

LKM4622 系列双路超薄 3A 或单路 6A 降压 DC/DC μ Module 稳压器产品 说明书

LKM4622 双路超薄 3A 或单路 6A 降压 DC/DC μ Module 稳压器

1 特点

- 宽输入电压范围：4V 至 20V
- 0.6V 至 5.5V 输出电压
- 双路 3A（3.5A 峰值）或单路 6A 输出电流
- 负载、线路和温度范围内的最大总输出电压调节误差为 $\pm 1.5\%$
- 电流模式控制，快速瞬态响应
- 外部频率同步
- 具有均流功能的多相并联
- 输出电压跟踪和软启动功能
- 可选突发模式操作
- 过压输入和过热保护
- 电源良好指示器

2 应用

- 通用负载点转换
- 电信、网络和工业设备
- 医疗诊断设备
- 测试和调试系统

3 概述

LKM4644 是一款完整的双路 3A 降压开关模式 μ Module 稳压器，采用微型超薄 BGA 封装。封装中包括开关控制器、功率 FET、电感器和支持组件。LKM4644 在 4V 至 20V 的输入电压范围内工作，支持 0.6V 至 5.5V 的输出电压范围（由单个外部电阻器设置）。其高效率设计可提供双路 3A 连续、3.5A 峰值输出电流。仅需要少量陶瓷输入和输出电容器。

LKM4644 支持可选的突发模式操作和用于电源轨排序的输出电压跟踪。其高开关频率和电流模式控制能够对线路和负载变化做出非常快速的瞬态响应，而不会影响稳定性。

器件信息

型号		LKM4644
温度范围		-40°C to 85°C
等级		工业级
封装		BGA
尺寸		6.25mm $\times$ 6.25mm $\times$ 2.44mm
热阻	θ_{JA}	24.6°C/W
	θ_{JB}	8.1°C/W
	θ_{JC}	19.3°C/W

目录

1	特点	1
2	应用	1
3	概述	1
4	管脚排布与功能描述	3
4.1	引脚排列	3
5	效率曲线	3
6	功能框图	4
7	引脚和功能描述	4
7.1	引脚定义	5
8	绝对最大值	6
9	推荐工作范围 (Recommended Operating Conditions)	6
10	ESD 等级 (ESD Ratings)	7
11	基本电学参数	7
12	典型工作曲线	9
13	功能描述	12
14	应用信息	13
15	应用原理图	17
16	应用原理图	21
17	PCB 布局推荐	23
18	焊接推荐	24
19	封装形式	24

4 管脚排布与功能描述

4.1 引脚排列

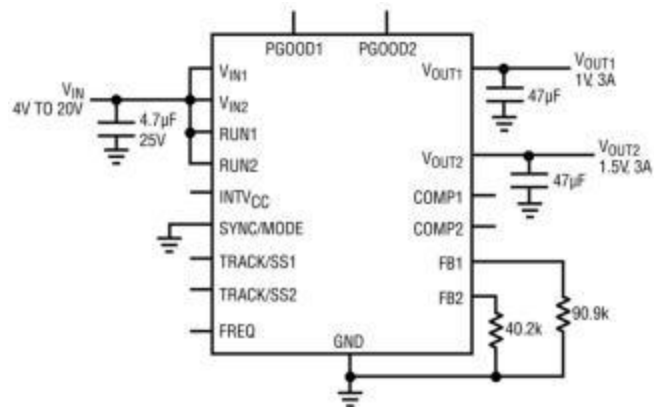
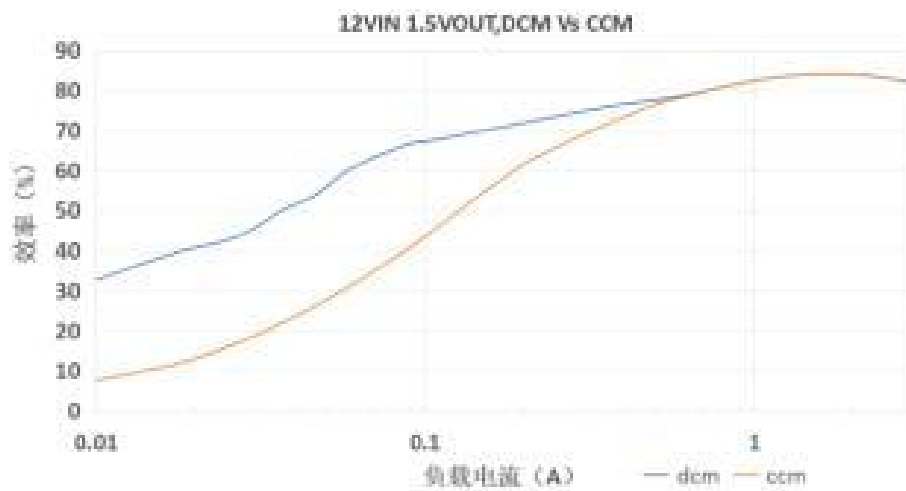


