

4路DC/DC，每路输出4A，可4路并联16A 超薄型SIP封装电源模块

产品特性

- 自主研发，纯国产化
- 采用SMT工艺，SIP塑封封装
- 总规范：GJB 10164-2021
- 详细规范：SC-Q/GZX52013-2022
- 输出电流：每路4A持续满载输出电流，峰值5.5A
- 并联：4路并联输出16A，支持4644模块之间并联
- 工作温度 (Tc)：-55°C ~ +125°C
- 宽输入电压范围：4.0V至15V
- 输出电压范围：0.8V至5.5V
- 开关频率：变频，可自动调节，典型1MHZ，
- 工作模式：自动调节
- 效率：92%
- 空载功耗：4路总和0.01W (12Vin, 5V输出)
- 输出纹波电压：15mVp-p (典型值)
- 电压调整率：±1.0% (典型值)
- 负载调整率：±0.5% (典型值)
- 软启动：内部1mS软启动(附加外部1mS可选)
- 保护：输出过流、过热、输出过压、输入欠压
- 常规尺寸：
 - LGA封装(9.0*15.0*4.32mm)
 - BGA封装(9.0*15.0*5.01mm)
- 超薄尺寸：
 - LGA封装(9.0*15.0*1.82mm)
 - BGA封装(9.0*15.0*2.42mm)

应用

- 多轨负载点调节；
- CPU和GPU供电；
- CPLD、DSP和FPGA等ASIC芯片供电。

产品简介

4644是一款非隔离式降压型DC/DC电源模块，4~15V宽电压输入，0.8~5.5V输出可调。四路输出、每路可加载4A、有LGA和BGA两种封装供用户选择。

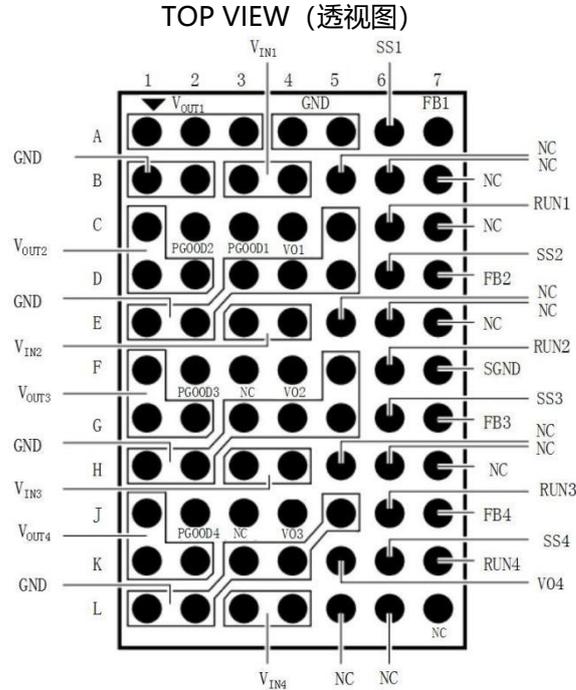
4644为SMT表贴模块，采用回流焊方式焊接到PCB板上，具有高功率密度、体积小特点，超薄型仅有1.82mm厚度，功率密度达到了300W/cm³。电源模块电路集成了电源芯片、电感及相关元器件，每路输出只需要在外围配置一个调压电阻、几个输入输出瓷片电容，即可快速完成多路电源系统的设计，简化的系统设计最大限度地节省PCB布局空间。

4644作为负载点电源，可直接安装在FPGA旁边，为系统中的数字电路、FPGA控制电路、主板及CPU、通信、存储等提供5.0V、3.3V、2.5V、1.2V等高精度电压，每路可持续提供4A的电流，四路输出可任意组合并联使用，且4644电源模块之间也可并联。非常适合低输出电压、多路应用的场合。

4644工作模式和工作频率可自动调节，可根据实时的输入、输出电压及负载自动调节，不仅节省了外围电路，还能将空载功耗降到最低，电源模块始终处于最佳工作状态。

4644所有元器件均实现国产，可提供自主可控报告。此外，该电源模块还具有高可靠性、高效率、长寿命的特点。特别是在低压输出时，其效率明显高于同类产品，可为系统提供更可靠、更稳定的电源。

