
降压转换器架构之比较

摘要

此报告将比较三种直流降压变换器之架构，包括电流模式、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) 架构。将详细解说此三种架构之间的差异，并将列出每一种架构在实际应用中之优缺点。

目录

1. 简介	2
2. 电流模式降压转换器	2
3. 立锜之电流模式 - COT (CMCOT) 降压转换器	4
4. 立锜之 ADVANCED-COT (ACOT™) 降压转换器	5
5. 测量结果比较	7
6. 总结	10

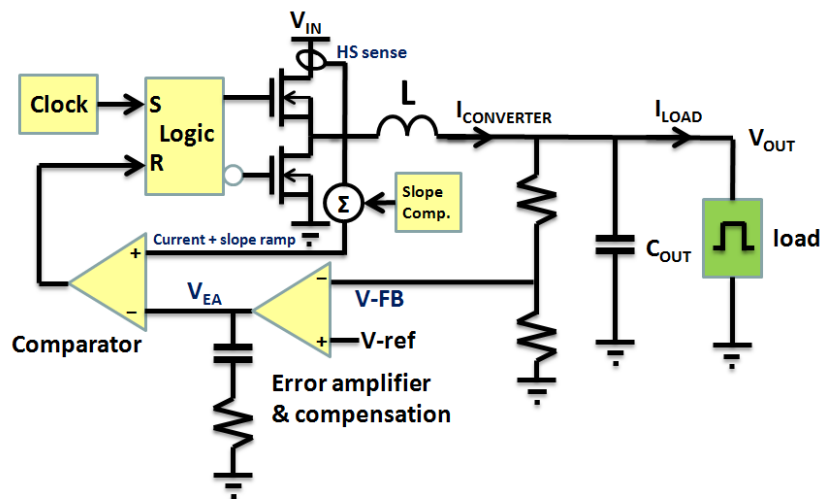
1. 简介

降压转换器被广泛应用于各种消费性和工业上的应用之中，其中常需转换器将较高的输入电压转换成一较低的输出电压。现有的降压转换器效率非常好，并能在变化范围很大的输入电压和输出负载的条件下，仍产生调节良好的输出电压。降压转换器有很多不同的回路控制方式：在过去，被广泛使用的是电压模式和电流模式，然而近来恒定导通时间（COT）架构也常被使用，而有些降压转换器则是同时由电流模式和恒定导通时间来控制的。

立锜的 DC-DC 产品组合包含了多种降压转换器，包括电流模式（CM），电流模式-恒定导通时间（CMCOT）和先进恒定导通时间（ACOT™）等架构。每种架构都有其优点和缺点，因此在实际应用中要选择降压转换器时，最好能先了解每种架构的特点。

