

P002

专题特写：
适用于高输入输出
电压差的降压稳压器
电路结构 1-7

- 产品精选：
- 高度集成的 42V、2.5A 降压开关稳压器 2
 - 高度集成的 42V、0.5A 降压开关稳压器 4
 - 非同步固定导通时间 42V、1.0A 降压开关稳压器 6

网上设计工具 8

适用于高输入输出电压差的降压稳压器 电路结构

— Bob Bell, 应用工程师; David Pace, 设计经理
美国国家半导体公司

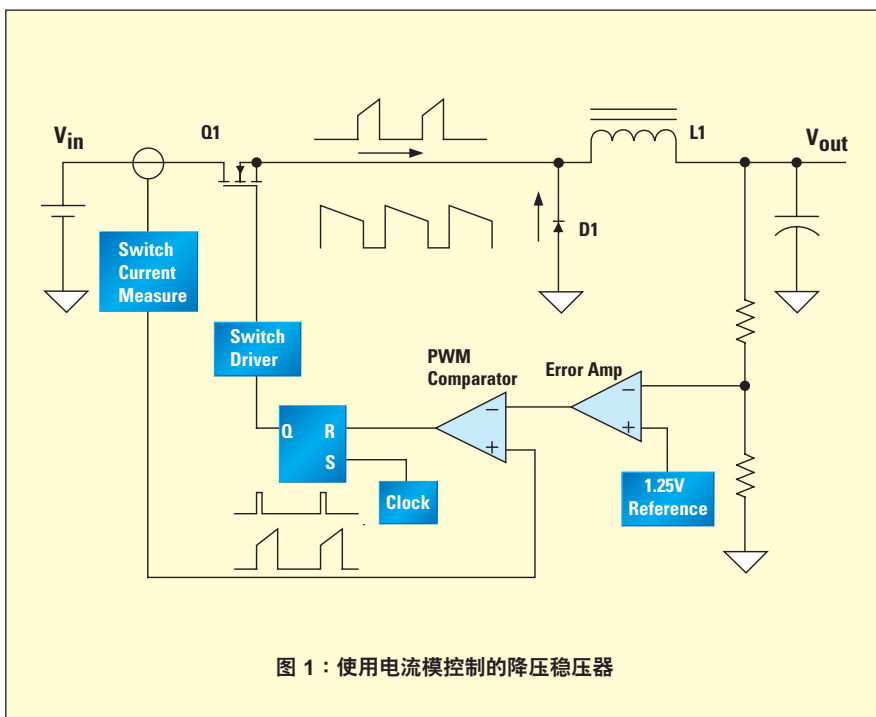
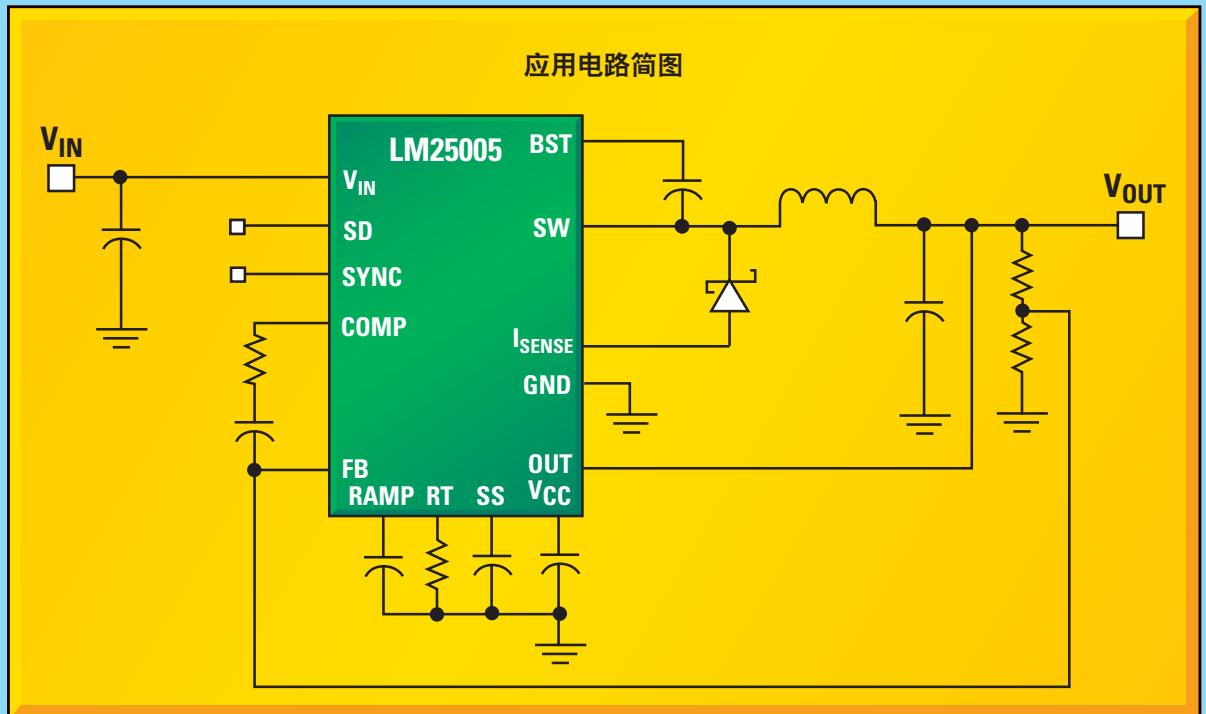


