

## 在工业场合为 MCU 供电

Powering Microcontrollers from Industrial Supply Rails

### 摘要

像 8051、Cortex M0 和 PIC16 这样的 MCU 被广泛地使用在很多电子设备中，为这些器件供电常常看起来是非常简单的事情。但在工业环境或是其它使用较高电压供电的场合，要为这些器件提供简单的 3.3V 或是 5V 的小电流供应就有许多方法可供选择，效率、输出电压纹波、封装和成本等都是选型时要考虑的重要因素。本文为在 24V 工业环境下为这些器件供电提供了一些参考方案。

### 目录

一、概述.....	2
二、使用线性稳压器降低电压.....	2
三、使用开关型稳压器 RT6200 降低电压.....	3
四、36V 0.1A 高效 Buck 转换器.....	6
五、总结.....	10

## 一、概述

有许多应用使用小型 MCU 完成输入、输出控制和通迅过程，这些 MCU 通常需要 3.3V 或是 5V 的电源供应，电流一般只需要 5mA~50mA，具体数值常常取决于具体的外设需要。要为这些应用选择正确的电源管理架构，设计师通常需要综合考虑效率、输出电压纹波、封装和成本等因素。

## 二、使用线性稳压器降低电压

降压的最简单方法是使用线性稳压器。在很多情况下，假如电流很小、效率又不重要的话，这是一个很好的解决方案。但当输入、输出电压差增大时，尤其是在遇到负载电流稍微加大的状况时，稳压器的功率损耗就可能变成一个敏感问题。在工业场合下，输入电压的波动随时都可能发生，所以稳压器的容许输入电压范围必须足够大以便能够承受这种波动。

下表列出立锜科技的一部分可用于 24V 环境下为 MCU 供电的线性稳压器，其中列出的最大平均电流数据是由相应封装的热限制所决定的，最大功耗是在普通 PCB 布局、接地焊盘比器件引脚本身稍大、环境温度为 60°C 时器件能够承受的数值。表中列出来的型号都是 3.3V 的，这是最常用的，但其他电压值的状况与此类似。

型号	主要特点	输入电压范围	封装	最大功耗 ( $T_A = 60^\circ\text{C}$ )	24V 输入时的最大平均电流
RT9058-33GV	2 $\mu\text{A}$ 静态电流，固定输出电压，无使能端	3.5 to 36V	SOT23-3	~ 0.25W	12mA
RT9058-33GX	2 $\mu\text{A}$ 静态电流，固定输出电压，无使能端	3.5 to 36V	SOT89	~ 0.5W	24mA
RT9069-33GB	2 $\mu\text{A}$ 静态电流，固定输出电压，含使能端	3.5 to 36V	SOT23-5	~ 0.3W	14mA
RT9069-33GX5	2 $\mu\text{A}$ 静态电流，固定输出电压，含使能端	3.5 to 36V	SOT89-5	~ 0.55W	26mA
RT9069-33GSP	2 $\mu\text{A}$ 静态电流，固定输出电压，含使能端	3.5 to 36V	PSOP-8	~ 0.8W	38mA
RT9068-33GG	30 $\mu\text{A}$ 静态电流，固定输出电压，无使能端	4.5 to 60V	SOT223	~ 0.7W	33mA
RT9068GFP RT9074GFP RT9068-33GFP RT9074-33GFP	30 $\mu\text{A}$ 静态电流，固定或可调输出电压，含使能端	4.5 to 60V	MSOP-8	~ 0.75W	33mA
RT9068GSP RT9074GSP RT9068-33GSP RT9074-33GSP	30 $\mu\text{A}$ 静态电流，固定或可调输出电压，含使能端	4.5 to 60V	PSOP-8	~ 0.8W	38mA