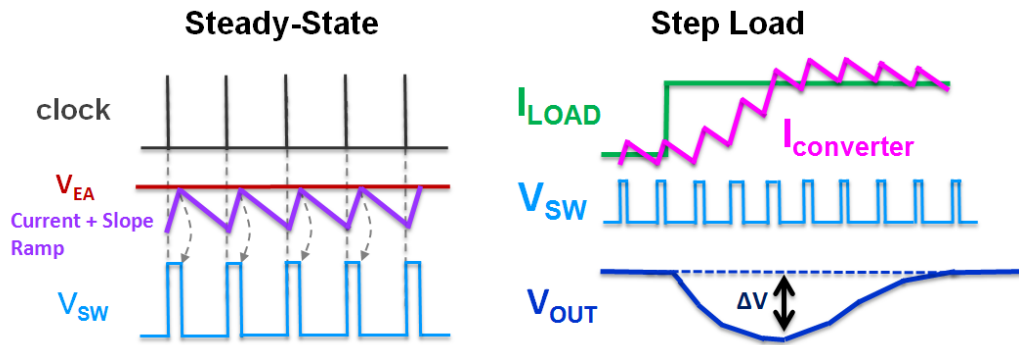
2. 电流模式降压转换器

电流模式降压转换器之内部功能框图显示于图一。



图一、电流模式转换器之内部功能框图

在典型的电流模式控制中，会有一个恒定频率来启动高侧 MOSFET，并有一误差放大器将反馈信号与参考电压作比较。然后，电感电流的上升斜率再与误差放大器的输出作比较；当电感电流超过误差放大器的输出电压时，高侧 MOSFET 即被关断 (OFF)，而电感电流则流经低侧 MOSFET，直等到下一个时钟来到。电流斜坡再加上斜率补偿之斜坡是要避免在高占空比时的次谐波振荡，并提高抗噪声性能。电流模式转换器之回路带宽 (F_{BW}) 是由误差放大器输出端的补偿元件来设定，通常设在远低于转换器的开关频率。电流模式转换器之稳态和负载瞬态变化操作之波形显示于图二。



图二、电流模式转换器之稳态与负载瞬态的波形

恒定频率使得电流模式控制的系统对于负载的突然变化，反应会相当慢，尤其是在低占空比的应用之中。这是因为一旦高侧 MOSFET 被关断 (OFF)，它就会一直保持关断，直等到下一个频率来到。当转换器试图满足新的负载需求时，带宽的大小也限制了可达到的最大占空比。在负载呈现快速步阶变化的应用中，电流模式转换器则会产生较大的输出电压波动。在步阶负载时，电压骤降值 ΔV 是和负载步阶的幅度和速率、输出电容和转换器的带宽有关。为确保电流模式转换器有良好的稳定性，回路带宽通常设在开关频率的 1/10 或甚至更低。

电流模式转换器的另一个缺点是，控制高侧 MOSFET 关断的决定点是在高侧 MOSFET 导通的时候 (ON)，即在电流与系统的噪声都较高的时候。因此有必要要过滤噪声，并且也对高侧 MOSFET 的最小导通时间造成一些限制。如此反过来又限制了降压转换器的最小占空比范围。恒定斜率补偿通常也会在某些特定的输入和输出电压条件下，限制电感值的大小。

电流模式转换器尚具有的优点：内部频率使开关频率得以在各种输入和输出条件下，都保持非常稳定；这在某一些应用中是非常重要的。此内部频率也可以与外部频率信号同步，所以在相同的频率下，可运作数个转换器。

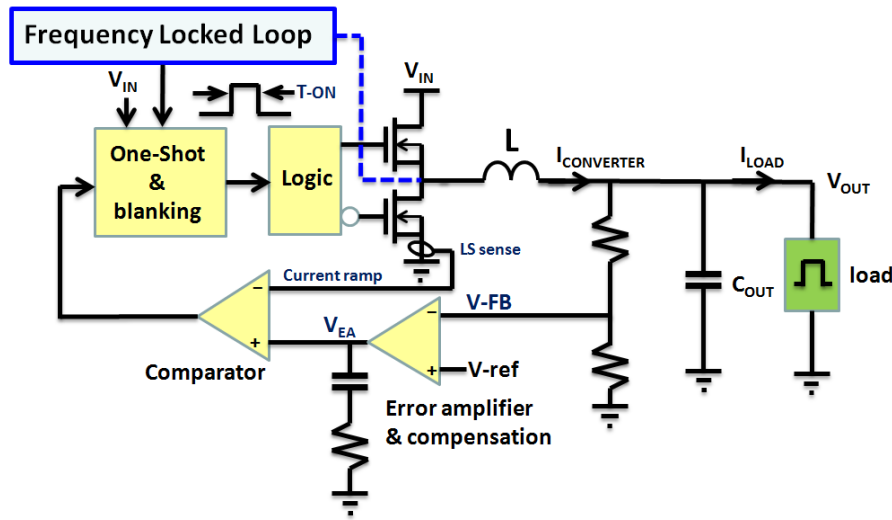
表一列出了电流模式降压转换器的优点和缺点。

表一

电流模式降压转换器	
优点	缺点
<ul style="list-style-type: none"> 稳定的恒定频率 可与外部频率同步 成熟的技术 可使用 MLCC，并保持稳定 	<ul style="list-style-type: none"> 对快速负载步阶的反应较慢 需误差放大器补偿 需斜率补偿