图 1：使用电流模控制的降压稳压器

降压稳压器可以有效地将未经稳压的高输入电压步降为稳定的输出电压。在输入电压较高的直流变换应用中，降压稳压器相对于线性稳压器具有更高的转换效率。但是，在具有高输入输出降压比的应用中，使用降压稳压器对脉宽调制 (PWM) 控制器会提出更高的要求。因为降压稳压器开关的占空比大致等于输入输出电压比 (V_{OUT}/V_{IN})，具有高输入输出电压比的降压直流变换器必须要控制非常窄的 PWM 脉冲。为了减小电感和电容的尺寸，降压稳压器的开关频率通常会设置得很高。高开关频率和低占空比意味着控制器的脉冲宽度会非常小。例如，一个输入、输出电压分别为 66V 和 3.3V 的降压稳压器，降压开关占空比大约为 5%。在典型的 300 kHz 开关频率下，降压开关的 PWM 脉冲宽度仅仅为 166 ns。

高度集成的 42V、2.5A 降压开关稳压器

LM25005 芯片设有仿真电流模式的控制功能，有助降低对噪音干扰的敏感度，而且即使在高输入电压的操作情况下，也可将占空比稳定控制在较低的水平，避免了占空比因为前沿消隐丢失的问题



LM25005 的特色

- 7V 至 42V 的极广阔输入电压，可支持高达 2.5A 的负载电流
- 输出电压可以由 1.225V 起逐步调节
- 反馈参考电压的准确度达 1.5%
- 设有仿真电感器电流斜坡功能的电流模式控制
- 可设定开关频率，另有双向同步功能，有助精简系统设计
- 可以支持仿真测试
- 采用 TSSOP-20EP (无掩蔽焊球) 封装
另有不含铅封装可供选择

AVAILABLE
LEAD-FREE

最适用于电子消费产品、电信设备、数据通信系统、汽车电源供应系统以及电源分配系统

产品特色：

容许多颗芯片互相对准同步操作或共同对准外置时钟同步操作

LM5005
属于高电压版本，
适用于高达 75V
的输入电压

适用于高输入输出电压差的降压稳压器电路结构

降压稳压器的控制方式或电路结构包括电压模 (VM) 控制方式、电流模 (CM) 控制方式、迟滞控制方式和恒定导通时间 (COT) 控制方式。由于电流模控制方式可以很容易地实现环路补偿、FET 开关保护以及固有前馈补偿，因此在此电源设计者中广受欢迎。

