

降压转换器的选择标准

目录

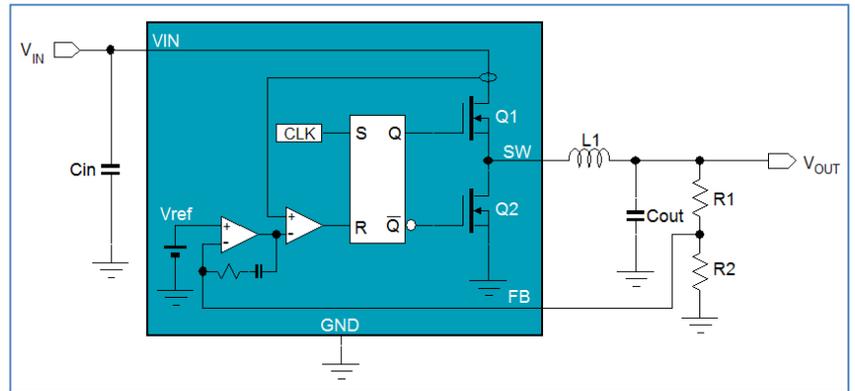
简介	2
降压转换器的基础知识.....	2
电压和电流额定值的选择	2
应用之输入电压.....	2
应用电流之消耗.....	3
轻载效率 (PSM 型或强制 PWM 型)	4
开关频率注意事项.....	5
降压转换器控制架构的选择标准.....	6
电流模式-恒定导通时间 (CMCOT) 控制.....	7
其他降压转换器的选择标准.....	9
外部软启动.....	9
外部补偿	9
可设定频率.....	9
外部同步输入	9
低压差模式或 100% 责任周期模式	9
电源良好 (Power Good) 之功能:	9
过电流保护:	9
选择 IC 封装的注意事项	10

简介

立锜具有非常广的降压型 DC / DC（降压）转换器产品的组合，但要为您的应用选择合适的降压转换器，则非常具有挑战性。本指南将帮助您区分不同类型的降压转换器，并将特别介绍在为应用选择最佳的组件时，所需考虑的主要参数。

降压转换器的基础知识

降压转换器是一种开关模式的降压型转换器，它能提供在高压降比 (V_{IN}/V_{OUT}) 和高负载电流下的高效率与高弹性。其基本电路如图一所示。大多数降压转换器的内部包含一个高侧 MOSFET 及由内部责任周期比之控制电路来切换的低侧同步整流 MOSFET，用以调节平均输出电压。其开关节点之波形由外部 LC 滤波器过滤；透过回授回路检测输出电压，并控制高侧 MOSFET 的责任周期，从而达到稳压功能。非同部组件无内部低侧 MOSFET，仅在外部分开关节点到地之间连接一个肖特基二极管。



图一、降压转换器之基本电路

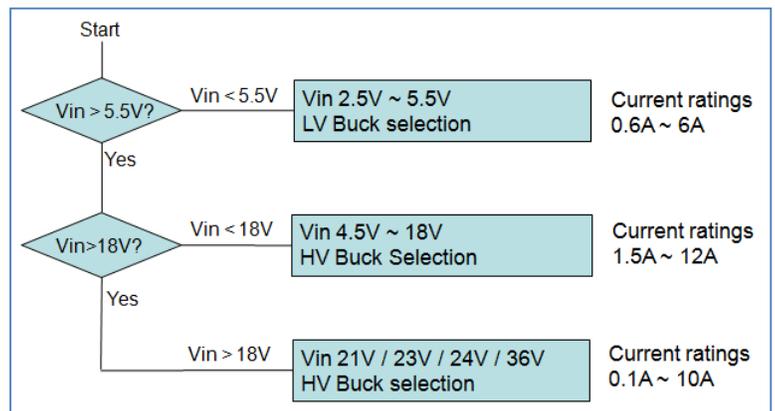
MOSFET 是在轮流切换的模式下，所以功耗很低；而藉由控制 MOSFET 的责任周期，可达到高压降比 (V_{IN}/V_{OUT})。内部 MOSFET 的导通电阻 ($R_{DS(ON)}$) 会决定降压转换器的负载能力，而 MOSFET 的额定电压则决定其最大输入电压。

电压和电流额定值的选择

应用之输入电压

在挑选合适的降压转换器时，首先要考虑的参数是输入电压范围。立锜的降压转换器主要可分为三类：

- LV 降压转换器：输入电压 (V_{IN}) 范围为 2.5V 至 5.5V。
- 18V HV 降压转换器：输入电压 (V_{IN}) 范围为 4.5V~18V。
- HV 降压转换器：输入电压 (V_{IN}) 范围为 4.5V 至 36V。

