

低 V_{IN} 、高效率、双通道2A降压型 DC/DC μ Module稳压器

产品特性

- 小型、表贴、薄型 $3\text{mm} \times 4\text{mm} \times 1.18\text{mm}$ LGA封装和 $3\text{mm} \times 4\text{mm} \times 1.48\text{mm}$ BGA封装
- 输入电压范围: 2.25V至3.6V
- 双通道2A直流输出电流
- 总输出电压调节能力【输出电压精度】: $\pm 1.5\%$
- 电流模式控制, 快速瞬态响应
- 外部频率同步
- 180° 错相工作
- 可选跳脉冲模式/突发工作模式(Burst Mode®)/强制连续模式
- 电源良好指示
- 内部软启动
- 内部补偿
- 过压、过流和过温保护

应用

- 电信、网络和工业设备
- 负载点调整
- FPGA、ASIC内核电源

描述

LTM4691是一款完整的双通道2A输出开关模式DC/DC电源, 采用小型 $3\text{mm} \times 4\text{mm} \times 1.18\text{mm}$ LGA封装和 $3\text{mm} \times 4\text{mm} \times 1.48\text{mm}$ BGA封装。封装中包含开关控制器、功率FET、电感和所有支持元件【以及其他相关器件】。在2.25V至3.6V的输入电压范围内工作时, LTM4691支持具有通过外部电阻设置的0.5V至2.5V可编程输出电压范围的两个输出【LTM4691的两路输出电压均可通过外部电阻配置, 输出电压范围0.5V~2.5V】。其高效率设计在每个输出上提供高达2A的连续电流【其高转换效率使得每路可以提供最高2A的连续输出电流】。只需要输入和输出电容【应用时需要增加输入、输出滤波电容】。

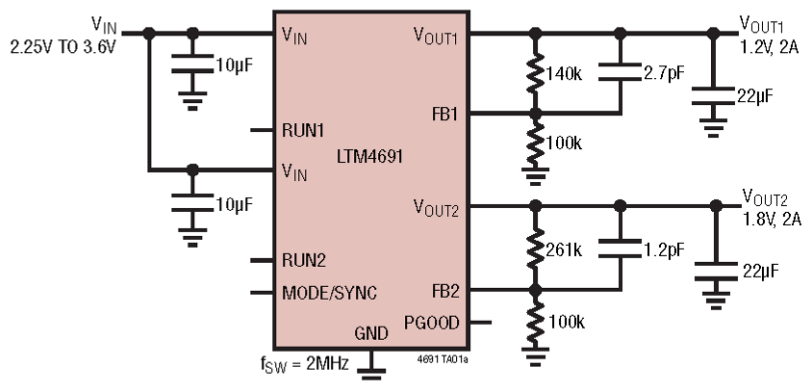
LTM4691在强制连续模式下工作以实现低噪声跳脉冲模式, 或在轻负载下以突发模式工作以实现高效率【LTM4691在强制连续模式下工作, 实现低噪声输出; 跳脉冲模式或者突发模式工作, 使其在轻载模式下保证高转换效率】。典型的降压【删】开关频率为2MHz且可在1MHz至3MHz之间同步。其高开关频率和电流模式架构可在不牺牲稳定性的情况下对线路【输入电压变化】和负载变化作出快速瞬态【删】响应。

其他特性包括精密运行【精准的使能】阈值、PGOOD信号、输出过压保护、热关断和输出短路保护。LTM4691是一款符合RoHS标准的无铅产品。

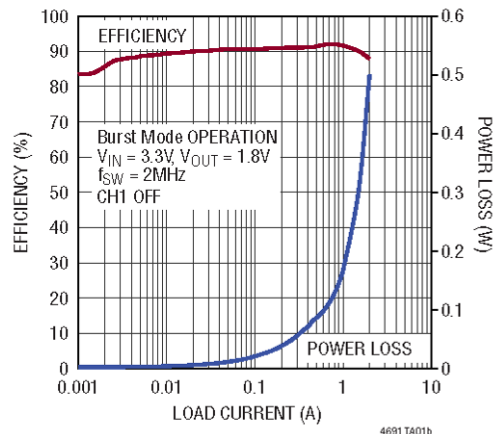
所有注册商标和商标均属各自所有人所有。

典型应用

双通道2A DC/DC μ Module稳压器



效率与负载电流的关系



目录

产品特性	1
应用	1
典型应用	1
描述	1
绝对最大额定值	3
订购信息	3
引脚配置	3
电气特性	4
典型性能参数	6
引脚功能	8
框图	9
解耦要求	9
工作原理	10
应用信息	11
V_{IN} 至 V_{OUT} 降压比	11
输出电压编程	11
输入解耦电容	11
输出解耦电容	11
模式选择	11
工作频率和外部同步	12
电源良好	12
输出过压保护	12
输出电压软启动	13
压差操作	13
输出短路保护和恢复	13
负载分配	13
使用精密RUN阈值	13
散热考虑和输出电流降额	14
安全考虑	17
布局检查清单/示例	17
应用信息	18
典型应用	19
引脚配置表	20
LTM4691器件LGA和BGA引脚排列	20
封装说明	21
修订历史	23
封装照片	24
相关器件	24

绝对最大额定值

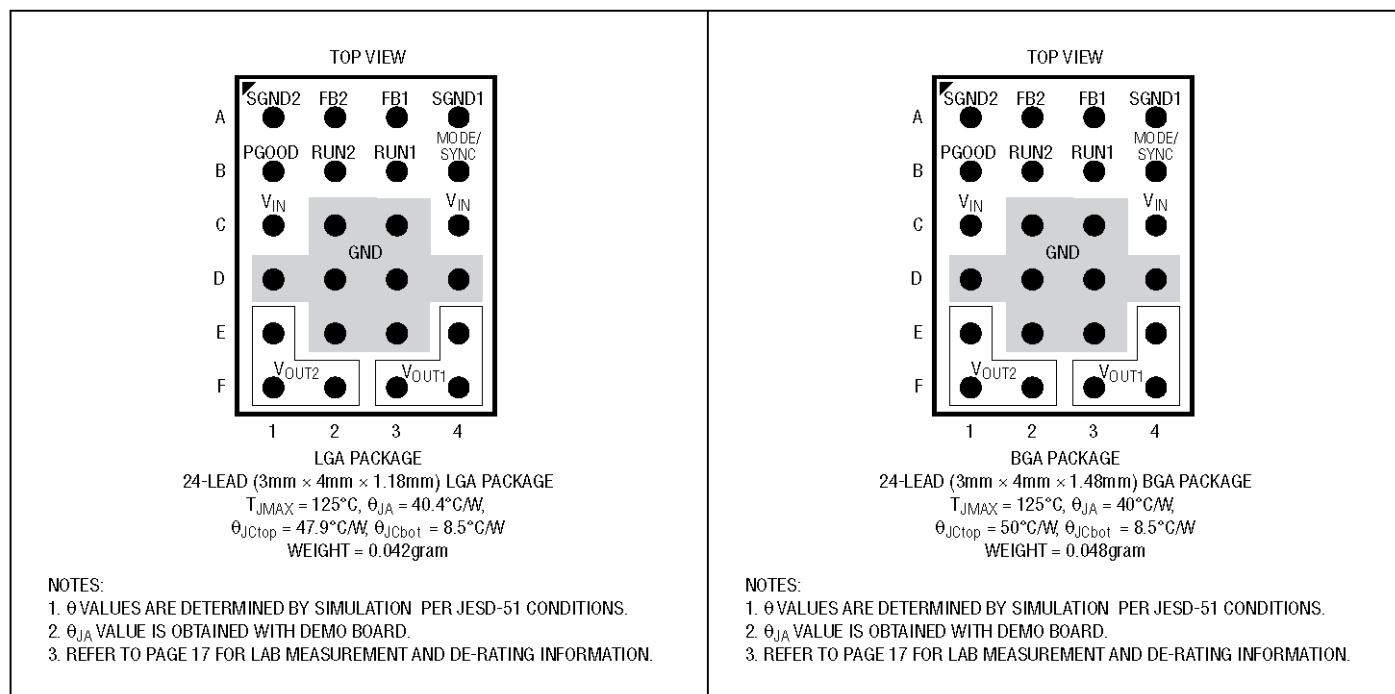
(注释 1)

V_{IN}	-0.3V至4V
V_{OUT1} 、 V_{OUT2}	-0.3V至2.5V
PGOOD、RUN1、RUN2、MODE/SYNC、 FB1、FB2.....	-0.3V至4V

引脚配置

(参见引脚配置表中的引脚功能)

工作结温 (注释 2).....	-40°C至125°C
存储温度范围	-55°C至125°C
峰值焊料回流体温	260°C



订购信息

产品型号	焊盘或焊球表面处理	器件标识		JEDEC表面处理代码	封装类型	MSL	温度范围
		器件	表面处理代码				
LTM4691EV#PBF	Au (RoHS)	4691V	v	e4	LGA	3	-40°C至125°C
LTM4691IV#PBF					BGA		
LTM4691EY#PBF	SAC305 (RoHS)	4691Y	v	e1	LGA	3	-40°C至125°C
LTM4691IY#PBF					BGA		

- 关于具有更宽额定工作温度范围的器件，请联系工厂。*焊盘或焊球表面处理代码依据 IPC/JEDEC J-STD-609 标准。
- [LGA和BGA PCB建议装配与制造程序](#)
- [LGA和BGA封装和托盘图纸](#)