产品脚位示意图和脚位定义



引脚	功能描述
V_{OUT1} (A1,A2,A3) , V_{OUT2} (C1,D1,D2) , V_{OUT3} (F1,G1,G2) , V_{OUT4} (J1,K1,K2) ,	电源模块四路输出引脚
V_{IN1} (B3,B4) , V_{IN2} (E3,E4) , V_{IN3} (H3,H4) , V_{IN4} (L3,L4)	电源模块四路输入引脚
GND (A4,A5, B1,B2, C5, D3,D4,D5, E1,E2, F5, G3,G4,G5, H1,H2, J5,K3, K4,L1,L2)	接地引脚
FB1 (A7) , FB2 (D7) ,FB3 (G7) , FB4 (J7)	四路输出电压调整引脚, 可连接0.5%精度的调压电阻至GND。
RUN1 (C6) , RUN2 (F6) , RUN3 (J6) , RUN4 (K7)	四路使能引脚, 可直接接输入电压, 也可接外部电源来控制电源模块, 最小使能启动电压1.1V, 当使能电压低于0.95V时, 电源关断。建议使能电压大于1.2V, 此脚不能悬空, 如要关断电源, 可将此脚接到地。
PGOOD1 (C3) ,PGOOD2 (C2) ,PGOOD3 (F2) ,PGOOD4 (J2)	故障指示引脚, PG=高表示VOUT在电压范围内, PG=低表示VOUT低于规定值。可将此PGOOD引脚接一个100K电阻到VO脚(注意: 需要评估VO脚实际电压是否能达到后级FPGA或其它芯片I/O口的电压要求), 也可接外部电压供电到PGOOD, 当PGOOD置低时表示电源模块出现异常(其所述异常包括UV,OV,OC,OT等), 若不需要故障指示功能, 可不加这一电阻, PGOOD可悬空。
VO1 (C4) ,VO2 (F4) , VO3 (J4) , VO4 (K5)	VO可作为PG供电脚, 四组VO已在电源模块内部分别对应连接到四路输出端, 即VO1=VOUT1,VO2=VOUT2, VO3=VOUT3, VO4=VOUT4。
MODE1(B6), MODE2(E6), MODE3(H6), MODE4(L6)	空置引脚,无电气功能, 可以跟任意引脚连接。(4644工作频率和模式能自动调节, 工作频率典型值1MHz。)
SGND (F7)	信号地, 建议GND(功率地)和SGND分开布线, 最终用0欧姆电阻连接。
SS1 (A6), SS2(D6), SS3(G6), SS4(K6)	外部软启动引脚, 外部可接3.3nF的陶瓷电容到信号地, 若不需要增加外部软启动功能, 可不加这一电容, SS脚悬空。
NC (E7,H7,L7,C7,L5,H5,E5,B5,J3,F3)	空置引脚, 无电气功能, 可以跟任意引脚连接。

功能规格

极限值	条件	最小值	标称值	最大值	单位
V _{IN} (每路)		-0.3		17	V
FB、V _{OUT} (每路)		-0.3		7	V
PGOOD (每路)		-0.3		12	V
PGOOD电流 (每路)				10	mA
VO, SS/TR (每路)		-0.3		7	V
RUN (每路)		-0.3		17	V
贮存温度		-55		150	°C
回流焊温度				245	°C
输入特性	条件	最小值	标称值	最大值	单位
输入电压范围		4.0	12	14	V
开机电压阈值			3.95		V
关机电压阈值		3.5	3.6	3.9	V
满载时输入电流	V _{IN} = 12V, V _{OUT} = 1.5V, I _{OUT} = 4A		0.6		A
低压满载时输入电流	V _{IN} = 5V, V _{OUT} = 1.5V, I _{OUT} = 4A		1.5		A
空载时输入电流	V _{IN} = 12V, V _{OUT} = 1.5V, I _{OUT} = 0A		650		μA
静态输入电流	ON/OFF=OFF		15		μA
通用要求	条件	最小值	标称值	最大值	单位
开关频率	自动调节		1000		KHz
效率	V _{in} =5V, V _{out} =3.3V			92	%
软启动时间	SS脚加3.3nF陶瓷电容		2		ms
使能	条件	最小值	标称值	最大值	单位
RUN使能电压		1.2	-	14	V
输出特性	条件	最小值	标称值	最大值	单位
输出电压范围	由FB脚电阻调节	0.8		5.5	V
输出电压	C _{IN} = 22μF, C _{OUT} = 22μF×4, V _{IN} = 4V to 15V, I _{OUT} = 0A to 4A	1.47	1.5	1.53	V
线性调整率	V _{OUT} = 1.5V, 4V < V _{IN} < 15V, I _{LOAD} = 4A			±0.5	%
负载调整率	V _{IN} = 12V, V _{OUT} = 1.5V, 1A < I _{LOAD} ≤ 4A			±1	%
纹波和噪声	V _{IN} = 12V, V _{OUT} = 1.5V, I _{OUT} = 4A, C _{out} = 22μF×4, 20MHz带宽		10	50	mV
动态负载响应	75-100%满载, di/dt = 1A/μS, C _{out} = 22μF×4		50, 40		mV, μs

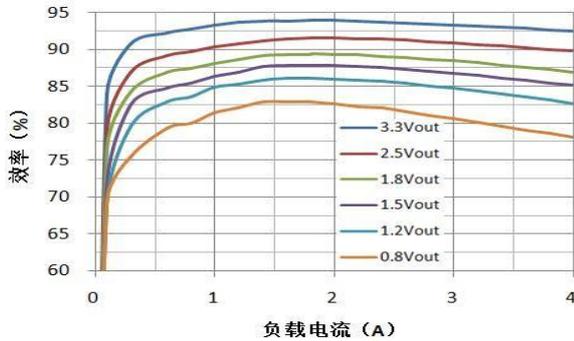
功能规格

输出特性	条件	最小值	标称值	最大值	单位
输出过电流保护	Iout%	115	120	125	%
输出过压保护	Vout%	115	115	130	%
过温度保护	壳温 (Tc)	-	-	135	°C
结构特性	条件	最小值	标称值	最大值	单位
封装	LGA、BGA	-	-	-	-
常规尺寸	LGA: 9*15*4.32; BGA: 9*15*5.01	-	-	-	mm
超薄尺寸	LGA: 9*15*1.82; BGA: 9*15*2.42	-	-	-	mm
重量			1.6		g
环境适应性	条件	最小值	标称值	最大值	单位
工作温度 (壳温)		-55		125	°C
高温贮存 (环境温度)	+125°C, 48h			125	°C
高温工作 (环境温度)	+85°C, 24h; 输入低压、标压、负载降额、高压各8h			85	°C
低温贮存 (环境温度)	-55°C, 24h	-55			°C
低温工作 (环境温度)	-55°C, 24h; 输入低压、标压、高压各8h	-55			°C
湿热	高温高湿阶段: 60°C, 95%; 低温高湿阶段: 30°C, 95%; 循环10次, 每个循环为24h	30		60	°C
温度冲击	高温125°C, 低温-55°C, 高低温各一个小时为一个周期, 共试验32个周期	-55		125	°C