图 1 示范了部分型号的应用电路图，从中可以看出线性稳压器的电路是极其简单的，通常仅使用 1μF 的 MLCC 作为输入、输出电容即可确保其稳定工作。

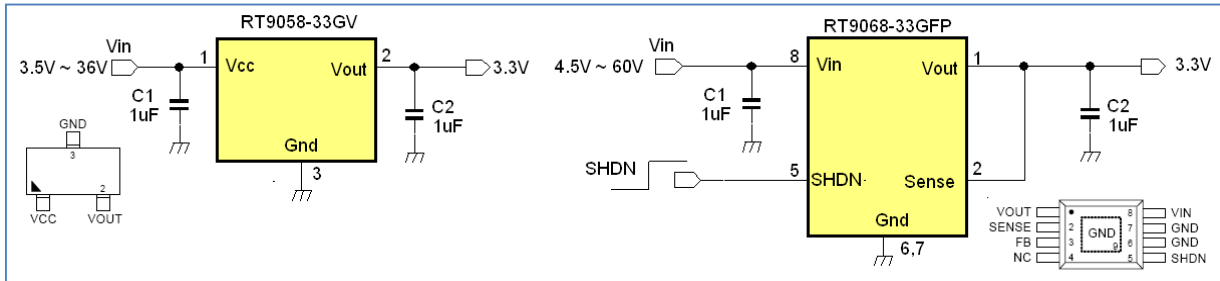


图 1

RT9058 和 RT9069 有一个特别的好处，就是当负载很小时稳压器自身的消耗几乎为 0，其静态电流仅仅只有 2μA。

### 三、使用开关型稳压器 RT6200 降低电压

为了获得较高的电压转换效率，某些情况下必须考虑使用开关型降压转换器。因为是为微型的 MCU 供电，负载电流很小，转换器的开关损耗在总的转换损耗中要比开关的导通损耗扮演更重要的角色，可它又是必然存在的东西，所以降低开关工作频率成为主要的选择，但由于要以突发模式工作的缘故，由此导致的较高输出电压纹波是必然的结果。

RT6200GE 是一款低电流、非同步 Buck 架构降压转换器，可以工作在 36V 电压下，其工作频率为 1.2MHz，使用 SOT-23-6 的小型封装，图 2 显示了它的内部电路框图和应用电路图。由于其较高的工作频率，使用相对较小的电感和输出电容成为可能，输出纹波也会比较小。

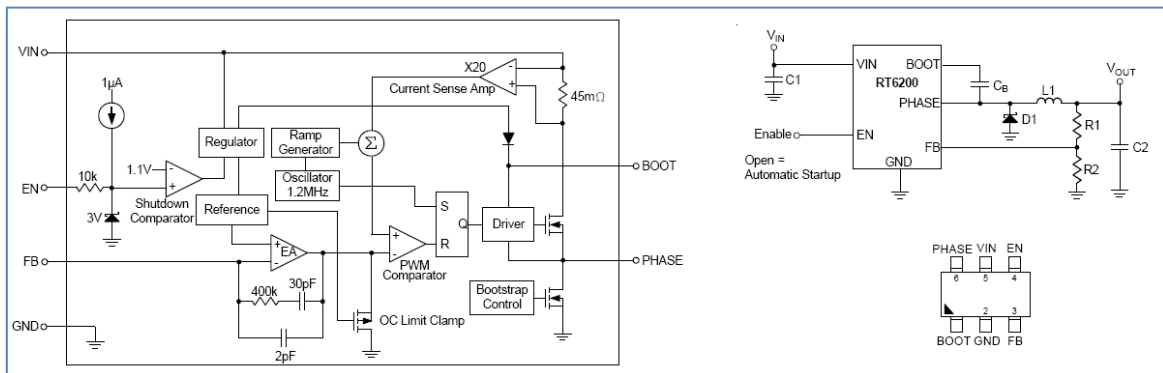


图 2

在轻负载操作时，RT6200GE 工作在电流不连续模式，其上桥 MOSFET 将根据需要偶尔跳过一些脉冲以保证输出电压处于稳定状态。IC 内部嵌入了一个下桥 MOSFET 用于适时地为自举电容充电。由于负载电流不大，外部肖特基二极管可以选用电流较小的型号，同样是因为电流不大，二极管的正向压降会比较小，而开关速度也会很快，这使得在整个输入电压和输出电压范围内都能取得很高的转换效率。