电气特性 • 表示规格适用于全部工作温度范围，其他规格的适用条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ （注释2）， $V_{IN} = 3.3\text{V}$ ，典型应用。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	输入直流电压		●	2.25		3.6	V
$V_{OUT1,2}(\text{RANGE})$	输出电压范围	$V_{IN} = 2.25\text{V}$ 至 3.6V	●	0.5		2.5	V
$V_{OUT1,2}(\text{DC})$	输出电压，随线路【输入电压】和负载的总变化	MODE/SYNC = Float $V_{IN} = 2.5\text{V}$ 至 3.6V $I_{OUT} = 0\text{A}$ 至 2A , $V_{IN} = 2.5\text{V}$	●	1.477	1.50	1.523	V
V_{IN_UVLO}	V_{IN} 欠压闭锁【保护】	V_{IN} 上升		2.05	2.15	2.25	V
$V_{IN_UVLO_HYS}$	V_{IN} 欠压锁定迟滞【保护滞回】				150		mV
$V_{RUN1,2}$	RUN引脚导通阈值	V_{RUN} 上升		0.375	0.4	0.425	V
$V_{RUN1HYS}/V_{RUN2HYS}$	RUN引脚迟滞【滞回】				50		mV
$I_{RUN1,2}$	RUN引脚漏电流	$RUN = 3.6\text{V}$				± 100	nA
关断时 V_{IN} 静态电流		$V_{IN} = 3.6\text{V}$, $RUN = 0\text{V}$			1.5		μA
两个降压器均使能时的 $I_{Q(VIN)}$	输入电源【删】偏置电流	$V_{OUT} = 1.5\text{V}$, MODE/SYNC = V_{IN} MODE/SYNC = GND MODE/SYNC = FLOAT			85		μA
					2.6		mA
					32		mA
$I_{OUT1,2}(\text{DC})$	输出连续电流范围	$V_{OUT} = 1.5\text{V}$ （注释3）		0		2	A
$\Delta V_{OUT1}(\text{LINE})/V_{OUT1}$ $\Delta V_{OUT2}(\text{LINE})/V_{OUT2}$	电压调整精度【率】	$V_{OUT} = 1.5\text{V}$, $V_{IN} = 2.25\text{V}$ 至 3.6V , $I_{OUT} = 0\text{A}$	●		0.001	0.5	%/V
$\Delta V_{OUT1}(\text{LOAD})/V_{OUT1}$ $\Delta V_{OUT2}(\text{LOAD})/V_{OUT2}$	负载调整精度【率】	$V_{OUT} = 1.5\text{V}$, $I_{OUT} = 0\text{A}$ 至 2A $V_{IN} = 2.5\text{V}$	●		0.2	1.5	%
$V_{OUT1,2}(\text{AC})$	输出纹波电压	$I_{OUT} = 0\text{A}$, $C_{OUT} = 22\mu\text{F}$ 陶瓷 $V_{IN} = 3.3\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$			5.5		mV
$\Delta V_{OUT}(\text{START})$ (各通道)	开启【启动】过冲	$I_{OUT} = 0\text{A}$, $C_{OUT} = 22\mu\text{F}$ 陶瓷 $V_{IN} = 3.3\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$			12		mV
t_{START} (各通道)	开启【启动】时间	$C_{OUT} = 22\mu\text{F}$ 陶瓷, 空载, $V_{IN} = 3.3\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$ （注释4）			1		ms
ΔV_{OUTLS} (各通道)	动态负载的峰值偏差【动态负载时，输出电压过冲】	负载：满载的0%至50%至0% $C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ 陶瓷, $V_{IN} = 3.3\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$			55		mV
t_{SETTLE} (各通道)	动态负载阶跃的建立时间【动态负载时，输出电压恢复时间】	负载：满载的0%至50%至0% $C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ 陶瓷, $V_{IN} = 3.3\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$			25		μs
I_{OUT1PK} , I_{OUT2PK}	输出电流限值	$V_{IN} = 3.3\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$			2.8		A
$V_{FB1,2}$	FB引脚电压	$I_{OUT} = 0\text{A}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$	●	0.495	0.50	0.505	V
$I_{FB1,2}$	FB引脚电流				± 20		nA
PGOOD阈值/HYS	PGOOD上升阈值 PGOOD迟滞【滞回】 过压上升阈值 过压迟滞【滞回】	占调节 V_{FB} 的百分比			-2.5	-3.5	%
					1.1		%
					10	14	%
					2		%
I_{PGOOD}	内部PGOOD漏电流	$V_{PGOOD} = 3.6\text{V}$				± 100	nA
f_{OSC}	振荡器频率				2		MHz
MODE/SYNC阈值	编程【删】跳脉冲模式		●			0.1	V
	编程【删】突发工作模式		●	V_{IN} -0.1			V
SYNC_RANGE	同步频率范围			1		3	MHz
SYNC_LEVEL	SYNC时钟高电平 SYNC时钟低电平			1.2			V
						0.4	V

电气特性

注释1: 应力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会影响器件的可靠性和使用寿命。

注释2: 。LTM4691 在脉冲负载条件下进行测试, 使得 $T_J \approx T_A$ 。LTM4691E 保证在 0°C 至 125°C 的内部工作温度范围内满足性能规格要求。 -40°C 至 125°C 内部工作温度范围内的规格通过设

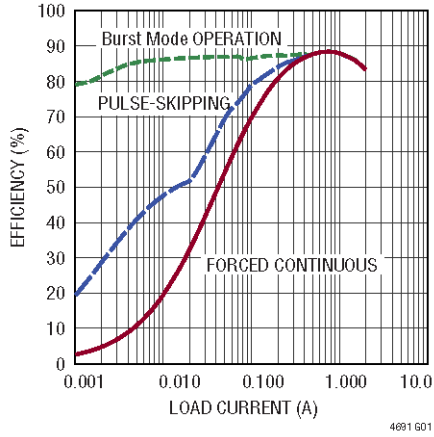
计、表征以及与统计过程控制的相关性来保证。LTM4691I 保证在 -40°C 至 125°C 的内部工作温度范围内满足规格要求。请注意, 这些规格所要求的最高环境温度取决于具体工作条件以及电路板布局、额定封装热阻和其他环境因素。

注释3: 请参阅不同 V_{IN} 、 V_{OUT} 和 T_A 下的输出电流降额曲线。

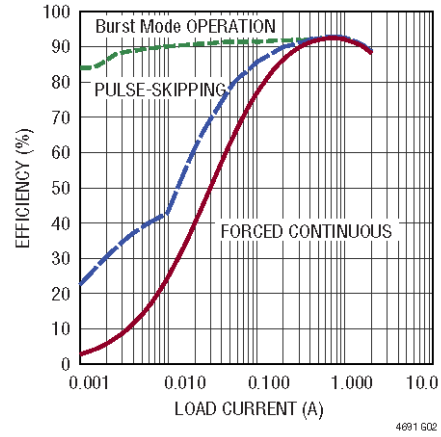
注释4: 通过设计保证。

典型性能参数

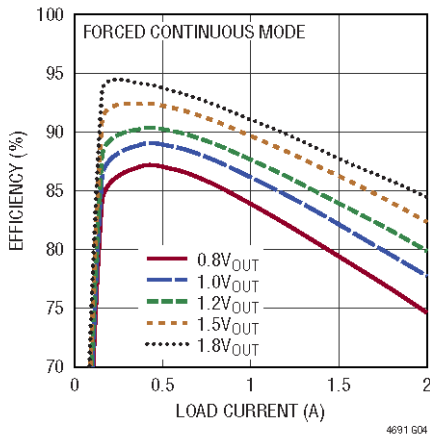
不同工作模式下效率与负载电流的关系, $V_{IN} = 3.3V$, $V_{OUT} = 1.2V$



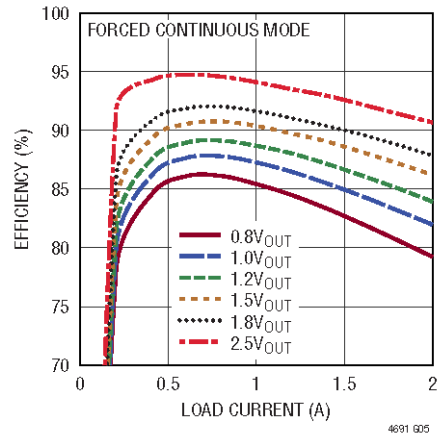
不同工作模式下效率与负载的关系, $V_{IN} = 3.3V$, $V_{OUT} = 1.8V$



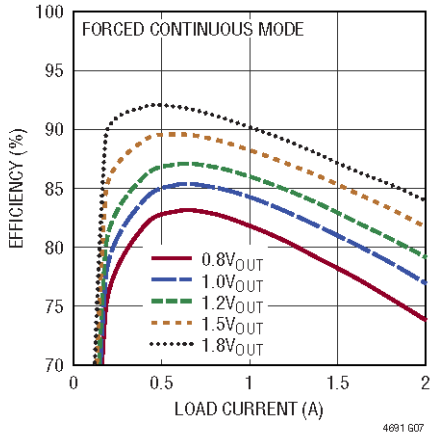
效率与负载电流的关系, $2.25V_{IN}$, 通道2关闭



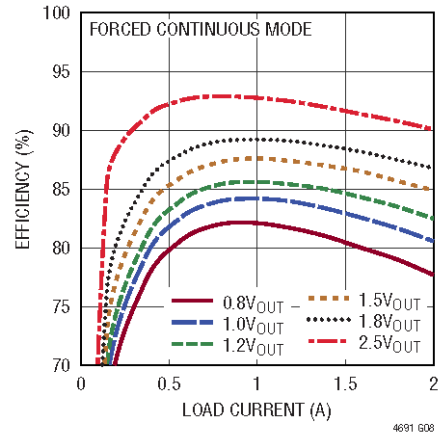
效率与负载电流的关系, $3.3V_{IN}$, 通道2关闭



效率与负载电流的关系, $2.25V_{IN}$, 两个通道均开启

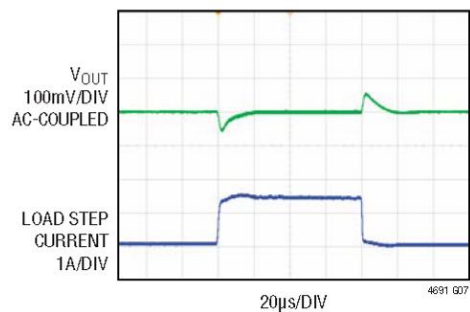


效率与负载电流的关系, $3.3V_{IN}$, 两个通道均开启



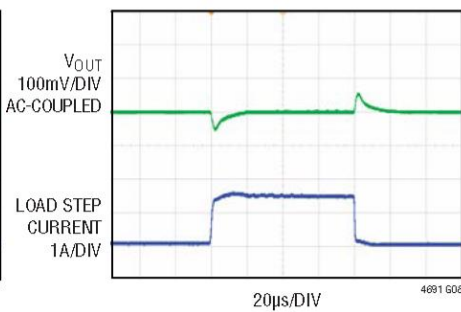
典型性能参数

瞬态响应, 跳脉冲模式



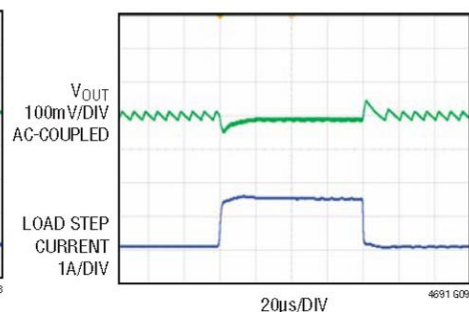
LOAD STEP: 0.1A TO 1.5A
 $V_{IN} = 3.3V$
 $V_{OUT} = 1.2V$

