深圳市大能创智半导体有限公司

SPES4644T 数据手册

单路 4A（四通道）DC/DC

产品特点

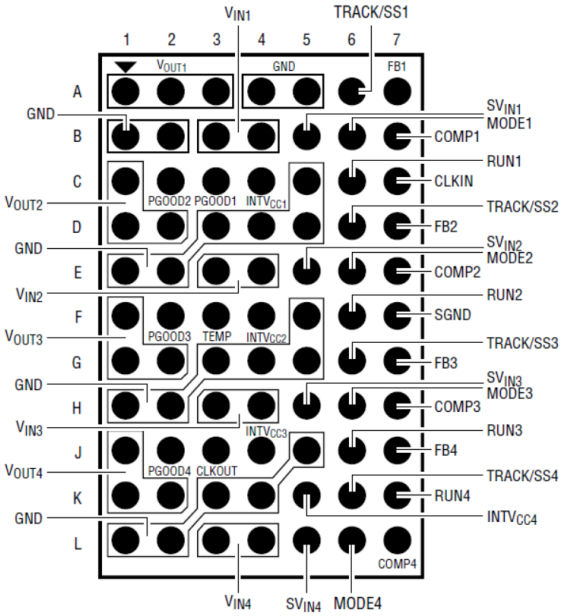
- 四通道 4A (峰值 5A)输出直流/直流降压开关稳压器
- 宽输入电压范围：3.6V 至 20V
- 0.6V 至 5.5V 输出电压
- 转换效率高达 92%
- ±1.5% 的总输出电压调节
- 电流模式控制、快速瞬态响应
- 可实现多相并联提供更高的输出电流
- 输出电压跟踪
- 内部温度检测信号输出
- 可外部频率同步
- 过压、过流和过热保护
- 采用有铅焊球，SnPb(63/37)，便于焊接
- 16mmx10mmx5.4mm BGA 封装，重量 2.2g

产品描述

SPES4644T 是一款完整的四通道 4A 输出薄型直流/直流降压开关稳压器元器件，采用 BGA 封装，封装中内置集成了 DC/DC 控制器、功率 MOS、电感器和相关补偿组件，最低外围配置可仅需 5 个外部低 ESR 陶瓷电容器和 4 个电压环路反馈电阻就能输出四通道并可独立调节介于电压 0.6V 至 5.5V 的功率输出。四路通道稳压器都具备单独的输入引脚，支持四个通道能够由 3.6V 至 20V 范围内的不同电压源或者是同一个公共电压源供电。

SPES4644T 采用有铅焊球，SnPb(63/37)，便于焊接。SPES4644T 的应用灵活性和微型封装，使系统设计师能够方便选用可以满足 FPGA、ASIC 和微处理器以及其他电路板电路的多种电压和负载电流要求。适用于通信、数据存储、工业设备、交通运输、医疗系统以及测试和调试系统等的应用中。

PIN 脚配置(参见引脚功能)



BGA 封装

77-LEAD (16mm x 10mm x 5.4mm)

图 3：SPES4644T 封装顶视图

绝对最大额定值【注释 1】

V_{IN}, SV_{IN}*	-0.3V 至 22V
V_{OUT}*	-0.3V 至 SV_{IN} 或 6V
$INTV_{CC}$*	-0.3V 至 3.6V
PGOOD, MODE, TRACK/SS,FB*	-0.3V 至 $INTV_{CC}$
RUN	-0.3V 至 22V
CLICKIN,PHMODE,MODE	-0.3V 至 INTVcc
储存温度范围	-65℃至 150℃
内部工作温度范围	-55℃至 130℃
回流焊峰值	220℃
工作温度范围	N1 级 SPES4644TN -55℃至 125℃
	企军级 SPES4644TQ -55℃至 125℃
	军温级 SPES4644TJ -55℃至 125℃
	工业级 SPES4644TG -40℃至 85℃
	消费级 SPES4644TX -40℃至 85℃
内部锡膏熔点	262℃
	*代表每通道

电参数【注释 2】

特性		最小	典型	最大	单位	备注
输入特性	输入承受耐压	-	-	20	V	/
	输入电压范围	3.6		20	V	/
	输入电容	-	100	-	μF	输入滤波电容组合中，必须含有至少 47μF 容量的无极性低 ESR 陶瓷电容
输出特性	输出电压	0.6	-	5.5	V	
	输出电流	0	-	4	A	每通道
	输出电压源调整率	-	-	±1	%	输入 3.6V 至 20V，空载
	输出电压负载调整率	-	-	±1.5	%	输入电压 12V，0--满载
	稳压精度	-	-	±1	%	输入电压 12V，0--满载
	输出纹波电压	-	30	-	mV	
	输出电容	-	100	-	μF	输出滤波电容组合中，必须含有至少 2 个 47μF 容量的无极性低 ESR 陶瓷电容
	开关频率		1		MHz	
	并联输出					支持内部 2-4 路并联
保护特性	输入过压保护	22.8	23.5	24.2	V	输入电压低于 20.8V 恢复工作
	输入欠压保护	2.4	2.6	2.8	V	输入电压高于 3.0V 恢复工作
	输出过压保护	-	110	-	%	V_{FB} 上升
	输出欠压保护	-	91	-	%	V_{FB} 下降
	输出过流保护	5	6	7.5	A	短路回缩
	输出短路保护		-			短路回缩
效率	满载	-	85	-	%	输入电压 5V，输出电压 2.5V，室温（25℃）
	半载	-	90	-	%	

	25%载	-	92	-	%	

注释 1：SPES4644T 包含过温保护功能，保护器件免受短暂过载状况的影响。内部结温超过 150℃时就会启动过温保护。在额定最大工作结温以上连续工作可能会影响器件的可靠性。
注释 2：除非特殊说明，所有参数均在室温 25℃条件下测得。超出上述绝对最大额定值，可能会导致器件永久性损坏。在任何绝对最大额定值条件下长期工作，都会影响器件的可靠性和使用寿命。上述参数由产品焊接到测试板上测得，夹具测试的结果可能与此不同。