下面的图 3 显示了一个在 24V 输入电压下获得稳定的 3.3V 输出电压的完整电路图。

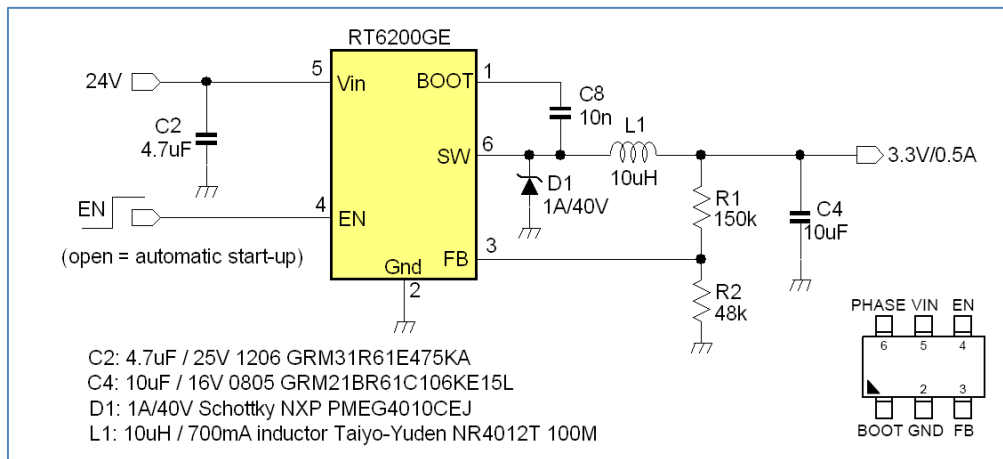


图 3

图中的元件参数是按照输出电流能力为 0.5A 所做的选择，在此条件下，转换器工作在 1.2MHz 的电流连续模式下。

Buck 电路中电感电流纹波的计算公式是：

$$\Delta I_L = \left[ \frac{V_{OUT}}{f \times L} \right] \times \left[ 1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right]$$

纹波大小一般被设定为最大电流的 0.4 倍，即  $0.4 \times I_{max}$ 。在此低负载电流的设计中，我们仍然建议将电流纹波保持在器件最大电流的 0.4 倍，一个 10 $\mu$ H 的电感将导致 238mA 的电流纹波，这意味着转换器将在负载电流低于 119mA 时进入电流不连续模式。在轻载状态下，即低于 75mA 的负载电流时，转换器将进入脉冲省略模式（Pulse Skipping Mode），但电流峰值仍然维持在 200mA 左右。

此设计中选用的电感是 4mm x 4mm x 1.2mm 的大小，饱和电流值是 700mA。如果负载电流总是低于 100mA，则可以选择使用体积更小的饱和电流参数为 350mA 左右的型号。

输出电容对输出纹波的表现有决定性的影响。10 $\mu$ F/16V、0805 封装的 MLCC 在 3.3V 电压下的有效容量大约为 7.7 $\mu$ F，在脉冲省略模式下，输出电压纹波将增加到 22mVpp。

RT6200GE 采用内部补偿电路，但因为其误差放大器基本上和普通运算放大器差不多，转换器的带宽可以通过调整反馈电路的电阻 R1 来进行调整。在使用 10μF 输出电容的情况下，针对典型应用的补偿电路增益(400kΩ/R1)通常被设定为 12dB，由此导致的带宽约为 70kHz。当使用较小的输出电容时，转换器带宽将会增加。为了保持最大的相位裕量，R1 的值就应该增大。为了让设计不至于对噪声太敏感，转换器的带宽不得不被轻微下调至 55kHz，而其相位裕量为 58°。

RT6200GE 的 EN 端是芯片的使能端，它是高电平有效的。当需要它自动启动时，将该端子悬空即可，内部电路确保它自动处于高电平状态。

负载电流为 10mA 和 20mA 情况下的输出电压纹波波形、开关电压波形和电感电流波形被显示在下面的图 4 中，转换器在两种情况下都工作在脉冲省略模式。内置的下桥 MOSFET 在每个固定的时钟周期中都会短时导通一下以便为自举电容充电，这是导致我们能在开关电压波形上看到额外的振荡脉冲的原因。