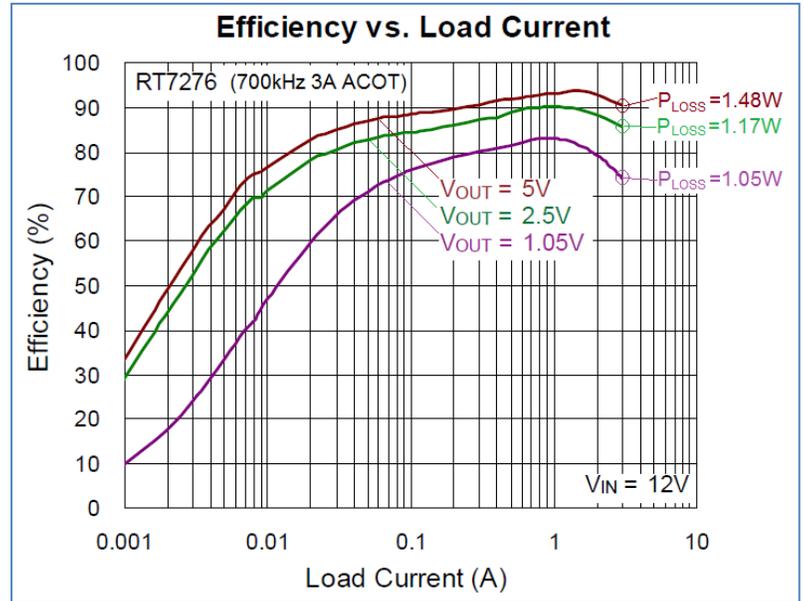


图二、立锜降压转换器挑选流程

许多 LV 降压转换器是适用于单节锂离子电池，但也可用于 5V 电源的应用中。18V HV 降压转换器常用于 12V 电源的应用中，但因其具有宽电压范围，所以也能用于 5V 电源的应用。21V / 23V / 24V 至 36V 的组件则有非常广泛的应用范围。若输入电压的容差范围较大、或需降压转换器来处理输入电压的波动的应用，通常会选用这些组件。36V 组件通常用于如 24V 直流之工业供电的应用，或电源有高突波，如 13.5V 车用电池，之汽车应用。

应用电流之消耗

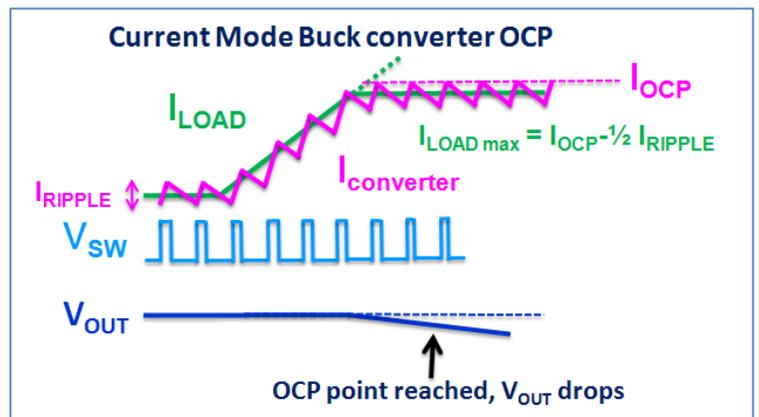
在考虑降压转换器的额定电流时，应用中所消耗的平均电流和最大电流都需要考虑。该应用的平均电流必须比转换器的额定电流低，如规格书中所提；二者之间的差异和转换器的功耗与该应用的散热条件有关。此平均电流会决定开关 MOSFET 的平均热能，其中包括了导通损耗与开关损耗。导通损耗也和内部 MOSFET 的导通电阻 (R_{DS(ON)}) 有关：即 I² * R_{DS(ON)}。若高侧和低侧的 R_{DS(ON)} 不一样，在考虑该应用的降压比时，也须同时考虑高侧和低侧 MOSFET 的功耗。开关损耗则与电流、输入电压、和开关频率有关。在一般标准应用中，开关损耗大约是总损耗的 30%；但在高输入电压或高频率的应用中，开关损耗则会大幅增加。



图三、不同输出电压下的效率曲线

该应用的总功率损耗可由规格书的效率曲线： $P_{Loss} = \frac{(1-\eta)}{\eta} (V_{out} \cdot I_{out})$ 算出；然而要注意的是，此功率损耗还包括约占总损耗 10%~20% 的电感损耗。IC 所允许的最大功耗取决于 IC 的封装、PCB 布局 and 该应用的最高环境温度。在布局时，将连接到 IC 接脚和封装的散热焊盘的铜线加宽，可因此增加所耗散的功率。

该应用的最大电流通常是和转换器的额定电流相同，如规格书所提，有时甚至略高一点。设计电路时，应确保最大负载电流不会触发转换器之过流保护 (OCP)。降压转换器会检测电感峰值电流 (或在一些 ACOT 组件的谷值电流)，规格书的 OCP 电流值即是指此电感峰值或谷值电流。负载电流和电感峰值或谷值电流之差是电感纹波电流的一半，故此纹波电流值也会影响最大应用负载电流和 OCP 电流值的关系。



图四、降压转换器的过流保护

轻载效率（PSM 型或强制 PWM 型）

对于用于低功率待机模式的电源，最好能尽量提高降压转换器在轻载时的效率。在全负载范围内，强制 PWM 型的降压转换器之开关频率均为固定；也就是，若在轻载时使用高开关频率，则绝大部分的损耗都是由开关损耗所引起。