瞬态响应, 强制连续模式



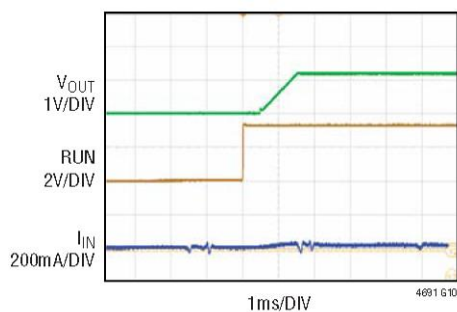
LOAD STEP: 0.1A TO 1.5A
 $V_{IN} = 3.3V$
 $V_{OUT} = 1.2V$

瞬态响应, 突发工作模式



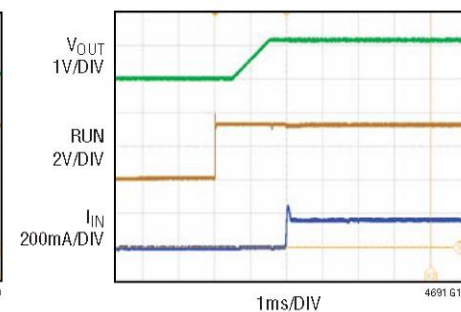
LOAD STEP: 0.1A TO 1.5A
 $V_{IN} = 3.3V$
 $V_{OUT} = 1.2V$

启动瞬态, 空载



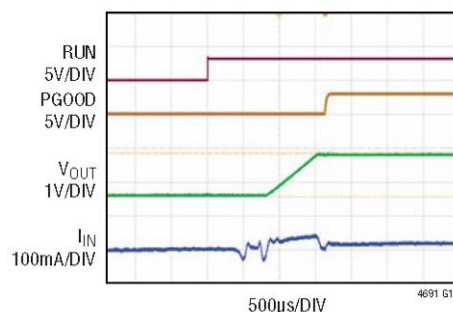
$V_{IN} = 3.3V$
 $V_{OUT} = 1.2V$

启动瞬态, 满载



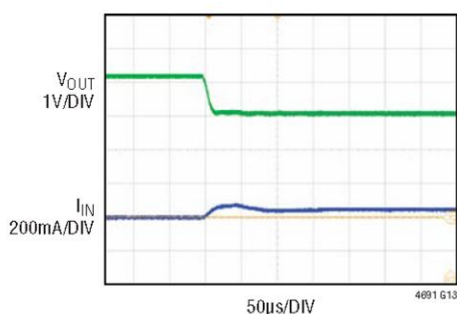
$V_{IN} = 3.3V$
 $V_{OUT} = 1.2V$
 $R_{LOAD} = 0.6\Omega$

预偏置输出情况下的启动



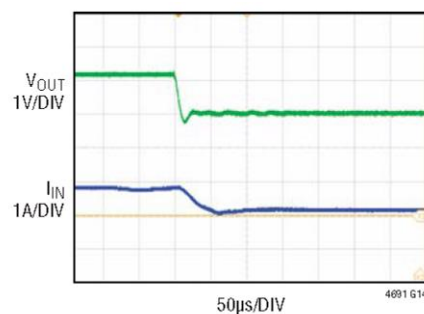
$V_{IN} = 3.3V$
 $V_{OUT} = 1.2V$

短路, 空载



$V_{IN} = 3.3V$
 $V_{OUT} = 1.2V$

短路, 满载



$V_{IN} = 3.3V$
 $V_{OUT} = 1.2V$

引脚功能



对于不同 μ Module产品，封装的行和列标签可能不同。请仔细查看每种封装布局。

V_{IN} (C4、C1) : 电源输入引脚。两个V_{IN}引脚均在内部连接，并且必须短接起来。每个V_{IN}应有自己的输入旁路电容。建议将输入解耦电容置于尽可能靠近引脚的地方【尽可能靠近引脚放置】。

V_{OUT1} (E4、F3、F4) , V_{OUT2} (E1、F1、F2) : 每个开关模式稳压器的电源输出引脚。在这些引脚和GND引脚之间应用输出负载。建议将输出解耦电容直接放在这些引脚和GND引脚之间。

GND (C2、C3、D1、D2、D3、D4、E2、E3) : 输入和输出回路的电源地引脚。

SGND1 (A4), SGND2 (A1): 信号地连接。

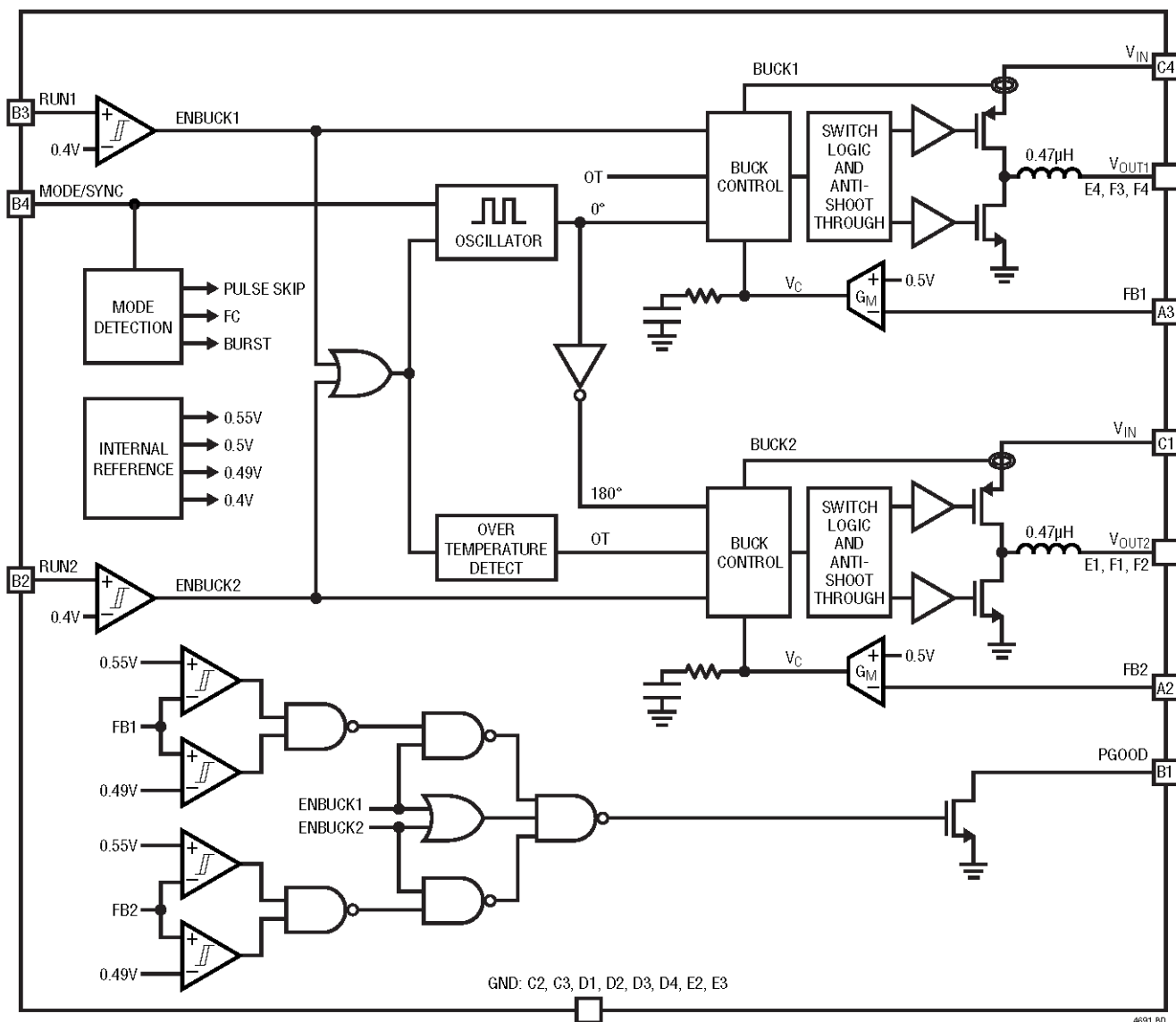
PGOOD (B1): 电源良好输出。开漏输出。当任一开关稳压器的稳压输出电压降至PGOOD阈值以下或升至过压阈值以上时，此引脚会被拉低。