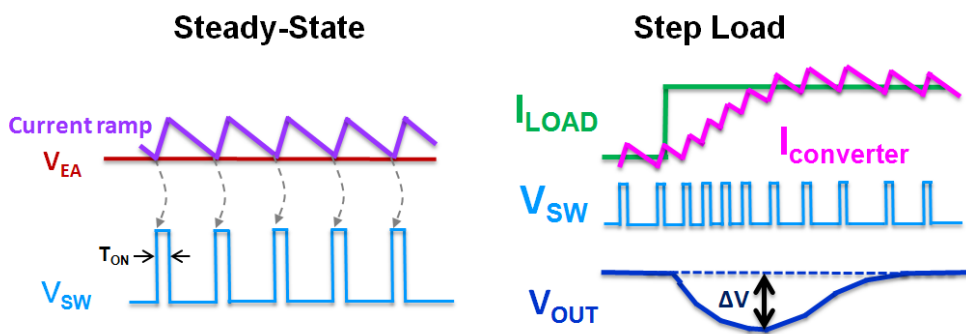
3. 立锲之电流模式 - COT (CMCOT) 降压转换器

立锲之电流模式-COT 降压转换器之内部功能框图显示于图三。



图三、电流模式-恒定导通时间转换器之内部功能框图

CMCOT 降压转换器并没有内部频率，高侧 MOSFET 会恒定导通一段预定导通 (ON) 时间。占空比是借着改变高侧 MOSFET 的关断 (OFF) 时间而调整的。CMCOT 转换器也包含了电流检测及误差放大器。然而现在则是用电流的下降斜率和误差放大器的输出作比较，所以电流检测是藉由低侧 MOSFET。这比较容易实现，而且也较不易受噪声影响，特别是在低占空比的情况之下，因为系统不需要等待下一个频率来到，所以能较快速地反应突然的步阶负载。一旦输出凹陷/下沉，误差放大器之输出电压会上升，且上升至电流的下降斜率时，一个新的导通 (ON) 时间周期就会启动，使转换器之电流再次上升。CMCOT 转换器之稳态和负载瞬态变化操作之波形显示于图四。



图四、电流模式 - COT 转换器之稳态与负载瞬态的波形

电流的谷值是随着误差放大器的输出而定的，因此误差放大器的增益和速率会影响转换器之反应速率。在 CMCOT 架构中，由补偿元件所设定的最大带宽是和导通 (ON) 时间的倒数有关的，并不像电流模式是和开关频率有关。因此 CMCOT 转换器的带宽会比电流模式转换器的带宽高，而且在快速的负载步阶时，输出电压的波动也较小。CMCOT 在高占空比时，不会有次谐波振荡的问题，因此就不需要斜率补偿，而这就使得可选择的电感值范围更大。

在仅有恒定导通时间控制之架构中，不同输入和输出电压条件下，开关频率的变化范围可能会很大。然而，立锜 CMCOT 转换器的导通 (ON) 时间是由一个特殊的电路来控制的，它会慢慢地调整导通时间，以调节平均的开关频率，使其达到所默认的频率。和电流模式类似的是，在有步阶负载时，电压骤降值 ΔV 是和负载步阶的幅度和速率、输出电容和转换器的带宽有关；而所不同的是地方则是，在 CMCOT 中，由补偿元件所设定的最大带宽可高于开关频率的 1/10。