具提升轻载效率的降压转换器会在轻载时降低开关频率；通常被称作脉冲省略模式（PSM**）。其操作原理如下：当负载减少时，电感电流之谷值会在特定点降到零，若是强制 PWM 型组件，其低侧 MOSFET 会持续导通，造成电感电流甚至变为负的。若是 PSM 型组件，其低侧 MOSFET 会被关断，使开关节点浮接，直等到下一次高侧 MOSFET 导通。高侧 MOSFET 的最小导通时间决定电感的峰值电流，而平均电流只能透过降低开关频率而降低，也就是藉由抑制内部频率，达到省略脉冲。PSM 模式的电压调节主要是透过比较输出电压纹波的波谷与内部参考电压来达成。PSM 模式可在轻载时，将转换器的开关频率降到非常低，如几 kHz，因此可减少开关损耗，进而大为提高轻载效率。

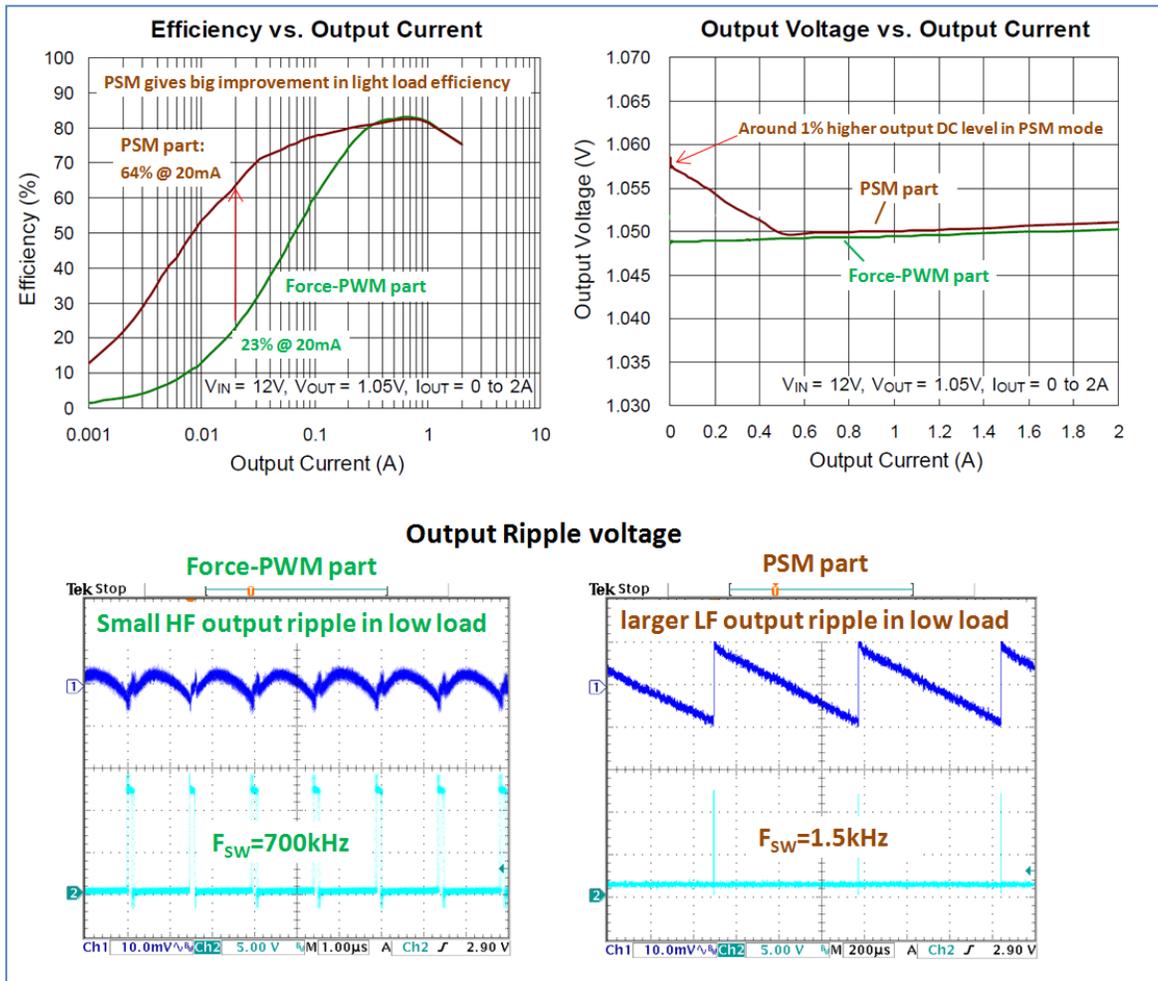
然而 PSM 模式也有一些缺点：

- 输出纹波电压是一低频三角波，很难滤波。若根据 PSM 调节的模式和其组件值，其输出纹波电压之幅度可能会比在 PWM 模式下高；对某些负载而言，可能无法承受。
- 当 PSM 模式转换器突然有一个步阶负载，就会迅速从 PSM 切换到 PWM 模式；和强制 PWM 型的转换器相比，这种切换会造成较大的输出电压下冲。
- PSM 模式的平均稳压通常比 PWM 模式略高（~1%）。
 - 由于开关频率可变，PSM 模式有时会造成是相邻敏感电路的干扰。