典型性能特点【注释 3】

注释 3：图 10 至图 16 所示的相关波形，均在标准大气压、室温 25℃、四通道共用一路 4x22μF 滤波陶瓷电容的输入、四通道每路输出的滤波电容均为 2x47μF 陶瓷电容的条件下测试所得。

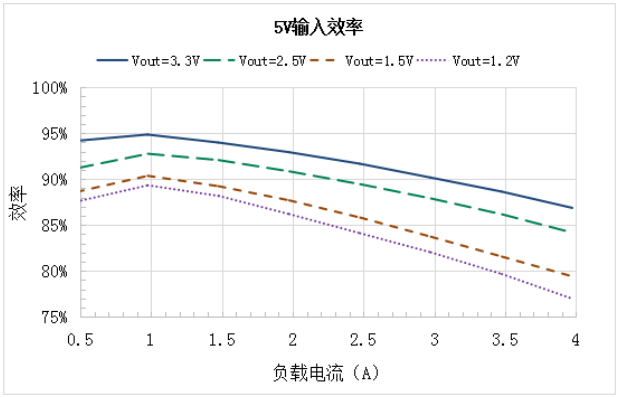


图 4：5V 输入时效率曲线

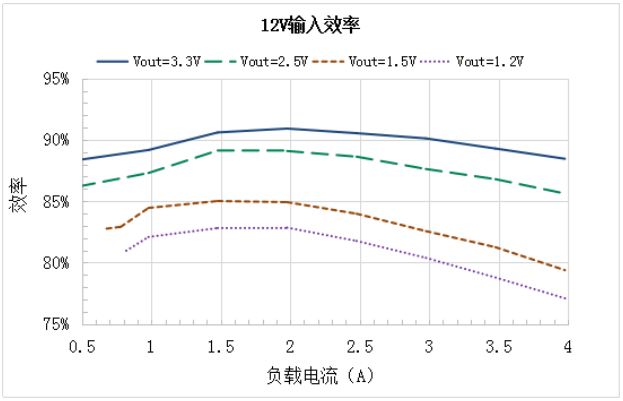


图 5：12V 输入时效率曲线

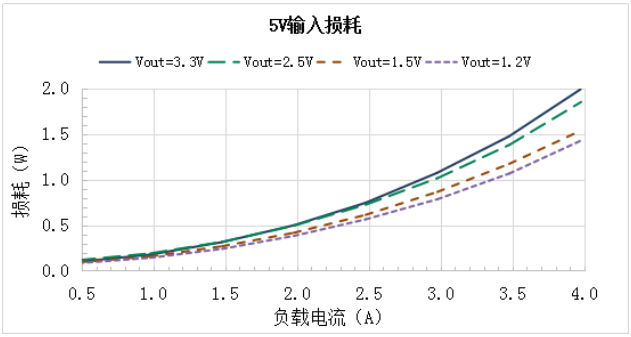


图 6：5V 输入时损耗曲线

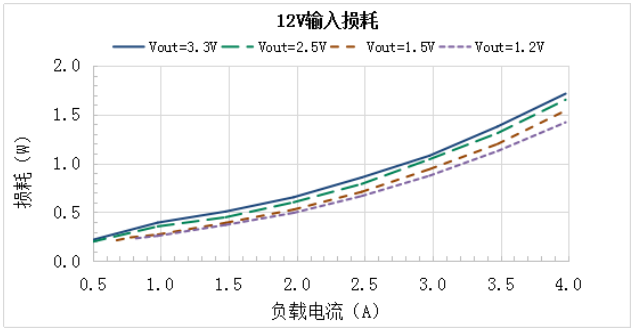


图 7：12V 输入时损耗曲线

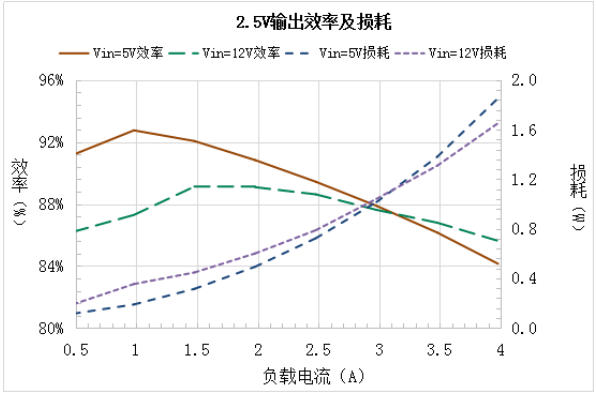


图 8：2.5V 输出时效率与损耗曲线

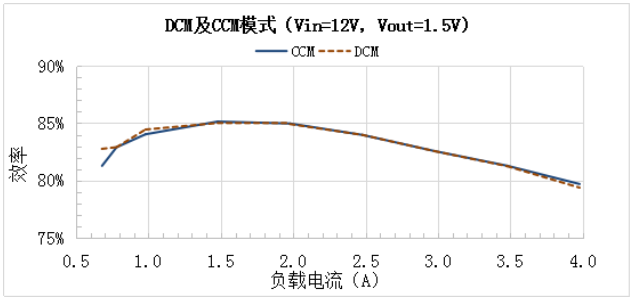
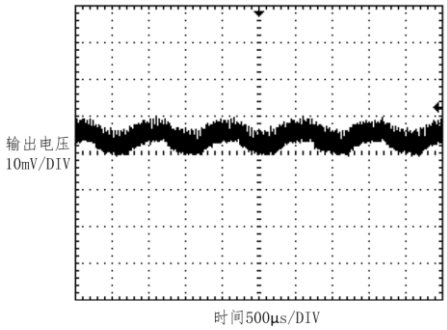
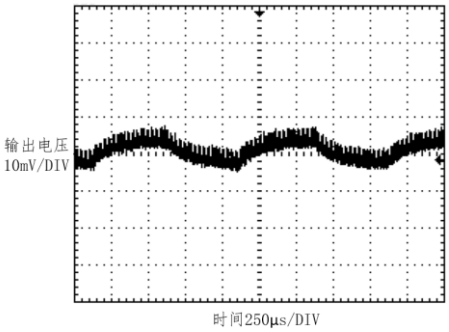