图 1 引脚排列图（顶视图）

5 效率曲线



6 功能框图

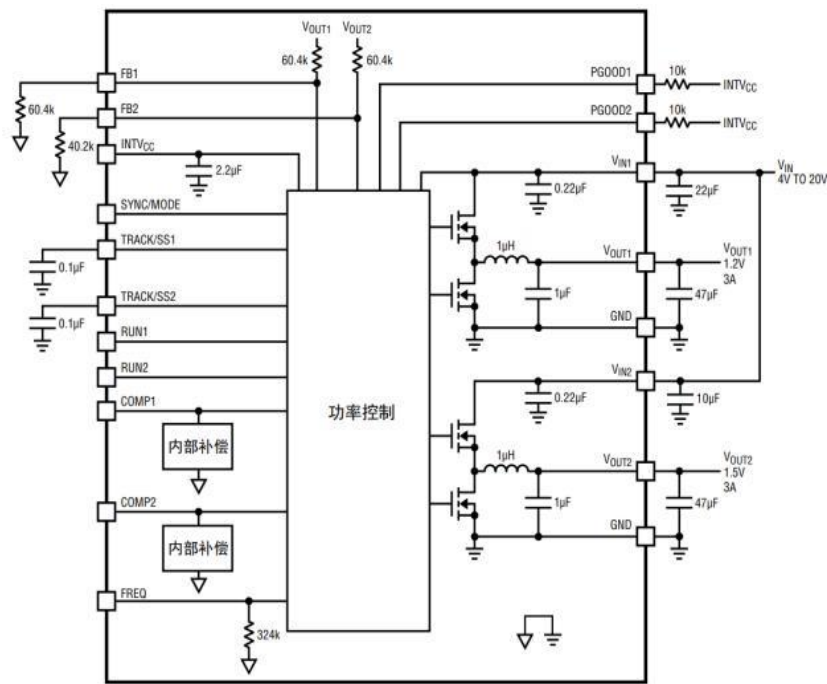


图 3.功能框图

7 引脚和功能描述

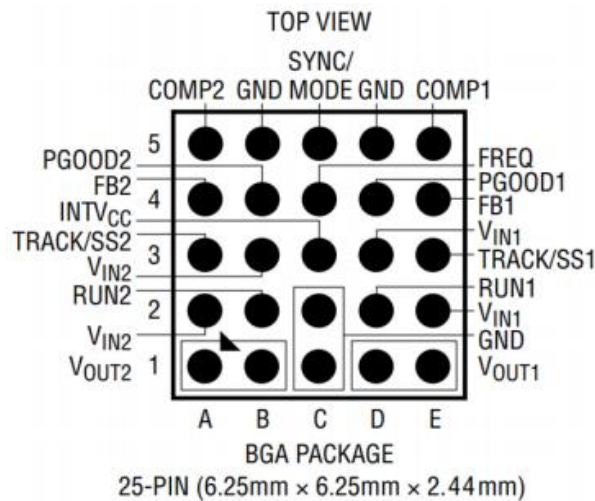


图 4.封装脚位

7.1 引脚定义

表 2

引脚编号	引脚名称	描述
C1,C2,B5,D5	GND	输入和输出返回的电源接地引脚。
C3	INTVCC	内部 3.3V 稳压器输出。内部电源驱动器和控制电路由该电压供电。该引脚通过 2.2 μ F 的 ESR 陶瓷电容器在内部去耦至 GND。无需额外的外部去耦电容器。
C4	FREQ	频率内部设置为 1MHz。可以在该引脚与 GND 之间放置一个外部电阻以提高频率，或者在该引脚与 INTVCC 之间放置一个外部电阻以降低频率。
C5	SYNC/MODE	模式选择和外部同步输入。将此引脚接地以强制所有输出负载连续同步运行。悬空该引脚或将其连接至 INTVCC 可在轻负载时实现高效突发模式操作。使用时钟驱动该引脚以同步其开关频率。内部锁相环将强制底部功率 NMOS 的开启信号与时钟信号的上升沿同步。当该引脚由时钟驱动时，自动选择强制连续模式。
D1,E1	VOUT1	每个开关模式稳压器的电源输出引脚。在这些引脚和 GND 引脚之间施加输出负载。建议将输出去耦电容直接放置在这些引脚和 GND 引脚之间。（低压 0.8V 以下添加 COMP 补偿网络请参考“应用信息”中 COMP（补偿）引脚部分）
A1,B1	VOUT2	每个开关模式稳压器的电源输出引脚。在这些引脚和 GND 引脚之间施加输出载。建议将输出去耦电容直接放置在这些引脚和 GND 引脚之间。（低压 0.8V 以下添加 COMP 补偿网络请参考“应用信息”中 COMP（补偿）引脚部分）
D2	RUN1	每个开关模式调节器通道的运行控制输入。通过将 RUN 连接到 1.2V 以上来启用芯片操作。将此引脚连接到 1V 以下会关闭特定的稳压器通道。请勿悬空该引脚。
B2	RUN2	每个开关模式调节器通道的运行控制输入。通过将 RUN 连接到 1.2V 以上来启用芯片操作。将此引脚连接到 1V 以下会关闭特定的稳压器通道。请勿悬空该引脚。
D3,E2	VIN1	电源输入引脚。在这些引脚和 GND 引脚之间施加输入电压。建议将输入去耦电容直接放置在 VIN1 引脚与 GND 之间。请注意，模块内部控制电路由 VIN1 运行。如果 VIN1 上的电压低于 4V，通道 2 将无法工作。
A2,B3	VIN2	电源输入引脚。在这些引脚和 GND 引脚之间施加输入电压。建议将输入去耦电容直接放置在 VIN2 引脚与 GND 之间。请注意，模块内部控制电路由 VIN1 运行。如果 VIN1 上的电压低于 4V，通道 2 将无法工作。
D4	PGOOD1	输出电源良好引脚。每个开关模式稳压器通道具有开漏逻辑。当 FB 引脚上的电压输出电源良好引脚。每个开关模式稳压器通道具有开漏逻辑。当 FB 引脚上的电压不在内部 0.6V 参考电压的 $\pm 8\%$ （典型值）范围内时，PGOOD 被拉至地。
B4	PGOOD2	输出电源良好引脚。每个开关模式稳压器通道具有开漏逻辑。当 FB 引脚上的电压不在内部 0.6V 参考电压的 $\pm 8\%$ （典型值）范围内时，PGOOD 被拉至地。
E3	TRACK/SS1	每个开关模式稳压器通道的输出跟踪和软启动引脚。它允许用户控制输出电压的上升时间。
A3	TRACK/SS2	每个开关模式稳压器通道的输出跟踪和软启动引脚。它允许用户控制输出电压的上升时间。
E4	FB1	每个开关模式稳压器通道的误差放大器的负输入。在内部，该引脚通过 60.4K 精密电阻连接至 VOUT。
A4	FB2	每个开关模式稳压器通道的误差放大器的负输入。在内部，该引脚通过 60.4K 精密电阻连接至 VOUT。

E5	COMP1	每个开关模式稳压器通道的电流控制阈值和误差放大器补偿点。电流比较器的跳变阈值与该电压成线性比例，其正常范围为 0.3V 至 1.8V。将 COMP 引脚连接在一起以实现并行操作。
A5	COMP2	每个开关模式稳压器通道的电流控制阈值和误差放大器补偿点。电流比较器的跳变阈值与该电压成线性比例，其正常范围为 0.3V 至 1.8V。将 COMP 引脚连接在一起以实现并行操作。

8 绝对最大值

参数	符号/引脚	最小值	最大值	单位
输入电压	VIN1, VIN2	-0.3	22	V
输出电压	VOUT	-0.3	6	V
功率良好指示	PGOOD1, PGOOD2	-0.3	18	V
使能引脚	RUN1, RUN2	-0.3	VIN + 0.3	V
内部稳压输出/跟踪软启动	INTVCC, TRACK/SS1, TRACK/SS2	-0.3	3.6	V
同步/模式/补偿/反馈	SYNC/MODE, COMP1, COMP2, FB1, FB2	-0.3	INTVCC	V
内部工作温度范围	Tj	-55	150	°C
存储温度范围	Tstg	-65	150	°C

9 推荐工作范围 (Recommended Operating Conditions)

表 2:

为确保器件正常工作，建议在此范围内使用。

参数	符号/引脚	最小值	典型值/最大值	单位
输入电压	VIN, SVIN	-0.3	20	V
输出电压	VOUT	0.6	5.5	V
使能引脚电压	RUN	-0.3	VIN	V

参数	符号/引脚	最小值	典型值/最大值	单位
输出引脚电流	IOUT	0	3	A
工作环境温度	TA	-40	85	°C
最大回流温度	-	-	220	°C

10 ESD 等级 (ESD Ratings)

表 3:

模型	标准	值	单位
人体模型 (HBM)	ANSI/ESDA/JEDEC JS-001	±2000	V
电荷器件模型 (CDM)	JEDEC specification JESD22-C101	±1000	V

11 基本电学参数

*表示适用于全温范围的规格，其他规格适用于 $T_A=25^{\circ}\text{C}$ 。典型应用条件： $V_{IN1}=V_{IN2}=12\text{V}$ 。

表4

参数	测试条件	测量	限制				单位
				最小	典型	最大	
输入直流电压		V_{IN1}	*	4		20	V
3.3V 输入直流电压	$V_{IN1} = V_{IN2} = \text{INTV}_{CC}$	$V_{IN\ 3.3}$	*	3.1	3.3	3.5	V
输出电压范围	$V_{IN1} = V_{IN2} = 4\text{V to } 20\text{V}$	$_VOUT(\text{RANGE})$	*	0.6		5.5	V
输出电压随线路和负载的总变化	$C_{IN} = 22\mu\text{F}$, $C_{OUT} = 100\mu\text{F Ceramic}$, $R_{FB}=40.2\text{k}$, $\text{MODE}=\text{GND}$, $V_{IN1}=V_{IN2}=4\text{V}$ to 20V, $I_{OUT} = 0\text{A to } 3\text{A}$	$V_{OUT(\text{DC})}$	*	1.477	1.50	1.523	V
RUN 引脚 ON 阈值	RUN 阈值上升	V_{RUN}		1.20	1.27	1.35	V
	RUN 阈值下降			-	1.00	-	V
输入电源偏置电流	$V_{IN1} = V_{IN2} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$, $\text{MODE}=\text{GND}$	$I_{Q(VIN)}$			18		mA
	$V_{IN1} = V_{IN2} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$, $\text{MODE}=\text{INTVCC}$				2		mA
	关机, $\text{RUN1} = \text{RUN2} = 0$				45		μA

输入电源电流	$V_{IN1} = V_{IN2} = 12V, V_{OUT} = 1.5V, I_{OUT} = 2.5A$	$I_S(V_{IN})$			0.4		A
输出连续电流范围	$V_{IN1} = V_{IN2} = 12V, V_{OUT} = 1.5V$	$I_{OUT(DC)}$	*	0		3	A
线性调整率	$V_{OUT} = 1.5V, V_{IN1} = V_{IN2} = 4V \text{ to } 20V, I_{OUT} = 0A$	$\Delta V_{OUT}(\text{Line})/V_{OUT}$	*		0.08	0.3	%/V
负载调整率	$V_{OUT} = 1.5V, I_{OUT} = 0A \text{ to } 2.5A$	$\Delta V_{OUT}(\text{Load})/V_{OUT}$	*		0.1	0.5	%
输出纹波电压	$I_{OUT} = 0A, C_{OUT} = 100\mu F \text{ Ceramic}, V_{IN1} = V_{IN2} = 12V, V_{OUT} = 1.5V$	$V_{OUT(AC)}$			5		mV
软启过冲	$I_{OUT} = 0A, C_{OUT} = 100\mu F \text{ Ceramic}, V_{IN1} = V_{IN2} = 12V, V_{OUT} = 1.5V$	$\Delta V_{OUT}(\text{START})$			30		mV
软启时间	$C_{OUT} = 100\mu F \text{ Ceramic}, \text{No Load}, \text{TRACK/SS} = 0.01\mu F, V_{IN1} = V_{IN2} = 12V, V_{OUT} = 1.5V$	t_{START}			3.5		ms
动态负载峰值偏差	负载: 0% to 50% to 0% of Full Load,	ΔV_{OUTLS}			±30		mV
动态负载阶跃的稳定时间	$C_{OUT} = 100\mu F \text{ Ceramic}, V_{IN1} = V_{IN2} = 12V, V_{OUT} = 1.5V$	t_{SETTLE}			40		μs
输出电流限制	$V_{IN1} = V_{IN2} = 12V, V_{OUT} = 1.5V$	I_{OUTPK}			5		A
FB 引脚电压	$I_{OUT} = 0A, V_{OUT} = 1.5V$	V_{FB}	*	0.592	0.60	0.608	V
FB 引脚电流		I_{FB}				±30	nA
V_{OUT} 和 FB 引脚之间的电阻		R_{FBH1}		60.00	60.40	60.80	kΩ
轨道引脚软启动上拉电流	TRACK/SS = 0V	$I_{TRACK/SS}$			1.7		μA
内部软启动时间	10% to 90% Rise Time	t_{SS}			600	800	μs
最短导通时间		$t_{ON(MIN)}$			40		ns
最短停机时间		$t_{OFF(MIN)}$			100		ns
PGOOD 门限	V with Respect to Set Output V_{FB} Ramping Negative V_{FB} Ramping Positive	V_{PGOOD}			-88		%%
PGOOD 漏电		I_{PGOOD}				2	uA
PGOOD 低电平	$I_{PGOOD} = 1mA$	V_{PGL}			0.025	0.1	V
INTV _{CC} 电压	$V_{IN1} = V_{IN2} = 4V \text{ to } 20V$	V_{INTVCC}		3.1	3.3	3.5	V
INTV _{CC} 负载调整率	$I_{CC} = 0mA \text{ to } 50mA$	V_{INTVCC} Load Reg			0.67		%
振荡器频率		f_{OSC}			1		MHz
频率同步范围	With Respect to Set Frequency	f_{SYNC}			±30		%
CLKIN 阈值		CLKIN			0.7		V