如果应用中无需提升轻载效率，最好是选择强制-PWM 型组件，因为它可在所有负载条件下提供较稳定的操作。

**在一些立锜文件中，强制 PWM 型被称作 PWM 模式、或连续操作模式等。*

***在一些立锜文件中，PSM 型被称作 PWM / PSM、DEM、或非连续操作模式等。*



图五、PSM 型的优点与缺点

开关频率注意事项

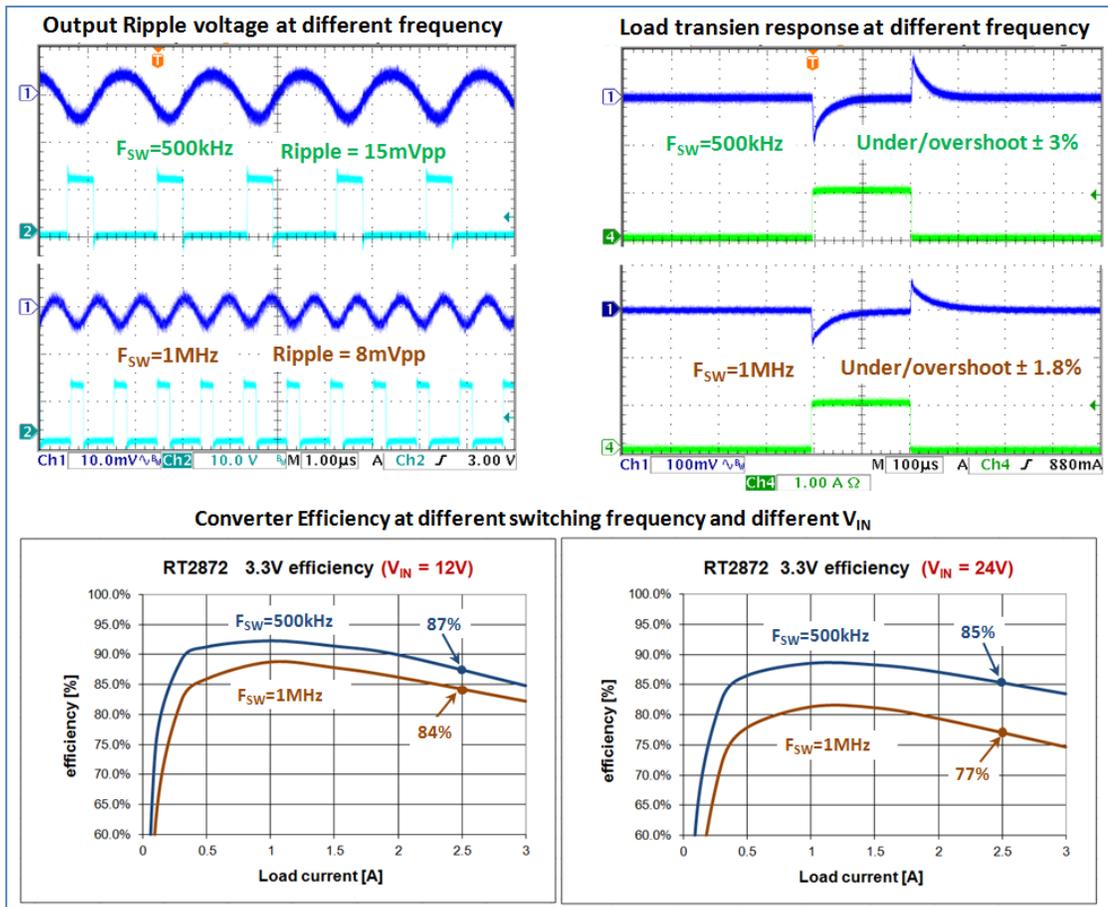
降压转换器的开关频率是很重要的参数。开关频率较高就能使用较小的电感和电容，且步阶负载的响应较好；然而，会增加开关损耗，且使 EMI 辐射的频率范围变大。开关频率较高也会限制可实现的最大降压比：最小责任周期受限于转换器的最小导通时间和开关频率：
$$= \frac{t_{ON}}{T_{PERIOD}} = t_{ON} \cdot F_{SW}$$
，所以 $\delta_{min} = t_{ON\ min} \cdot F_{SW}$

例如， $t_{ON\ min} = 100\text{nsec}$ ，1.2MHz 的转换器，其最小责任周期比为 12%，即无法从 12V 降压至 1.2V。一个 800kHz 的转换器，其最小责任周期为 8%，则可从 12V 降压至 1.2V。