RUN1 (B3), RUN2 (B2): 各开关模式稳压器通道的运行控制输入。当使能各通道时，它具有精密阈值以及来自V_{IN}或其他电源编程的可选外部电阻分压器【该引脚具有精密阈值，可以通过外部电阻分压器连接V_{in}或者连接其他可调电源】。如果不需要精密阈值，应将RUN1、RUN2驱动到V_{IN}以使其能【可以将RUN1、RUN2连接至V_{in}以使其能】。勿浮空。

FB1 (A3), FB2 (A2): 开关模式稳压器通道的误差放大器的负输入。LTM4691将FB和SGND之间的电压调节到500mV。连接到V_{OUT}的电阻分压器设置输出电压。

MODE/SYNC (B4): 模式选择和外部时钟同步输入。此引脚接地时，使能跳脉冲模式。为了在轻负载下实现更高效率，应将此引脚连接到V_{IN}以使其能突发工作模式。为了在宽负载范围内实现快速瞬态响应和恒频工作，应将此引脚浮空以使其能强制连续模式。使用外部时钟驱动MODE/SYNC，可将两个降压转换器同步到所施加的频率。同步时，工作模式为强制连续模式。斜率补偿自动适应外部时钟频率。在没有外部时钟的情况下，两个降压转换器将以默认开关频率切换。

框图



解耦要求

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
C _{IN}	外部输入电容要求 (V _{IN} = 2.25V至3.6V, V _{OUT} = 1.5V)	I _{OUT} = 2A (各通道)	10 (对于每个通道)			µF
C _{OUT1,2}	外部输出电容要求 (V _{IN} = 2.25V至3.6V, V _{OUT} = 1.5V)	I _{OUT} = 2A	22			µF

工作原理

LTM4691是双通道独立式非隔离开关模式DC/DC电源。使用少量外部输入和输出电容，每个通道可以提供高达2A的直流输出电流。此模块提供精密调节的输出电压(0.5V至3.6V)，输出电压可通过一个外部电阻分压器进行编程，输入电压范围为2.5V至3.6V【此模块通过外部分压电阻器设定输出电压，在输入电压2.5V至3.6V的范围内实现0.5V~2.5V的精密输出】。典型应用原理图如第1页所示。

LTM4691集成了两个恒频峰值电流模式稳压器、功率MOSFET、电感和其他支持性【相关】分立元件。LTM4691的典型开关频率为2MHz，可以与1MHz至3MHz范围内的外部时钟同步。参见“应用信息”部分。

利用电流模式控制和内部反馈回路补偿，在极小输出电容下，LTM4691模块具有足够的稳定性裕量和良好的瞬态性能。电流模式控制提供逐周期快速限流功能。过流状态下会提供【限制】峰值限流【电流】。每个降压开关稳压器都有自己的PGOOD信号。如果任一使能的降压器的内部PGOOD信号保持低电平超过120 μ s，则PGOOD引脚会被拉低，告知微处理器发生了电源故障。

RUN引脚具有精密400mV阈值和50mV迟滞。通过电阻分压器将RUN引脚连接到另一个降压器的输出，便可利用该精密阈值来提供基于事件的上电时序控制。如果一个降压器的RUN引脚为低电平，该降压器会被关断，并进入低静态电流状态。如果两个RUN引脚均为低电平，则两个降压器均处于关断状态，SW引脚为高阻抗，LTM4691的静态电流小于1 μ A。如果任一引脚【使能引脚电压】高于400mV的使能【删】阈值，则使能相应的降压器。

所有降压调节器都有正向和反向限流、软启动功能(限制启动期间的浪涌【冲击】电流)和短路保护。当两个降压器均被禁用，然后使能其中一个时，将有400 μ s(典型值)的延迟，【而在功率电路以及缓启动启动前，】内部电路上电后会有100 μ s(典型值)的不启动时间，然后开始切换和软启动斜坡【删】。如果再使能另一个降压器，它也会有100 μ s(典型值)的不启动时间。如果在第一个降压器的400 μ s【的延迟时间】内使能第二个降压器，它将等到400 μ s到期后才开始其不启动时间。

降压开关稳压器彼此【相互】错相180°，相位决定了开关序列的固定边沿，即内部顶部PMOS接通的时候【决定了内部顶部PMOS开通时的相位】。PMOS断开(NMOS接通)阶段受稳压器的占空比要求控制【的相位由稳压器的占空比决定】。

应用信息

典型LTM4691应用电路如第1页所示。外部元件选择主要由输入电压、输出电压和最大负载电流决定。有关特定应用的具体外部电容要求，请参阅表4。

V_{IN} 至 V_{OUT} 降压比

对于给定输入电压，由于稳压器的最小导通时间限制，可实现的最小 V_{OUT} 降压比【输出电压】是有限制的。

最小导通时间限制【删】决定了转换器的最小占空比，后者可利用式1计算。

$$D_{MIN} = t_{ON(MIN)} \cdot f_{SW} \quad (1)$$

其中， $t_{ON(MIN)}$ 为最小导通时间；对于LTM4691，其典型值为35ns。在极少数情况下占空比超出最小值，输出电压仍保持调节，但开关频率会从其编程值降低【将低于设定值】。

LTM4691没有最大 V_{OUT} 降压比限制。以100%占空比低压差运行时，LTM4691的输出电压可以高达2.5V。

输出电压编程

PWM控制器具有内部【内部具有】0.5V基准电压。在 V_{OUT} 远程【远端】检测点和FB引脚之间以及FB引脚和SGND引脚之间添加电阻分压器，可以设置输出电压，如式2所示。

$$V_{OUT} = 0.5V \cdot \frac{R_{TOP} + R_{BOT}}{R_{BOT}} \quad (2)$$

建议使用 1% 电阻以保持输出电压精度。降压调节器的瞬态响应可通过可选的相位超前电容 C_{FF} 来改善，此电容有助于消除反馈电阻和FB引脚的输入电容所产生的极点（图1）。

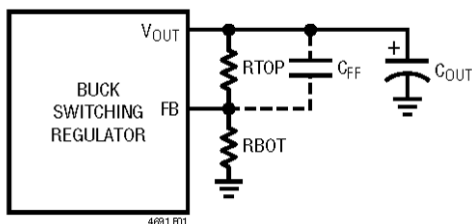


图1. 反馈元件

输入解耦电容

LTM4691模块应连接到低交流阻抗直流电源。对于该稳压器，建议在靠近各 V_{IN} 引脚的地方使用一体式10 μ F输入陶瓷电容，以进行RMS纹波电流解耦【在靠近各 V_{IN} 引脚处使用1片10uF陶瓷电容，对纹波电流解耦】。仅当输入源阻抗受到长感性引线、走线【长输入引线、走线等感性】影响或源电容不够时，才需要体输入电容。体电容【输入bulk电容，bulk电容】可以是电解铝电容和【或】聚合物电容。

在不考虑电感电流纹波的情况下，输入电容的RMS电流可按式3进行估算：

$$I_{CIN(RMS)} = \frac{I_{OUT(MAX)}}{\eta\%} \cdot \sqrt{D \cdot (1-D)} \quad (3)$$

其中， $\eta\%$ 为电源模块的估计效率。

输出解耦电容

得益于优化的【最优的】高频、高带宽设计，LTM4691只需要一个22 μ F低ESR输出陶瓷电容，即可实现低输出电压纹波和非常好的瞬态响应。如果需要进一步减小输出纹波或动态瞬态尖峰【负载瞬变时的过冲】，系统设计人员可能需要进行额外的输出滤波。表4为500mA (25%)负载阶跃瞬变期间使电压下降和过冲最小的不同输出电压和输出电容的对照表【表4展示了，500mA (25%)负载阶跃时，在不同输入电压的情况下，使电压跌落和过程最小时，需要的输出电容】。

模式选择

通过设置MODE/SYNC引脚，降压开关稳压器可以工作在三种不同模式：跳脉冲模式（当MODE/SYNC引脚设置为低电平时），强制连续PWM【删】模式（当MODE/SYNC引脚浮空时），或突发工作模式（当MODE/SYNC引脚设置为高电平时）。MODE/SYNC引脚【同时】设置【这】两个降压开关稳压器的模式。

应用信息

在跳脉冲模式下，振荡器连续工作，正SW转换与时钟对齐。电感电流不能为负，在轻负载期间会跳过一些开关脉冲以调节输出。

在强制连续模式下，振荡器连续运行。为了保持稳压，允许电感电流在轻负载条件下反向【反向】。该模式允许降压器以固定频率运行，输出纹波极小。

在突发工作模式下，在轻负载时，输出电容被充电至略高于其稳压点的电压。然后，稳压器进入休眠状态，在此期间输出电容提供负载电流。在休眠状态下，稳压器的大部分电路都关断，有助于节省输入功率。当输出电压降至其编程值【设定值】以下时，电路上电，另一个突发周期开始。休眠时间随着负载电流的增加而缩短。在突发工作模式下，稳压器在轻负载下以突发模式运行，而在较高负载下则以恒频 PWM 模式工作。

工作频率和外部同步

LTM4691的工作频率经过优化，可实现紧凑的封装尺寸和最小输出纹波电压，同时仍然保持高效率【可在实现紧凑的封装尺寸以及最小输出纹波电压的同时保持高效率】。默认频率在内部设置为2MHz。如果需要2MHz以外的工作频率，它可以外部同步到1MHz至3MHz的时钟。

将方波时钟信号施加于MODE/SYNC引脚，LTM4691的内部振荡器便可通过内部PLL电路与外部频率同步。在SYNC引脚上检测到外部时钟后，内部PLL以默认频率启动，然后逐渐调整其工作频率以匹配SYNC信号的频率。在同步期间，降压器1 PMOS导通，锁定外部频率源的上升沿。降压器2与降压器1相位相差180°。同步时，降压开关稳压器以强制连续模式工作。

移除外部时钟后，LTM4691会在大约10 μ s内检测到外部时钟不存在。在此期间，它会继续提供时钟周期。一旦检测到外部时钟被移除，振荡器就会将其工作频率逐渐调整到默认值。