CMCOT 也有一些缺点：由于转换器是藉由改变频率来调节输出电压，所以转换器无法和外部频率同步。频率控制回路的波形也显示开关频率的改变是和负载的瞬态变化有关。

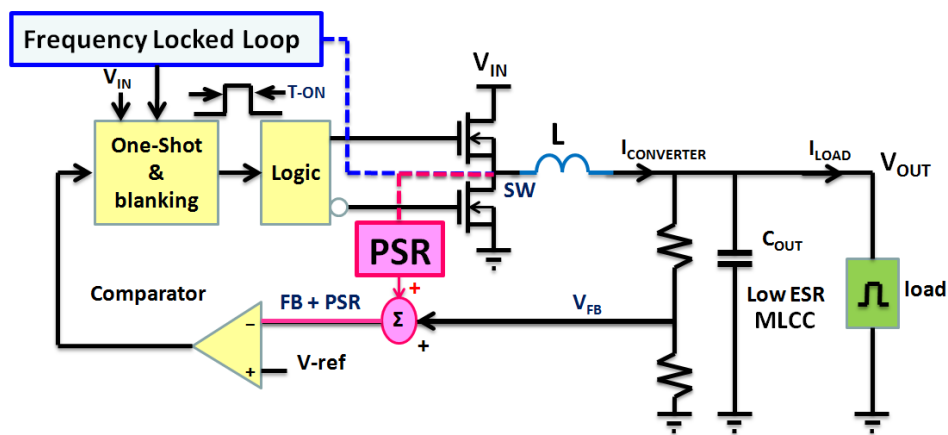
表二列出了 CMCOT 降压转换器的优点和缺点。

表二

立锜之电流模式-COT (CMCOT) 降压转换器	
优点	缺点
<ul style="list-style-type: none"> 快速反应负载步阶的变化 低侧电流检测 最低导通时间小，占空比可较低 恒定的平均开关频率 可使用 MLCC，并保持稳定 无需斜率补偿 	<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，频率变化范围较大

4. 立锜之 ADVANCED-COT (ACOT™) 降压转换器

立锜之 Advanced-COT (ACOT™) 降压转换器之内部功能框图显示于图五。



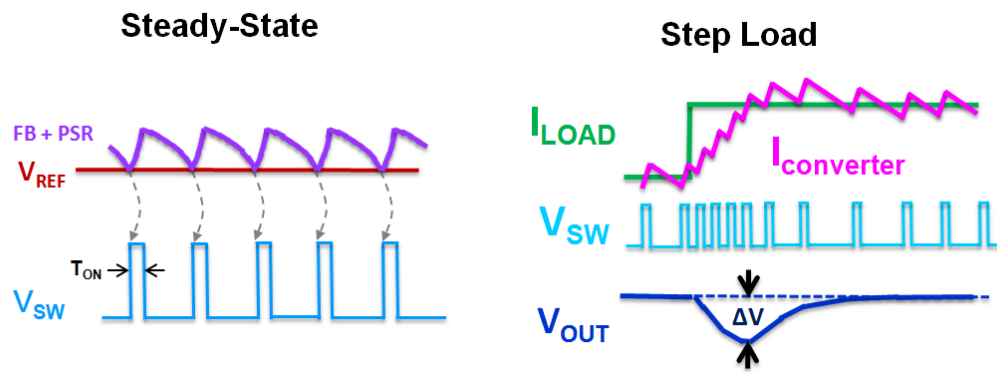
图五、ACOT 降压转换器之内部功能框图

ACOT™ 降压转换器不包含误差放大器或电流检测；而是直接将反馈信号（DC 电压值 + 纹波电压）与内部参考电压作比较。当反馈信号低于参考电压时，会启动一个新的恒定导通 (ON) 时间周期，电感电流也因此而上升。若尚未达到额定之输出电压，在很短的一个遮没周期 (blanking period) 之后，即会启动另一导通 (ON) 时间周期，一直到电感电流达到所需之负载电流，且输出电压达到额定电压值为止。传统的 COT 转换器需要和电感电流同相位的输出电压纹波，才能稳定地控制开关，如此就需要有高 ESR 的输出电容。