12 典型工作曲线

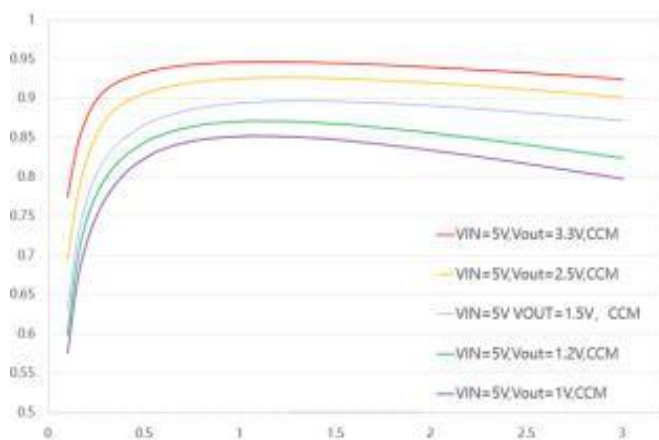


图 5. $V_{IN} = 5V$, 效率曲线

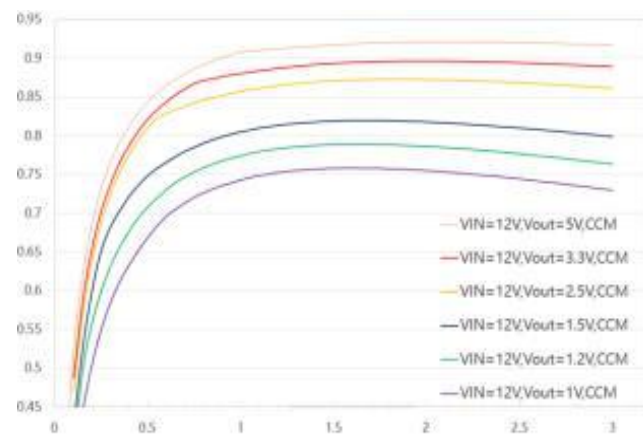


图 6. $V_{IN} = 12V$, 效率曲线

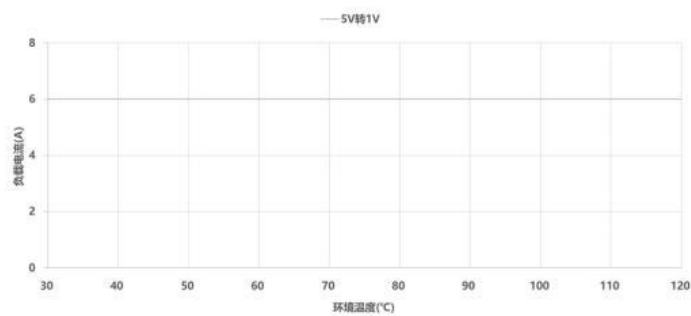


图 7. 5V 转 1V 两路并联输出降额曲线

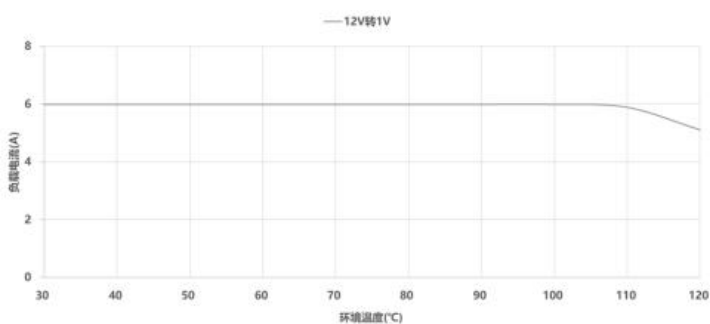


图 8. 12V 转 1V 两路并联输出降额曲线

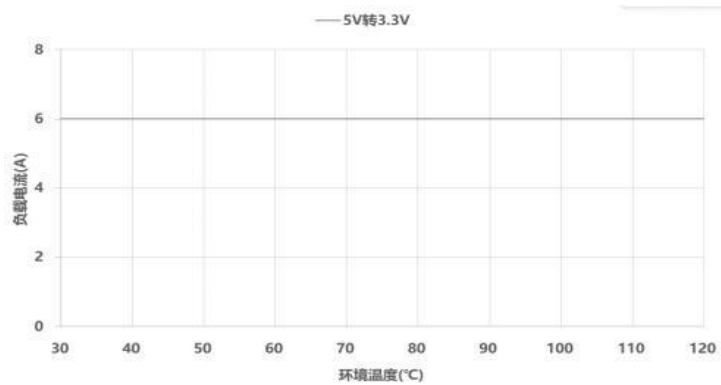


图 9. 5V 转 3.3V 两路并联输出降额曲线

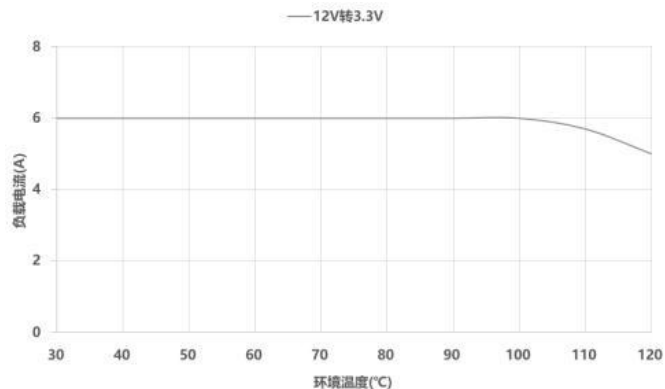


图 10. 12V 转 3.3V 两路并联输出降额曲线

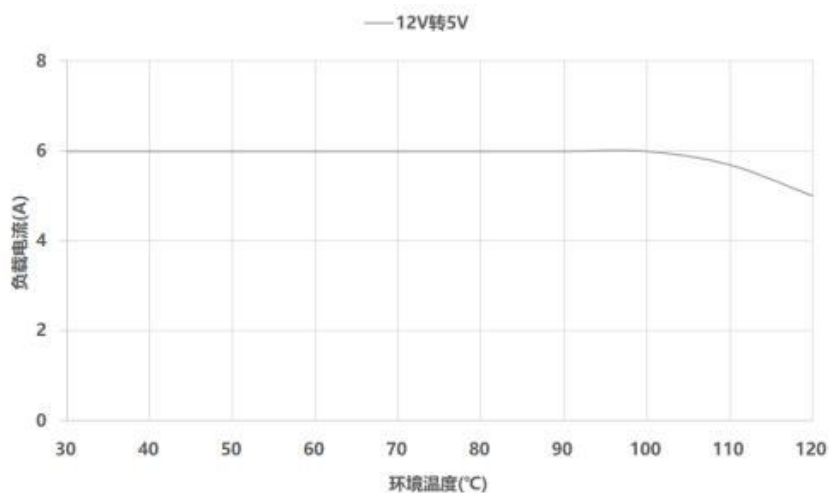


图 11. 12V 转 5V 两路并联输出降额曲线

$V_{IN}=12V$, $V_{out}=1V$, Load=2A to 3A, 1A/us, $C_{OUT}=47\mu F$

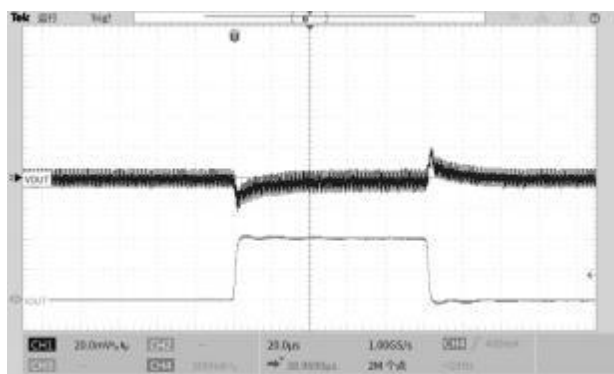


图 12. 输出瞬态响应, $V_{out} = 1V$

$V_{IN}=12V$, $V_{out} = 1.2V$, Load=2A to 3A, 1A/us, $C_{OUT} = 47\mu F$

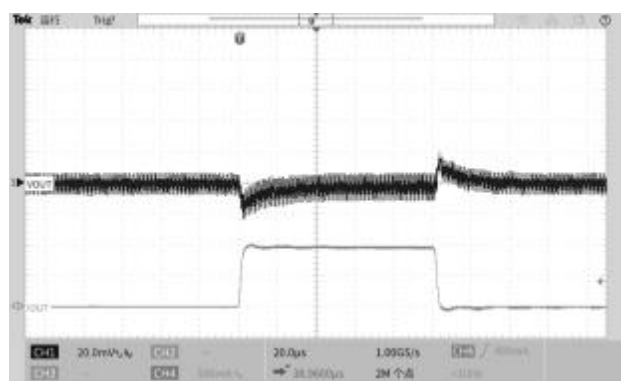


图 13. 输出瞬态响应, $V_{out} = 1.2V$

$V_{IN} = 12V$, $V_{out} = 1.5V$, Load=2A to 3A, 1A/us, $C_{OUT} = 47\mu F$

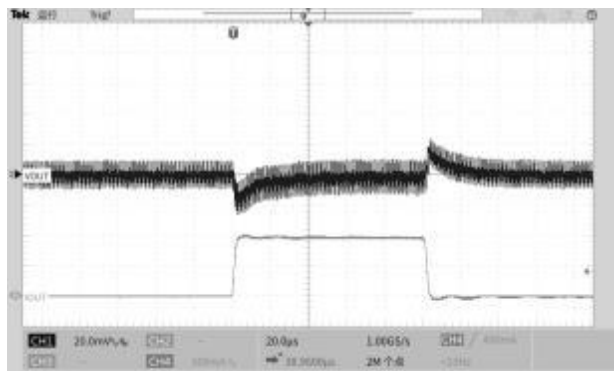


图 14 输出瞬态响应, $V_{out} = 1.5V$

$V_{IN} = 12V$, $V_{out} = 1.8V$, Load=2A to 3A, 1A/us, $C_{OUT} = 47\mu F$

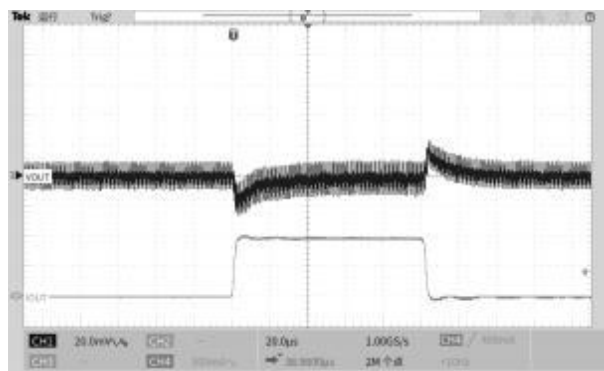


图 15. 输出瞬态响应, $V_{out} = 1.8V$

$V_{IN}=12V$, $V_{out}=2.5V$, Load=2A to 3A, 1A/us, $C_{OUT}=47\mu F$

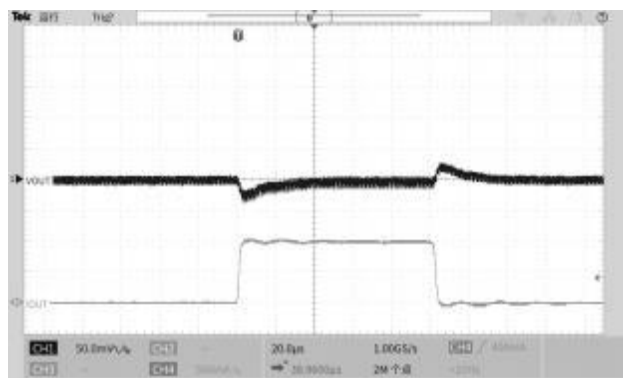


图 16 输出瞬态响应, $V_{out} = 2.5V$

$V_{IN}=12V$, $V_{out}=3.3V$, Load=2A to 3A, 1A/us, $C_{OUT}=47\mu F$

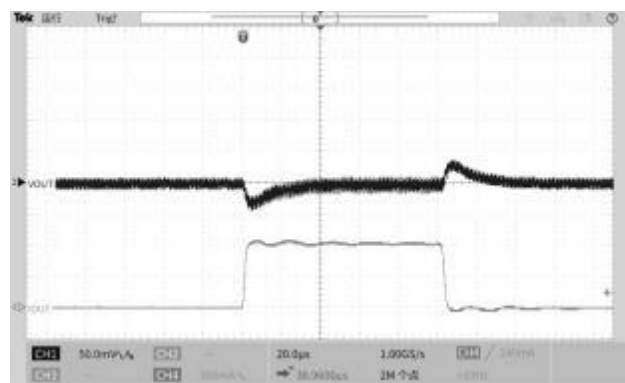


图 17 输出瞬态响应, $V_{out} = 2.5V$

$V_{IN}=12V$, $V_{out}=5V$, Load=2A to 3A, 1A/us, $C_{OUT}=47\mu F$

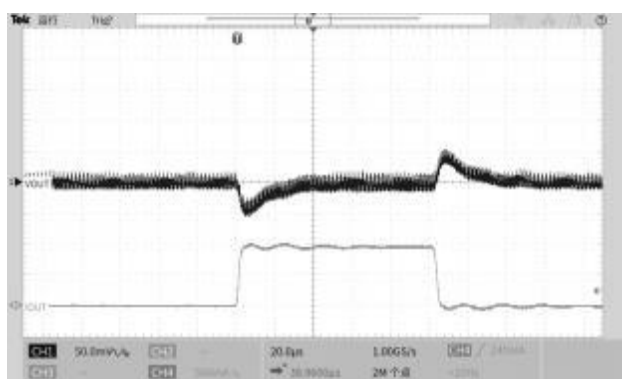


图 18 输出瞬态响应, $V_{out} = 5V$

$V_{IN}=12V$, $V_{out}=1.8V$, $C_{OUT}=47\mu F+22\mu F$, $C_{IN}=22\mu F$

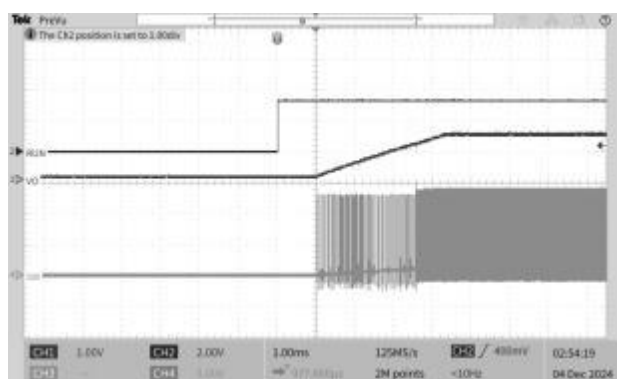


图 19 空载启动

$V_{IN}=12V$, $V_{out}=1.8V$, $C_{OUT}=47\mu F+22\mu F$, $C_{IN}=22\mu F$