图 9：DCM 与 CCM 两种模式的效率曲线



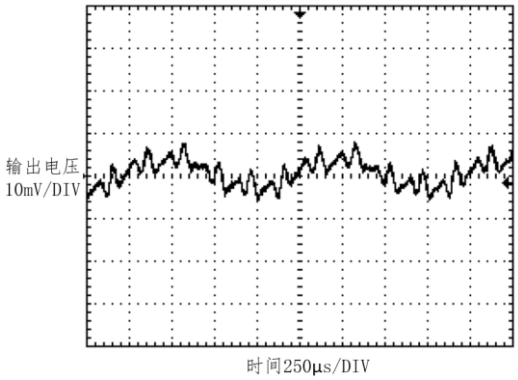
输入电压 12V、输出电压 1.2V 3A 至 4A

图 10：输出负载变化瞬时响应 1



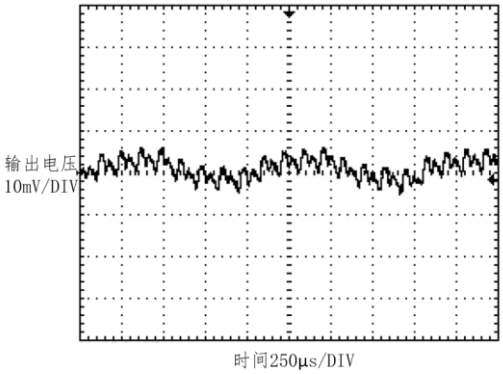
输入电压 12V、输出电压 1.5V 3A 至 4A

图 11：输出负载变化瞬时响应 2



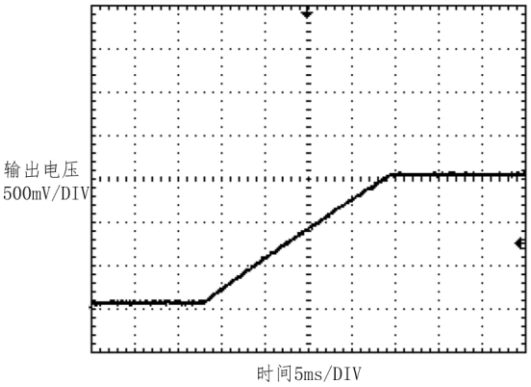
输入电压 12V、输出电压 2.5V 3A 至 4A

图 12：输出负载变化瞬时响应 3



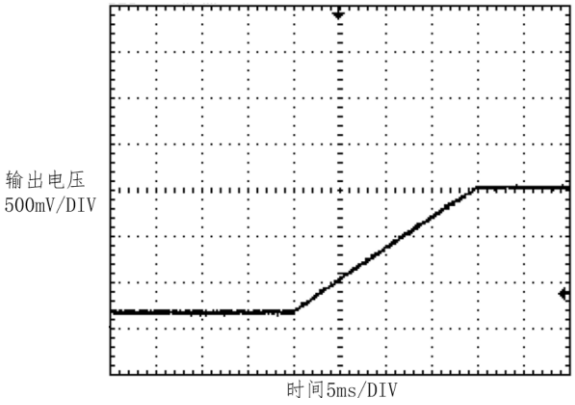
输入电压 12V、输出电压 3.3V 3A 至 4A

图 13：输出负载变化瞬时响应 4



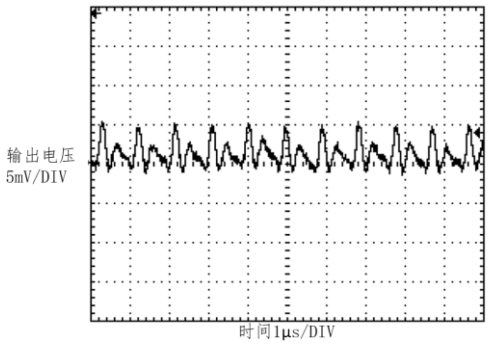
输入电压 12V，输出电压 1.5V 0A

图 14：空载启机输出电压波形



输入电压 12V，输出电压 1.5V 4A

图 15：4A 负载启机输出电压波形



输入电压 12V，输出电压 1.5V，负载电流 4A

图 16：输出纹波

应用综述

SPES4644T 是一款四通道输出降压型 DC/DC POL 稳压器电源。它有四路独立的非隔离稳压器通道，每个通道利用很少的外部输入和输出电容，便可提供高达 4A 连续输出的直流电流。每路稳压器在 3.6V 至 20V 输入电压范围内，通过各自一个外部电阻调节，提供 0.6V 至 5.5V 范围输出的精确电压。

SPES4644T 集成了四路独立的恒频错相控制的谷值电流模式控制器、功率 MOSFET、电感和其他相关元器件。典型的设定频率开关频率为 1MHz，开关频率也可与一个设定频率的 ±30%范围内的外部时钟同步。凭借电流模式控制和内部反馈环路补偿，SPES4644T 模块具有足够的稳定性裕量和良好的瞬态性能，支持各种输出电容，但为了达到最佳性能和效果，输入和输出滤波去耦电容组合中，必须含有不低于 47μF 容量的无极性低 ESR 陶瓷电容。电流模式控制支持高速逐波限流。如果输出反馈电压不在调节设定点的 ±10% 窗口内（即就是输出过压 OV，或者输出欠压 UV），内部输出过压和欠压检测电路将会把 PGOOD 电平输出接 GND。除了 TRACK 电压逐渐上升至 0.6V 的软启动期间，在 OV 和 UV 条件下电路仍会强制连续工作 CCM 模式。电流模式控制提供了与任何独立调节器通道并联的灵活性，并具有精确的均流效果。通过在每两路稳压器通道之间的内置开关频率时钟交错，SPES4644T 可轻松采用 2+2,3+1 或 4 通道并联工作，这使得应用非常灵活。此外，SPES4644T 具有 CLKIN 和 CLKOUT 引脚，用于与外部频率同步或连接多相器件，允许多达 8 个相位级联同时运行。将 RUN 引脚拉至 1.1V 以下会迫使控制器进入关断状态，关闭功率 MOSFET 和大部分内部控制电路。在轻负载电流下，通过将 MODE 引脚拉至 SGND，可以启用断续导通模式（DCM），以实现比连续导通模式（CCM）相比更高的效率。

