
- 无需要外部肖特基二极管
- 1.4MHz 固定工作频率
- 100%占空比, 实现低压降工作
- 电流模式控制, 实现卓越的电压和负载瞬态响应
- 过热及短路保护
- 高度仅 1mm 的无铅 SOT23-5 封装

简介:

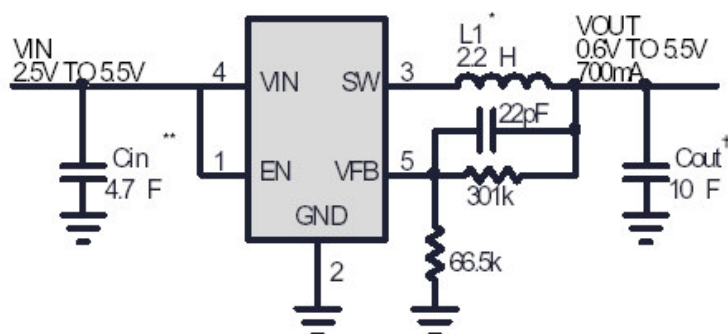
UCT5406 是一种高效单片同步降压型开关稳压器, 采用 1.4MHz 固定频率, PWM 电流模式控制架构。该器件具有可调型 (UCT5406A) 和输出电压固定型 (UCT5406) 两种版本。超低的静态工作电流 ($\leq 20\mu\text{A}$) 和待机电流 ($\leq 1\mu\text{A}$) 加上 2.5V 至 5.5V 的输入电压范围, 使得 UCT5406 成为单节锂电池供电型便携式产品应用的理想选择。

由于采用内部同步开关结构, 不仅电路的转换效率大大提高, 而且省去了外部的肖特基二极管。同时, 由于 UCT5406 的内部开关频率是 1.4MHz, 因此可以选用小量值的表面贴装型功率电感和陶瓷输入输出滤波电容器, 加上高度仅 1mm 的无铅 SOT23-5 封装, 有利于节省 PCB 板的空间。该器件在轻负载时, 自动转换为突发模式 (Burst Mode) 工作, 有效降低了静态工作电流, 提高了轻载效率。此外, 100%占空比的工作方式, 实现了极低压降的工作, 允许输入电压低至额定输出电压。以上这些都进一步延长了电池的使用寿命。

应用领域:

- ◇ 手机
- ◇ 数码相机、摄像机
- ◇ MP3、MP4、PMP 播放机
- ◇ 便携式仪表
- ◇ PDA 等个人信息设备
- ◇ PC 插卡

典型应用电路 (UCT5406A):



* MURATA LQH32CN2R2M33
 **TAIYO YUDEN JMK212BJ475MG
 †TAIYO YUDEN JMK316BJ106ML

封装及管脚定义:

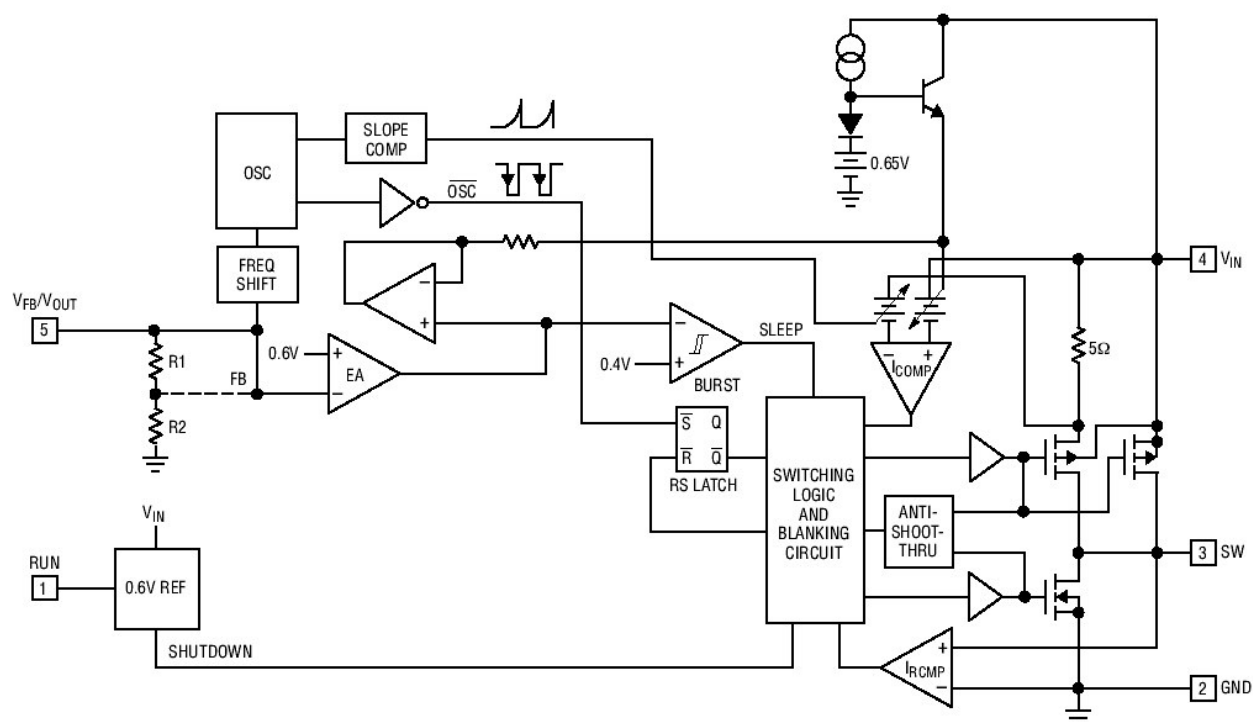


TSOT23-5

引脚说明:

| 序号 | 名称 | 说明 |
|----|------------------|--|
| 1 | EN | 使能控制输入引脚, 该引脚的电平超过 1.5V 将使能器件, 低于 0.3V 的电平使器件进入待机状态。该引脚不能悬空。 |
| 2 | GND | 接地引脚 |
| 3 | SW | 开关节点, 内部接主功率 MOSFET 管和同步功率 MOSFET 管的漏级, 外部接功率电感。 |
| 4 | V _{in} | 电源输入引脚, 必须通过一个 2.2μF 以上的陶瓷电容去耦到地。 |
| 5 | V _{out} | 固定版本 (UCT5406) 的输出电压反馈引脚。输出电压由内部分压器分压, 与内部 0.6V 基准电压相比较。 |
| 5 | V _{FB} | 可调型版本 (UCT5406A) 的输出电压反馈引脚。接受来自一个跨在输出端的外部电阻分压器的反馈电压, 与内部 0.6V 基准电压相比较。 |

内部结构图



绝对最大额定值

- ◇ 输入供电电压 V_{in} -0.3V ~ +6V
- ◇ 使能引脚电压 V_{EN} -0.3V ~ ($V_{in} + 0.3$) V
- ◇ 开关引脚电压 V_{sw} -0.3V ~ ($V_{in} + 0.3$) V
- ◇ 反馈引脚电压 V_{FB} -0.3V ~ +6V
- ◇ 开关引脚峰值电流 I_{sw} 1.3A
- ◇ 工作温度范围 -40°C ~ +85°C
- ◇ 存储温度范围 -65°C ~ +150°C
- ◇ 引脚焊接温度 +300°C/10 秒
- ◇ 结温 +125°C

注：超出以上所列的极限参数可能造成器件的永久损坏。以上给出的仅仅是极限范围，在这样的极限条件下工作，器件的技术指标将得不到保证，长期在这种条件下工作还会影响器件的可靠性。