非常高频的降压转换器 (> 1MHz 的) 通常用于输入电压非常低的应用，如 5V 或更低，因为输入电压低，开关损耗较低，且这类应用的最大降压比也较小。

对于大多数 12V 的应用，开关频率在 500kHz~800kHz 较适合，可同时兼顾开关损耗和组件尺寸。

在高电流与高输入电压 (> 18V) 的应用，开关频率最好低于 500kHz，以降低开关损耗，并仍有高降压比。

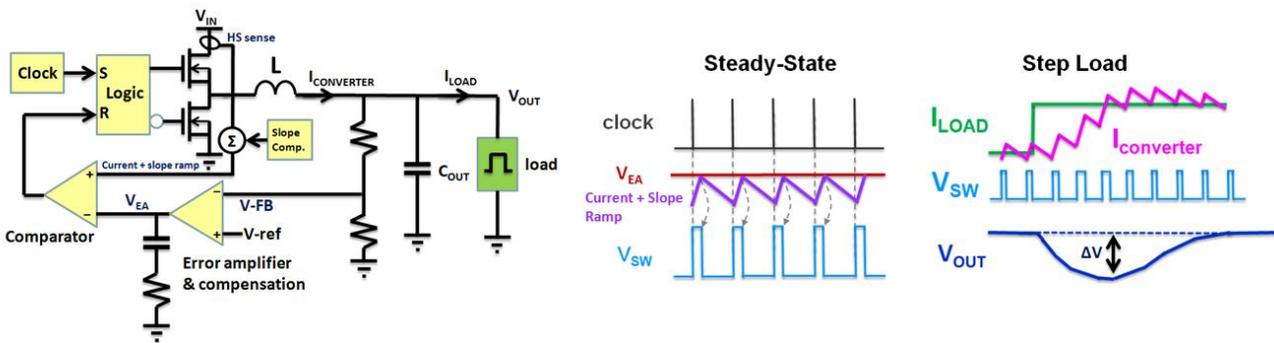


图六、降压转换器之开关频率对纹波、瞬态响应、与效率的影响

降压转换器控制架构的选择标准

立锜的 DC / DC 产品组合包含了广泛且不同控制架构的降压转换器，有电流模式（CM）、电流模式-恒定导通时间（CMCOT）、和立锜专有之先进恒定导通时间（ACOT）控制架构等。每种架构都有其优点和缺点，因此在为应用实际挑选降压转换器时，最好能先了解每种架构的特点。

电流模式控制



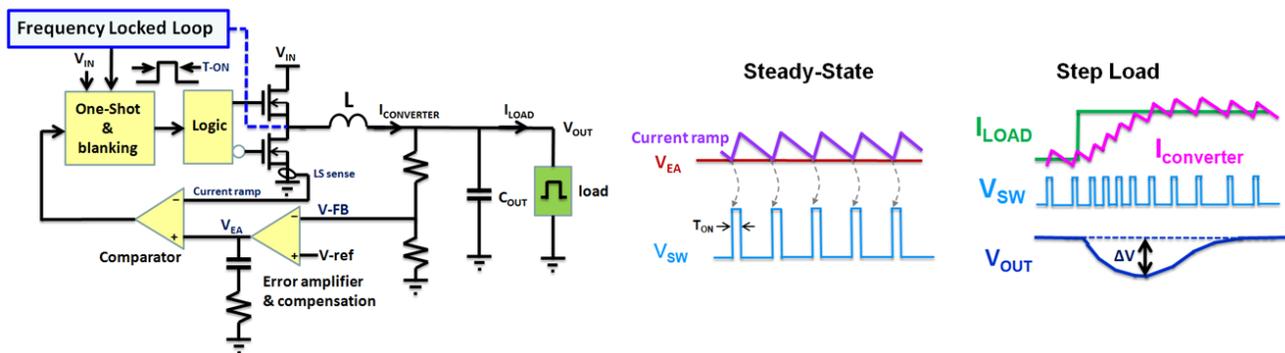
图七

电流模式转换器有内部频率产生器、误差放大器和电流检测。误差信号与检测到的峰值电流作比较，以控制高侧 MOSFET 的导通时间。一个新开关周期的开始是由频率信号决定，所以该系统须在恒定的开关频率下操作。控制回路的带宽通常约为开关频率的 1/10。

电流模式降压转换器	
优点： <ul style="list-style-type: none"> 稳定的固定频率 可与外部频率同步 技术成熟 可与 MLCC 稳定搭配 	缺点： <ul style="list-style-type: none"> 快速负载步阶的响应较慢 需误差放大器补偿 需斜率补偿

如果应用中的负载电流相当稳定，就可使用电流模式降压转换器。如果系统在某些频率易受噪声影响，最好采用电流模式降压转换器，因能与外部频率信号同步，精确设置开关频率。在 LV 输入范围中，有许多电流模式降压转换器可支持 100% 责任周期的模式，使得 V_{IN} 可以非常接近、或等于 V_{OUT} 。