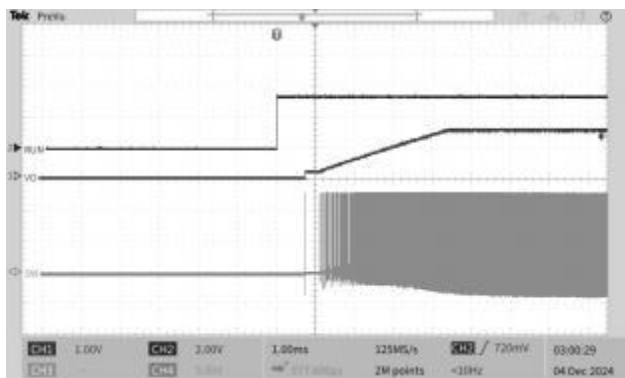


图 20 带载 2.5A 启动

$V_{IN}=12V$, $V_{out}=1.8V$, $C_{OUT}=47\mu F+22\mu F$, $C_{IN}=22\mu F$

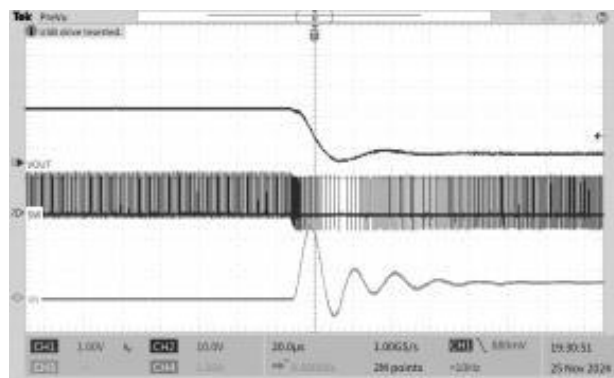


图 21.施加空载电流时发生短路

$V_{IN}=12V, V_{out}=1.8V, C_{OUT}=47\mu F+22\mu F, C_{IN}=22\mu F$

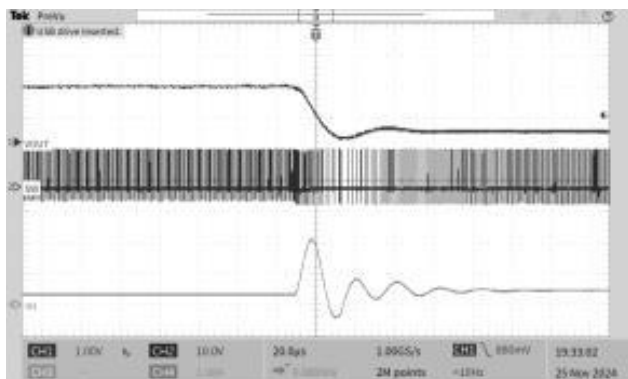


图 22.施加 2.5A 负载电流时发生短路

$V_{IN}=12V, V_{out}=1.8V, C_{OUT}=47\mu F+22\mu F, C_{IN}=22\mu F$

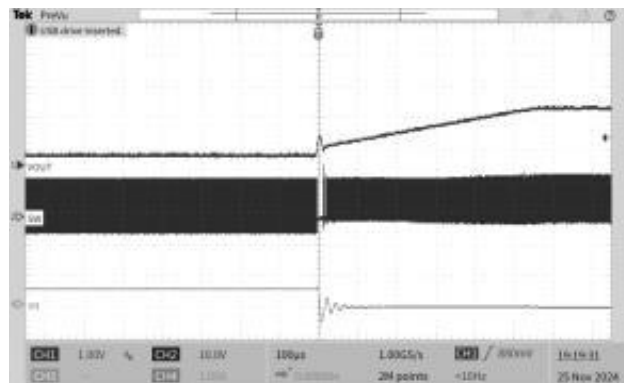


图 23.短路恢复

$V_{IN}=12V, V_{out}=1.8V, C_{OUT}=47\mu F+22\mu F, C_{IN}=22\mu F$

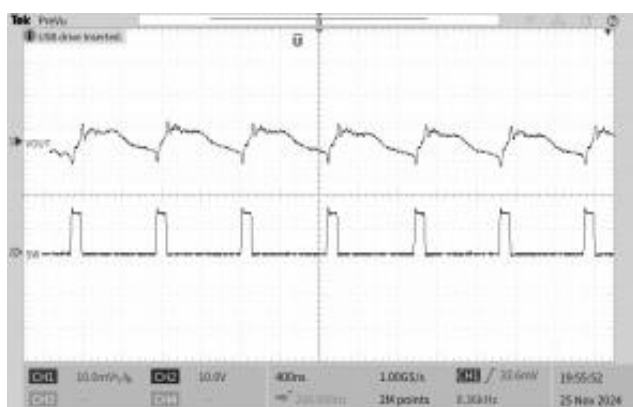


图 24 输出纹波

$V_{IN}=12V, V_{out}=1.8V, C_{OUT}=47\mu F+22\mu F, C_{IN}=22\mu F$

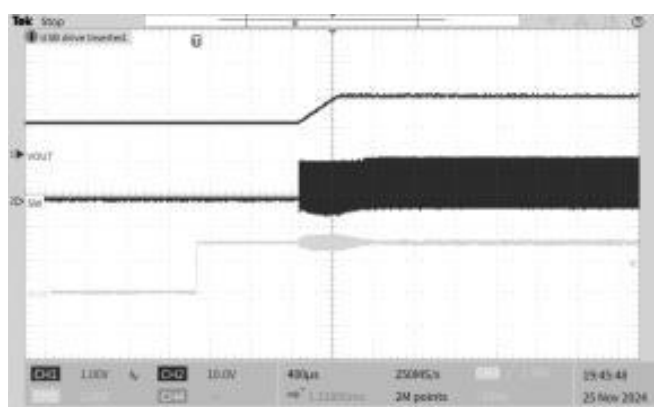


图 25 启动预偏置输出

13 功能描述

LKM4644 是一款双输出独立非隔离开关模式 DC/DC 电源。它只需很少的外部输入和输出陶瓷电容器即可提供两个 3A 直流，3.5A 峰值输出电流。该模块提供双路精确调节输出电压，可通过两个外部电阻器在 4V 至 20V 输入电压范围内实现 0.6V 至 5.5V 的可编程输出电压。由于 INTVCC 与 VIN 相连，该模块能够在 3.3V 输入下运行。典型的应用示意图如图 29 所示。

包含一个集成的受控导通时间谷值电流模式稳压器、功率 MOSFET、电感器和其他支持分立元件。默认开关频率为 1MHz。对于 2.5V 至 5.5V 之间的输出电压，需要在 FREQ 和 GND 引脚之间连接一个外部电阻，以将工作频率设置为更高的频率，以优化电感电流纹波。对于开关噪声敏感的应用，开关频率可以通过外部电阻器进行调整， μ Module 稳压器可以与设定频率 $\pm 30\%$ 范围内的时钟进行外部同步。

通过电流模式控制和内部反馈环路补偿，LKM4644 模块具有足够的稳定性裕度和良好的瞬态性能，具有广泛的输出电容器。

电流模式控制提供逐周期快速电流限制。如果输出反馈电压超出调节点 $\pm 8\%$ ，内部过压和欠压比较器会将开路漏极 PGOOD 输出拉低。通过将 SYNC 引脚连接到外部振荡器，可以轻松采用多相操作。最多可并联 2 相以同时运行，电流模式控制环路可保证良好的均流。

将 RUN 引脚拉至 1V 以下会强制控制器进入关闭状态，从而关闭功率 MOSFET 和大部分内部控制电路。在轻负载电流下，通过将 Mode 引脚设置为 INTVCC，可以启用突发模式操作，以实现比连续模式（CCM）更高的效率。TRACK/SS 引脚用于电源跟踪和软启动编程。

14 应用信息

典型的 LKM4644 应用电路如图 29 所示。外部元件的选择主要由输入电压、输出电压和最大负载电流决定。

VIN 至 VOUT 降压比

由于稳压器的最短关断时间和最短导通时间限制，给定输入电压可实现的最大 VIN 和 VOUT 降压比受到限制。最短关闭时间限制规定了最大占空比，其计算公式如下：

$$D_{MAX} = 1 - t_{OFF(MIN)} * f_{sw}$$

其中 $t_{OFF(MIN)}$ 是最短关断时间，典型值为 100ns， f_{sw} 是开关频率。相反，最小导通时间限制规定了转换器的最小占空比，其计算公式如下：