电特性参数

工作条件： $T_A = 25^\circ\text{C}$ ； $V_{in} = 3.6\text{V}$ ；除非另行说明

| 符号 | 参数名 | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|------------------|---------|---|-------|------|----------|---------------|
| V_{out} | 输出电压 | UCT5406-1.8, $I_{out} = 100\text{mA}$ | 1.75 | 1.8 | 1.85 | V |
| ΔV_{out} | 输出电压稳定性 | $V_{in} = 2.5 \sim 5.5\text{V}$ | | 0.03 | 0.3 | %/V |
| V_{in} | 输入电压 | | 2.5 | | 5.5 | V |
| V_{FB} | 反馈电压 | UCT5406A | 0.588 | 0.6 | 0.612 | V |
| I_{FB} | 反馈端电流 | | | | ± 30 | nA |
| ΔV_{FB} | 基准电压稳定性 | $V_{in} = 2.5 \sim 5.5\text{V}$ | | 0.03 | 0.4 | %/V |
| F_{OSC} | 开关频率 | $V_{FB} = 0.6\text{V}$ 或 $V_{out} = 100\%$ | 1.1 | 1.4 | 1.7 | MHz |
| I_q | 静态工作电流 | $V_{FB} = 0.5\text{V}$ 或 $V_{out} = 90\%$, $I_{LOAD} = 0$ | | 230 | 300 | μA |
| I_S | 待机电流 | $V_{EN} = 0\text{V}$, $V_{in} = 4.2\text{V}$ | | 0.1 | 1 | μA |
| I_{PK} | 峰值电感电流 | $V_{in} = 3\text{V}$, $V_{FB} = 0.5\text{V}$ 或 $V_{out} = 90\%$, 占空比 $<35\%$ | 0.75 | 0.9 | 1 | A |
| R_{PFET} | P 管导通内阻 | $I_{sw} = 100\text{mA}$ | | 0.4 | 0.5 | Ω |
| R_{NFET} | N 管导通内阻 | $I_{sw} = 100\text{mA}$ | | 0.35 | 0.45 | Ω |
| η | 电路效率 | 按典型电路及标准元件连接 $V_{in} = V_{EN} = 3.6\text{V}$, $I_{out} = 100\text{mA}$ | | 93 | | % |
| $V_{LOADREG}$ | 输出负载调整率 | | | 0.33 | | % |

工作原理简述：（请参阅内部结构图）

内部控制环路

UCT5406 采用固定开关频率、电流模式的降压型结构，内置高端主 MOSFET（P 沟道）和低端同步 MOSFET（N 沟道）开关。正常工作时，内部高端主 MOSFET 在每个振荡周期于振荡器置位 RS 寄存器时导通，在电流比较器 I_{COMP} 复位 RS 寄存器时关断，从而使电感器峰值电流受到控制。复位 RS 寄存器的电流比较器 I_{COMP} 则由误差放大器 EA 的输出控制。如果负载电流增加，会使反馈电压 V_{FB} 相对于内部 0.6V 的基准电压出现一定的下降，而这会导致误差放大器 EA 的输出电压升高，延迟复位 RS 寄存器，从而控制高端主 MOSFET 的导通时间增加，流过电感器的峰值电流加大。如此循环调整，直到平均电感器电流满足新的负载电流为止。

当高端主 MOSFET 关断时，低端同步 MOSFET 开始导通，直到电流反向比较器 I_{RCMP} 指示功率电感的电流开始反向或下一个时钟周期开始，低端同步 MOSFET 才关闭。

突发模式工作

UCT5406 在轻负载条件下，能够进入突发（BURST）模式工作，此时主控制环路可根据负载大小，控制内部功率 MOSFET 进行间歇输出工作，将电路的自身消耗电流降低，从而提高转换效率。

在突发模式下，功率电感的脉冲峰值电流被设定为 200mA 左右。每次突发的持续时间（连续脉冲时间），可从最轻负载下的几个时钟周期到中等负载条件下的仅短暂睡眠间隔的近似连续循环输出。在两次突发之间（间隔时间内），内部功率 MOSFET 以及任何无关的电路均被关断，从而将静态电流降至 20uA 以下，此时，负载电流由输出滤波电容内储存的能量提供。随着输出电压的下降，会导致误差放大器 EA 的输出高过睡眠门限电压，BURST 比较器发出跳变信号，控制高端主 MOSFET 再次导通。如此重复，完成突发（BURST）模式的工作过程，该过程的重复频率与负载消耗电流相关。

输出短路保护

当检测到输出负载被短路到地时，UCT5406 的内部振荡器频率被降至标称工作频率的七分之一（约 200kHz），确保功率电感的电流有更多的时间逐步衰减，因此防止了电路的失控。

当 V_{FB} 或 V_{out} 升至 0V 以上时，振荡器的频率将逐步增加至标称的工作频率（约 1.4MHz）。

低压降

工作状态

当输入的供电电压逐步下降时，输出脉冲的占空比逐渐加大，供电电压的进一步降低并接近输出电压时，会使高端主 MOSFET 的导通时间超过一个时钟周期，直到占空比达到 100% 为止，此时主控制回路成为直通状态，输出电压等于输入电压减去高端主 MOSFET 和功率电感两端的电压降。

UCT5406 可在低至 2.5V 的输入供电电压条件下工作，值得注意的是，在低输入供电电压情况下，高端主 MOSFET 的 R_{DS(ON)} 会增大，导致芯片的功耗上升，此时最大的允许输出电流要减小，用户应该事先考虑并计算好功耗，具体请参考应用信息部分的“热考虑”。