迟滞控制器和恒定导通时间控制器对负载瞬态变化的响应更迅速，但是它们工作的开关频率不恒定。恒定导通时间控制是一种变化的迟滞控制，它减少了开关频率的变化，提高了稳定性。

电流模控制

专为高输入输出电压步降比设计的降压稳压器芯片，在非常窄的占空比工作条件下，必须具备强大的抗扰性能。在电流模电路结构中，挑战在于电感电流的测量和调节。**图 1** 是电流模降压稳压器的框图。通过监控输出电压，并与参考电压比较，从而产生一个误差信号并输出到 PWM 比较器。调制锯齿波信号与降压开关电流的大小成比例。当降压开关导通时，电感电流将通过，其电流斜率为 $(V_{IN}-V_{OUT})/L$ 。对降压开关电流进行快速、准确的测量是产生 PWM 锯齿波信号的必要条件。

传输延时和开关的瞬态变化使得电流模控制在导通时间很短的高转换比应用中变得困难。即使在最优秀的设计实践中，电流检测和电压搬移电路都会带来明显的传输延时。此外，当降压开关导通时，流入高速二极管 (D1) 中的反向恢复电流将产生自振周期延长的前缘电流尖峰 (参见 **图 2**)。该尖峰将造成 PWM 比较器的误判。滤除这个前缘尖峰将会减小降压开关的最小可控导通时间。

仿真电流模控制

快速、准确地测量电流所面临的挑战难题可以由一种新型专利方法解决，这种方法可以仿真出降压开关电流而无需实际测量该电流。降压开关电流波形可以分解为两部分，基波和锯齿波。基波代表电感电流的最小值 (波谷)。电感电流的最小值刚好在降压开关导通前得到。

通过在降压开关导通前对高速二极管电流进行采样保持，就可以获得基波电流信息。

降压开关电流波形的另一部分是高峰时的正锯齿波。锯齿电流的斜率为 $di/dt = (V_{IN}-V_{OUT})/L$ 。与这个锯齿电流等价的信号可以由一个与 $V_{IN}-V_{OUT}$ 成比例的电流源和一个电容 (C_{RAMP}) 生成。如果电流源 (I_{RAMP}) 受输入输出电压差的控制，电容的充电斜率即为 $dv/dt = K * (V_{IN}-V_{OUT})/C_{RAMP}$ ，其中 K 是电流源比例常数。 C_{RAMP} 值的选取应使得电容电压的上升斜率与电感电流的上升斜率相同。