应用信息

V_{IN} 到 V_{OUT} 降压比

对于给定输入电压，由于稳压器的最小关断时间和最小导通时间限制，可实现的最大 V_{IN} 与 V_{OUT} 降压比是有限制的。最小关断时间限制决定了最大占空比，后者可通过下式计算：

$$D_{MAX} = 1 - f_{SW} \cdot t_{OFF(MIN)}$$

其中，$t_{OFF(MIN)}$为最小关断时间，SPES4644T 典型值为 70ns，f_{SW}为开关频率。相反，最小导通时间限制决定了转换器的最小占空比，后者可通过下式计算：

$$D_{MIN} = f_{SW} \cdot t_{ON(MIN)}$$

其中，$t_{ON(MIN)}$为最小导通时间，SPES4644T 典型值为 40ns。在极少数情况下，占空比会超出最小值，此时输出电压仍然受调节，但开关频率需要设定降低。本模块芯片内部导通上管导通最大阻抗 150mΩ。以 1MHz 开关频率，V_{OUT} 输出 5V、I_{OUT} 电流输出 4A 为例，可估算出最恶劣情况下输入电压与输出电压的最大压差不得小于 1V，估算公式如下：

$$V_{IN} = \frac{(5V + 4A \times 150m\Omega)}{D_{MAX}} = 6V$$

请注意，在更严格的条件下还需要考虑如下参数：输入输出的 PCB 线路压降、热降额等导致的压降比。具体可参考相关铜阻计算、散热或输出电流降额设计规范等，这些参数需要通过实际调试确定其具体数值。

输出电压设置

每通道的 PWM 控制器已经内置了 0.6V 基准电压。在控制器内部有一个 60.4kΩ 的反馈电阻将 V_{OUT} 和 F_B 引脚连接在一起。模块的每通道外部需要添加一个电阻 R_{FB} 连接在 FB 引脚和 GND 之间，以设置输出电压：

$$R_{FB(BOT)} = \frac{60.4k}{\frac{V_{OUT}}{0.6} - 1}$$

表 3: V_{FB} 电阻表与各种输出电压的关系

V_{OUT} (V)	0.6	1.0	1.2	1.5
$R_{FB(BOT)}$ (kΩ)	开路	90.9	60.4	40.2
V_{OUT} (V)	1.8	2.5	3.3	5.0
$R_{FB(BOT)}$ (kΩ)	30.1	19.1	13.3	8.25

对于 N 个通道的并联工作，要将每通道相同功能的 V_{OUT}/FB/COMP 引脚各自连接在一起，使用一个电压反馈设置电阻连接在 FB 引脚和 GND 之间，使用以下等式可用于求解 $R_{FB(BOT)}$ 值：

$$R_{FB(BOT)} = \frac{(\frac{60.4k}{N})}{(\frac{V_{OUT}}{0.6} - 1)}$$

输入去耦与滤波电容

SPES4644T 模块应连接到低交流阻抗直流电源。稳压器需要一个或者多个 22~47μF 输入低 ESR 陶瓷电容来给 RMS 纹波电流去耦。只有当输入源阻抗受到长感性引线、走线影响或电压源电容不足时，才需要体输入电容。体电容可以是钽电容或铝电解电容或聚合物电容。在不考虑电感纹波电流的情况下，输入电容的 RMS 电流可估算为：

$$I_{CIN(RMS)} = \frac{I_{OUT(MAX)}}{\eta\%}\sqrt{D(1-D)}$$

其中，η% 为电源模块的估计效率。

输出去耦电容

SPES4644T 凭借优化的高频率、高带宽设计，每通道输出最少仅需要 47μF 单个低 ESR 输出陶瓷电容，即可实现低输出纹波电压和非常好的瞬态响应。但由于无论什么材质的电容的实际容量大小，都会随着电压和温度等会发生变化，如果 SPES4644T 是在极端的低温或高温或高输出电压的更宽范围的实际使用，则需要增加额外的陶瓷电容容量与数量或钽聚合物电容。如果需要进一步降低输出纹波或动态瞬态尖峰更高的设计需求，或者需要更宽的降额使用要求，系统设计人员可能根据实际电路和使用环境，在调试中根据需要使用更多额外的输出滤波电容。注意：每通道输出去耦滤波电容的组合中，必须含有至少 47μF 容量的无极性低 ESR 陶瓷电容。

不连续电流模式（DCM）

在需要低输出纹波和高效率的中等输出电流应用中，应将 MODE 引脚连接到 SGND 来使用断续电流模式(DCM)。在轻负载时，电感不会出现反向电流。在这种模式下，控制电路内部电流比较器可实现在数个周期时间内保持封锁状态，迫使顶部 MOSFET 关闭数个周期，从而实现跳周期稳流稳压。

强制连续电流模式（CCM）

在输出时空载或小电流轻载时，如果对输出低纹波要求比高效率更重要时，应当采用强制连续工作模式。将 MODE 引脚连接到 INTVCC 可以使能强制连续工作模式运行。在此模式下，电感在空载与低输出负载期间能出现反向电流，控制电路内部电流比较器全程控制顶部 MOSFET 总是随着每个振荡器脉冲而导通。在软启动期间，会禁用强制连续电流模式，以防止电感电流出现反向，直到 SPES4644T 的输出电压处于稳压状态。