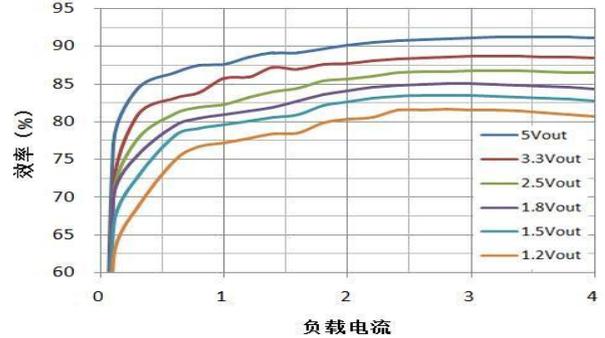
注 1: 高于“极限值”部分所列数值的应力有可能对器件造成永久性的损害。在任何绝对最大额定值条件下暴露的时间过长都有可能影响器件的可靠性和使用寿命。

典型性能特征

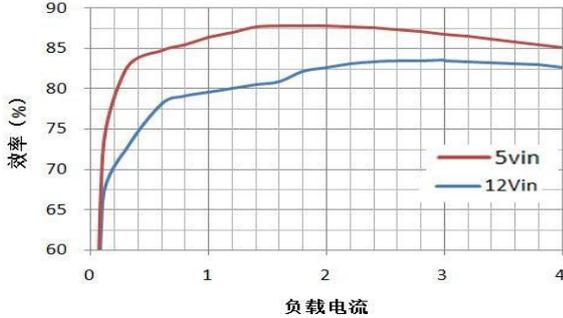
效率 vs 负载电流 (5Vin, 单通道工作)



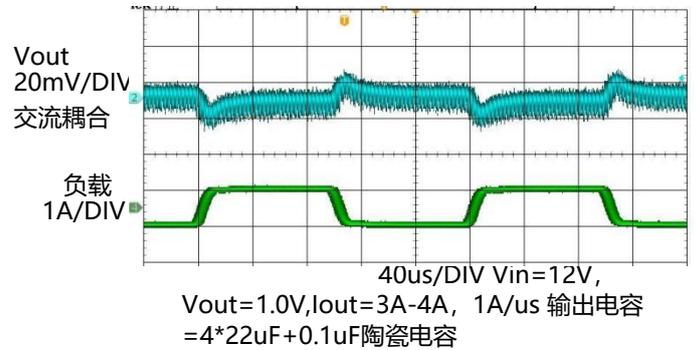
效率 vs 负载电流 (12Vin, 单通道工作)



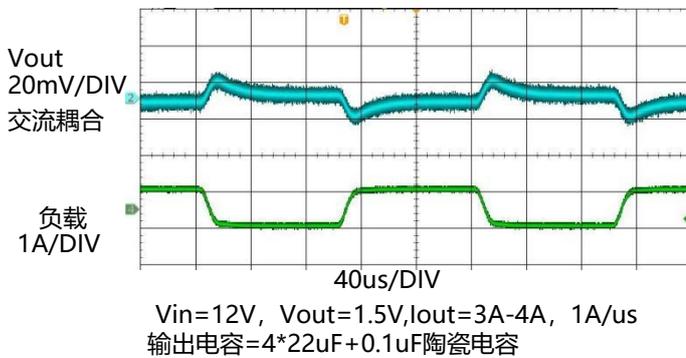
1.5Vout效率 (单通道工作)