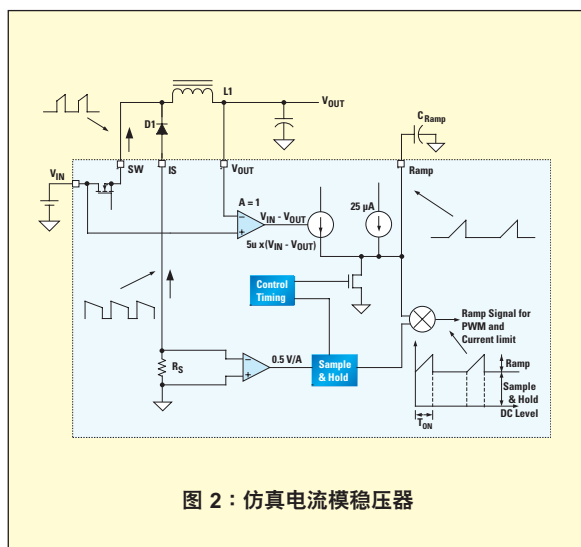


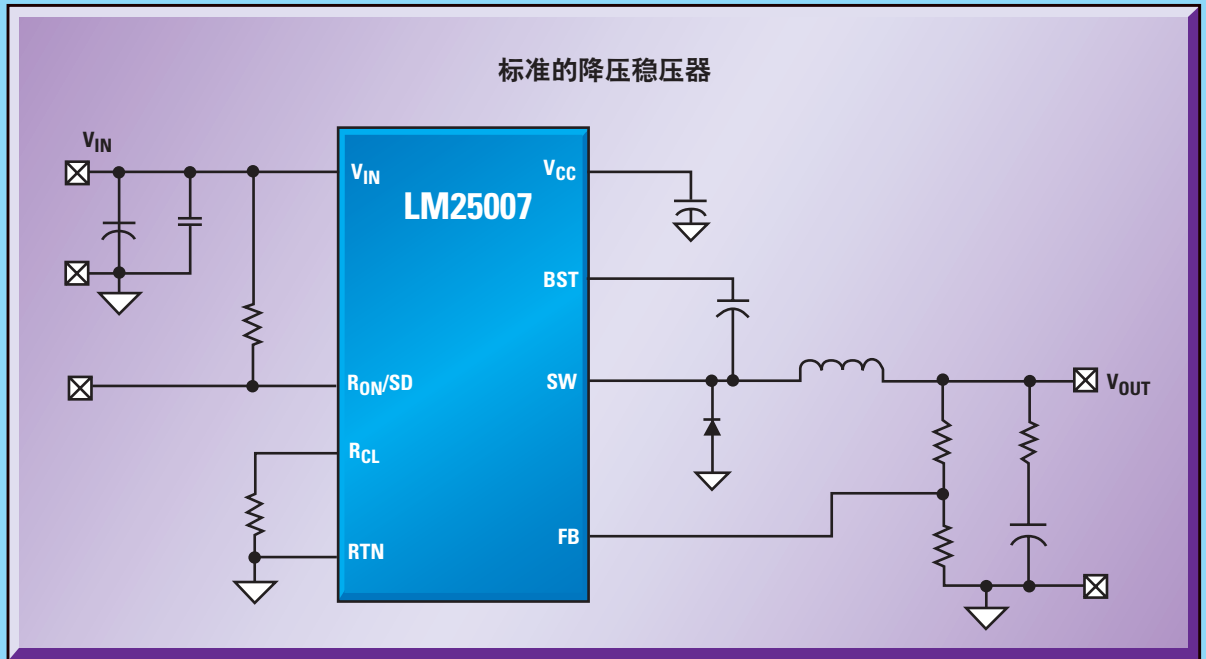
图 2：仿真电流模稳压器

图 2 是集成降压稳压器 LM25005 的框图，该稳压器应用了上述仿真电流模控制方案。高速二极管的阳极通过控制器接地。使用一个低阻值的电流检测电阻和一个放大器测量二极管电流。由一个采样保持电路获得降压开关导通前二极管电流的最小值。通过对波谷电流的采样，就可以在每个周期得到仿真电流检测信号的基波成分。

► P.5

高度集成的 42V、0.5A 降压开关稳压器

LM25007 芯片采用固定导通时间结构，并设有输入电压前馈功能，因此瞬态响应极快，而且无需添加外置元件



LM25007 的特色

- 9V 至 42V 的广阔输入电压，可支持高达 0.5A 的负载电流
- 瞬态响应极快，有助降低滤波器的电容
- 高达 800 kHz 的开关频率
- 准确的直流电限幅
- 在 -40°C 至 125°C 的温度范围内，反馈电压 (2.5V) 的准确度可达 $\pm 2\%$
- 内置高电压偏压稳压器
- 采用散热能力更强的 MSOP-8 及 LLP 封装

AVAILABLE
LEAD-FREE

最适用于汽车电子系统、远程信息设备、工业系统、电子消费产品、电源分配式供电系统、高电压后置稳压器、工业用电源供应系统以及高效率的负载点稳压器

产品特色：

输入电压前馈功能确保操作频率接近恒定

LM5007 属于
高输入电压版本，
适用于高达 75V
的输入电压

适用于高输入输出电压差的降压稳压器电路结构

LM25005 检测输入和输出电压，从而产生一个对外置锯齿波电容 (C_{RAMP}) 充电的电流。当降压开关导通时，每个周期的电容电压都线性上升。当降压开关关闭时，电容电压释放。为了正常工作，电容的大小应该与降压电感的大小成比例。LM25005 将采样电流基波和外置锯齿波电容电压相加，并将信号输出到 PWM 比较器。最终的结果是该控制器的行为与峰值电流模控制器相同，但是避免了电流检测信号中的延时和瞬态效应。