电流模式-恒定导通时间 (CMCOT) 控制



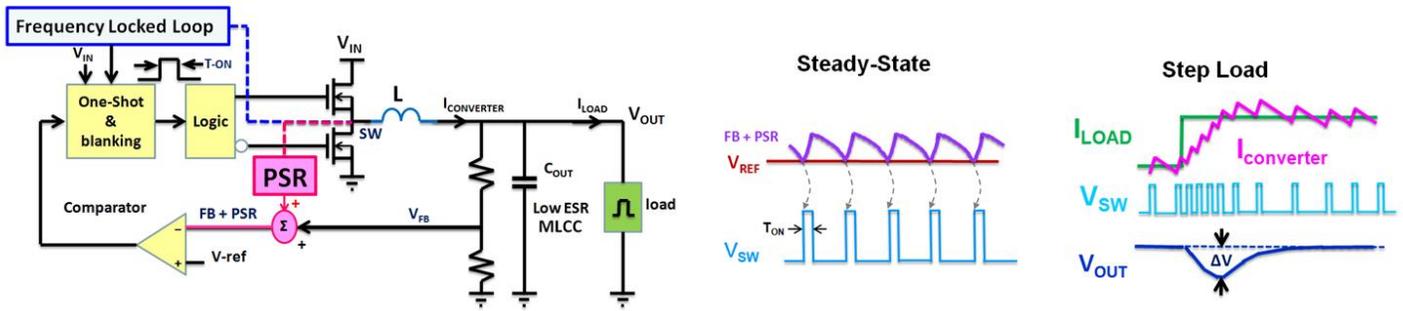
图八

CMCOT 降压转换器没有内部频率，高侧 MOSFET 总是导通一预定的固定导通 (ON) 时间，而调节责任周期则是藉由改变高侧 MOSFET 的关断 (OFF) 时间。CMCOT 转换器也有电流检测及误差放大器，只是现在是比较电流的下降斜率和误差放大器的输出。由于系统不需要等待下一个频率来到，所以能迅速地反应步阶负载。一旦输出电压下降时，误差放大器之输出电压就上升，直到电流的下降斜率，然后启动新的导通 (ON) 时间，使转换器之电流再次上升。

立锜之电流模式-恒定导通时间 (CMCOT) 降压转换器	
优点： <ul style="list-style-type: none"> 快速响应负载步阶 低侧电流检测 最低导通时间小，责任周期可较低。 恒定平均开关频率 可与 MLCC 稳定搭配 无需斜率补偿 	缺点： <ul style="list-style-type: none"> 需误差放大器补偿 无法与外部频率同步 负载瞬态变化时，开关频率会偏移。

如果应用中之负载具有适中的瞬态变化，就可以选择 CMCOT 架构的降压转换器，减少负载瞬变期间的输出电压波动。和电流模式降压转换器相比，CMCOT 转换器可改善 20~30% 负载瞬态的表现，且在低责任周期之应用中，对噪声也较不敏感。由于最低导通时间小，CMCOT 降压器可用于较大降压比的应用中，而其开关频率在负载瞬变时会发生偏移。

先进恒定导通时间控制 (ACOT™)



图九

ACOT™ 降压转换器没有误差放大器及电流检测，而是直接将回授信号（DC 电压值 + 纹波电压）与内部参考电压作比较。当回授信号低于参考电压时，会启动一个新的固定导通 (ON) 时间，电感电流也因此而上升。若输出电压尚未恢复，在一个很短的遮没周期 (blanking period) 之后，即会启动另一导通 (ON) 时间，直到电感电流上升至负载电流，且输出电压也恢复至预定值。为了使转换器能稳定搭配低 ESR 的陶瓷输出电容，内部脉冲整形调节器 (PSR) 会产生一斜坡信号，并加到转换器的输出纹波和 DC 电压；相加后，再与内部参考电压进行比较。当此相加电压低于参考电压时，比较器则会启动导通时间产生器 (ON Time Generator)。

输出电压突然下降会立即启动新的导通 (ON) 时间，且只要输出电压尚未恢复，此转换器可连续地启动导通 (ON) 时间，因此 ACOT 架构能极快速地反应负载的瞬态变化。内建特殊的锁频回路系统会慢慢调整导通时间，以调节平均开关频率至预定频率。

立锜之先进恒定导通时间 (ACOT™) 降压转换器	
<p>优点：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 极快速反应负载步阶的变化 ● 无需电流检测 ● 最低导通时间小，责任周期可较低。 ● 恒定的平均开关频率 ● 可与 MLCC 稳定搭配 ● 无需斜率补偿 	<p>缺点：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 无法与外部频率同步 ● 动态负载造成很大的开关频率 (F_{sw}) 偏移

如果应用中之负载具有极快速的瞬态变化（如负载为 CORE 和 DDR 所看到的情形），最好是选择 ACOT 降压转换器，其负载瞬变的响应可改善 2 至 4 倍，且可使用小输出电容。ACOT 转换器特别适用于低责任周期的应用。由于它最小导通时间非常小，有高频开关频率之 ACOT 降压转换器仍可适用于需较高降压比的应用之中。在负载瞬态变化时，ACOT 转换器的开关频率也会产生很大的偏移。ACOT 本身无回路补偿和斜率补偿，加上极快速的回路响应，使得 ACOT 的电路设计简单、有弹性、且非常具成本效益。

其他降压转换器的选择标准

外部软启动

立锜所有的降压转换器都具有软启动功能。在转换器启用后，责任周期会逐渐增加，使输出电压平稳上升，这样可避免因突然对输出电容充电而产生的浪涌电流。有内部软启动的转换器会有一固定的软启动时间。如果应用中需使用非常大的输出电容或需要特定的软启动时间，则最好选择由外部控制软启动的转换器，其软启动时间可由外部电容来设定。