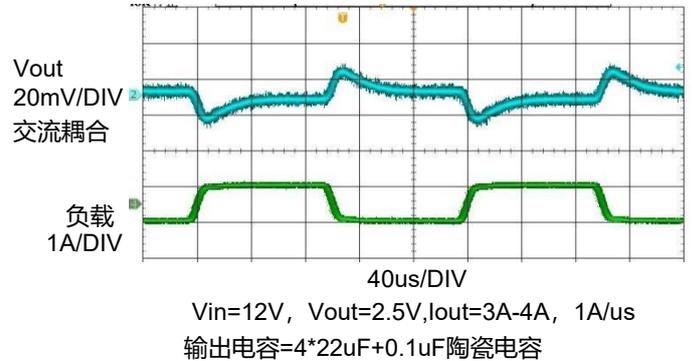
1.0V动态负载响应



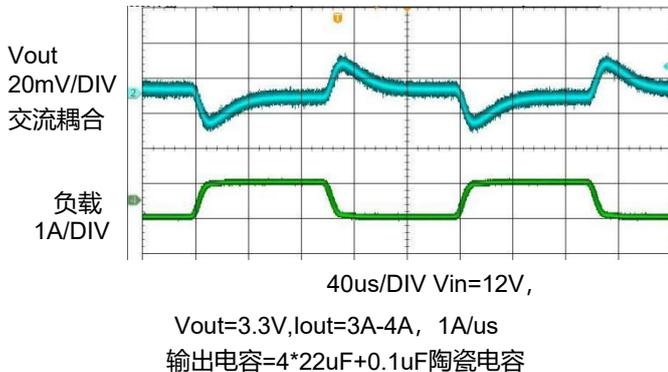
1.5V动态负载响应



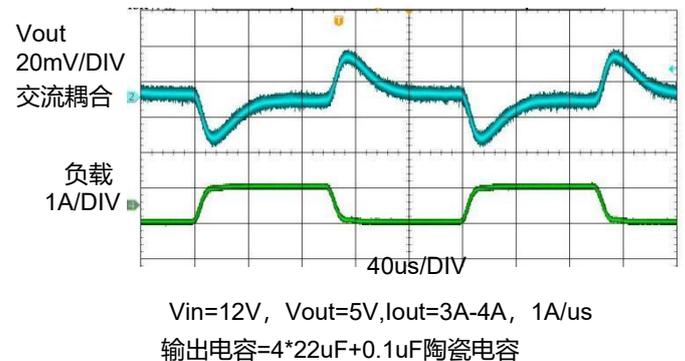
2.5V动态负载响应



3.3V动态负载响应

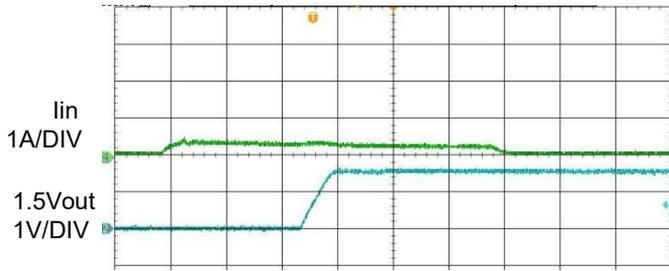


5.0V动态负载响应



典型性能特征

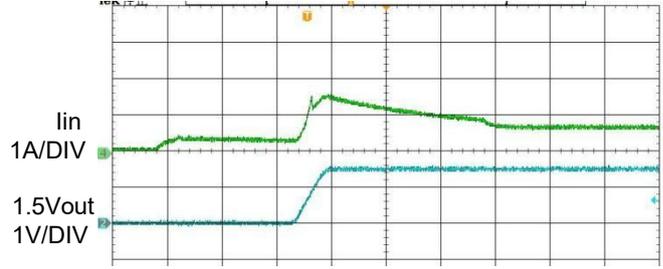
输出启动-空载



2ms/DIV $V_{in}=12V$,

$V_{out}=1.5V, I_{out}=0A$
 输入电容=150uF电解电容+4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容

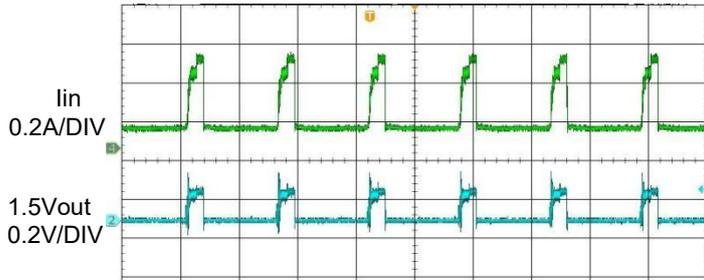
输出启动-4A负载



2ms/DIV $V_{in}=12V$,

$V_{out}=1.5V, I_{out}=4.0A$
 输入电容=150uF电解电容+4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容

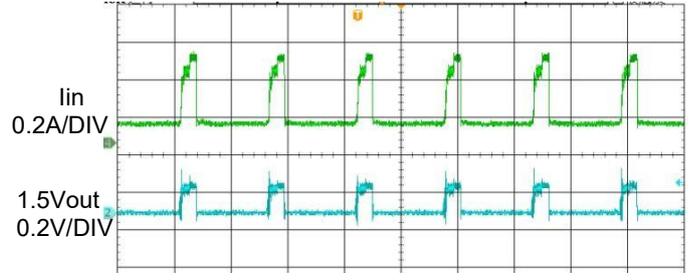
输出短路-空载 (常态, 打嗝模式)



4ms/DIV

$V_{in}=12V, V_{out}=1.5V, I_{out}=0A$
 输入电容=150uF电解电容+4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容

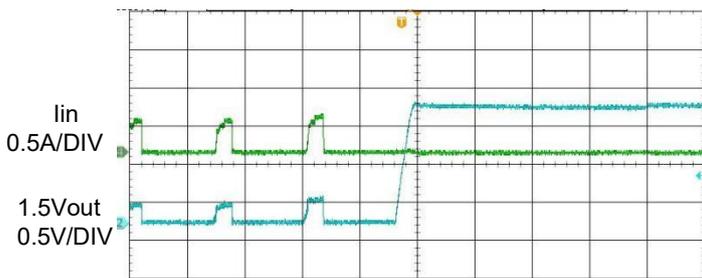
输出短路-4A负载 (常态打嗝模式)



4ms/DIV

$V_{in}=12V, V_{out}=1.5V, I_{out}=4.0A$
 输入电容=150uF电解电容+4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容