$$D_{MIN} = t_{ON(MIN)} * f_{sw}$$

其中 $t_{ON(MIN)}$ 是最短导通时间，典型值为 40ns。在超过最小占空比的极少数情况下，输出电压仍将保持稳定，但开关频率将从其编程值降低。请注意，可能会施加额外的热降额。

输出电压编程

PWM 控制器具有内部 0.6V 参考电压。如框图所示，60.4k 0.5% 内部反馈电阻将 VOUT 和 FB 引脚连接在一起。从 FB 引脚到 GND 添加一个电阻器 RFB 可对输出电压进行编程：

$$R_{FB} = \frac{0.6V}{V_{OUT} - 0.6V} * 60.4K$$

表 5. VFB 电阻表与各种输出电压的关系

VOUT (V)	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.5	3.3	5.0
RFB (k)	OPEN	90.9	60.4	40.2	30.1	19.1	13.3	8.25

对于 N 通道 LKM4644 的并行操作，可以使用以下公式求解 RFB：

$$R_{FB} = \frac{0.6V}{V_{OUT} - 0.6V} * \frac{60.4K}{N}$$

输入去耦电容器

LKM4644 模块应连接到低交流阻抗直流电源。对于每个稳压器通道，需要一个 4.7μF 的输入陶瓷电容器来实现 RMS 纹波电流去耦。仅当输入源阻抗因长电感引线、走线或源电容不足而受到影响时，才需要大容量输入电容器。大容量电容器可以是电解铝电容器和聚合物电容器。

在不考虑电感电流纹波的情况下，对于每个输出，输入电容器的 RMS 电流可估计为：

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

其中， $\eta\%$ 是电源模块的估计效率。

COMP（补偿）引脚

LKM4644 低压输出情况下，COMP 引脚需通过 RC 补偿网络（对地连接）优化环路极点/零点分布，以此保障系统稳定性与输出电压精度。结合输出电压场景进一步细化：输出电压 $\geq 0.8V$ 时，无需额外增设 RC 补偿。输出电压处于 0.6V~0.8V 区间时，推荐采用 5.1kΩ 电阻与 2.2nF 电容组成的 RC 补偿网络，以适配该电压范围下的环路特性需求。

输出去耦电容器

采用优化的高频、高带宽设计，每个 LKM4644 输出只需要单片 22μF 低 ESR 输出陶瓷电容器，即可实现低输出电压纹波和非常好的瞬态响应。如果需要进一步减少输出纹波或动态瞬态尖峰，可能需要额外的输出滤波。不同的输出电压和输出电容，以最大限度地减少 1.5A 负载阶跃瞬态期间的电压降和过冲。多相操作将减少作为相数函数的有效输出纹波。

突发模式操作

在中间电流高效率比输出电压纹波更重要的应用中，可以通过将 SYNC/Mode 引脚连接到 INTVCC 来使用突发模式操作，以提高轻负载效率。在突发模式操作中，电流反向比较器（IREV）检测负电感器

电流并关闭底部功率 MOSFET，从而实现不连续操作并提高效率。两个功率 MOSFET 将保持关闭状态，输出电容器将提供负载电流，直到 COMP 电压升至零电流水平以上以启动另一个循环。

强制连续电流模式（CCM）运行

在固定频率操作比低电流效率更重要的应用中，并且在需要最低输出纹波的应用中应使用强制连续操作。可通过将 SYNC/MODE 引脚连接到 GND 来启用强制连续操作。在此模式下，允许电感器电流在低输出负载期间反向，COMP 电压始终控制电流比较器阈值，并且顶部 MOSFET 总是随着每个振荡器脉冲导通。在启动期间，强制连续模式被禁用，电感器电流被阻止反向，直到 LKM4644 的输出电压达到稳定为止。

工作频率

LKM4644 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，同时仍然保持高效率。默认工作频率内部设置为 1MHz。在大多数应用中，无需额外调整频率。