电源良好

电源故障情况通过PGOOD引脚报告。两个降压开关稳压器均有内部电源良好(PGOOD)信号，如果一个降压器使能，其内部PGOOD信号必须为高电平，才能使PGOOD引脚为高电平。当使能的降压器的调节输出电压升至其设定值的98%以上时，PGOOD信号变为高电平。如果调节输出电压随后降至设定值的97%以下，PGOOD信号即被拉低。如果任一使能的降压器的内部PGOOD信号保持低电平超过120 μ s，则PGOOD引脚会被拉低，告知微处理器发生了电源故障。该120 μ s滤波时间可防止引脚在负载瞬态期间被拉低。此外，只要PGOOD信号变为高电平，就会有120 μ s的置位延迟。

LTM4691也在PGOOD引脚报告过压状况。如果任一使能的降压调节器的输出电压升至设定值的110%以上，则其PGOOD引脚将在120 μ s后被拉低。同样，如果两个使能的输出(处于过压状态)随后降至设定值的107.8%以下，则PGOOD引脚将在120 μ s后再次变为高电平。

在下列情况下，PGOOD也会为低电平：两个降压调节均未使能， V_{IN} 低于UVLO阈值，或LTM4691处于过温状态。

输出过压保护

在输出过压事件期间，当FB引脚电压大于稳压值的110%时，LTM4691 PMOS会立即关断。

在正常工作条件下不应发生输出过压事件。

应用信息

输出电压软启动

为了防止输入电源发生电流浪涌和输出电压过冲，输出需要软启动。

LTM4691内置软启动功能，在软启动期间，输出电压将按比例跟随内部电压斜坡而变化。发生故障时，有源下拉电路会使该内部电压放电。故障清除后，斜坡重启。清除软启动斜坡的故障情况包括：RUN引脚变为低电平、 V_{IN} 电压下降得过低或热关断。

压差操作

随着输入电源电压接近输出电压，占空比会朝着100%提高。电源电压的进一步降低会迫使PMOS保持导通一个周期以上，最终达到100%的占空比。然后，输出电压将由输入电压减去内部PMOS和电感上的直流压降来确定。

输出短路保护和恢复

引起电流比较器关断PMOS的峰值电感电流水平【电感峰值电流大小】由误差放大器控制。当输出电流增加时，误差放大器会提升内部 V_C 电压，直到电感平均电流与负载电流匹配。LTM4691会箝位最大内部 V_C 电压，从而限制峰值电感电流【电感峰值电流】。由于 V_C 节点在内部且无法访问【且无对外引脚】，所以LTM4691无法并联。

当输出短接到地时，电感电流非常缓慢地衰减，因为电感上的电压在下坡期间很低【在电感电流下降过程中，电感两端的电压很低】。为使电感电流受控，应再对电感电流的谷值施加一个限制。在周期结束时，如果测得的流过NMOS的电感电流仍然大于 I_{VALLEY} ，则PMOS会保持断开状态。后续开关周期将被跳过，直到电感电流降至 I_{VALLEY} 以下。

负载分配

LTM4691 不支持输出并联。

使用精密RUN阈值

LTM4691的每个降压调节器具有精密阈值RUN引脚，用于使能或禁用每个降压器。当这两个引脚均被驱动为低电平时，器件进入低电流关断模式。两个RUN比较器的上升阈值为400mV，并有50mV的迟滞。如果不使用关断特性，可将RUN引脚连接到 V_{IN} 。在 V_{IN} 和RUN引脚之间添加一个接地电阻分压器，使得LTM4691仅在 V_{IN} 高于所需电压时调节输出。

通常，该阈值($V_{IN(RUN)}$)用在输入电源【输出】电流受限或具有相对较高源电阻的情况下。开关稳压器从输入源获取近乎恒定的功率，因此源电流随着源电压的下降而增加【因为电源输出电流电源电压的下降而增加】。这在电源看来像是一个负电阻【“负电阻”】负载，可能导致电源在低电压情况下限流或锁存低电平【保持低电压】。 $V_{IN(RUN)}$ 阈值防止稳压器在可能发生问题的电源电压下工作。如图2所示，要调整该阈值，可以设置R1和R2的值，使之满足式4：

$$V_{IN(RUN)} = 400\text{mV} \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \quad (4)$$

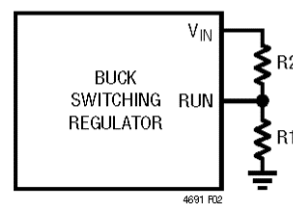


图2. RUN分压器

降压调节器将保持关断状态，直到 V_{IN} 高于 $V_{IN(RUN)}$ 。降压调节器将保持使能状态，直到 V_{IN} 降至 $0.875 \cdot V_{IN(RUN)}$ 且RUN为350mV。

或者，在一个降压器的输出端与另一个降压器的RUN引脚之间使用一个接地电阻分压器，以提供基于事件的上电时序控制，因为第一降压器达到稳压值会使能另一个降压器。将式4中的 $V_{IN(RUN)}$ 替换为第一个降压器的期望输出电压（例如稳压值的90%）——此时使能第二个降压器。

应用信息

散热考虑和输出电流降额

为了防止热损坏，LTM4691包含过温(OT)保护功能。如果结温达到大约165°C，两个功率开关均会断开，导致热关断，直至温度降至160°C。

本数据手册“引脚配置”部分报告的热阻与JESD51-12定义的参数一致，旨在用于有限元【元件】分析(FEA)软件建模工具，即利用热建模、仿真和相关分析的结果对安装到硬件测试板的 μ Module® 封装执行硬件评估。提供这些热系数的动机参见JESD51-12 (“电子封装热信息报告和使用指南”)。

许多设计人员可能会选择使用实验室设备和测试载具(如演示板)来预测 μ Module稳压器在各种电气和环境条件下应用的热性能，以便为FEA活动提供补充。若无FEA软件，“引脚配置”部分中报告的热阻仅与自身有关，而与提供热性能指引不相关【本身与提供热性能知道无关】。相反，数据手册中提供的降额曲线可以提供与具体应用相关的洞察和【删】指引，并且可以进行调整，以将热性能与自己的应用相关联【并且可以将热性能与对应的应用相关联】。

“引脚配置”部分通常给出了JESD51-12中明确定义四个热系数，这些系数说明如下：

1. θ_{JA} (结至环境热阻) 是自然对流下的结至环境空气热阻，在1立方英尺的密封外罩中测量。这种环境有时被称为“静止空气”，但自然对流会导致空气运动。此值是在器件安装后确定。
2. θ_{Jcbot} 是从结到产品外壳底部的热阻，测量条件是所有器件功耗都流过封装底部。在典型 μ Module稳压器中，大部分热量是从封装底部流出，但总会有热量流出到周围环境中。因此，该热阻值可用于比较封装，但测试条件与用户应用一般不一致。
3. θ_{Jctop} 是从结到产品外壳顶部的热阻，测量条件是几乎所有器件功耗都流过封装顶部。典型 μ Module的电气连接位于封装底部，因此应用很少这样运行，使得大部分热量从结流到器件顶部。与 θ_{Jcbot} 的情况一样，该值可用于比较封装，但测试条件与用户应用一般不一致。

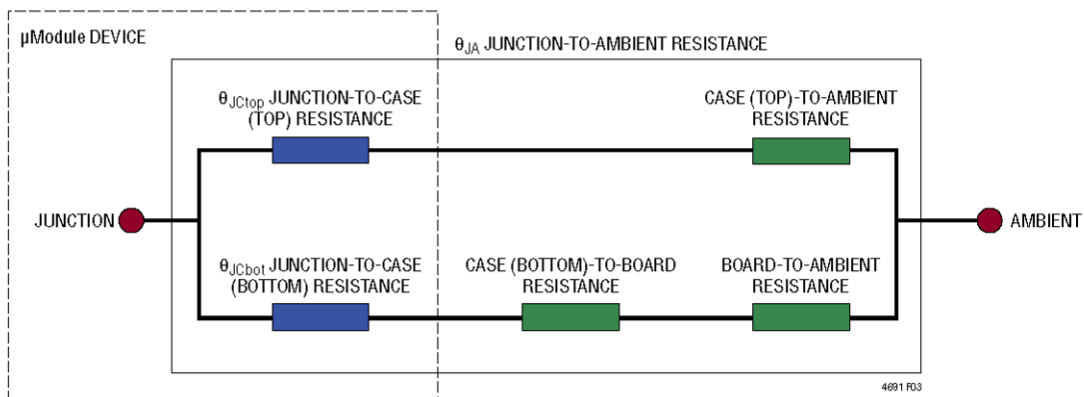


图3. JESD51-12热系数的图形表示

应用信息

图3给出了上述热阻的图形表示；蓝色电阻包含在 μ module稳压器内部，而绿色电阻在 μ module外部。实际上，读者应该清楚，在 JESD51-12 定义的或“引脚配置”部分中提供的四个热阻参数中，没有任何一个或其组合再现或表达了 μ Module 的正常工作条件。例如，在普通板载应用中，不可能像标准针对 θ_{JcTop} 和 $\theta_{JcBottom}$ 所定义的那样，器件总功耗（热量）100% 仅通过 μ Module 的顶部或底部进行热传导。在实践中，功率损耗以热形式沿两个方向从封装上散发出去——若无散热器和气流，则大部分热量会流入电路板中。

在LTM4691模块中，要注意有多个功率器件和元件消耗功率，结果是相对于元件或芯片的不同结的热阻与总封装功耗的关系并非完全线性的。为了消除这种混乱，但又不牺牲模型的简单性，同时兼顾实际情况，我们的方法是使用FEA软件建模以及受控环境室中的实验室测试，从而合理地定义并关联本数据手册中提供的热阻值：(1) 首先使用所有正确的材料系数和精确的功率损耗源定义，通过FEA软件精确构建 μ Module和指定PCB的机械几何形状；(2) 此模型模拟了与JESD51-12一致的软件定义JEDEC环境，以预测不同界面处的功率损耗热流和温度读数，从而计算JEDEC定义的热阻值；(3) 使用模型和FEA软件评估有散热器和气流情况下的 μ Module；(4) 求解并分析了这些热阻值并在软件模型中模拟了各种工作条件之后，在实验室中进行细致的评估，在一个受控环境室内使用热电偶进重复仿真条件，同时在与仿真情