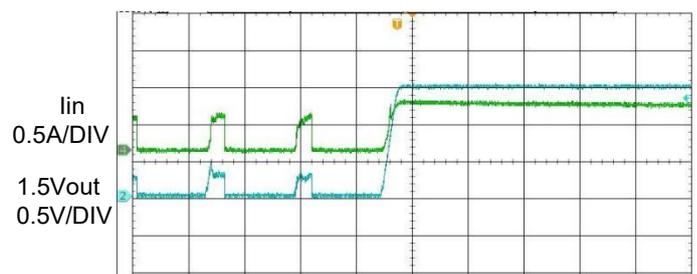
输出短路移除-空载 (瞬态, 打嗝模式)



4ms/DIV $V_{in}=12V$,

$V_{out}=1.5V, I_{out}=0A$
 输入电容=150uF电解电容+4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容

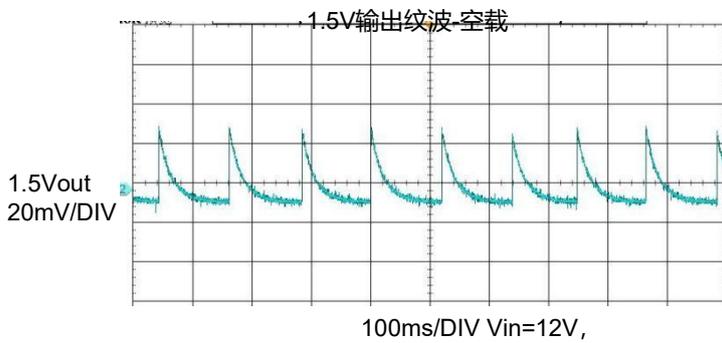
输出短路移除-4A负载 (瞬态, 打嗝模式)



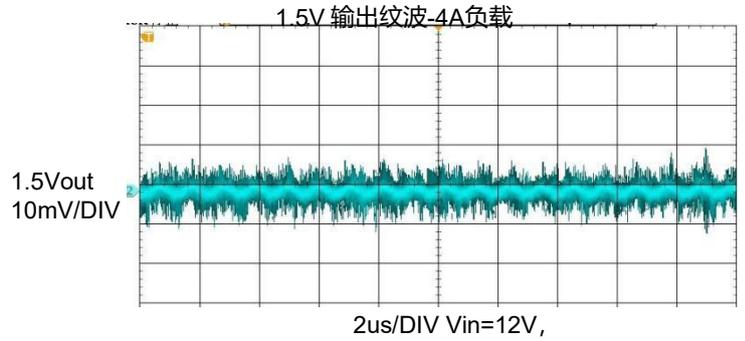
4ms/DIV $V_{in}=12V$,

$V_{out}=1.5V, I_{out}=4.0A$
 输入电容=150uF电解电容+4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容

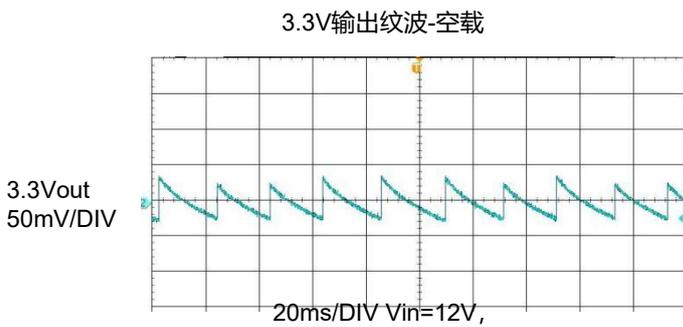
典型性能特征



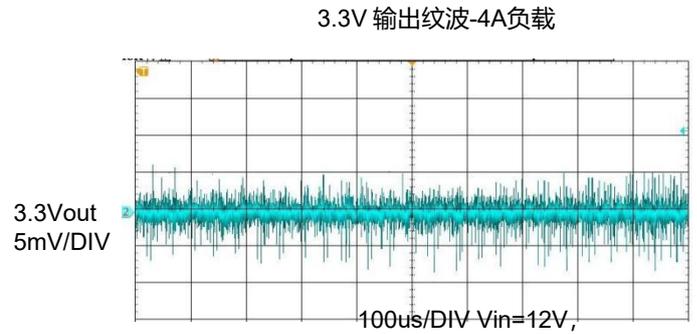
Vout=1.5V, Iout=0A
 输入电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 20MHZ带宽限制



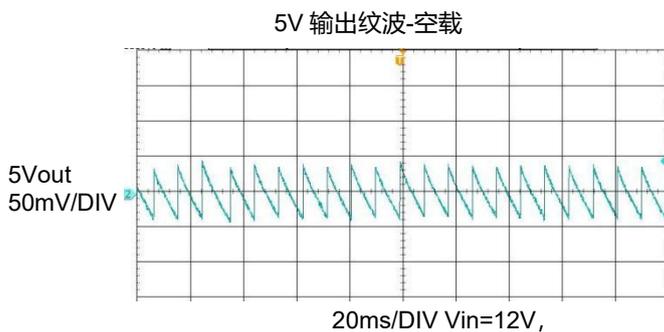
Vout=1.5V, Iout=4.0A
 输入电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 20MHZ带宽限制