如果应用需要 1MHz 以外的任何工作频率，则可以通过在 FREQ 引脚和 GND 之间添加电阻 RFSET 来提高工作频率，如图 27 所示。工作频率可计算如下：

$$F(\text{Hz}) = 2.2e5 + 3.09e11/R$$

请注意，对于给定的 V_{IN} 、 V_{OUT} 工作条件，需要最小开关频率来保持 LKM4644 的最大峰峰值电感纹波电流低于 1.2A。

峰峰值电感纹波电流可计算为：

$$\Delta I_{P-P} = \frac{V_{OUT}}{1\mu H} \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right) \times \frac{1}{f_{SW}(\text{MHz})}$$

可编程的工作频率范围从 800KHz 到 4MHz。

软启动和输出电压跟踪

TRACK/SS 引脚提供了一种软启动稳压器或将其跟踪到不同电源的方法。TRACK/SS 引脚上的电容器将对输出电压的斜坡率进行编程。内部 1.7 μ A 电流源将为外部软启动电容器充电至 INTVCC 电压。当 TRACK/SS 电压低于 0.6V 时，它将接管内部 0.6V 参考电压来控制输出电压。总软启动时间可计算如下：

$$t_{SS} = 0.6 * \frac{C_{SS}}{1.7\mu A}$$

其中 C_{SS} 是 TRACK/SS 引脚上的电容。在软启动过程中，电流折返和强制连续模式被禁用。当 TRACK/SS 悬空时，LKM4644 的内部软启动时间为 600 μ s。

输出电压跟踪也可以使用 TRACK/SS 引脚进行外部编程。输出可以用另一个调节器上下跟踪。图 26 和图 27 显示了比率跟踪的示例波形和原理图，其中从属调节器的输出压摆率与主调节器的输出压摆率成正比。

由于从属调节器的 TRACK/SS 通过 RTR (TOP) /RTR (BOT) 电阻分压器连接到主输出端，其电压用于调节从属调节器。

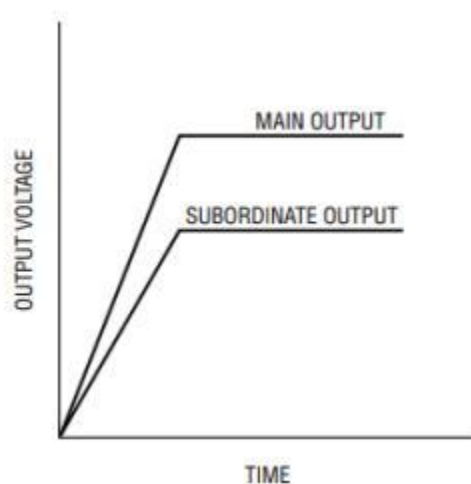


图 26 输出比例跟踪波形

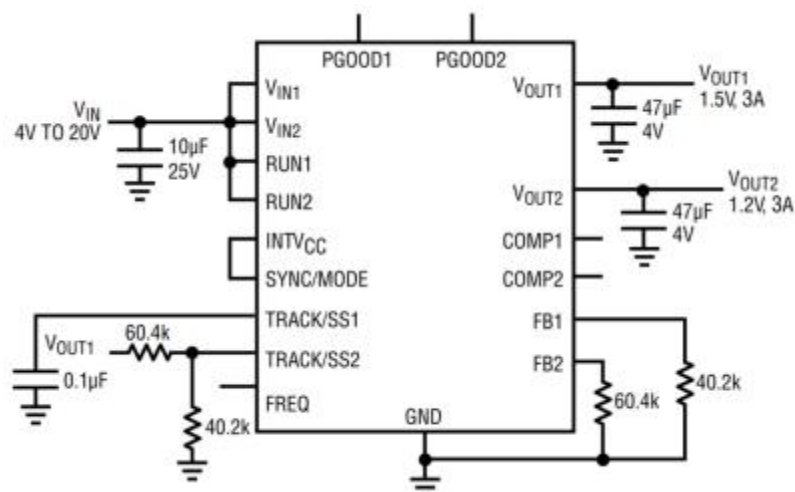


图 27 比例输出电压跟踪示例原理图

当 TRACK/SS 电压低于 0.6V 时的输出电压，在启动过程中，从属输出电压和主输出电压应满足以下方程。

RFB(SL)是反馈电阻，RTR(TOP)/ RTR(BOP)是下级稳压器 TRACK/SS 引脚上的电阻分压器，如图 27 所示。根据上式，主设备的输出压摆率（MR）和从属设备的输出压摆率（SR）（以伏特/时间为单位）由下式确定：

例如， $V_{OUT}(MA) = 1.5V$ ， $MR = 1.4V/1ms$ ， $V_{OUT}(SL) = 1.2V$ ， $SR = 1.2V/1ms$ 。根据方程式，我们可以解出 $RTR(TOP) = 60.4K$ 和 $RTR(BOT) = 40.2K$ 是比率跟踪的良好组合。

当使用电阻分压器对特定通道进行跟踪时，TRACK 引脚将接通 1.7µA 电流源。这将对 TRACK 引脚输入施加偏移。可以使用与根据上式计算的电阻值具有相同比率的较小值电阻器。例如，如果使用 60.4k，则可以使用 6.04k 将 TRACK 引脚偏移减小到可忽略的值。

重合输出跟踪可以被视为一种特殊的比率输出跟踪，其主输出转换率（MR）与从属输出转换率（SR）相同，波形如图 28 所示。

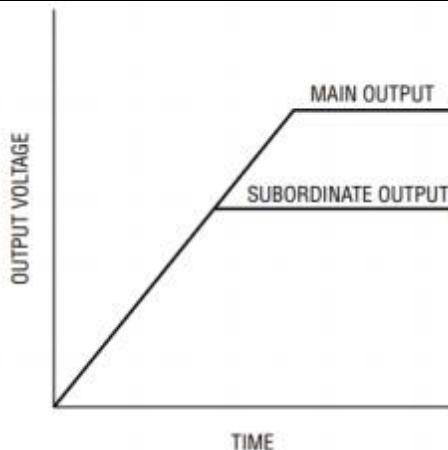


图 28. 输出重合跟踪波形

从公式中我们可以很容易地发现，在重合跟踪中，从属调节器的 TRACK/SS 引脚电阻分压器始终与其反馈分压器相同。

$$\frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4K} = \frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}}$$

例如， $R_{TR(TOP)}=60.4K$ 和 $R_{TR(BOT)}=60.4K$ 是 $V_{OUT(MA)}=1.5V$ 和 $V_{OUT(SL)}=1.2V$ 应用的重合跟踪的良好组合。

15 应用原理图

典型的 LKM4644 应用电路如图 29 所示。外部元件的选择主要由输入电压、输出电压和最大负载电流决定。

VIN 至 VOUT 降压比

由于稳压器的最短关断时间和最短导通时间限制，给定输入电压可实现的最大 VIN 和 VOUT 降压比受到限制。最短关闭时间限制规定了最大占空比，其计算公式如下：

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

其中 $t_{OFF(MIN)}$ 是最短关断时间，典型值为 100ns， f_{SW} 是开关频率。相反，最小导通时间限制规定了转换器的最小占空比，其计算公式如下：

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

其中 $t_{ON(MIN)}$ 是最短导通时间，典型值为 40ns。在超过最小占空比的极少数情况下，输出电压仍将保持稳定，但开关频率将从其编程值降低。请注意，可能会施加额外的热降额。

输出电压编程

PWM 控制器具有内部 0.6V 参考电压。如框图所示，60.4k 0.5%内部反馈电阻将 VOUT 和 FB 引脚连接在一起。从 FB 引脚到 GND 添加一个电阻器 RFB 可对输出电压进行编程：

$$R_{FB} = \frac{0.6V}{V_{OUT} - 0.6V} * 60.4K$$

表 5. VFB 电阻表与各种输出电压的关系

VOUT (V)	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.5	3.3	5.0
RFB (k)	OPEN	90.9	60.4	40.2	30.1	19.1	13.3	8.25

对于 N 通道 LKM4644 的并行操作，可以使用以下公式求解 RFB：

$$R_{FB} = \frac{0.6V}{V_{OUT} - 0.6V} * \frac{60.4K}{N}$$

输入去耦电容器

LKM4644 模块应连接到低交流阻抗直流电源。对于每个稳压器通道，需要一个 4.7μF 的输入陶瓷电容器来实现 RMS 纹波电流去耦。仅当输入源阻抗因长电感引线、走线或源电容不足而受到影响时，才需要大容量输入电容器。大容量电容器可以是电解铝电容器和聚合物电容器。

在不考虑电感电流纹波的情况下，对于每个输出，输入电容器的 RMS 电流可估计为：

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

其中，η %是电源模块的估计效率。

COMP（补偿）引脚

LKM4644 低压输出情况下，COMP 引脚需通过 RC 补偿网络（对地连接）优化环路极点/零点分布，以此保障系统稳定性与输出电压精度。结合输出电压场景进一步细化：输出电压 ≥ 0.8V 时，无需额外增设 RC 补偿。输出电压处于 0.6V~0.8V 区间时，推荐采用 5.1kΩ 电阻与 2.2nF 电容组成的 RC 补偿网络，以适配该电压范围下的环路特性需求。