为了能使用低 ESR 的陶瓷电容，立锜之 Advanced-COT 架构会在内部产生一个 PSR 脉动信号，并加到来自转换器输出端的纹波和 DC 电压；相加之后，再与内部参考电压作比较。当此相加电压低于参考电压时，比较器会启动导通时间产生器 (ON Time Generator)。输出电压的突然下降随即会产生一个新的导通时间周期，且只要尚未达到额定之输出电压，此转换器可连续地产生新的导通时间周期；而这也就是 ACOT 架构之所以能对负载的瞬态变化有极快的反应速度的原因。

内建的特殊锁频回路系统会慢慢调整导通时间，以调节平均的开关频率，使其达到所默认的频率值。

ACOT 转换器之稳态和负载瞬态变化操作之波形显示于图六。



图六、ACOT 转换器之稳态与负载瞬态的波形

在负载瞬态变化期间，ACOT 转换器之电压骤降值的近似公式如下：

$$\Delta V \approx \frac{(\Delta I_{LOAD})^2 \cdot L}{2 \cdot C_{OUT} \cdot (V_{IN} \cdot \delta_{max} - V_{OUT})}$$

其中， δ_{max} 是转换器在负载瞬态变化期间可达到的最大占空比，且是和导通时间与消隐时间有关的。

ACOT 转换器在快速负载瞬态变化时，频率变化很大。当某些应用是在一些特定的开关频率波段较敏感时，就必须特别注意动态负载的情形，因为在此情况下的频率变动是最为显著的。

表三列出了 ACOT 降压转换器的优点和缺点。

表三

立锜之 Advanced-COT (ACOT™) 降压转换器	
优点	缺点
<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，占空比可较低 • 恒定的平均开关频率 • 可使用 MLCC，并保持稳定 • 无需斜率补偿 	<ul style="list-style-type: none"> • 无法与外部频率同步 • 动态负载时，开关频率 (FSW) 变动也很大

5. 测量结果比较

以下将用三个立锜的产品、分别代表三种架构之低电压降压转换器，且都应用于 5V → 1.2V / 1A 的条件下，来作实际的比较：

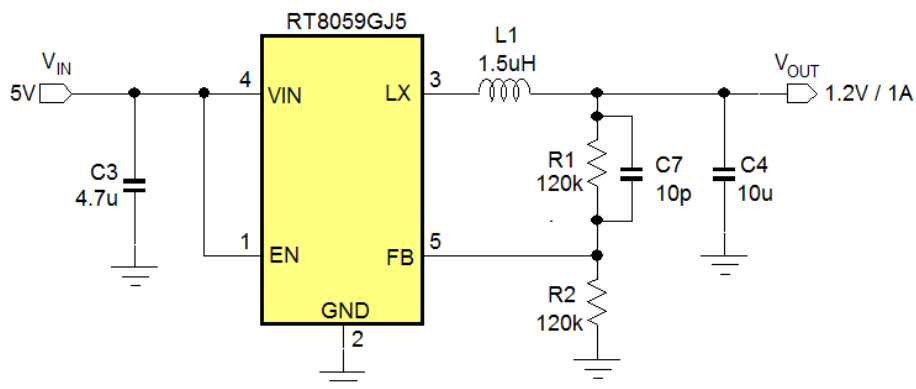
- [RT8059](#) (1.5MHz/1A 电流模式降压转换器)
- [RT8096A](#) (1.5MHz/1A CMCOT 降压转换器)
- [RT5784A](#) (1.5MHz/2A ACOT 降压转换器)