应用信息：

可调版本输出电压的设置（UCT5406A）

UCT5406A 的输出电压范围为 0.6V 到 5.5V，根据以下公式来设置：

$$V_{OUT} = 0.6V \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

式中 R1、R2 为连接在输出端与地间的一个外部电阻分压器，R1 为近地端而 R2 为高端。其分压输出被接到 UCT5406A 的 V_{FB} 引脚。

功率电感器的选择

UCT5406 的工作频率较高，对于大多数应用，1uH 到 4.7uH 的功率电感值已可以满足使用。一般来

说，较大量值的功率电感可以获得较低的输出纹波电流和较大的输出电流能力，同时也有利于提高电路的转换效率。但是大的电感值往往也会导致功率电感本身体积的增大和绕线内阻（ESR）的增加。另外，较小的功率电感值和大的输入输出压差都是使输出纹波变大的因素。输出纹波电流具体可由以下公式表达：

$$\Delta I_L = \frac{1}{(f)(L)} V_{OUT} \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right)$$

上式中：

ΔI_L —— 电感中的纹波峰值电流值

V_{in} —— 输入电压

V_{out} —— 输出电压

f —— 电路的开关工作频率，UCT5406 典型值为 1.4MHz

L —— 功率电感的电感值

一般情况下，应该控制纹波电流小于最大输出电流的 40%，即：

$$\Delta I_L \leq 700\text{mA} \times 40\% = 280\text{mA}$$

此外，较小的电感值也会使电路的转换效率降低，这是因为 UCT5406 在功率电感电流降至 200mA 以下时，自动转入突发模式，而较小的电感值意味着较高的 ΔI_L ，使得电路切换到突发模式的负载电流阈值较低，同时进入突发模式后也使得突发频率增加，从而导致静态电流增加，总体的效率下降。

为了防止功率电感器的磁芯饱和，电感器的额定 DC 电流不得小于最大负载电流加上一半纹波电流之和。建议取最大负载电流的两倍以上，以留有余量。

同时请尽量选用低直流内阻的功率电感器，以减少电感器上的损耗。

电感器磁芯的材料决定了它的体积 / 价格 / 电流等因素，用铁氧体或坡莫合金材料作成的环型或者罐型磁芯具有体积小、高频损耗低、电磁辐射少的特点，但其价格比一般的铁粉芯电感器要高。这将取决于客户自己的选择。下面推荐了几种有代表性的功率电感器，供参考：

表 1：具代表性的表面贴装电感器

| 器件型号 | 数值 (μH) | DCR (Ω 最大值) | 最大 DC 电流 (A) | 外形尺寸 $W \times L \times H$ (mm^3) |
|---------------------|----------------------|---------------------|--------------|--|
| Sumida CDRH3D16 | 1.5 | 0.043 | 1.55 | 3.8 × 3.8 × 1.8 |
| | 2.2 | 0.075 | 1.20 | |
| | 3.3 | 0.110 | 1.10 | |
| | 4.7 | 0.162 | 0.90 | |
| Sumida CMD4D06 | 2.2 | 0.116 | 0.950 | 3.5 × 4.3 × 0.8 |
| | 3.3 | 0.174 | 0.770 | |
| | 4.7 | 0.216 | 0.750 | |
| Panasonic ELT5KT | 3.3 | 0.17 | 1.00 | 4.5 × 5.4 × 1.2 |
| | 4.7 | 0.20 | 0.95 | |
| Murata LQH32CN | 1.0 | 0.060 | 1.00 | 2.5 × 3.2 × 2.0 |
| | 2.2 | 0.097 | 0.79 | |
| | 4.7 | 0.150 | 0.65 | |

输入输出电容的选择

在 DC/DC 电路连续工作时，高端 MOSFET 的源级电流是占空比为 V_{out}/V_{in} 的脉冲方波电流。为防止此电流流过供电电源，在其内阻上产生大电压瞬变，要用合适的输入电容来旁路它。该电容必须选用低 ESR 而且最大容许 RMS 电流大于电路中 RMS 电流的元件。电路中 RMS 电流即：

$$I_{RMS} \cong I_{OMAX} \frac{[V_{OUT} (V_{IN} - V_{OUT})]^{1/2}}{V_{IN}}$$

该公式在 $V_{in} = 2 * V_{out}$ 时具有最大值, 此时 $I_{RMS} = I_{out} / 2$, 出现最坏的情况, 设计中可用此作参考。需要注意的是, 制造商提供的额定纹波电流通常是基于元件寿命仅为 2000 小时的条件下的。因此, 建议在选择该电容器时, 留足适当的余量, 也就是降低额定值使用, 或者是选择比所要求的额定温度更高的电容器使用。