运行频率

SPES4644T 的工作频率经过优化，以实现紧凑的封装尺寸和最小的输出纹波电压，同时仍能保持高效率。内部默认工作频率为 1MHz，在大多数应用中无需额外的工作频率调整。如果需要 1MHz 以外的工作频率调整，需要通过 CLKIN 外部同步输入引脚输入新的工作频率，内工作频率可调整和同步成为 700kHz 至 1.3MHz 范围内的外部时钟频率。

频率同步和时钟输入

该电源模块具有锁相环功能，由内部压控振荡器和鉴相器组成，允许内部上方 MOSFET 导通时间锁定为外部时钟的上升沿。外部时钟频率范围必须在电阻设定工作频率附近±30%

以内。脉冲检测电路检测 CLKIN 引脚上的外部时钟信号，以开启锁相环功能，时钟的脉冲宽度至少须为400ns。时钟高电平必须高于2V，时钟低电平必须低于 0.3V。在稳压器启动期间，锁相环功能是禁用的。

多相并联

对于需要超过 4A 输出电流的负载，SPES4644T多个稳压器通道之间可以轻松并联，以提供更大的输出电流，而不会增加输入和输出电压纹波。SPES4644T在四个稳压器通道中的每两通道之间均预设了内置相移，适合采用 2+2 和 3+1 或者 1~4 通道并联模式（如图 17 和图 18 所示例）。

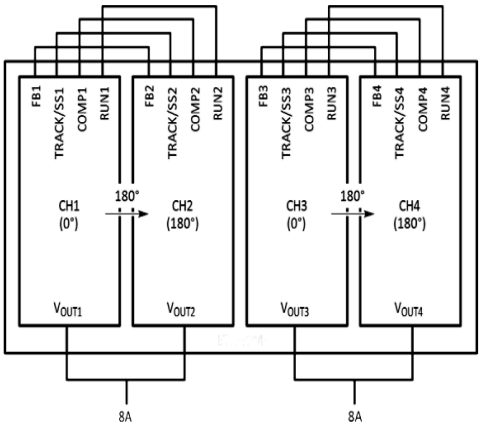


图 17： 2+2 通道并联概念示意图

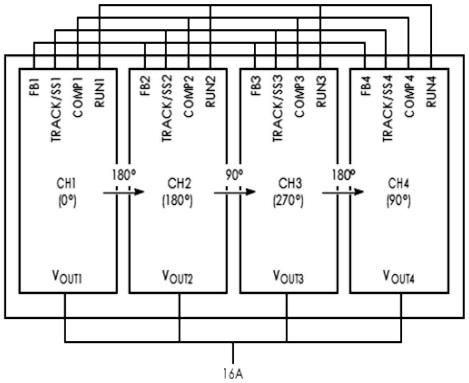


图 18： 4 通道并联概念示意图

多相电源可显著降低输入和输出电容中的纹波电流量。RMS 输入纹波电流的减小倍数和有效纹波频率的增加倍数等于所使用的相数(假设输入电压大于所用相数乘以输出电压)。当所有输出连接在一起以实现单通道高输出电流设计时，输出纹波幅度的减小倍数也等于所用相数。

SPES4644T是电流模式控制器件，因此并联模块具有非常好的均流特性，这将能平衡工作时产生的热量。设计时请将每个并联通道的 RUN/TRACK/SS/FB/COMP 引脚各相同功能引脚都连接在一起。（如图 17 和图 18 所示例并联操作和引脚连接的）。

输出电压跟踪和软启动

TRACK/SS 引脚提供了让稳压器软启动或让其跟踪不同电源的方法。TRACK/SS 引脚上的外部软启动会影响输出电压的斜坡速率。内部 2μA 恒流源将外部软启动电容充电至 INTVCC 电压。当 TRACK/SS 电压低于 0.6V 时，它将接管内部 0.6V 基准电压来控制输出电压。总软启动时间t_{ss}可以如下估算：

$$t_{ss} = 0.6 * \frac{Css}{2\mu A}$$

其中，CSS 为 TRACK/SS 引脚上的外部软启动电容。在软启动过程中，强制连续电流模式(CCM)会被禁用。

电源工作状态监控

PGOOD 引脚为开漏引脚，可通过外部上拉电阻器至特定电源电压点电平输出，用于监视有效输出电压状态变化。当输出电压超出设定的±10%范围时，此引脚被强制拉低至 GND。为了防止 V_{OUT} 在瞬态或动态负载时有不必要的毛刺影响，SPES4644T 的 PGOOD 下降沿包括大约 52 个开关周期的消隐延迟。

RUN 使能

将某一路稳压器通道 的 RUN 引脚拉至 GND，会强制断开相应通道的两个功率 MOSFET 和关闭相同通道大部分内部控制电路。将 RUN 引脚接到 0.6V 以上电压会仅接通内部基准电压源，而功率 MOSFET 仍保持关断。将 RUN 引脚电压提高到 1.2V 以上会开启整个稳压器芯片工作。

稳定性补偿

每路稳压器通道的 SPES4644T 模块内部补偿环路，均经过专门设计和优化，适用于低 ESR 陶瓷电容器组合的输出滤波电路，并且该陶瓷电容在 PCB 上的位置需要尽可能的靠近模块输入与输出端口位置。如果输出电压非常低、纹波或动态瞬态尖峰需要降低大容量输出电容，或者需要适应各种输入输出的外围电路与输出负载，包括各种外围 EMC 环境的抗扰，则 V_{OUT} 和 FB 引脚之间需要额外的 10pF 至 150pF 环路补偿电容。所以建议模块设计电路时每一通道 FB 与输出 V_{OUT} 之间预留一个电容（环路补偿）的位置。当模块运行可能存在异常时，可以尝试在该位置焊上 10pF 至 150pF 电容调节测试，以达到更佳的效果。