外部补偿

电流模式转换器的误差放大器需要补偿，以确保电路的稳定。II 型补偿组件决定转换器的带宽及相位。可外部补偿的转换器，即使在不同类型的输出电容、较宽的输入和输出电压范围的条件下，在要设定所需的带宽和相位边限时，都较有弹性。

可设定频率

有些转换器有设定频率的功能：即开关频率可藉由外部电阻来设定，提供选择最佳开关频率的弹性。选择高频率可降低纹波、组件尺寸，也有较好的瞬态表现。选择低频率则可提高效率，或降低高阶的谐波。

外部同步输入

有些电流模式转换器具有外部同步输入，使内部频率可与外部频率信号同步，如此可精确设定开关频率（在较敏感频段，可避免噪声），也可同时使多个转换器操作于相同频率。

低压差模式或 100% 责任周期模式

许多 LV 系列之电流模式降压转换器具有低压差模式之功能：当输入电压下降时，这些降压转换器会慢慢增加责任周期，而当输入电压低于调节的输出电压时，也会继续导通高侧 MOSFET。这种功能特别适合于电池供电的应用；当电池电力几乎耗尽时，能延长电池使用时间。

电源良好 (Power Good) 之功能：

电源良好 (Power Good) 之功能是监控降压转换器的输出信号，并告知系统输出电压在特定的工作范围。电源良好(Power Good)，可用于系统初始化、故障保护、或启动程序。

过电流保护：

立锜所有的降压转换器都有过电流保护 (OCP)。当电感电流超过 OCP 值时，转换器的责任周期会被限制住。若负载继续增加，将导致输出电压下降。然而，在过载发生时，系统会有几种不同的处理方式：

- **闭锁模式 OCP**：当过载发生、输出电压低于欠压保护 (UVP) 值时，系统会关闭并锁住。该转换器需要被重新启用或输入新电压以重新启动。这种方式可确保过载之后零功耗，但无法自动重启。
- **打嗝模式 OCP**：当过载发生、输出电压低于欠压保护 (UVP) 值时，系统会关闭，并以软启动重新启动。过载持续发生就会看见关闭 / 重启的周期持续发生，也称为打嗝模式。打嗝模式的优点是低平均过载电流，且过载情况消失后，可自动重启。
- **无欠压保护 (UVP)**：当过载发生时，输出电压降低，但没有欠压保护 (UVP)。在过载期间，系统持续以 OCP 电流操作。当过载情况消失后，输出电压即立即恢复。但持续以 OCP 电流操作，在长期过载的情况下，会造成温度增加。

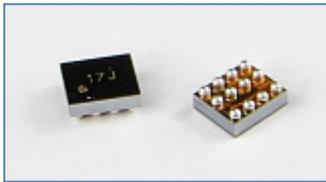
选择 IC 封装的注意事项

立锴的降压转换器采用许多类型的封装：从微小型的 CSP1.3x2.1mm、具成本效益的 TSOT23-6、到较大尺寸的散热增强型，TSSOP-14。

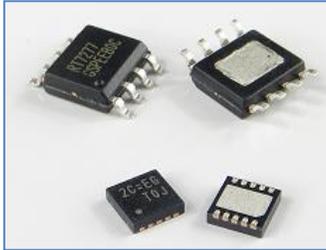


图十：立锴的降压转换器所用的各种 IC 封装

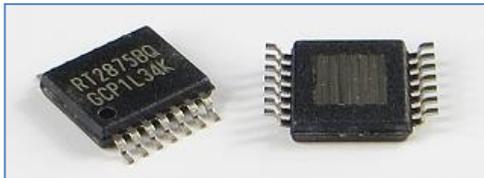
有多种因素会决定何种 IC 封装最适合您的应用：



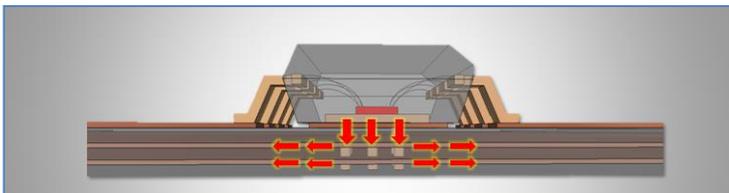
在某些应用中，IC 之高度和 PCB 空间都有严格限制（如手机和平板计算机，或其他小型便携设备），所以最好的就是 CSP 封装。这种封装必须配合使用多层 PCB 布局，且它们需要较精确的放置与焊接。



SOP-8（散热焊盘），DFN2x2 和 DFN3x3 封装常用于降压转换器：其接脚数有 6 ~ 12 支接脚，方便增加额外功能，而也因有裸露的散热焊盘，他们能提供良好的散热性能，且成本较低，所以常被各种应用所采用。可用单层 PCB 布局；但若要有较好的散热性能和电气性能，则建议使用多层 PCB 布局。