对于输出滤波电容来说, 其 ESR 则较为关键。电路的输出纹波 ΔV_{out} 由下式决定:

$$\Delta V_{OUT} \approx \Delta I_L \left(ESR + \frac{1}{8fC_{OUT}} \right)$$

式中: C_{out} —— 输出滤波电容

f —— 工作频率

ΔI_L —— 电感器中的纹波电流

当输出电压固定后, 电路的输出纹波 ΔV_{out} 会随着 V_{in} 的增加而增加, 因为此时 ΔI_L 是增加的。

由于目前低成本的大容量陶瓷电容器已经可以作得体积很小, 因此它所具备的高纹波电流、高耐压、低 ESR 使其成为 DC/DC 电源滤波电容的理想选择。

然而, 在使用陶瓷电容器时, 有一个问题要注意, 当输入电源由一个电源适配器通过长线来提供的时候, 输出端的负载阶跃可能会在 V_{in} 上引起振铃。一定的条件下, 该振铃又会被偶合至输出端并且被看作是环路的不稳定。同时, 该振铃有可能在 V_{in} 上引发一个足以使器件损坏的大尖峰电压。

X5R、X7R 电介质的陶瓷电容器由于具备较佳的温度和电压特性, 所以是 DC/DC 电路滤波电容的理想的选择。

关于效率

DC/DC 电源的效率等于输出功率与输入功率之比再乘以 100%。在 UCT5406 的电路中, 电路损耗主要来自 V_{in} 的静态电流和元件的 I^2R 损耗。在轻负载电流条件下, 效率损失主要是来自 V_{in} 的静态电流; 而在中等及高负载电流条件下, 效率损失则主要是元件的 I^2R 损耗造成的。其中 V_{in} 的静态电流是器件自身决定的, 而 I^2R 损耗则与器件内部的 MOSFET 内阻和功率电感器直流电阻有关。所以, 选择低直流电阻的功率电感器对提高效率至关重要。

热考虑

一般情况下, 由于效率较高, UCT5406 发热并不多。但是, 如果在高环境温度下以及低供电电压或者高占空比条件下 (低压差工作), 其发热就有可能超过器件的最大允许值。如果器件的结温超过 150°C 左右, UCT5406 将启动热保护功能, 关闭两个 MOSFET, 从而切断输出。

为了避免出现热保护而导致电路的工作不稳定, 应该进行一定的热分析以确定实际功耗是否有可能超过了器件结温的允许值 (125°C)。结温由下式决定:

$$T_J = T_A + (P_D)(\theta_{JA})$$

式中: T_A —— 环境温度

P_D —— 器件的功耗

θ_{JA} —— 芯片结点至环境温度的热阻

其中: $P_D = I_{LOAD}^2 \times R_{DS(ON)}$,

$\theta_{JA} = 250^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (对于 SOT-23 封装)

例如, 假设 UCT5406 工作于 70°C 的环境温度下, 负载电流为 600mA, 此时内部 P 沟道主 MOSFET 的 $R_{DS(ON)}$ 约为 0.52Ω 。由此可计算出器件的功耗为:

$$P_D = 0.6^2 \times 0.52 = 0.1872 \text{ (W)}$$

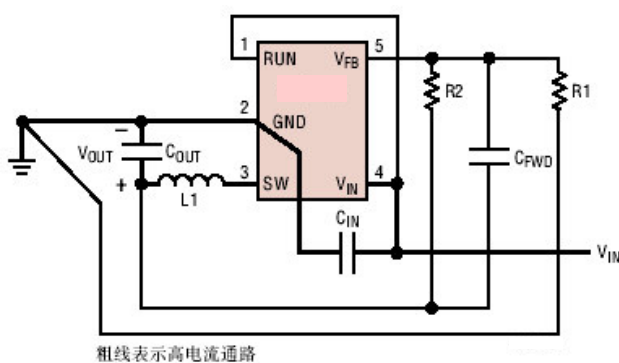
$$T_J = 70^{\circ}\text{C} + 0.1872 \times 250 = 116.8^{\circ}\text{C}$$