过温保护

每路稳压器通道均有独立内部过热保护电路，监控各自通道内部芯片的结温。如果有结温达到大约 160℃，则相应通道的两个功率 MOSFET 彻底关闭，直到温度降低约 15℃恢复工作。

安全考虑因素

SPES4644T 模块不提供从 V_{IN} 到 V_{OUT} 的电流隔离，没有内部保险丝。 如果设计需要，每路通道电源输入端请串入额定值为最大输入电流的两倍的慢熔保险丝，以保护每个通道或者整个单元免受灾难性故障的影响，该器件支持热关断和过流保护。

温度监测

TEMP 内部连接的是一个二极管接法的晶体三极管，由于温度会紧密关联和影响 PN 的导通电压降，所以可以通过检测流过 PN 节的恒流源时的导通电压降，来获得该点的温度信息。导通电压与温度关系的简化方程如下：

$$\boldsymbol{T} = -\frac{(\boldsymbol{V_{GO}} - \boldsymbol{V_D})}{\boldsymbol{d_{vd}}/\boldsymbol{d_T}}$$

$\boldsymbol{d_{vd}}/\boldsymbol{d_T}$项是等于约-2mV/K 或-2mV/℃的温度系数。

在 27℃下测量此正向电压以建立参考点。然后在测量正向电压超过温度的同时使用上述表达式将提供通用温度监控器。在 TEMP 和 V_{IN} 之间连接一个电阻，将电流设置为 100μA。图 19 是该二极管的正向电压的典型曲线图。

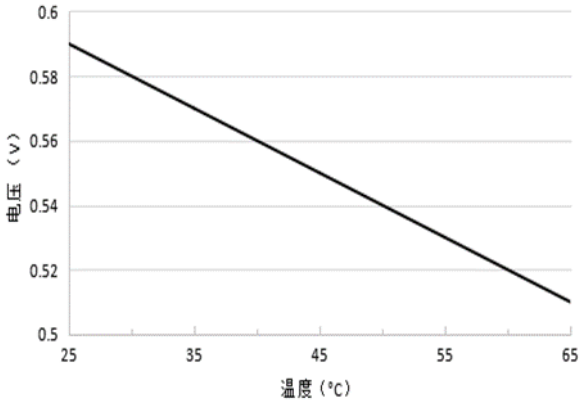


图 19：温度探头晶体管曲线

举例计算 1：图 19 为 27℃或 300K 二极管电压为 0.598V，因此:

$300\mathrm{K} = -(1200\mathrm{mV} - 598\mathrm{mV})/(-2.0\mathrm{mV/K})$。

举例计算 2：图 19 表示 75℃或 350K 二极管电压为 0.50V，因此:

$350\mathrm{K} = -(1200\mathrm{mV} - 500\mathrm{mV})/(-2.0\mathrm{mV/K})$。

将开尔文温度转换为摄氏温度只需要将开尔文温度减去 273。

SMT 上板前湿度敏感性

SPES4644T 产品上板前必须要烘干，否则可能因潮气导致焊接不良甚至损坏。参考 JEDEC 标准 J-STD-020F“Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Non-hermetic Surface Mount Devices”，请按以下条件烘烤模块：温度 125℃，时长 24 小时或以上。SMT 回流焊温度曲线请参考图 20。

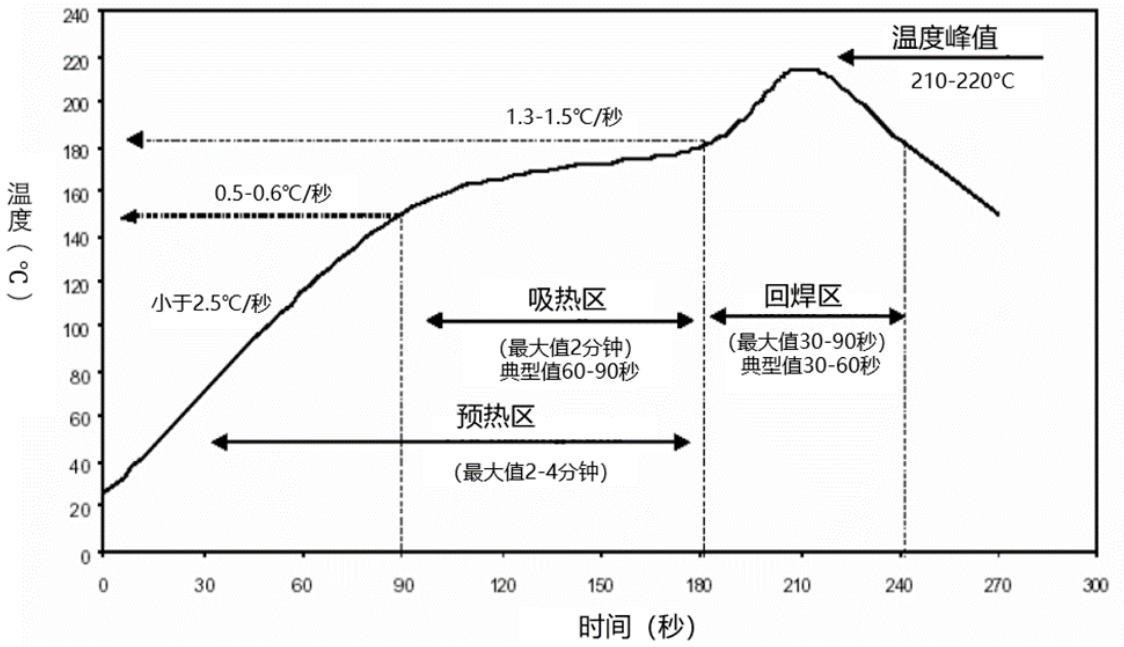


图 20：回流焊温度曲线图

提醒：请尽量避免使用超过 SMT 回流焊峰值温度的高温焊接方式（例如高温热风枪、高温热板等）焊接上板、或者拆卸 SPES4644T 产品模块，任何超过 SMT 回流焊峰值温度的高温焊接与拆卸方式，均有可能对产品造成不可逆转的损伤甚至损坏，厂家对超过 SMT 回流焊峰值温度进行焊接与拆卸的产品，将不作产品性能保证，并难以作出准确的失效分析。