况相同的功率损耗下操作器件。该过程和尽职调查的结果产生一组降额曲线，这些曲线已在本数据手册的其他部分中提供。执行这些实验室测试并与 μ Module模型相关联之后，发现 θ_{JA} 与适当定义的环境室中无气流或散热器的 μ Module模型有非常好的相关性。此 θ_{JA} 值显示在“引脚配置”部分，应该精确等于 θ_{JA} 值，因为几乎100%的功耗从结通过电路板流入环境，没有气流或顶部安装散热器。图4和图5中的功率损耗曲线可与图6和图7中的负载电流降额曲线配合使用，以计算LTM4691在各种散热器和气流条件下的近似 θ_{JA} 热阻。功率损耗曲线是在室温下测得，并根据结温乘以一个乘法因子。该近似因子为：在125°C结温时为1.15。只要结温小于125°C，就可以在实现最大负载电流的同时提高环境温度。当环境温度达到使结温为125°C的温度时，须降低负载电流以使结温保持在125°C。降额曲线的绘制条件为：每个通道的输出电流从2A开始，环境温度为30°C。输出电压为1.0V、1.5V和2.5V。选择这些值的目的是包含较低和较高的输出电压范围以便关联热阻。热模型是从受控温度室中的多次温度测量以及热建模分析导出。在有和没有气流的情况下，一边提高环境温度，一边监视结温。降额曲线考虑了功率损耗随环境温度变化的增加。结温保持在125°C最大值，同时随着环境温度的升高而降低输出电流或功率。随着环境温度提高，降低输出电流会降低内部模块损耗。监视的125°C结温减去环境工作温度就是允许的模块温度升幅。

应用信息

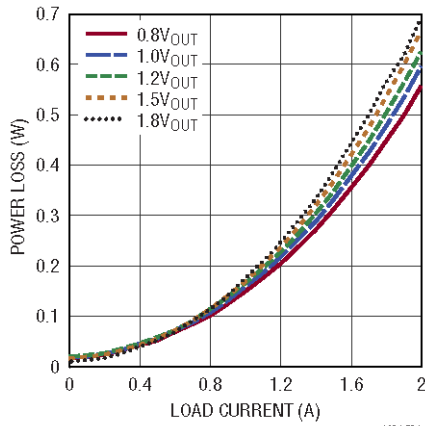


图4. 每个通道在 $2.25V_{IN}$ 的功率损耗

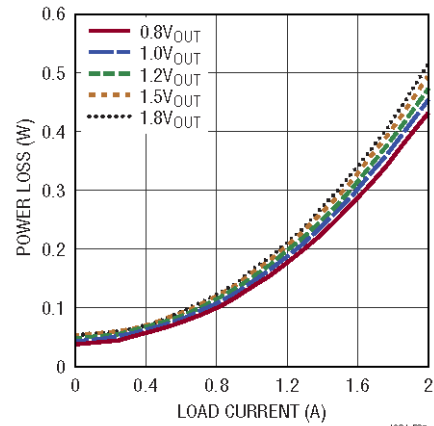


图5. 每个通道在 $3.3V_{IN}$ 的功率损耗

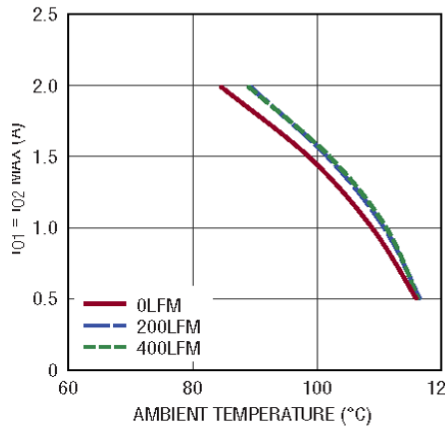


图6. $3.3V_{IN}$ 至 $1V_{OUT}$ 降额曲线, 无散热器

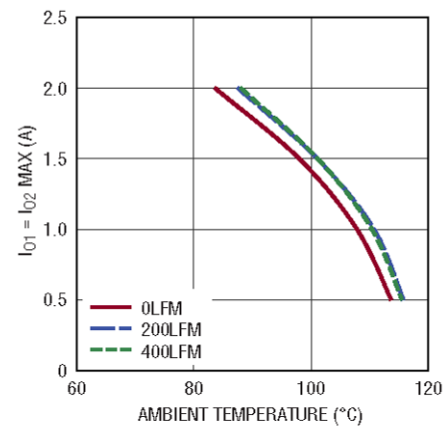


图7. $3.3V_{IN}$ 至 $1.5V_{OUT}$ 降额曲线, 无散热器

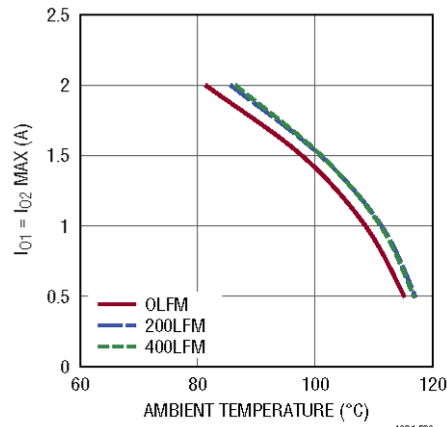


图8. $3.3V_{IN}$ 至 $2.5V_{OUT}$ 降额曲线, 无散热器

应用信息

在图6所示的例子中, 当每个通道以最大2A的负载电流运行时, 在没有强制空气或散热器以防止结温超过125°C的情况下, 环境温度额定值降至84.7°C。对于3.3V_{IN}至1V_{OUT}、4A的情况, 两个通道的总功率损耗为0.914W; 考虑1.15的乘法因子, 总功率损耗为1.05W。将125°C结温减去84.7°C的环境温度, 所得差值40.3°C除以1.05W等于38.4°C/W, 这些就是系统等效热阻 θ_{JA} 。表1给出的40°C/W值与此非常接近。表2和表3提供了有和无气流两种情况下1.5V和2.5V输出的等效热阻。表1至表3中针对各种条件导出的热阻可乘以算得的功率损耗(与环境温度相关), 以得到高于环境温度的升幅, 从而获得最大结温。室温功率损耗可以从“典型性能参数”部分中的效率曲线导出, 并用上述温度乘法因子进行调整。参考印刷电路板为1.6mm厚四层板, 两个外层有两盎司铜, 两个内层有一盎司铜。PCB尺寸为95mm×76mm。

安全考虑

LTM4691模块不提供从V_{IN}到V_{OUT}的电流隔离。内部没有保险丝。如果需要, 可以提供一根额定值为最大输入电流2倍的慢速熔丝, 以防每个单元发生灾难性故障。该器件支持热关断和过流保护。

布局检查清单/示例

LTM4691的高集成度使得PCB板布局非常简单且轻松。然而, 为了优化其电气和热性能, 仍有一些事项需要注意。

- 对高电流路径应使用较大PCB覆铜区域, 包括V_{IN}、GND和V_{OUT}。这有助于使PCB导通损耗和热应力最小化。
- 将高频陶瓷输入和输出电容放在V_{IN}、GND和V_{OUT}引脚旁边, 以尽量降低高频噪声。
- 将专用电源地层置于模块下方。
- 为使过孔导通损耗最小并减少模块热应力, 对顶层和其他电源层之间的互连应使用多个过孔。
- 勿将过孔直接放在焊盘上, 除非过孔被盖住或有镀层。
- 对于连接到信号引脚的元件, 应使用分离的SGND接地覆铜区。将SGND连接到模块下方的GND。
- 在信号引脚上引出测试点以进行监控。

图9提供了一个很好的建议布局示例。

应用信息

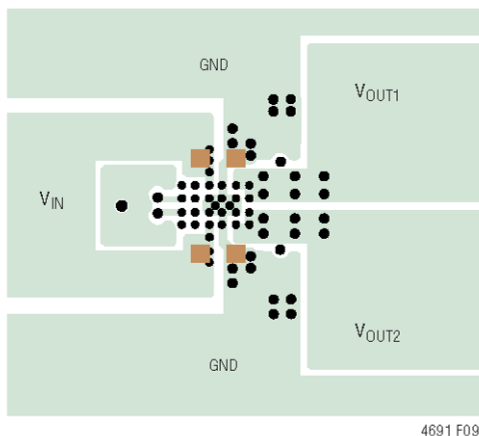


图9. 推荐PCB布局

表1. 1.0V输出

降额曲线	V _{IN} (V)	功率损耗曲线	气流 (LFM)	散热器	θ _{JA} (°C/W)
图6	3.3	图5	0	无	40°C
图6	3.3	图5	200	无	35°C
图6	3.3	图5	400	无	34°C

表2. 1.5V输出

降额曲线	V _{IN} (V)	功率损耗曲线	气流 (LFM)	散热器	θ _{JA} (°C/W)
图7	3.3	图5	0	无	39°C
图7	3.3	图5	200	无	34°C
图7	3.3	图5	400	无	33°C