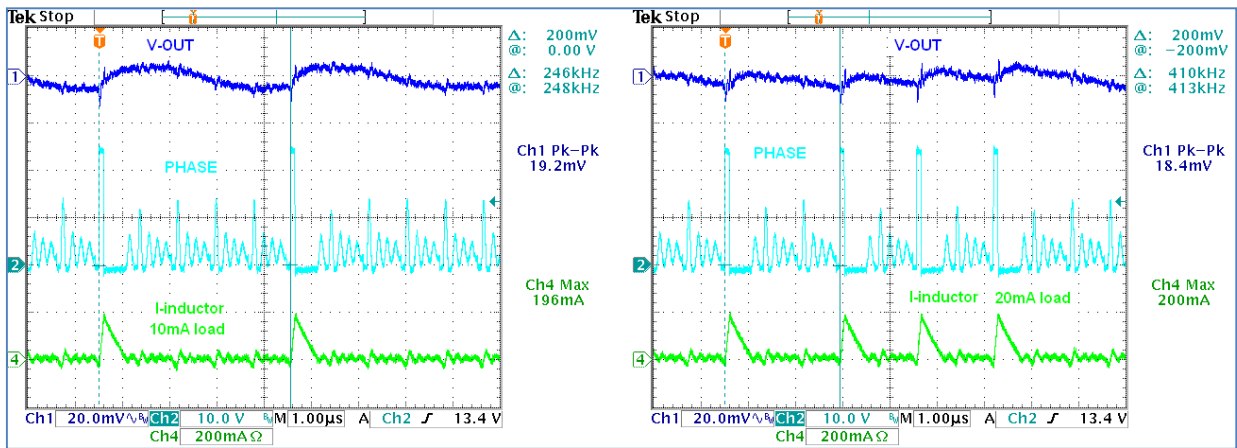


图 4

图 5 显示了这一应用的效率曲线，在 50mA 负载时，效率大约为 60%。

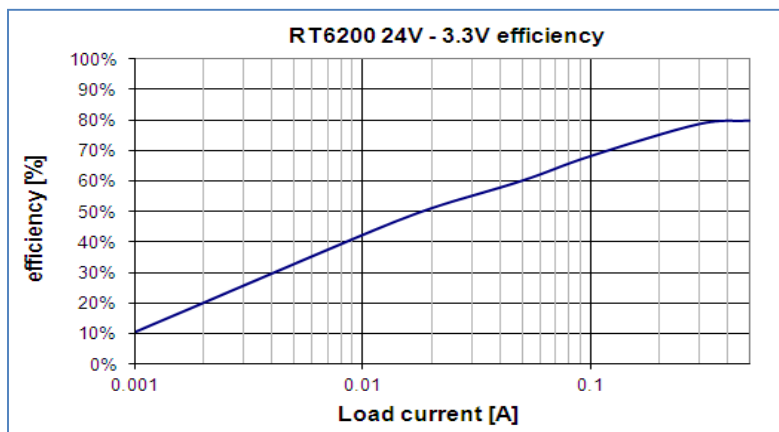


图 5

图 6 是整个设计的一个 PCB 设计示例。所有的功率元件被放置在左上角，IC 下面还有几个过孔将大电流引导至地线层。反馈引脚对噪声比较敏感，所以 R1/R2 被放置在靠近 IC 引脚的地方，为的是远离噪声信号。这个布局占用的面积是 9mm x 9mm。