输出去耦电容器

采用优化的高频、高带宽设计，每个 LKM4644 输出只需要单片 22μF 低 ESR 输出陶瓷电容器，即可实现低输出电压纹波和非常好的瞬态响应。如果需要进一步减少输出纹波或动态瞬态尖峰，可能需要额外的输出滤波。不同的输出电压和输出电容，以最大限度地减少 1.5A 负载阶跃瞬态期间的电压降和过冲。多相操作将减少作为相数函数的有效输出纹波。

突发模式操作

在中间电流高效率比输出电压纹波更重要的应用中，可以通过将 SYNC/Mode 引脚连接到 INTVCC 来使用突发模式操作，以提高轻负载效率。在突发模式操作中，电流反向比较器（IREV）检测负电感器

电流并关闭底部功率 MOSFET，从而实现不连续操作并提高效率。两个功率 MOSFET 将保持关闭状态，输出电容器将提供负载电流，直到 COMP 电压升至零电流水平以上以启动另一个循环。

强制连续电流模式（CCM）运行

在固定频率操作比低电流效率更重要的应用中，并且在需要最低输出纹波的应用中应使用强制连续操作。可通过将 SYNC/MODE 引脚连接到 GND 来启用强制连续操作。在此模式下，允许电感器电流在低输出负载期间反向，COMP 电压始终控制电流比较器阈值，并且顶部 MOSFET 总是随着每个振荡器脉冲导通。在启动期间，强制连续模式被禁用，电感器电流被阻止反向，直到 LKM4644 的输出电压达到稳定为止。

工作频率

LKM4644 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，同时仍然保持高效率。默认工作频率内部设置为 1MHz。在大多数应用中，无需额外调整频率。

如果应用需要 1MHz 以外的任何工作频率，则可以通过在 FREQ 引脚和 GND 之间添加电阻 RFSET 来提高工作频率，如图 27 所示。工作频率可计算如下：

$$F(\text{HZ}) = 2.2e5 + 3.09e11/R$$

请注意，对于给定的 VIN、VOUT 工作条件，需要最小开关频率来保持 LKM4644 的最大峰峰值电感纹波电流低于 1.2A。

峰峰值电感纹波电流可计算为：

$$\Delta I_{P-P} = \frac{V_{OUT}}{1\mu H} \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right) \times \frac{1}{f_{SW}(\text{MHz})}$$

可编程的工作频率范围从 800KHz 到 4MHz。

软启动和输出电压跟踪

TRACK/SS 引脚提供了一种软启动稳压器或将其跟踪到不同电源的方法。TRACK/SS 引脚上的电容器将对输出电压的斜坡率进行编程。内部 1.7μA 电流源将为外部软启动电容器充电至 INTVCC 电压。当 TRACK/SS 电压低于 0.6V 时，它将接管内部 0.6V 参考电压来控制输出电压。总软启动时间可计算如下：

$$t_{SS} = 0.6 * \frac{C_{SS}}{1.7\mu A}$$

其中 CSS 是 TRACK/SS 引脚上的电容。在软启动过程中，电流折返和强制连续模式被禁用。当 TRACK/SS 悬空时，LKM4644 的内部软启动时间为 600 μs。

输出电压跟踪也可以使用 TRACK/SS 引脚进行外部编程。输出可以用另一个调节器上下跟踪。图 26 和图 27 显示了比率跟踪的示例波形和原理图，其中从属调节器的输出压摆率与主调节器的输出压摆率成正比。

由于从属调节器的 TRACK/SS 通过 RTR (TOP) /RTR (BOT) 电阻分压器连接到主输出端，其电压用于调节从属调节器。

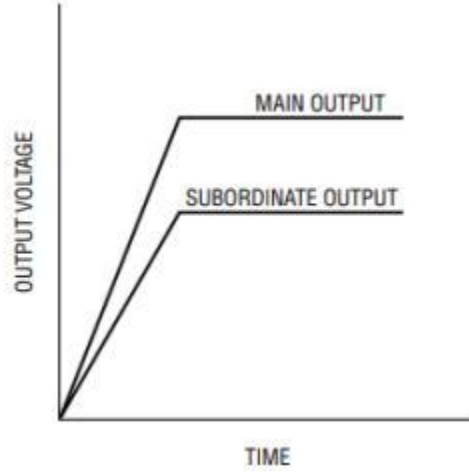


图 26 输出比例跟踪波形

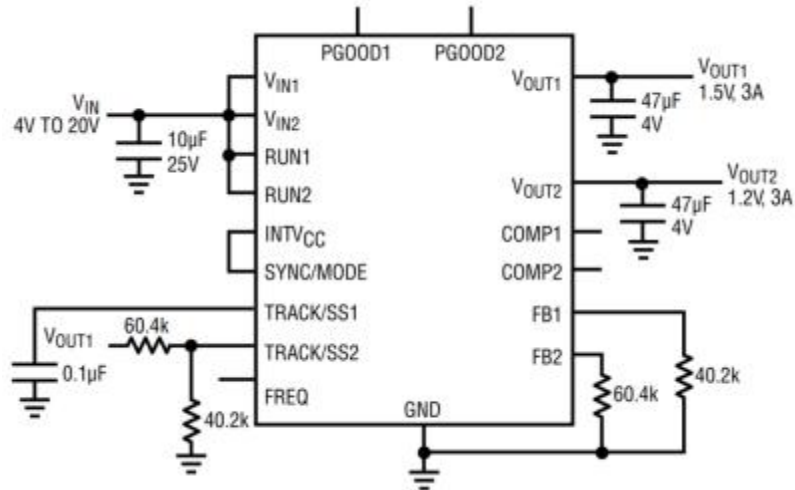


图 25 比例输出电压跟踪示例原理图

当 TRACK/SS 电压低于 0.6V 时的输出电压，在启动过程中，从属输出电压和主输出电压应满足以下方程。

$$\begin{aligned} & V_{OUT(SL)} * \frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4K} \\ & = V_{OUT(MA)} * \frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}} \end{aligned}$$

$R_{FB(SL)}$ 是反馈电阻， $R_{TR(TOP)}/R_{TR(BOT)}$ 是下级稳压器 TRACK/SS 引脚上的电阻分压器，如图 27 所示。

根据上式，主设备的输出压摆率（MR）和从属设备的输出压摆率（SR）（以伏特/时间为单位）由下式确定：

$$\frac{MR}{SR} = \frac{\frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4K}}{\frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}}}$$

例如， $V_{OUT(MA)}=1.5V$ ， $MR=1.4V/1ms$ ， $V_{OUT(SL)}=1.2V$ ， $SR=1.2V/1ms$ 。根据方程式，我们可以解出 $R_{TR(TOP)}=60.4K$ 和 $R_{TR(BOT)}=40.2K$ 是比率跟踪的良好组合。

当使用电阻分压器对特定通道进行跟踪时，TRACK 引脚将接通 $1.7\mu A$ 电流源。这将对 TRACK 引脚输入施加偏移。可以使用与根据上式计算的电阻值具有相同比率的较小值电阻器。例如，如果使用 $60.4k$ ，则可以使用 $6.04k$ 将 TRACK 引脚偏移减小到可忽略的值。

重合输出跟踪可以被视为一种特殊的比率输出跟踪，其主输出转换率（MR）与从属输出转换率（SR）相同，波形如图 28 所示。

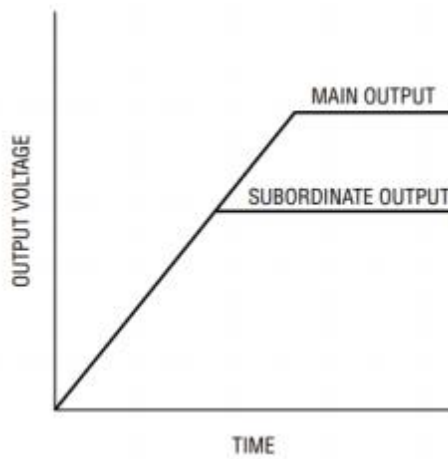


图 28 输出重合跟踪波形

从公式中我们可以很容易地发现，在重合跟踪中，从属调节器的 TRACK/SS 引脚电阻分压器始终与其反馈分压器相同。

$$\frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4K} = \frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}}$$

例如， $R_{TR(TOP)}=60.4K$ 和 $R_{TR(BOT)}=60.4K$ 是 $V_{OUT(MA)}=1.5V$ 和 $V_{OUT(SL)}=1.2V$ 应用的重合跟踪的良好组合。