表3. 2.5V输出

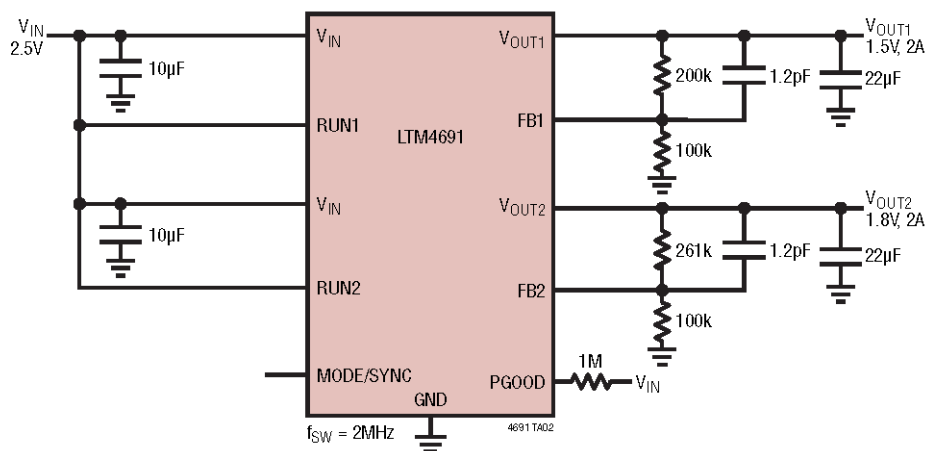
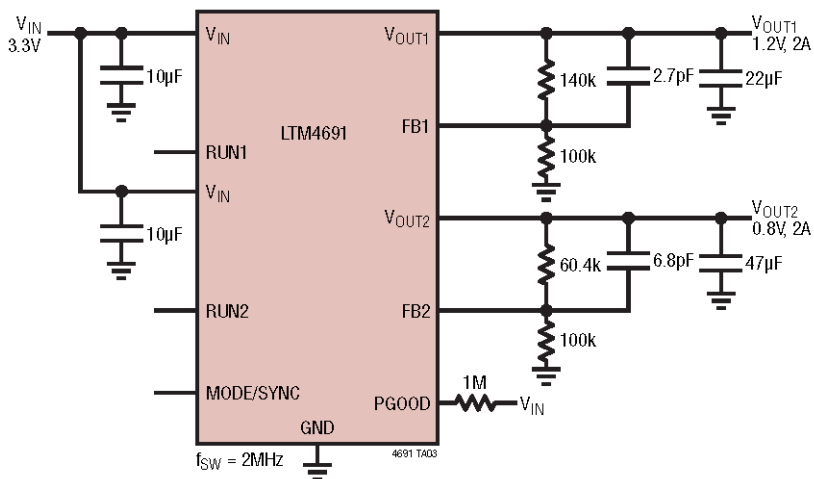
降额曲线	V _{IN} (V)	功率损耗曲线	气流 (LFM)	散热器	θ _{JA} (°C/W)
图8	3.3	图5	0	无	40°C
图8	3.3	图5	200	无	35°C
图8	3.3	图5	400	无	34°C

表4. 输出电压响应与元件对照表 (参见首页应用) 1A 至 1.5A 负载阶跃典型测量值

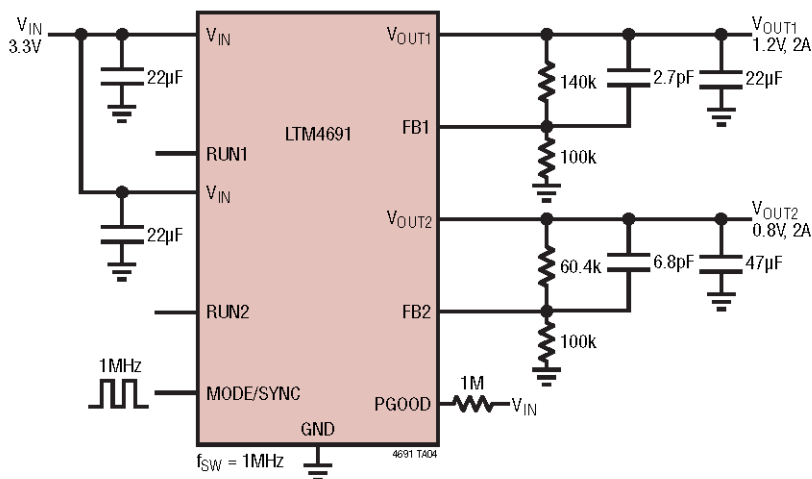
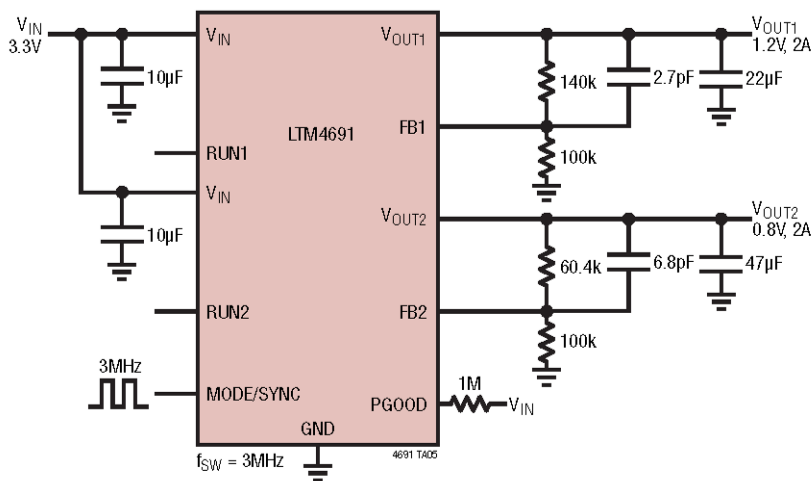
C _{IN} 体电容	供应商	产品型号	C _{IN} 陶瓷电容	供应商	产品型号	C _{OUT} 陶瓷电容	供应商	产品型号
220μF, 6.3V	PANASONIC	6TPE220MI	10μF, 6.3V	KEMET	C0402C106M9PACTU	22μF, 6.3V	Murata	GRM188C80J226ME15D

V _{OUT} (V)	C _{IN} (陶瓷) (μF)	C _{IN} (体) (μF)	C _{OUT1} (陶瓷) (μF)	C _{OUT2} (陶瓷) (μF)	C _{FF} (pF)	V _{IN} (V)	下降 (mV)	峰峰值偏差 (mV)	恢复时间 (μs)	负载阶跃 (A)	负载阶跃压 摆率 (A/μs)
1.0	10 × 2	220	22	22	2.7	2.25、3.3	20	45	25	0.5	0.5
1.5	10 × 2	220	22	22	1.2	2.25、3.3	25	50	25	0.5	0.5
1.8	10 × 2	220	22	22	1.2	2.25、3.3	30	60	25	0.5	0.5
2.5	10 × 2	220	22	22	1	3.3	42	84	30	0.5	0.5

典型应用

双通道1.5V和1.8V 2MHz、2A降压调节器, $V_{IN} = 2.5V$ 双通道1.2V和0.8V 2MHz、2A降压调节器, $V_{IN} = 3.3V$ 

典型应用

双通道1.2V和0.8V 1MHz、2A降压调节器, $V_{IN} = 3.3V$ 双通道1.2V和0.8V 3MHz、2A降压调节器, $V_{IN} = 3.3V$ 

引脚配置表

LTM4691器件LGA和BGA引脚排列

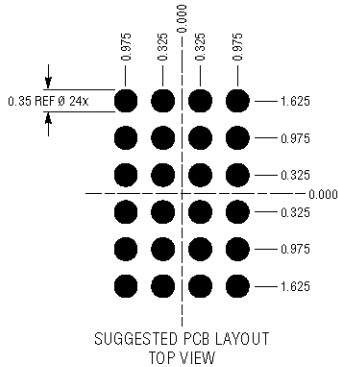
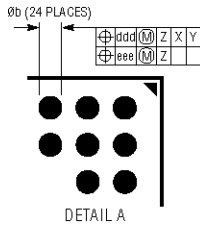
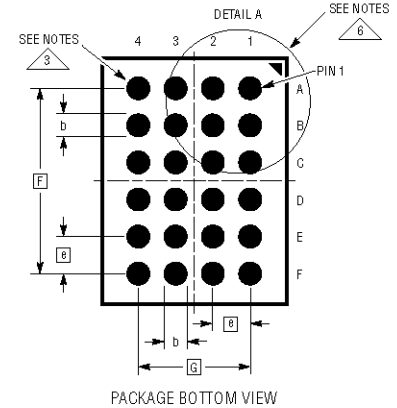
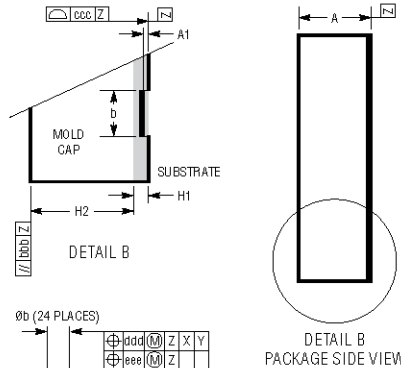
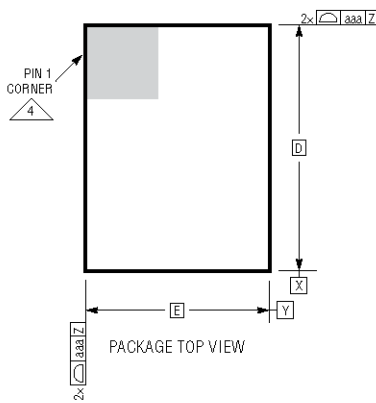
引脚ID	功能	引脚ID	功能	引脚ID	功能	引脚ID	功能
A1	SGND2	A2	FB2	A3	FB1	A4	SGND1
B1	PGOOD	B2	RUN2	B3	RUN1	B4	MODE/SYNC
C1	V _{IN}	C2	GND	C3	GND	C4	V _{IN}
D1	GND	D2	GND	D3	GND	D4	GND
E1	V _{OUT2}	E2	GND	E3	GND	E4	V _{OUT1}
F1	V _{OUT2}	F2	V _{OUT2}	F3	V _{OUT1}	F4	V _{OUT1}