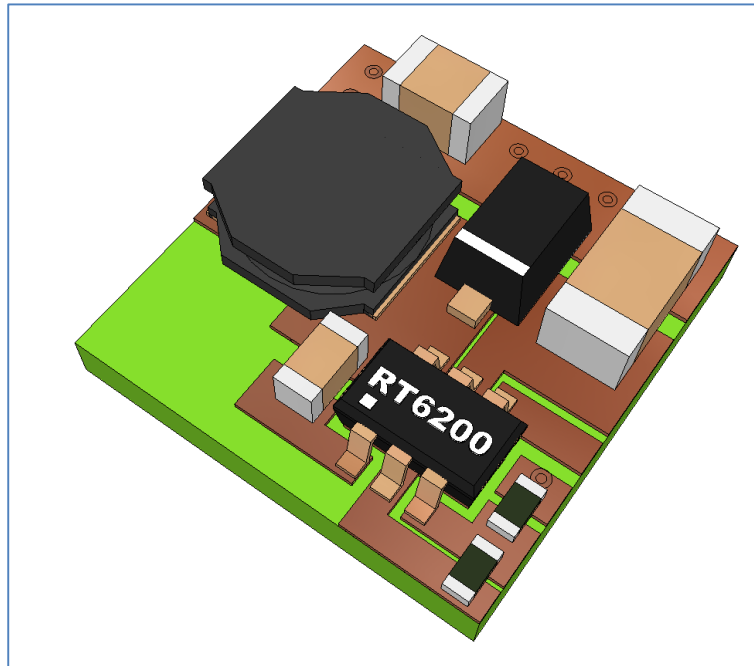


图 6

#### 四、36V 0.1A 高效 Buck 转换器

具有 RF 链接单元的 SoC 如 Zigbee、蓝牙低功耗模组的电流消耗通常在 5mA~50mA，它们常常被使用在照明应用之类的应用中，这些应用通常从较高的电压源获取工作电压，还需要确保其电能消耗是极低的，因而需要以尽可能高的效率进行电压转换，RT6208 即是针对这一类的应用开发的，它采用特别的边界导通模式结合低电流消耗的休眠模式工作以获取效率的最大化。

图 7 显示了 RT6208 的内部电路框图和基本的应用电路图。

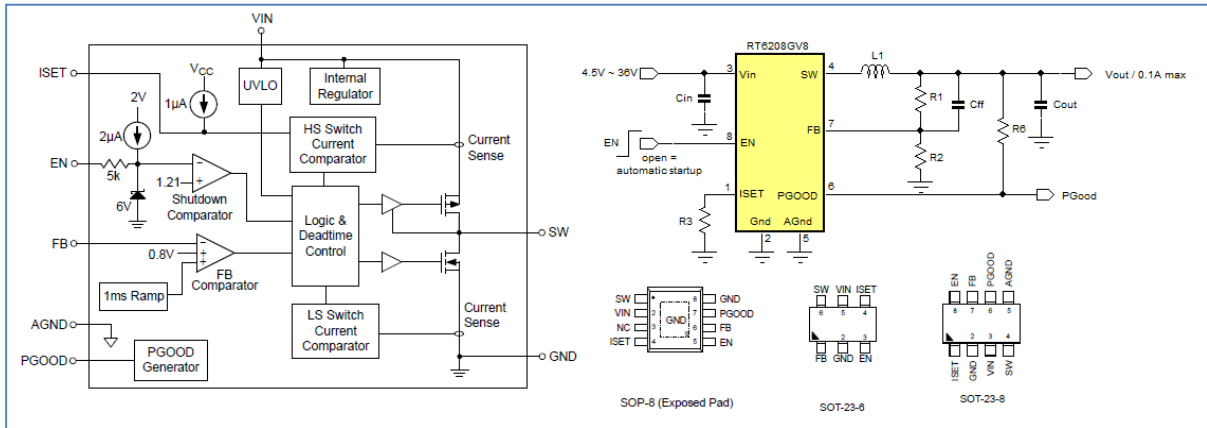


图 7

RT6208 的工作方式是这样的：首先通过 ISET 引脚的外部电阻对内部最大电流限制值进行设定，反馈比较器使用 800mV 的参考电压并具有 5mV 的滞回值。当出现在 FB 端的反馈信号电压比内部参考电压低 5mV 以上时，内部上桥 MOSFET 开关导通，使电感电流开始增加。当此电流增加到超过设定好的内部最大电流限制值时，上桥 MOSFET 开关关闭，下桥 MOSFET 开关导通，此后电感电流将逐渐下降到零。在此过程中，电感流出的电流将对输出电容进行充电并使其电压上升。此过程反复进行的结果将使 FB 端看到的反馈电压最终高于 800mV 参考电压，此后，上、下桥 MOSFET 开关将在电感电流降到零以后全部关闭，转换器进入低电流消耗的休眠状态。休眠状态下的输出电压仅依靠输出电容里的储能得以维持并因负载的消耗而逐渐下降，当出现在 FB 端的反馈电压低于参考电压 5mV 时，上桥 MOSFET 开关重新开启使输出端的能量得到补充，上述循环得以重复。如果输出电容较大、最大电流限制值较低，转换器每次进入如上所述的边界导通模式工作以使反馈信号超过参考电压所需要的时间就会长一些。这种操作模式的最大好处就是可将开关过程造成的损耗降到最低，因而可在负载很轻的情况下获得非常好的效率。