在占空比超过 50% 的应用中，峰值电流模控制器会产生次谐波振荡。通过在电流检测信号上增加一个额外的固定斜率锯齿波信号 (斜率补偿) 就可以消除振荡。在 LM25005 中，由一个额外的固定偏置电流来提供这个固定斜率的锯齿波信号。对于占空比很高的应用，可以进一步减小电容值，以增加锯齿波斜率，避免次谐波振荡。

LM25005 的输出过载保护是通过一个专用电流限制比较器实现的，该专用电流限制比较器在每个周期限制模拟峰值电流。仿真电流模方法可以提供额外的好处，即在降压开关导通前获得电感电流信息。如果由于过载，基波电流超过电流限制比较器的阈值，降压开关将跳过这些周期以避免电流耗尽。

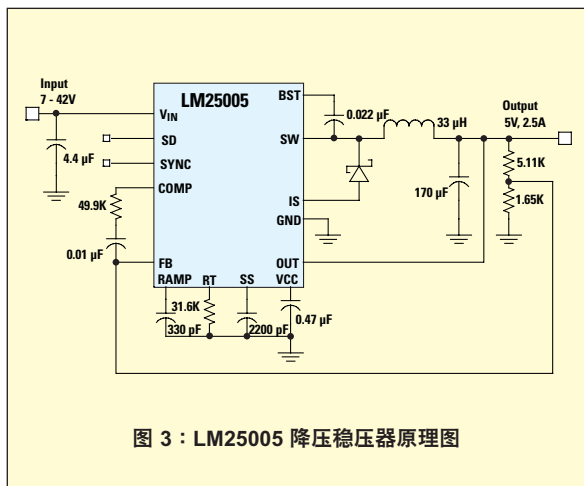


图 3 给出了一个 LM25005 受控降压稳压器，该稳压器的设计指标为：输入电压范围 7V 至 42V，输出电压 5V，最大负载 2.5A。

恒定导通时间控制

高输入输出电压比降压稳压器的另一种解决方案是恒定导通时间控制。这种方案可以理解为一个门控单稳态触发器，当输出电压低于阈值电压时，反馈比较器将触发下一个降压开关导通。恒定导通时间控制非常适合高输入输出电压比的应用，因为这种单稳态触发器的导通时间可以设置得非常短，并且可以通过反馈比较器调节关断时间以获得必要的低占空比。低电压下的 PWM 锯齿波的噪声敏感性会被完全消除。由于不需要误差放大器和环路补偿元件，恒定导通时间技术在简单、低成本的直流变换器中已经得到多年应用。这种方法的中心问题是由于输入电压变化和可能的次谐波振荡造成的频率变化。

图 4 给出了 LM25010 的框图。LM25010 是能够解决上述问题的恒定导通时间降压稳压器家族中的新成员。控制导通时间的单稳态触发器由未经稳压的输入电压和控制器之间的电阻 R_{ON} 设置。因此，单稳态触发器的周期 (T_{ON}) 与输入电压的变化相反。通过简化的方程，可以得到降压稳压器的占空比 (D)，其中 F_s 表示开关频率：