封装说明

LGA封装

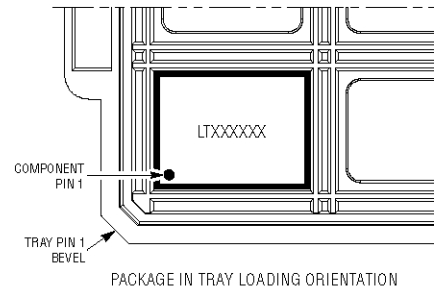
24 引脚 (3mm × 4mm × 1.18mm)

(参考LTC DWG# 05-08-1657 Rev A)



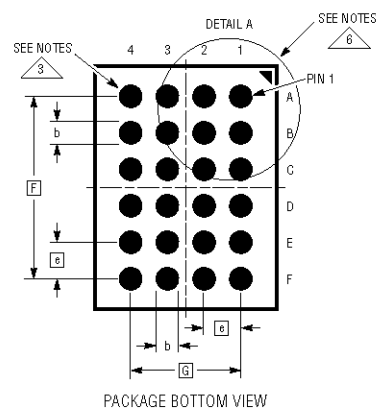
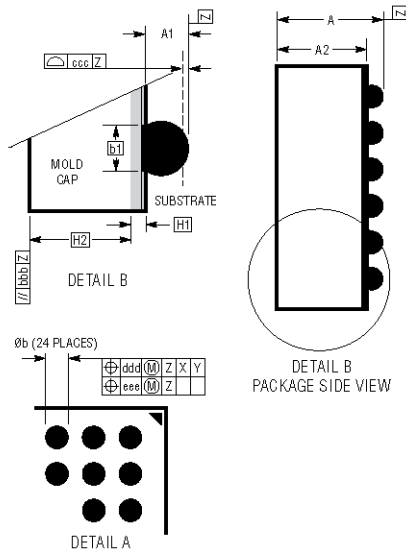
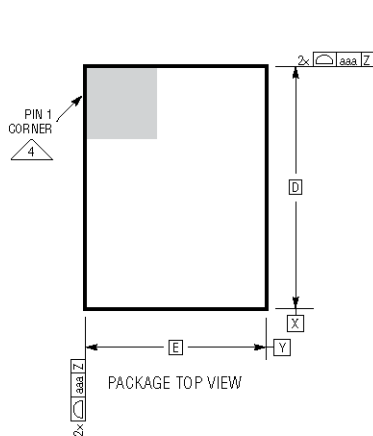
DIMENSIONS				
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTES
A	1.08	1.18	1.28	
A1			0.03	
b	0.32	0.35	0.38	PAD DIMENSION
D		4.00		
E		3.00		
e		0.65		
F		3.25		
G		1.95		
H1		0.18 REF		SUBSTRATE THK
H2		1.00 REF		MOLD CAP HT
aaa			0.15	
bbb			0.10	
ccc			0.10	
ddd			0.15	
eee			0.08	
TOTAL NUMBER OF PADS: 24				

- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994
 2. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 3. PAD DESIGNATION PER JEP95
 4. DETAILS OF PIN 1 IDENTIFIER ARE OPTIONAL, BUT MUST BE LOCATED WITHIN THE ZONE INDICATED. THE PIN 1 IDENTIFIER MAY BE EITHER A MOLD OR MARKED FEATURE
 5. PRIMARY DATUM -Z- IS SEATING PLANE
 6. PACKAGE ROW AND COLUMN LABELING MAY VARY AMONG μModule PRODUCTS. REVIEW EACH PACKAGE LAYOUT CAREFULLY



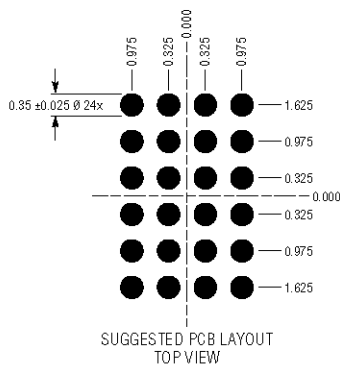
LGA-240219 REV A

BGA封装 24 引脚 (4mm×3mm×1.48mm) (参考LTC DWG# 05-08-1658 Rev 0)



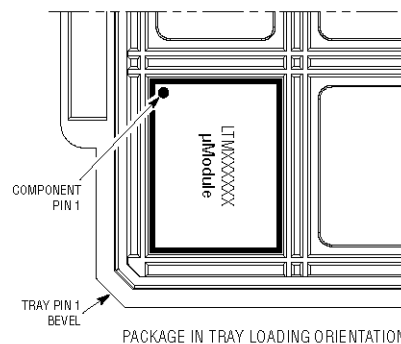
- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994
2. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

- 3 BALL DESIGNATION PER JEP95
4 DETAILS OF PIN 1 IDENTIFIER ARE OPTIONAL, BUT MUST BE LOCATED WITHIN THE ZONE INDICATED. THE PIN 1 IDENTIFIER MAY BE EITHER A MOLD OR MARKED FEATURE
5. PRIMARY DATUM -Z- IS SEATING PLANE
6 PACKAGE ROW AND COLUMN LABELING MAY VARY AMONG μModule PRODUCTS. REVIEW EACH PACKAGE LAYOUT CAREFULLY



DIMENSIONS				
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTES
A	1.32	1.48	1.64	
A1	0.23	0.30	0.37	BALL HT
A2	1.09	1.18	1.27	
b	0.35	0.40	0.45	BALL DIMENSION
b1	0.32	0.35	0.38	PAD DIMENSION
D		4.00		
E		3.00		
e		0.65		
F		3.25		
G		1.95		
H1		0.18 REF		SUBSTRATE THK
H2		1.00 REF		MOLD CAP HT
aaa			0.15	
bbb			0.10	
ccc			0.10	
ddd			0.15	
eee			0.08	

TOTAL NUMBER OF BALLS: 24

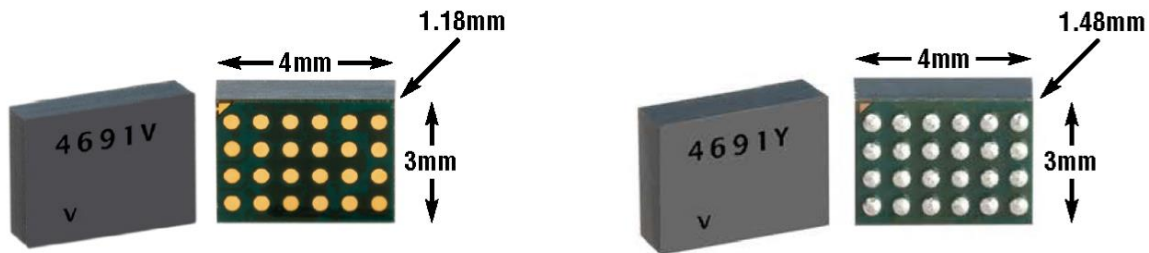


BGA 240716 REV 0

修订历史

REV	日期	描述	页码
A	10/20	增加LTM4691IY#PBF订购信息	1、2、3、21、23、24

封装照片



设计资源

主题	描述
μModule设计和制造资源	设计: <ul style="list-style-type: none"> 选型指南 演示板和Gerber文件 免费仿真工具 制造: <ul style="list-style-type: none"> 快速入门指南 PCB设计、装配和制造准则 封装和板级可靠性
μModule稳压器产品搜索	1. 按参数对产品列表进行排序, 并将结果下载为电子表格。 2. 使用“快速电源搜索”参数表进行搜索。 
数字电源系统管理	ADI公司的数字电源管理IC系列是高集成度解决方案, 提供基本功能, 包括电源监视、监控、裕量调节和时序控制, 并具有用于存储用户配置和故障记录的EEPROM。

相关器件

产品型号	描述	备注
LTM4622	超薄、双通道2.5A或单通道5A降压型μModule稳压器	$3.6V \leq V_{IN} \leq 20V$, $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$, 6.25mm x 6.25mm x 1.82mm LGA, 6.25mm x 6.25mm x 2.42mm BGA。
LTM4622A	超薄、双通道2A或单通道4A降压型μModule稳压器	$3.6V \leq V_{IN} \leq 20V$, $1.5V \leq V_{OUT} \leq 12V$, 6.25mm x 6.25mm x 1.82mm LGA, 6.25mm x 6.25mm x 2.42mm BGA。
LTM4623	超薄、单通道3A降压型μModule稳压器	$4V \leq V_{IN} \leq 20V$, $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$, 6.25mm x 6.25mm x 1.82mm LGA, 6.25mm x 6.25mm x 2.42mm BGA。
LTM4624	单通道4A降压型μModule稳压器	$4V \leq V_{IN} \leq 14V$, $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$, 6.25mm x 6.25mm x 5.01mm BGA。
LTM4625	单通道5A降压型μModule稳压器	$4V \leq V_{IN} \leq 20V$, $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$, 6.25mm x 6.25mm x 5.01mm BGA。
LTM4632	超薄、三输出、±3A降压型μModule稳压器, 适用于DDR存储器	$3.6V \leq V_{IN} \leq 15V$, $0.6V \leq V_{OUT} \leq 2.5V$, 6.25mm x 6.25mm x 1.82mm LGA, 6.25mm x 6.25mm x 2.42mm BGA。
LTM4668/ LTM4668A	四通道1.2A降压型μModule稳压器	$2.7V \leq V_{IN} \leq 17V$, $0.6V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$ (LTM4668A: $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$, 2.25MHz) 6.25mm x 6.25mm x 2.1mm BGA。
LTM4643	超薄、四通道3A降压型μModule稳压器	$4V \leq V_{IN} \leq 20V$, $0.6V \leq V_{OUT} \leq 3.3V$, 9mm x 15mm x 1.82mm LGA, 9mm x 15mm x 2.42mm BGA。
LTM4644	四通道4A降压型μModule稳压器	$4V \leq V_{IN} \leq 14V$, $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$, 9mm x 15mm x 5.01mm BGA。