下面的图 8 显示了一个输出为 3.3V50mA 的电路，它可在低负载情况下获得高效率。

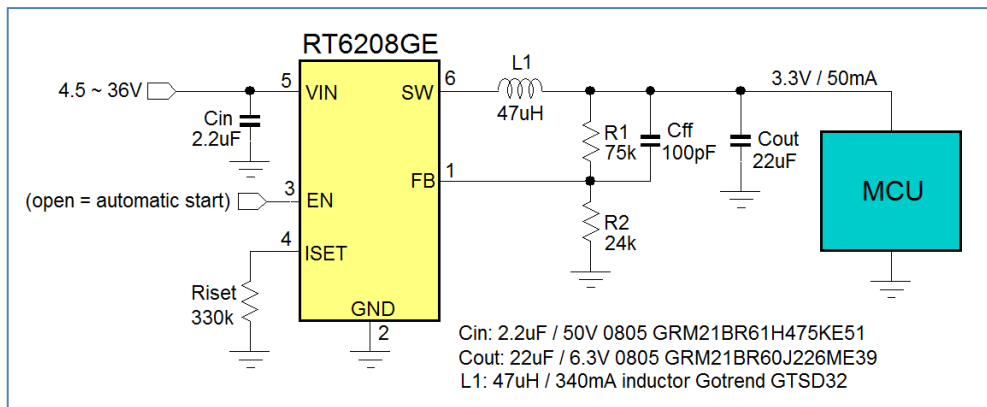


图 8

最大电流限制值的设定决定了 RT6208 应用电路的最大电流负载能力，此值的选择必须是最大负载电流的 2 倍以上。在此 50mA 最大负载的例子中，R<sub>ISET</sub> 可以根据最大电流限制值为 106mA 进行计算，其公式为：

$$R_{\text{ISET}} = (I_{\text{PEAK}} - 0.05) \times 5.88 \times 10^6$$

这个值确定了内部峰值电流检测比较器的参考值。在实际上，真实的峰值电流会比计算值更高，这是由于峰值电流检测比较器的延时引起的，该延迟时间大约为 100ns。由于这种延时而引起的电流峰值的变化量与电流增加的斜率  $di/dt$  有关，这是由  $V_{\text{in}}$ 、 $V_{\text{out}}$  和电感量  $L$  共同决定的，如果应用中的电压  $V_{\text{in}}$  较高、电感量较小，实际电流的峰值就会较大。

对于 RT6208 的 3.3V 和 5V 应用的电感推荐值通常在 47 $\mu\text{H}$ ~150 $\mu\text{H}$ ，较大的电感值可以降低  $di/dt$ ，可使峰值电流更接近设定值。较低的电感量可使电流峰值更大于设定值，但对整体的性能通常并不会有什么害处，只是需要选择饱和电流值较高一些的电感。在这种低功率的应用中，电感器的损耗在所有的损耗因素中占据很重要的位置，高品质的屏蔽电感通常比半开放磁路的电感损耗更小，因而对改善效率很有帮助。

RT6208 的滞回式工作方式是以输出纹波的增加为代价的，出现在 FB 端的 5mV 滞回值意味着输出端的纹波峰峰值至少为  $5\text{mV} * V_{\text{out}}/V_{\text{ref}}$ 。输出电容的容量对工作过程中的纹波也有影响，为了使此纹波的峰峰值小于输出电压的 1%，输出电容的容量必须满足下述条件：

$$C_{\text{OUT}} \geq 50 \times L \times \left( \frac{I_{\text{PEAK}}}{V_{\text{OUT}}} \right)^2$$

在上述 3.3V 应用案例中，电感量为 47 $\mu\text{H}$ ，106mA 的峰值电流设定在 24V 输入的条件下的得到的实际峰值电流大概为 200mA，据此计算出来的输出电容需要 8.6 $\mu\text{F}$ ，此时可选 Murata GRM21BR60J226ME39 22 $\mu\text{F}/6.3\text{V}$  0805 规格的电容，它在 3.3V 直流偏置的情况下容量约为 9 $\mu\text{F}$ 。为了改善滞回式转换器的工作稳定性，给高端反馈电阻的并联一个小电容作为前馈电容  $C_{\text{ff}}$  是有利的，在此例中，其值为 100pF。为了让 RT6208 自动启动，它的 EN 端可以保持浮空状态。