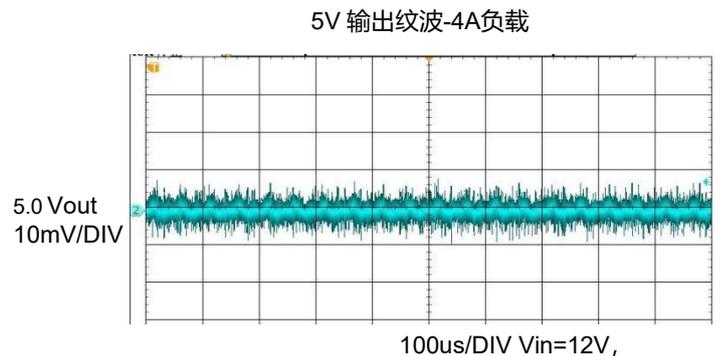
Vout=3.3V, Iout=0A
 输入电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 20MHZ带宽限制



Vout=3.3V, Iout=4.0A
 输入电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 20MHZ带宽限制



Vout=5.0V, Iout=0A
 输入电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 20MHZ带宽限制



Vout=5.0V, Iout=4.0A
 输入电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 输出电容=4*22uF+0.1uF陶瓷电容
 20MHZ带宽限制

应用详解

4644 是一款四路独立输出的非隔离式 DC/DC 开关稳压器。它有四个独立的稳压器通道，每个通道都能够提供高达 4A 的连续输出电流，仅需少量外部输入和输出电容。在 4.0V 至15V 输入电压范围内，每个稳压通道通过一个外部电阻可提供精确调节的输出电压，电压范围为 0.8V 至 5.5V。

RUN 启动

将每个稳压器通道的 RUN 引脚拉至地，迫使稳压器进入关断状态，关闭功率 MOSFET 和大部分内部控制电路。将 RUN 引脚置于 0.7V 以上仅打开内部参考，同时仍保持功率 MOSFET 关闭。进一步将 RUN 引脚电压增加到 1.2V 以上将打开整个稳压器通道。输出电压设置

在4644 内部，FB引脚通过 100kΩ 精密电阻连接到每个通道的 VOUT 端。本模块输出电压可通过FB 与 GND 之间的电阻 R_{FB} 来进行调节，计算如下所示：

$$R_{FB}(K) = \frac{100k}{\frac{V_{out}}{0.8} - 1}$$

注1：建议预留两个电阻位，且精度为0.5%，以便对输出电压进行精调。

下面列表1为 R_{FB} 电阻与各输出电压关系

Vout (V)	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.5	3.3	5.0
R_{FB} (kΩ)	open	400	200	114.3	80	47.06	32	19.05

注2：并联使用时，如N路并联，那么此时的 R_{FB} 电阻就是单路 R_{FB} 电阻值除以N的值，例如3.3V输出4路并联时， R_{FB} 电阻值就是32K除以4=8K。

表1 R_{FB} 电阻与各输出电压关系表

软启动

模块内置有1mS的软启动，另有外部软启动脚可供选择，接1个3.3nF左右的陶瓷电容，可增加延迟时间。下面公式为软启动电容计算公式：

$$C_{SS} = 4 \times T_{SS}$$

C_{SS} 为软启动电容容值，单位为nF， T_{SS} 为软启动时间，

单位为mS。例如：附加的软启动时间为1ms时，所需要的软启动电容为4nF。

输入欠压保护

当VIN降至3.7V以下，欠压锁定。

注意：如输入线比较长，由于存在线压降，需保证到模块输入脚电压大于4.0V，以确保有正常输出。

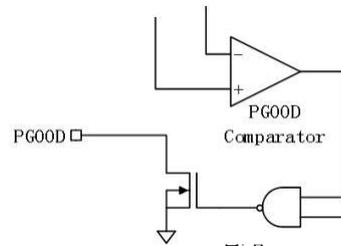
输出过流保护

当输出电流超过电流限制值时，4644进入保护状态。当输出电流回到正常范围内，转换器进入正常工作状态。

Power Good

PGOOD引脚为漏极开路引脚，可用于监测每个有效的输出电压。当Vout低于设定的输出电压的门限电压时，PG变高。也可用来监测UVLO和OTP等保护功能，可以将电阻器上拉至特定电源电压以进行监控。

下图为PG电路示意图，列表2为PGOOD脚逻辑表：



监测项	条件	PG状态
UVLO	$0.7V < V_{IN} < V_{UVLO}$	低电平
开机(RUN=高电平)	$V_{FB} \geq V_{TH_PG}$	高电平
	$V_{FB} \leq V_{TH_PG}$	低电平
关机(RUN=低电平)		低电平
温度保护关机	$T_J > T_{SD}$	低电平
电源移除	$V_{IN} < 0.7V$	高电平