常用典型应用电路参考

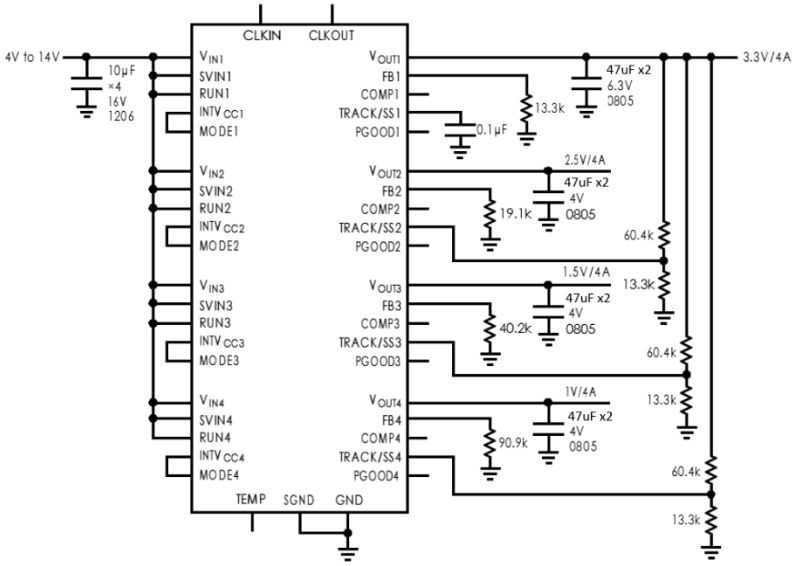


图 21：具有跟踪功能的 3.6V 至 20V 输入，四通道 1.0V，1.5V，2.5V 和 3.3V 输出

常用典型应用电路参考

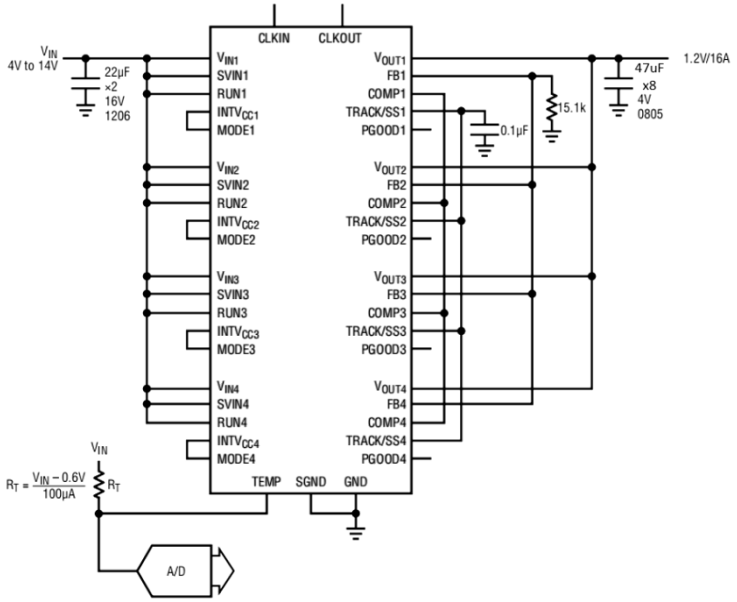


图 22：单通道 3.6V 至 20V 输入，4 相，1.2V 输出，16A 设计，带温度监控

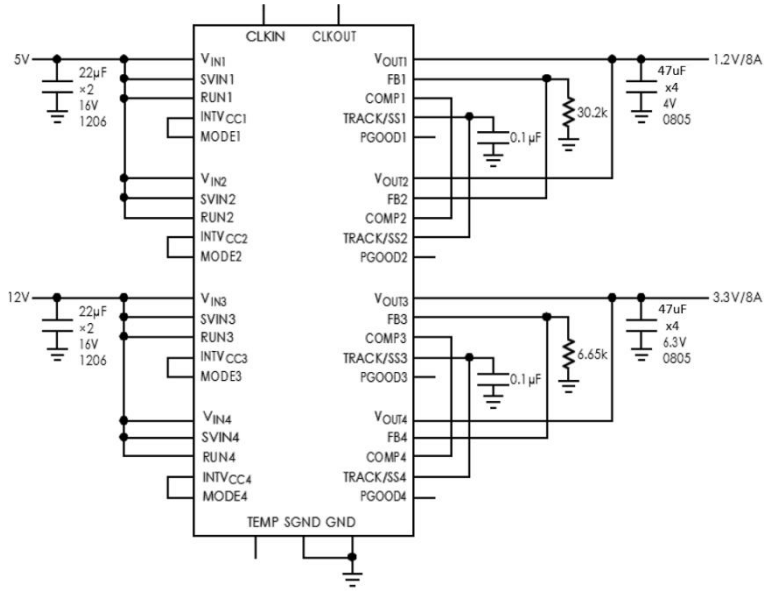
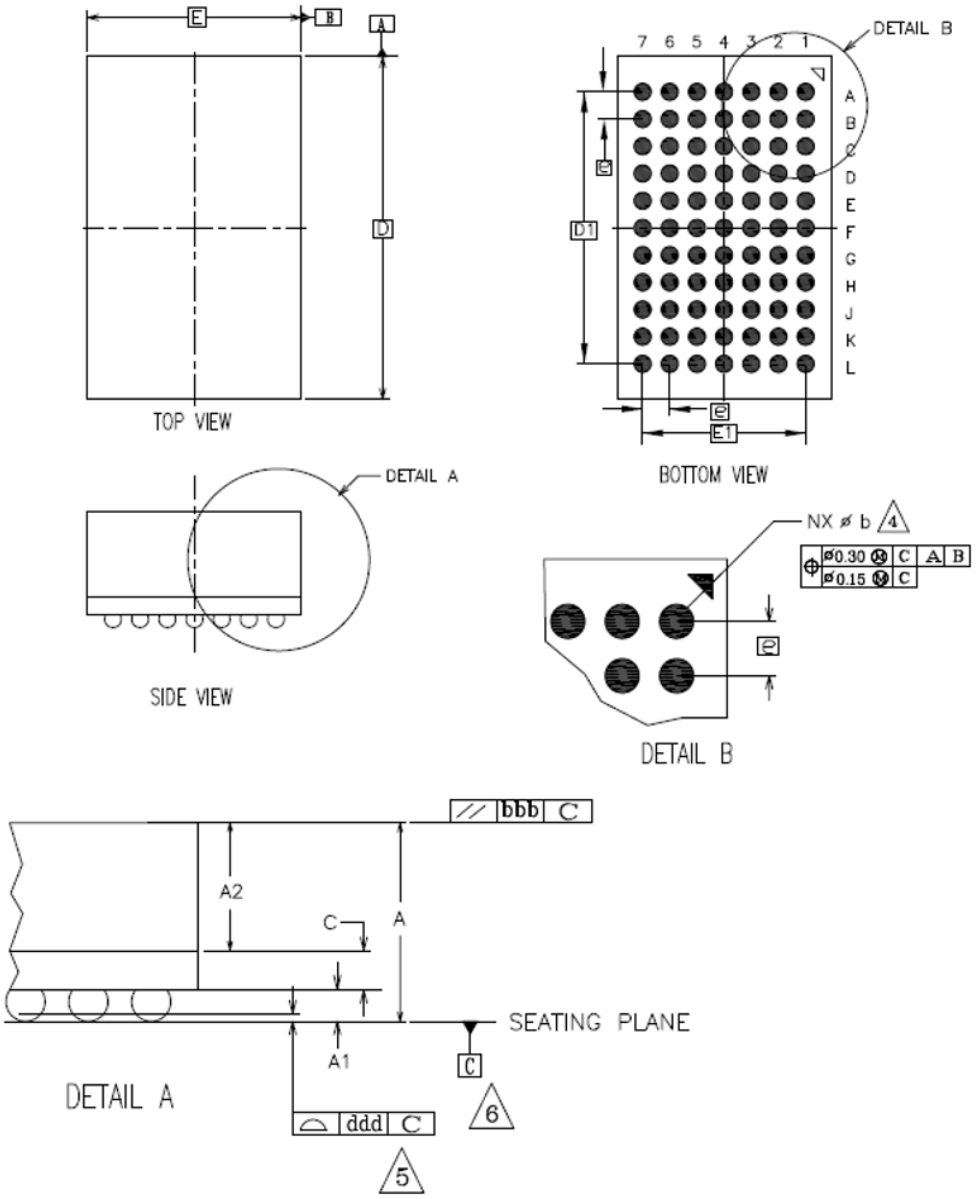


图 23：两通道并联设计参考-独立 12V 输入 3.3V 输出 8A 及独立 5V 输入 1.2V 输出 8A

封装描述



DIMENSIONAL REFERENCES				
REF.	MIN.	NOM.	MAX.	
A	5.15	5.40	5.65	9
A1	0.50	0.60	0.70	
A2	3.90	4.00	4.10	
c		0.80 Ref.		
D	15.90	16.00	16.10	
D1		12.70 BSC.		
E	9.90	10.00	10.10	
E1		7.62 BSC.		
b	0.60	0.75	0.90	
bbb		0.25		
ddd		0.20		
e		1.27 BSC.		
MD/ME		11/7		
N		77		
REF: JEDEC MS-028				9

NOTES:

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
2. 'e' REPRESENTS THE BASIC SOLDER BALL GRID PITCH.
3. 'M' REPRESENTS THE BASIC SOLDER BALL MATRIX SIZE. AND SYMBOL 'N' IS THE NUMBER OF BALLS AFTER DEPOPULATING.