$$D = V_{OUT}/V_{IN}$$

$$\text{但在定义上, } D = T_{ON}/(T_{ON}+T_{OFF}) = T_{ON} * F_s$$

$$\text{因为, } T_{ON} = K/V_{IN}$$

$$\text{所以, } F_s = V_{OUT}/K$$

因此，在所有 V_{OUT} 为固定值的应用中，通过设置导通时间就可以得到所需的开关频率，并且该频率不会随输入电压的变化而变化。 ▶ P.7

非同步固定导通时间 42V、1.0A 降压开关稳压器

LM25010 芯片采用固定导通时间结构，并设有输入电压前馈功能，因此瞬态响应极快，而且操作频率接近恒定，并集成了软启动和谷值电流限制功能

LM25010 的特色

- 6V 至 42V 的广阔输入电压范围
- 谷值电流限幅设定于 1.25A
- 可设定开关频率，最高可达 1 MHz
- 内置 N 通道降压开关
- 内置高电压偏压稳压器
- 在线路及负载变化的情况下，工作频率仍能大致保持恒定
- 可调节输出电压
- 准确度达 $\pm 2\%$ 的 2.5V 反馈参考电压
- 可设定软启动
- 过热关机

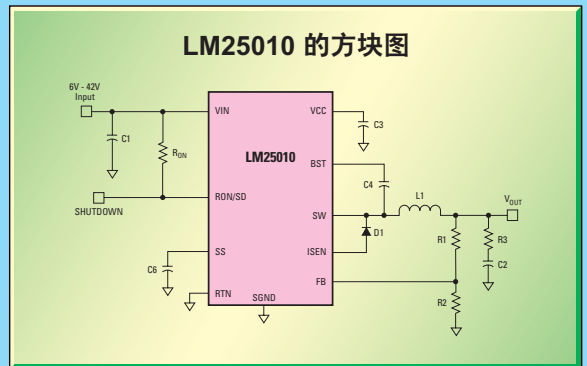
适用于非隔离电信设备稳压器、次级线圈后置稳压器以及汽车电子系统电源供应器

固定导通时间 (Constant On-Time, COT) 结构的优点：

- 比 PWM 控制产品有更快的瞬态响应
- 对输出电容量的要求较为宽松
- 恒定的开关频率
- 无需提供环路补偿
- 负载较小时仍保证有极高的效率

美国国家半导体的固定导通时间芯片系列

零件编号	电路拓扑	最高 Vin (V)	开关电流	频率	反馈 Vref	软启动	封装
LM2694	非同步降压	30V	0.6A	<1 MHz (可设定)	2.5V	有	LLP-14
LM2695	非同步降压	30V	1.25A	<1 MHz (可设定)	2.5V	有	TSSOP-14, LLP-10
LM2696	非同步降压	24V	3A	500 KHz	1.254V	有	TSSOP-16
LM3100	同步降压	36V	1.5A	< 1 MHz	0.8V	有	eTSSOP-20, LLP-16
LM5007	非同步降压	75V	0.5A	<1 MHz (可设定)	2.5V	—	MSOP-8, LLP-8
LM5008	非同步降压	95V	0.4A	<1 MHz (可设定)	2.5V	—	MSOP-8, LLP-8
LM5009	非同步降压	95V	0.15A	<1 MHz (可设定)	2.5V	—	MSOP-8, LLP-8
LM5010	非同步降压	75V	1A	1 MHz	2.5V	有	TSSOP-14, LLP-10
LM5010A	非同步降压	75V	1A	1 MHz	2.5V	有	TSSOP-14, LLP-10
LM25007	非同步降压	42V	0.5A	<1 MHz (可设定)	2.5V	—	MSOP-8, LLP-8
LM25010	非同步降压	42V	1A	1 MHz	2.5V	有	TSSOP-14, LLP-10



产品特色：

无需提供环路补偿

LM5010 属于
高输入电压版本，
适用于高达 75V
的输入电压

适用于高输入输出电压差的降压稳压器电路结构

恒定导通时间稳压器面临的一个难题是限流。如果导通时间被检测降压开关电流的限流电路中止，输出电压就会下降，并且关断时间将会减少到最小值，以保证稳压。稳压器的频率将会上升到一个仅受传输延时限制的极高值，芯片的功耗将大为增加。在一些降压稳压器解决方案中，当检测到达到电流限额时，会强制一个最小关断时间，这样就可以保证在过载情况下，频率不会过分提高。这种方法在电流限额对比电压的特性曲线中，可以表示为一条折叠线，这就限制了稳压器的可用负载范围。