注： V_{FB} 为电压反馈脚电压， V_{TH_PG} 为PGOOD阈值电压， T_J 为结温， T_{SD} 为电源保护关机时温度

表2 PGOOD脚逻辑图

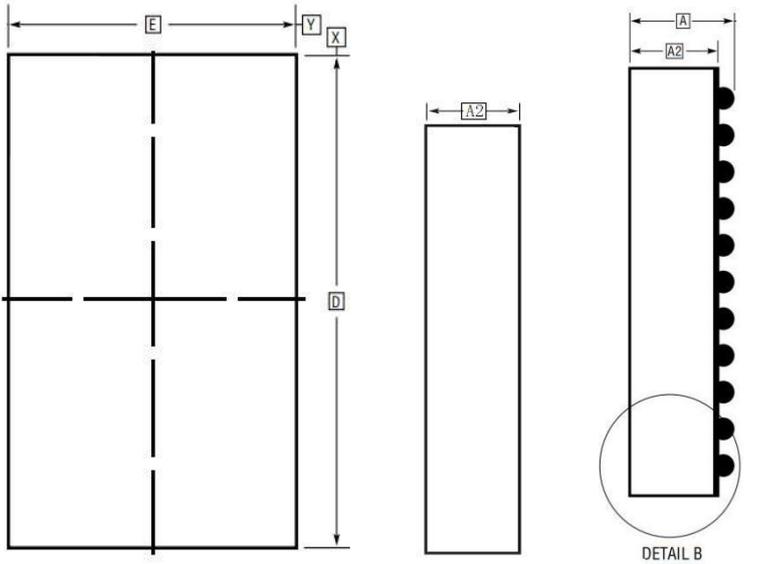
过温保护

当4644的壳温上升到135℃以上时，进入过温保护状态

封装尺寸(77引脚)

LGA封装 (9mm×15mm×4.32/1.82mm)

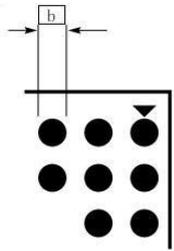
BGA封装 (9mm×15mm×5.01/2.42mm)



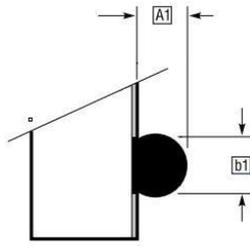
TOP VIEW

LGA SIDE VIEW

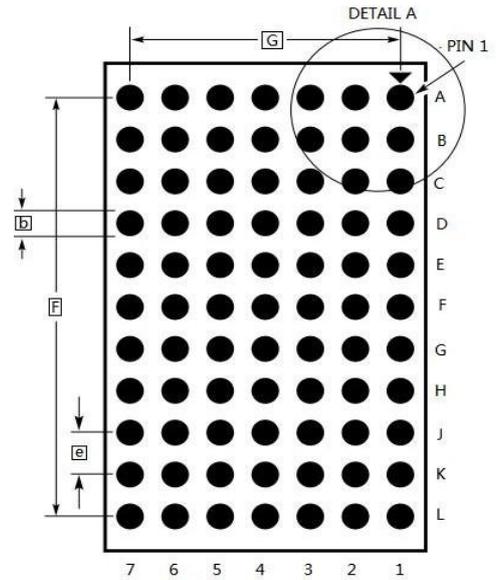
BGA SIDE VIEW



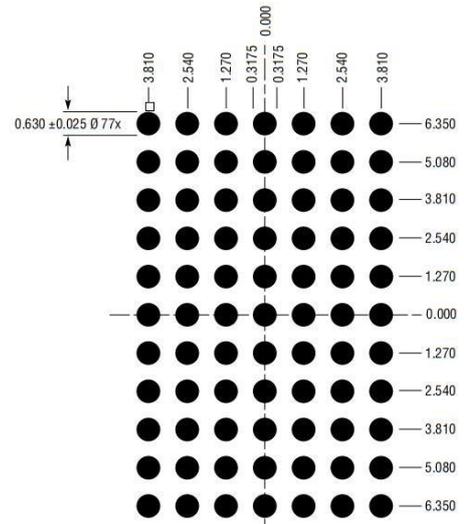
DETAIL A



DETAIL B



BOTTOM VIEW



TOP VIEW (PCB LAYOUT 建议尺寸)

LGA尺寸

SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A2 (常规尺寸)	4.12	4.32	4.52
A2 (超薄尺寸)	1.62	1.82	2.02
b	0.60	0.70	0.90
D	14.8	15	15.2
E	8.8	9	9.2
e	1.27		
F	12.70		
G	7.62		

BGA尺寸

SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A (常规尺寸)	4.81	5.01	5.21
A (超薄尺寸)	2.22	2.42	2.62
b	0.60	0.75	0.90
A1	0.50	0.60	0.70
b1	0.60	0.63	0.66
D	14.8	15	15.2
E	8.8	9	9.2
e	1.27		
F	12.70		
G	7.62		

工作条件、测试和应用特别说明

1、本模块推荐工作条件：

★输入电压范围：VIN = 4.0V ~ 15V（建议最小输入电压大于4.2V）

★输出电压范围：VOUT = 1.0V ~ 5.0V

★输出电流范围：（建议 80%降额使用）

 Iout= 0 ~ 4A 单通道独立工作

 Iout=N× (0 ~ 4A) N 为并联通道数

★工作外壳温度 TC： -55°C ~ 125°C

2、测试和应用说明

该电源模块在功能测试时不建议采用线性电源测试（线性电源在调整输出时容易产生瞬态电压波动，有超过最大额定电压风险），推荐采用开关稳压电源或 DC/DC 模块电源。

★该电源模块为高功率密度型电路，建议采用 4 层或以上 PCB 板来布局。考虑高温情况下长期稳定工作，推荐进行适当负载降额（额定负载 80%）或做散热处理（可考虑使用：系统整机风冷、贴散热片到电源模块上方、增加电源模块底部 PCB 板覆铜面积等）。

★该电源模块应用 PCB 板推荐采用较宽铜箔进行 VIN、VOUT和GND 布局，以减小因大电流造成的导通损耗和热应力。建议将输入、输出滤波电容靠近电源模块布局。为避免干扰，建议输入电容和输出电容相距要尽量大于1cm布局。