此三个应用电路所使用之主要元件(如输出电容和电感)都完全相同，所以测量的结果和差异即完全是因不同的控制架构所产生的，也因此可直接作为此三种架构之比较。

转换器是以快速的负载步阶作为测试条件；其中 di/dt 斜率值是仿真 MCU Core 及 DDR 为负载的情形。

[RT8059](#) 之应用与测试结果：

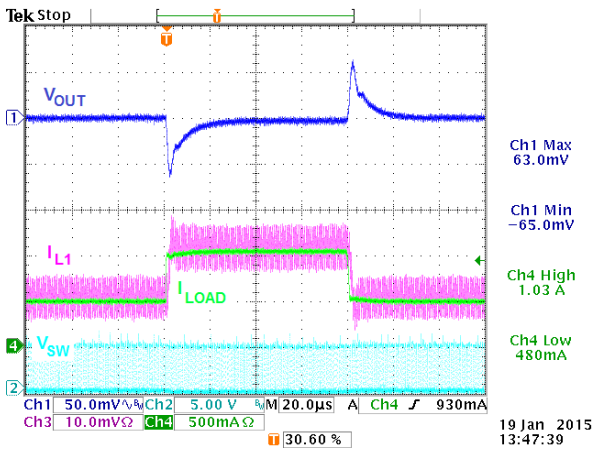
图七显示立锜之电流模式降压转换器 RT8059 的应用电路图；RT8059 有内建的补偿电路，且外加的前馈电容 C3 可改善反应的时间。