图 4 中的 LM25010 通过一个简单却有效的办法解决了限流难题。高速二极管的电流通过芯片中的检测电阻，由电阻检测并由比较器监控。如果高速二极管中的电流超过电流限额阈值，限流比较器将关断降压开关直至二极管电流回复到可接受的水平。关断时间将自动增加直至降压电感电流降低到所需的波谷电流。因此，在过载情况下，输出电流和开关频率都不会偏离正常值太远。

如果反馈 (FB) 管脚上没有足够的纹波电压，基于恒定导通时间控制的稳压器将产生不确定的开关行为。如果输出电容上的等效串联电阻 (ESR) 足够大，就可以避免这个问题。在一些无法接受较大输出纹波的应用中，可以采用一些纹波抑制技术。

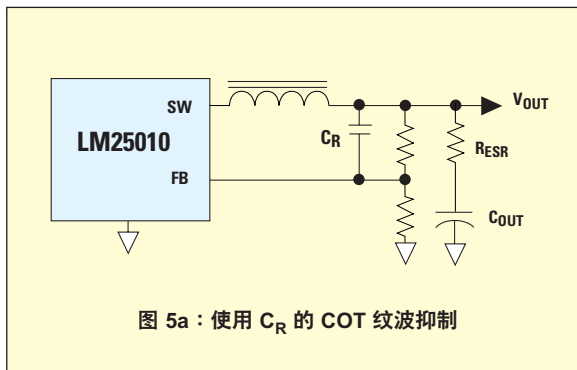


图 5a：使用 C_R 的 COT 纹波抑制

在图 5a 中， V_{OUT} 的纹波通过 C_R 送至 FB，由于标准电路中的纹波未被反馈电阻削弱太多， V_{OUT} 的纹波将小于标准电路中的纹波。

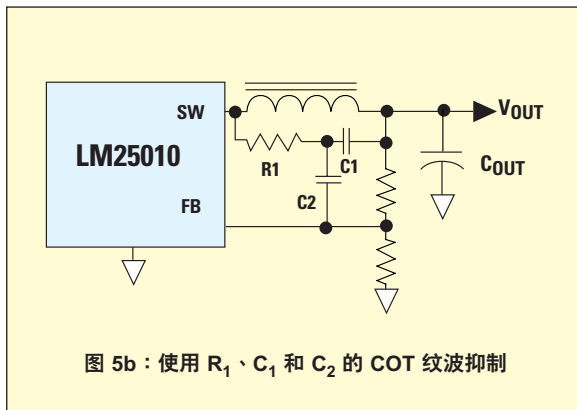


图 5b：使用 R_1 、 C_1 和 C_2 的 COT 纹波抑制

在图 5b 中，去掉 R_{ESR} 将导致 V_{OUT} 纹波减小。FB 管脚所需纹波由 R_1 、 C_1 和 C_2 产生。由于 V_{OUT} 是交流信号地，而且 SW 管脚的信号在 V_{IN} 和地之间变化， R_1 和 C_1 的连接点将产生一个锯齿信号，然后由 C_2 将纹波耦合至 FB。