★若之前使用的是LTM4644外围电路设计，需要根据下面公式重新计算R_{FB}，只需变更电阻值即可，无需变更PCB布局。

$$R_{FB}(K) = \frac{100k}{\frac{V_{out}}{0.8} - 1}$$

★该电源模块为空封全密封型产品，在焊接前看湿度卡的变化来确定是否需要预烘烤处理。

★注意产品传送过程中的静电防护。

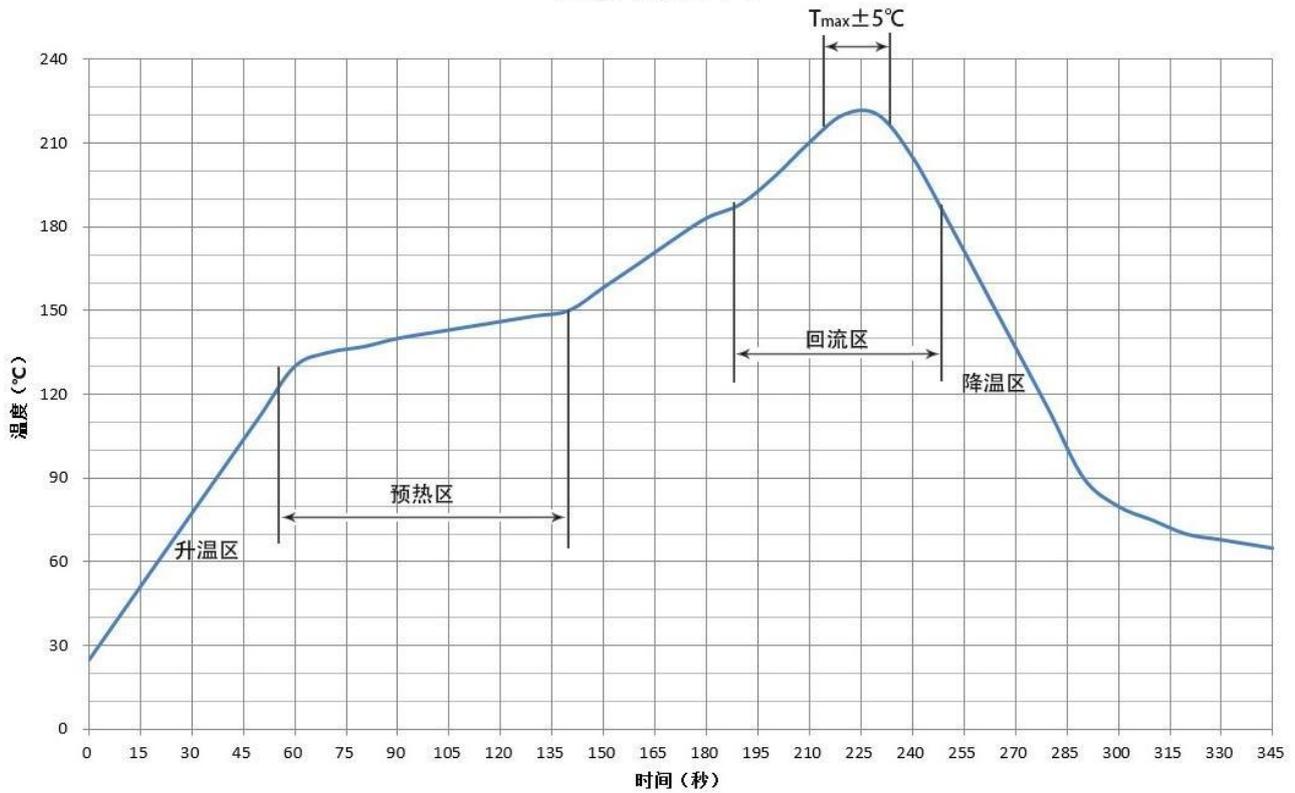
回流焊接注意事项

1. 包装完好的产品开封后车间寿命为168小时；若发现包装袋裂开或干燥剂、指示标签变色，使用前要进行125°C 48小时的烘烤方可使用。
2. 对无铅BGA锡球产品回流焊接时，其峰值温度不可超245°C；对有铅BGA锡球产品回流焊接时，峰值温度不可超225°C。
3. 推荐钢网厚度125um-160um，钢网开孔略小于焊盘，以Φ0.635mm焊盘为例，钢网开孔推荐Φ0.620mm。
4. 锡膏可使用无铅SAC或SnPb(有铅)，推荐3号或4号粉，各不同品牌锡膏焊接建议各有不同，请留意参考，气孔率推荐不超过25%。

表：推荐的回流焊参数

		无铅锡膏	SnPb (有铅) 锡膏
预热	最低预热温度	150°C	100°C
	最高预热温度	200°C	150°C
	预热时长	(60-120) 秒	(60-120) 秒
回流焊接	熔点	217°C	183°C
	高于熔点时长	(30-90) 秒	(30-90) 秒
焊接曲线峰值温度		245°C	225°C
峰值温度±5°C区间时长最大值		30秒	
平均温升速率最大值		2.5°C/秒	
降温速率最大值		2.5°C/秒	
25°C升到峰值温度时长最大值		8分钟	

SnPb锡膏回流焊曲线



回流焊焊接推荐曲线（供参考）：

无铅锡膏回流焊曲线