图七、[RT8059](#) 于 5V → 1.2V / 1A 的应用

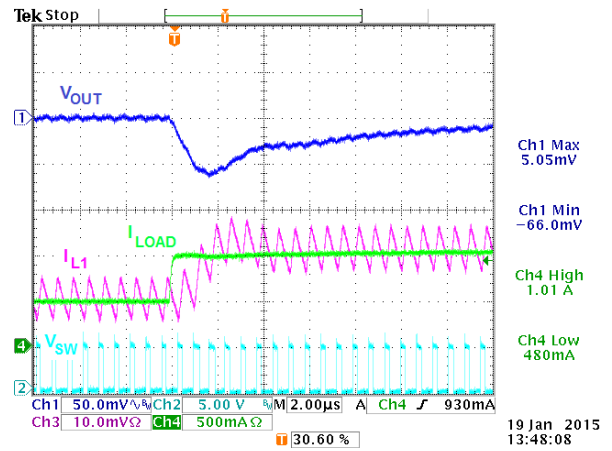
测量结果：（电流模式）

RT8059 于 550mA 的快速步阶负载



输出电压骤降值为 65mV 或 5%

步阶负载的输出波形

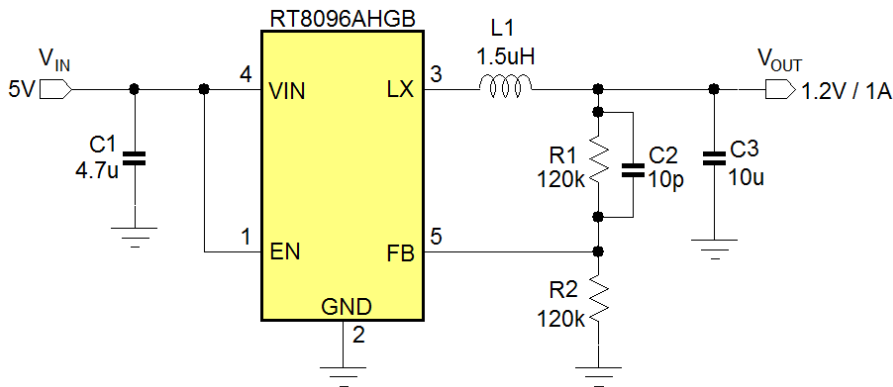


在瞬态变化期间，占空比慢慢地改变

图八

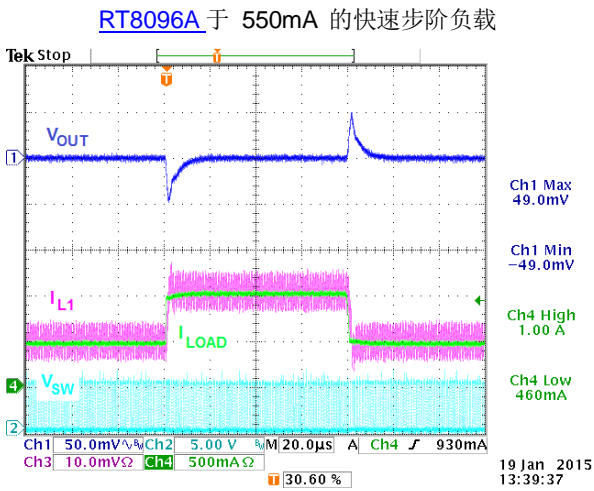
RT8096A 之应用与测试结果：

图九显示立锜之 CMCOT 降压转换器 RT8096A 的应用电路图；RT8096A 也有内建的补偿电路，且外加的前馈电容 C3 可改善反应的时间。

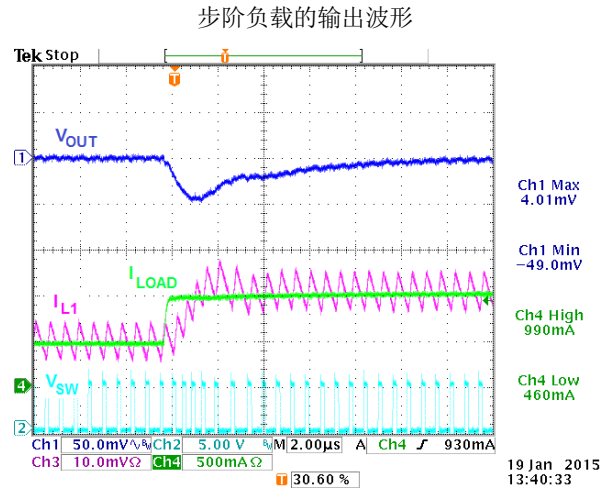


图九、 RT8096A 于 5V → 1.2V / 1A 的应用

测量结果: (CMCOT)



输出电压骤降值为 49mV 或 4%



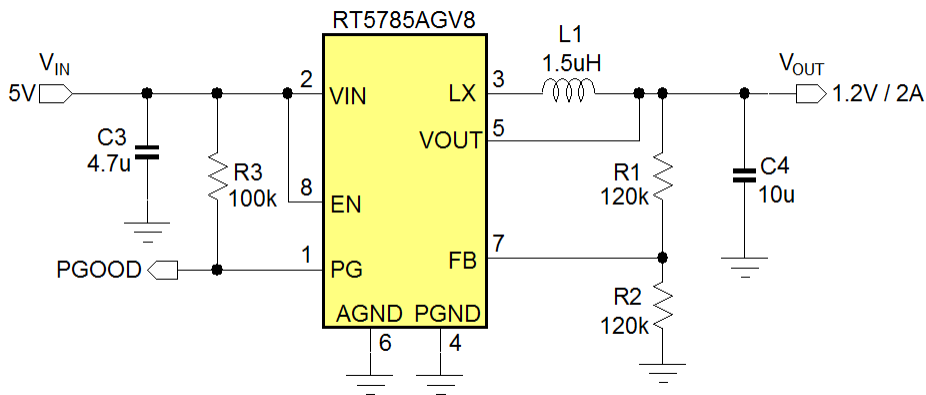
在瞬态变化期间，频率会增加，因此占空比也会增加

图十

测量结果显示，在 5V → 1.2V 的应用中，CMCOT 降压转换器的负载阶跃响应比电流模式降压转换器好，约 20%，所以在这一方面，二者差异并不大。当 CMCOT 用在需更高降压比的应用时，导通时间会更小，带宽会更高，这时 CM 和 CMCOT 二者在负载阶跃响应的差异将会更明显。