以上是电源设计者喜爱的一些控制方法和电路结构。如果您希望了解更多高压开关电源电路结构的信息，敬请访问 power.national.com/CHS。

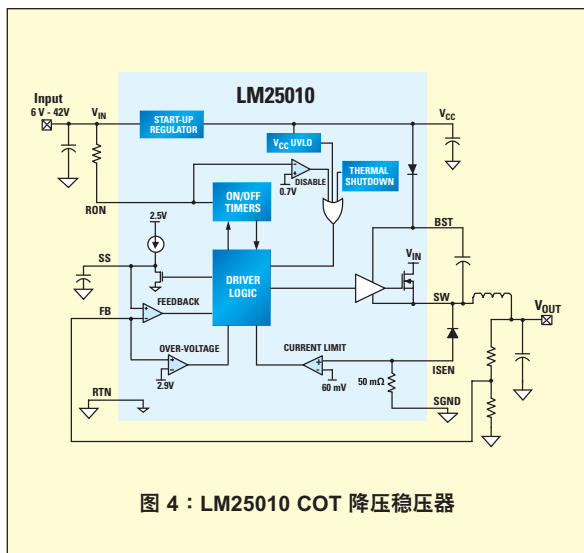


图 4：LM25010 COT 降压稳压器

网上设计工具

WEBENCH® 网上设计

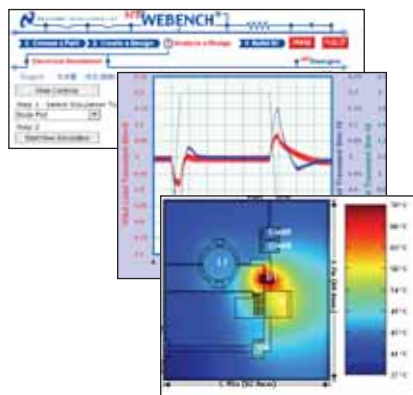
webench.national.com/CHS

提供网上：

- 电源供应器设计
- 放大器及有源滤波器设计
- 音频系统设计
- 无线系统设计
- A/D 转换器

我们的设计及建模工具有助精简及加快整个设计过程。

1. 挑选元件
2. 构思设计
3. 进行分析
4. 亲自组建电路，而且很快便会收到量身订造的原型套件



如欲查询有关产品的详细资料及寻求技术支援，可浏览美国国家半导体以下各网页：

放大器：

amplifiers.national.com/CHS

音频产品：

audio.national.com/CHS

A/D 转换器：

www.national.com/CHS/appinfo/adc

接口产品：

interface.national.com/CHS

低电压差动讯号传输 (LVDS) 产品：

lvds.national.com/CHS

电源管理产品：

power.national.com/CHS

热能管理产品：

tempsensors.national.com/CHS

中国地区参与代理商及其国内办事处

晨兴安富利有限公司
电话：(010) 8206-2499
传真：(010) 8206-2467
电话：(021) 5206-2288
传真：(021) 5206-2299
电话：(0755) 8378-1886
传真：(0755) 8378-3656

棋港电子有限公司
电话：(010) 8837-7016
传真：(010) 6835-8255
电话：(021) 6354-1141
传真：(021) 6353-6038
电话：(0755) 8328-1338
传真：(0755) 8328-1001

艾睿电子中国有限公司
电话：(010) 8528-2030
传真：(010) 8525-2698
电话：(021) 2893-2000
传真：(021) 2893-2333
电话：(0755) 8359-2920
传真：(0755) 8359-2377

大传电子有限公司
电话：(010) 6642-2960
传真：(010) 6642-2963
电话：(021) 6235-0331
传真：(021) 6235-0348
电话：(0755) 2518-1524
传真：(0755) 2518-1517

诠鼎科技有限公司
电话：(010) 6515-5766
传真：(010) 6515-5720
电话：(021) 5298-9845
传真：(021) 5298-9849
电话：(0755) 8831-3199
传真：(0755) 8831-2399

时保电子有限公司
电话：(010) 6435-8904
传真：(010) 6435-9504
电话：(021) 6440-0083
传真：(021) 6440-0084
电话：(0755) 8826-2633
传真：(0755) 8826-2655

中国电子器材深圳有限公司
电话：(010) 6827-4230
传真：(010) 6823-3875
电话：(021) 6249-7036
传真：(021) 6249-6092
电话：(0755) 8361-6195
传真：(0755) 8335-0876

富昌电子有限公司
电话：(010) 6418-2335
传真：(010) 6418-2290
电话：(021) 6341-0077
传真：(021) 6341-0170
电话：(0755) 8366-9286
传真：(0755) 8366-9280

索取详细产品资料，
欢迎查阅美国国家半导体的网页，网址为
www.national.com/CHS
或发电邮到
ap.support@nsc.com