4. 'b' IS MEASURABLE AT THE MAXIMUM SOLDER BALL DIAMETER AFTER REFLOW PARALLEL TO PRIMARY DAIUM C
5. DIMENSION 'ddd' IS MEASURED PARALLEL TO PRIMARY DATUM C
6. PRIMARY DATUM C AND SEATING PLANE ARE DEFINED BY THE SPHERICAL CROWNS OF THE SOLDER BALLS.
7. PACKAGE SURFACE SHALL BE MATTE FINISH CHARMILLES 24 TO 27.
8. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M 1994.
9. CONFORM TO JEDEC MS-028, EXCEPT DIMENSION 'A'.

订货说明

产品型号	订货编号	封装形式	质量等级	产品标识	温度范围
SPES4644T	SPES4644TN	77-BGA	N1 级	SPES4644TN [a] YYWWXX [b]	-55℃至 125℃
	SPES4644TQ	77-BGA	企军级	SPES4644TQ YYWWXX	-55℃至 125℃
	SPES4644TJ	77-BGA	军温级	SPES4644TJ YYWWXX	-55℃至 125℃
	SPES4644TG	77-BGA	工业级	SPES4644TG YYWWXX	-40℃至 85℃
	SPES4644TX	77-BGA	消费级	SPES4644TX YYWWXX	-40℃至 85℃

注：
a 产品订货编号
b 产品批号

产品订货编号命名规则

SPES4644T X (X)

① ② ③



图 24:产品正面图

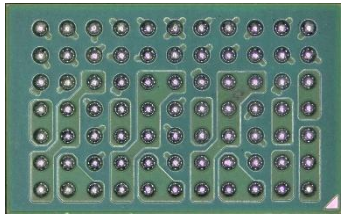


图 25:产品背面图

① 产品型号
② 质量等级：N 为 N1 级，Q 为企军级，J 为军温级，G 为工业级，X 为消费级
③ 封装形式：有 L 为 LGA 封装，无 L 默认为 BGA 封装