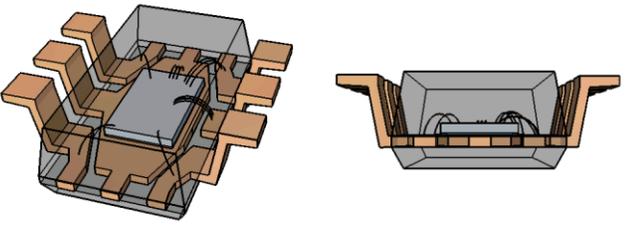
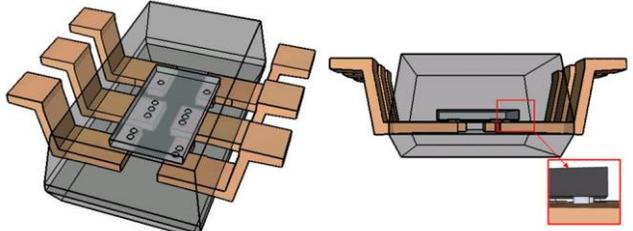
像 TSSOP-14 或 WDFN-14L4x3 等大型封装会有较大的散热焊盘，所以可以耗散较多的功率。在 PCB 上，需要将散热焊盘连接到较宽的铜线，并使用通孔连于内层，以提高 PCB 的降温性能。

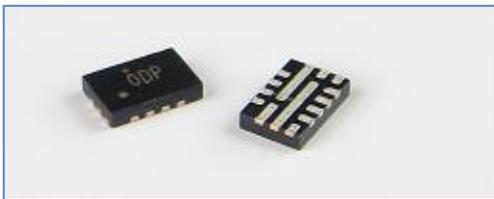


成本最低的封装中，TSOT23-6 和 SOT23-8 都是很好的选择。6 脚的封装对基本降压转换器而言是够用的，而 8 脚的封装则可提供如软启动或 PGOOD 等额外的功能。这些封装没有散热焊盘，所以大部分 IC 的散热就是透过封装接脚而到 PCB 的铜线。

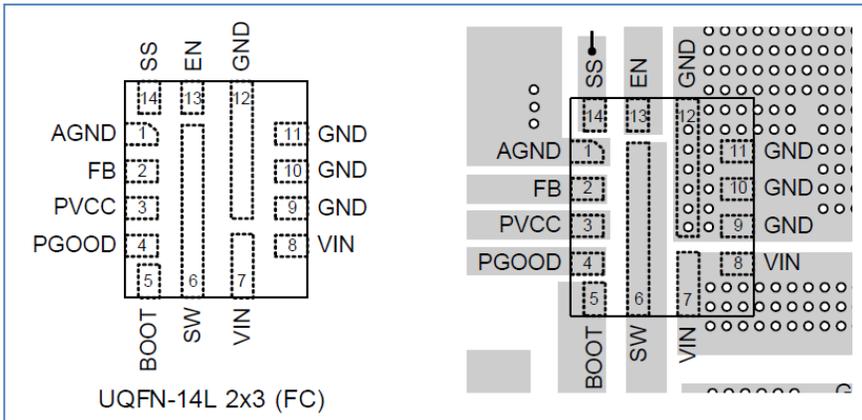
硅晶粒有两种不同组装的方式：传统的焊线式 (wire-bonding) 和覆晶式 (flip-chip)。和传统的焊线式封装相比，覆晶式 SOT-23-6 封装的主要优点是它的电气性能和散热性能都较好。

综览 TSOT-23-6 封装采用传统焊线式与覆晶式组装之比较：

焊线式	覆晶式
	
<p>硅晶粒粘合到中间的接地引线；晶粒的其他电气连接是经由焊线连至导线架的接脚，其中焊线 (bonding wire) 通常是 25-38um 金或铜导线。</p>	<p>硅晶粒的正面透过焊柱直接贴附着于导线架，因此直接由硅晶粒传导热能与电至导线架。</p>
电气性能差异：	
<p>这些细焊线会在重要的电路节点上增加电阻、电感和杂散电容，因而降低高频开关转换器的性能。</p>	<p>焊柱的联机长度非常短，电阻、电感和杂散电容都显著地降低，所以 I^2R 和开关造成的损耗都因此而降低，同时也减少废热。</p>
散热性能差异：	
<p>这些细焊线是很差的热导体，所以无法将大多数产生的热能从接脚传递出去。主要的热传导是从晶粒的背面通过粘合剂到中间的接地接脚，因此在中间接脚上会产生热点。</p>	<p>所有的接脚都如同小散热片，可有效降温，因此有更多的热能从封装传递到 PCB，使晶粒温度降低。</p>



为避免焊线的额外电阻，高输出电流 ($\geq 6A$) 的降压转换器也常使用覆晶式技术。这些组件会使用有特殊导线架的 UQFN 封装，达到与硅晶粒优化的连接，因而降低总导通电阻 ($R_{DS(ON)}$)。要使封装降温达到优化，在 PCB 布局上要加宽连接到 IC 接脚的铜线，并且用散热通孔连于内层板，以增加 PCB 的散热效果。



立锜规格书中，组件号码的最末端标示为“F”的，即为覆晶式封装。

相关资源

立锜科技电子报

[订阅立锜科技电子报](#)

Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1st 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.