在器件的允许范围内。

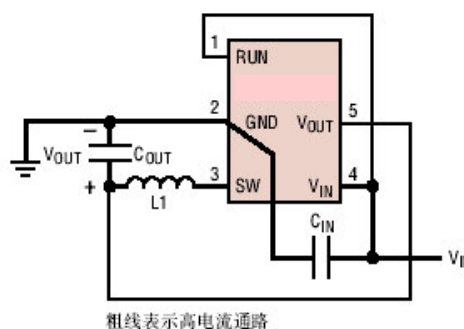
关于 PCB 板的布局

良好的 PCB 板布局是保证 UCT5406 电路稳定、高效率工作的必要条件。您在进行电路板设计时，请遵从以下原则：

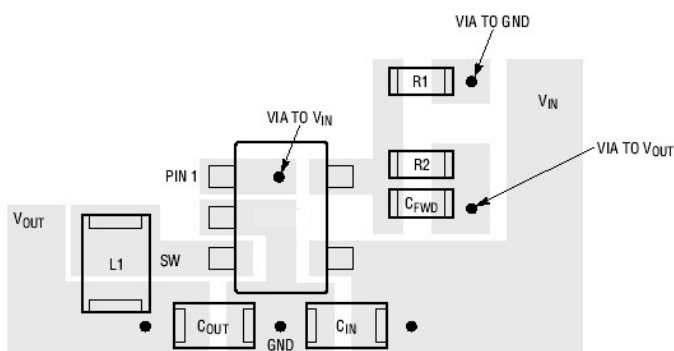
1. 由 V_{IN} 、SW、GND 所构成的电源主电流轨迹线应该尽量短、直并且保证足够的线宽。
2. 可调版本 (UCT5406A) 的分压电阻 R1/R2 必须就近连接在 C_{OUT} 的 (+) 极和地间，分压点要直接连接到 IC 的 V_{FB} 引脚。
3. C_{IN} 的 (+) 极要尽可能靠近接到 V_{IN} 端。
4. 使开关节点 SW 尽量远离敏感的 V_{FB} 节点。
5. 使 C_{IN} 与 C_{OUT} 两者的负极尽可能靠近接。



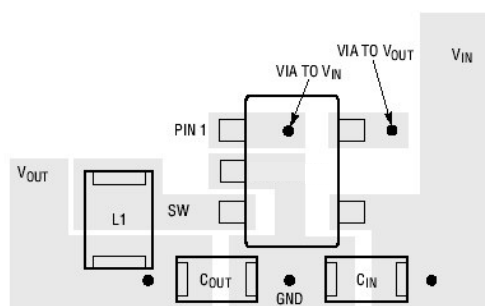
UCT5406A 的布局接线图



UCT5406 的布局接线图

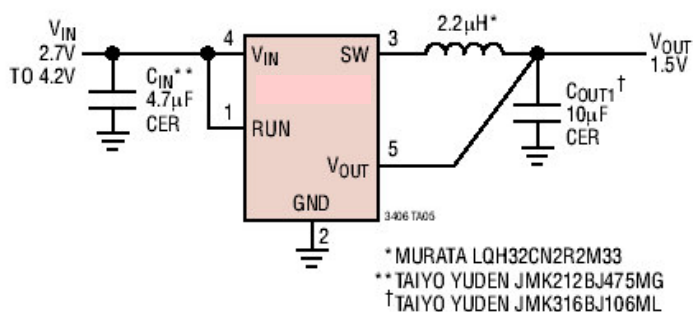


推荐的 UCT5406A 布局

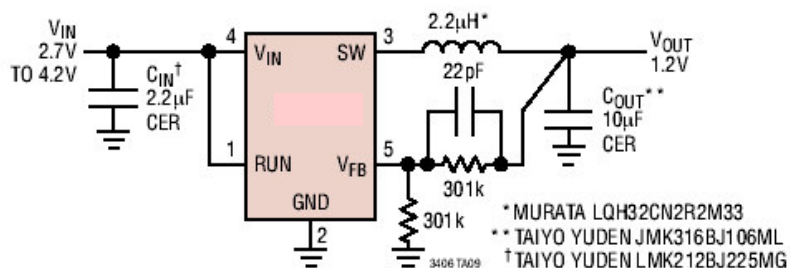


推荐的 UCT5406 布局

典型应用电路



单节锂离子电池供电的高效率、小体积 1.5V/700mA 稳压器 (UCT5406-1.5)



单节锂离子电池供电的高效率、小体积 1.2V/700mA 稳压器 (UCT5406A)

封装信息 (SOT-23-5)