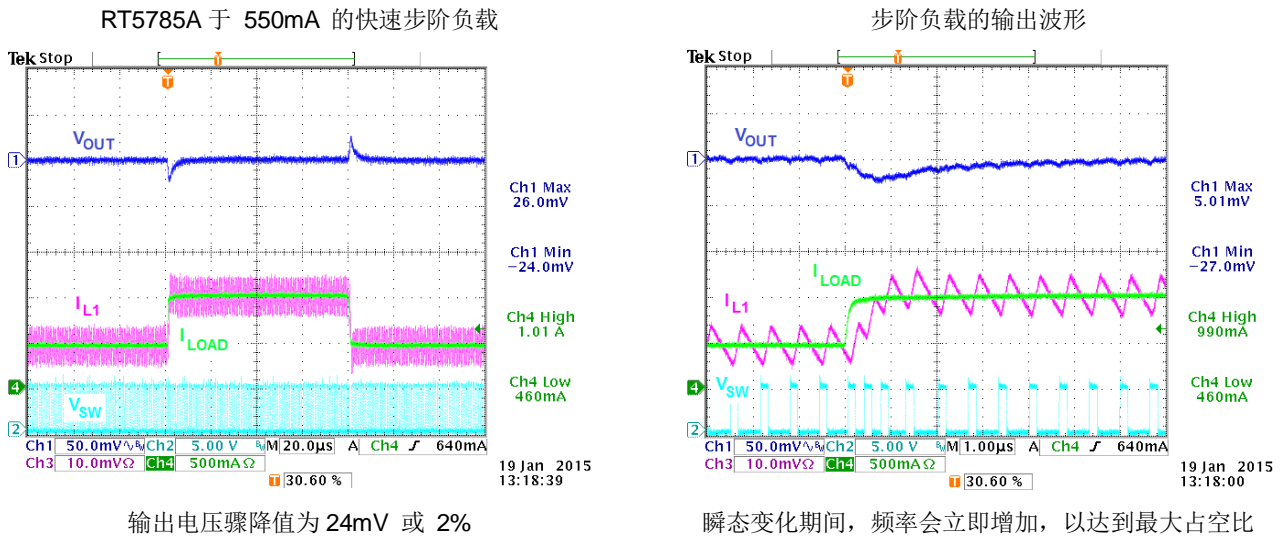
RT5785A 之应用与测试结果:

图十一显示立锜之 ACOT 降压转换器 RT5785A 的应用电路图 RT5785A 可直接和输出电压 VOUT 连接 并用以决定导通 (ON) 时间。无需前馈或其他补偿。



图十一、RT5785A 于 5V → 1.2V / 1A 的应用

测量结果：(ACOT)



图十二

所以在此三种架构中，ACOT 降压转换器的负载阶跃响应最为优异。



6. 总结

当要选择降压转换器来配合实际的应用时，需要考虑对于该应用较为重要的参数。例如，在应用的负载电流相对稳定的情况下，你可以采用电流模式（Current Mode）的降压转换器。如果在某些频率之下系统很容易受噪声影响时，可能需要采用电流模式降压转换器，且和外部频率信号同步，以精确设定开关频率。电流模式转换器的最小导通时间却受到一些限制；因此有高开频率的电流模式降压转换器不适用在高降压比的应用之中。

如果在应用中，负载的瞬态变化较为适中，可选择 CMCOT 架构的降压转换器，使得在负载瞬态变化期间，输出电压的波动可以降低。CMCOT 转换器在负载瞬态变化的表现比标准电流模式降压转换器好，约 20~30%。CMCOT 转换器在低占空比的应用中，也不易受噪声影响。由于它的最小导通时间非常小，CMCOT 降压转换器可用于需较高降压比的应用之中。负载瞬态变化时，可看见 CMCOT 转换器开关频率的变化。

如果在应用中，负载的瞬态变化极为快速（如看到负载为 CORE 和 DDR 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 到 4 倍，且 ACOT 转换器特别适用于低占空比的应用。由于它的最小导通时间非常小，有高开频率之 ACOT 降压转换器可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有很大的变动。由于无需回路补偿和斜率补偿，所以 ACOT 的电路设计是非常简单、有弹性、且非常具成本效益的。

Related Parts

RT8059	1.5MHz, 1A, High Efficiency PWM Step-Down DC/DC Converter	 Datashet
RT8096A	1A, 1.5MHz, 5.5V CMCOT Synchronous Step-Down Converter	 Datashet

Next Steps

立锜科技电子报	订阅立锜电子报
档案下载	PDF 下载
相关应用	ACOT™专题页面

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.