下图 9 显示了该电路在不同输入电压和负载电流分别为 5mA 和 50mA 情况下的输出电压纹波、开关节点电压和电感电流波形，从中可以看到电感峰值电流因比较器延时而在较高输入电压下变得更高。在 24V 输入下，一个电流脉冲所生成的输出纹波就可以超出反馈信号的滞回值，而在 12V 输入并且负载较重的情况下，只有两个连续的脉冲才可以导致同样的结果。



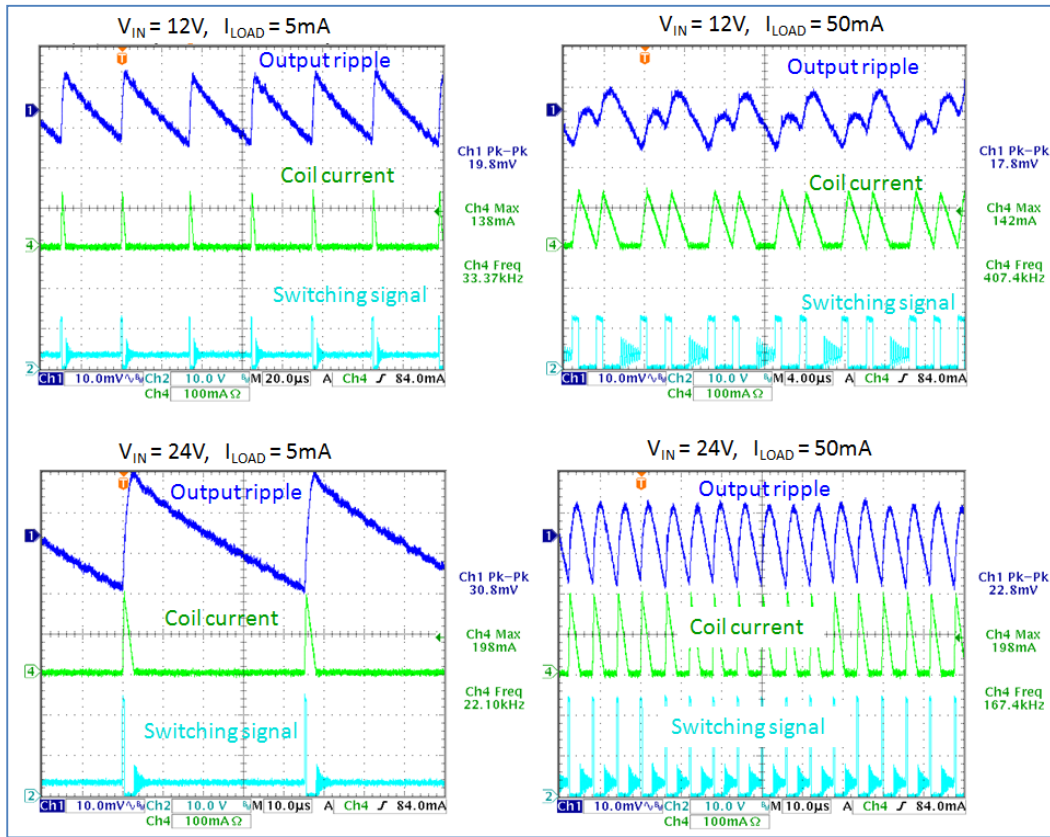


图 9

24V 转 3.3V/50mA 应用的效率曲线显示在图 10 中。在 5mA~50mA 的负载范围内，效率都高于 80%，这可帮助满足低功耗待机模式下的效率需求。

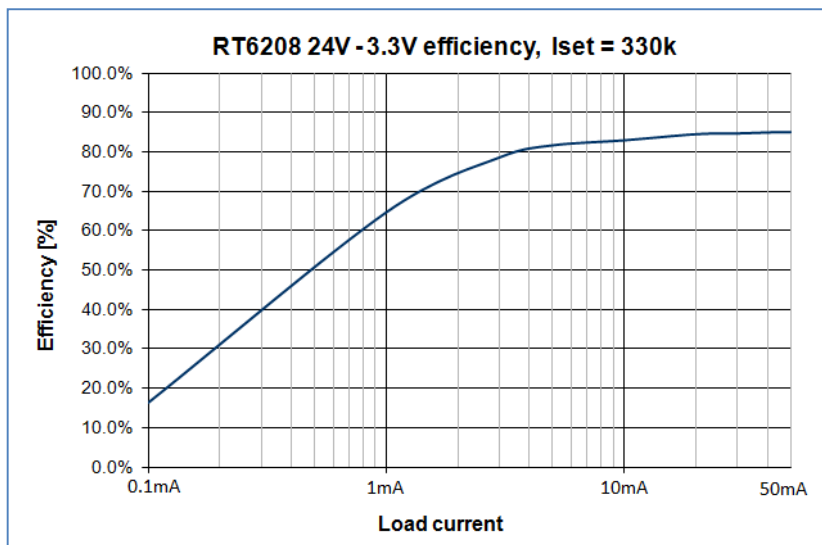


图 10

关于 PCB 布局的例子示范在图 11 中，其功率转换部分布置在左上角；有几个位于芯片底部的导通孔将 IC 的功率地和中间地线层连接起来以通过大电流；反馈端是对噪声敏感的，R1/R1 网络应该被放置在靠近芯片引脚的地方以避免噪声信号；ISET 电阻也像反馈电阻一样连接在小信号地上。整个布局的大小是 7.5mm x 8mm。

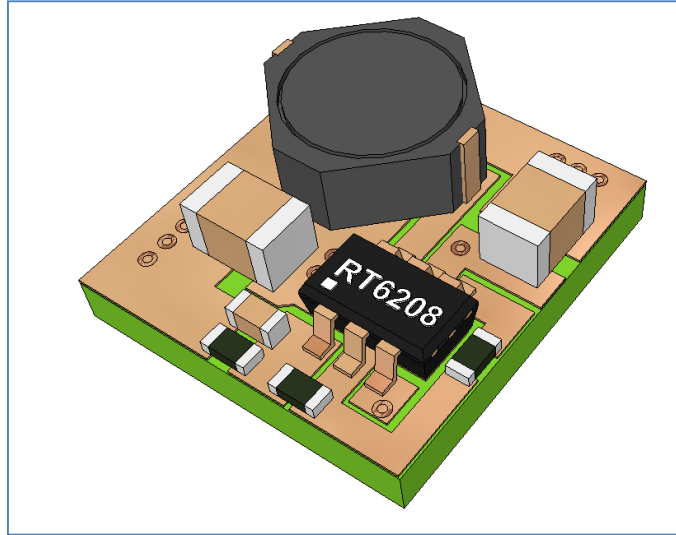







图 11

## 五、总结

在本文中，我们描述了两种在 24V 工业应用环境下为 MCU 供电的方法。像 RT9058、RT9069、RT9074 和 RT9068 这样的线性稳压器可以被使用在最大 38mA 负载的情况下，具体数值决定于不同的封装选择。为了取得更好的效率并获得更大的电流供应，可以考虑采用开关型稳压器，例如 RT6200 和 RT6208，RT6208 是尤其适合轻载、高效应用需求的产品。

## 相关产品

<a href="#">RT6200</a>	0.6A, 36V, 1.2MHz Step-Down Converter	 <a href="#">Datasheet</a>
<a href="#">RT6208</a>	High Efficiency, 36V 100mA Synchronous Step-Down Converter	 <a href="#">Datasheet</a>
<a href="#">RT9058</a>	36V, 2 $\mu$ A I <sub>Q</sub> , 100mA Low Dropout Voltage Linear Regulator	 <a href="#">Datasheet</a>
<a href="#">RT9068</a>	60V, 30 $\mu$ A I <sub>Q</sub> , Low Dropout Voltage Linear Regulator	 <a href="#">Datasheet</a>
<a href="#">RT9074</a>	60V, 30mA I <sub>Q</sub> , Low Dropout Voltage Linear Regulator	 <a href="#">Datasheet</a>

## 相关资源

立锜科技电子报	<a href="#">订阅立锜科技电子报</a>
档案下载	<a href="#">PDF 下载</a>

### Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1<sup>st</sup> Street, Chupei City

Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.