16 应用原理图

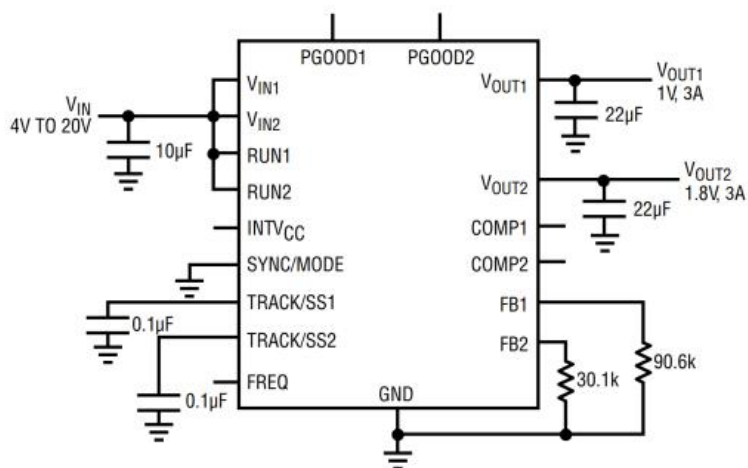


图 29 3A 设计中的 4VIN 至 20VIN、1V 和 1.8V 输出

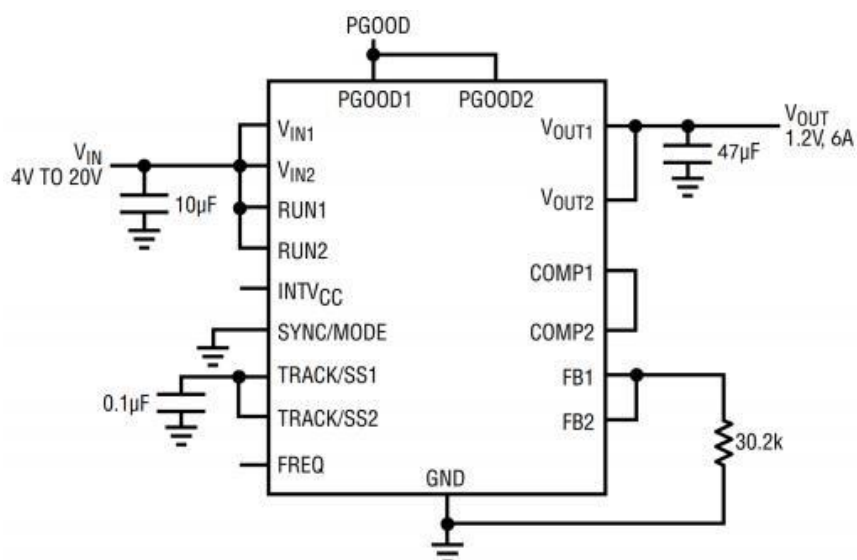


图 30 并联 6A 设计中的 4VIN 至 20VIN、1.2V 两相

17 PCB 布局推荐

LKM4644 的高集成度使得 PCB 板布局非常简单易行。然而，为了优化其电气和热性能，仍然需要考虑一些布局。

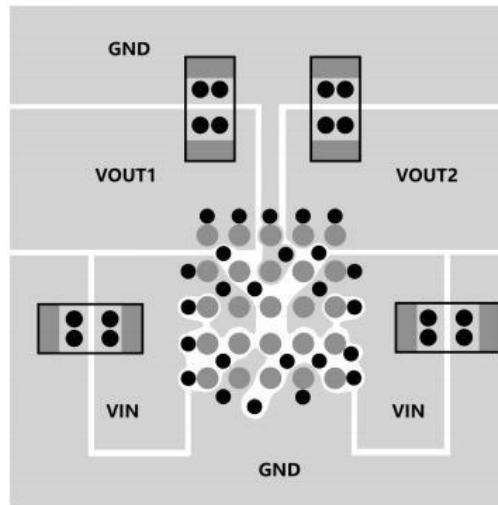


图 31 推荐 PCB 布局

对于高电流路径，包括 VIN、GND、VOUT1 和 VOUT2，使用大的 PCB 铜区域。它有助于最大限度地减少 PCB 传导损耗和热应力。在 VIN、PGND 和 VOUT 引脚旁边放置高频陶瓷输入和输出电容器，以最大限度地减少高频噪声。

为了最大限度地减少过孔传导损耗并降低模块热应力，在顶层和其他功率层之间使用多个过孔进行互连。不要将过孔直接放在焊盘上，除非它们被覆盖或电镀。对于连接到信号引脚的组件，使用单独的 SGND 接地铜区域。将 SGND 连接到设备下方的 GND。对于并行模块，将 VOUT、VFB 和 COMP 引脚连接在一起。使用内层将这些引脚紧密连接在一起。TRACK 引脚可以连接一个公共电容器以实现稳压器软启动。

对于高电流路径，包括 VIN、GND、VOUT1 和 VOUT2，使用大的 PCB 铜区域。它有助于最大限度地减少 PCB 传导损耗和热应力。在 VIN、PGND 和 VOUT 引脚旁边放置高频陶瓷输入和输出电容器，以最大限度地减少高频噪声。

为了最大限度地减少过孔传导损耗并降低模块热应力，在顶层和其他功率层之间使用多个过孔进行互连。不要将过孔直接放在焊盘上，除非它们被覆盖或电镀。对于连接到信号引脚的组件，使用单独的 SGND 接地铜区域。将 SGND 连接到设备下方的 GND。对于并行模块，将 VOUT、VFB 和 COMP 引脚连接在一起。使用内层将这些引脚紧密连接在一起。TRACK 引脚可以连接一个公共电容器以实现稳压器软启动。

18 焊接推荐

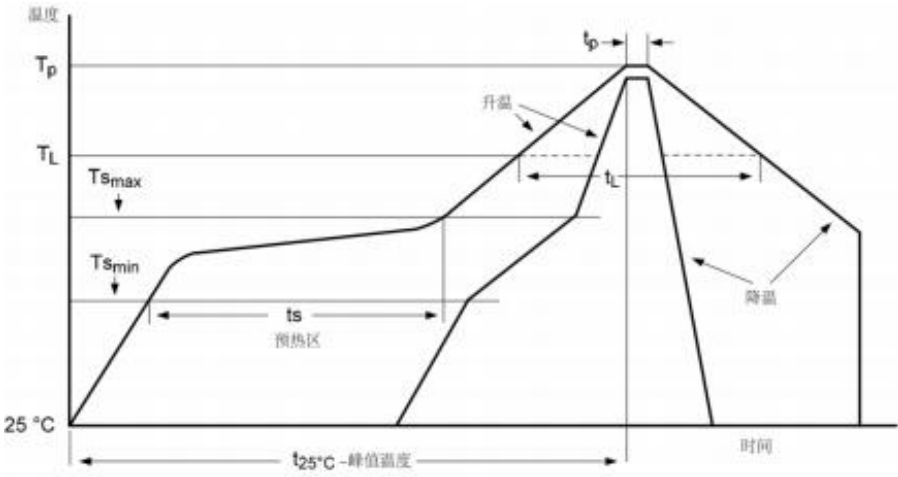
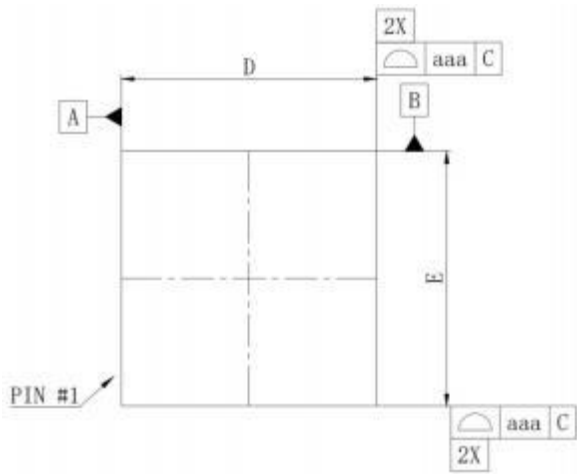


图 32 焊接曲线图

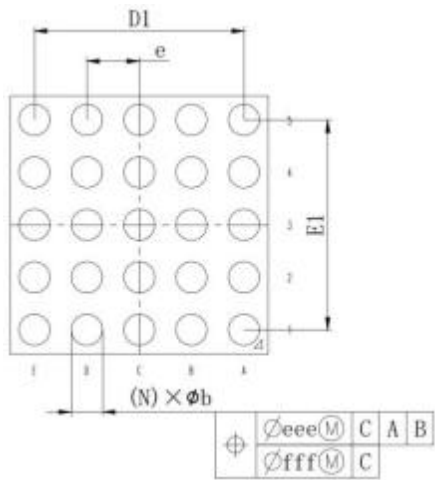
曲线参数	Sn63Pb37
平均升温速率(Tsmax ~ Tp)	≤3℃/s
预热区最低温(Tsmin)	100℃
预热区最高温(Tsmax)	150℃
预热区时间(tmin ~ tmax)	60s~120s
液相温度(TL)	183℃
液相上时间(tL)	60s~150s
峰值温度(Tp) *	235℃
峰值温度±5℃内时间	≤20s
降温速率	≤6℃/s
25℃至峰值温度用时	≤6min

19 封装形式

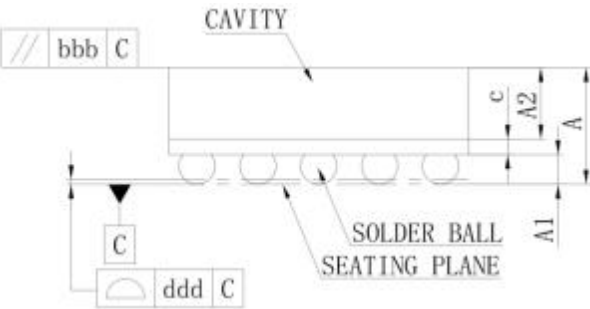
封装形式 BGA (6.25mm×6.25mm×2.44mm)
封装等级 MSL3



顶视图



底视图



侧视图

符号	尺寸(毫米)		
	最小值	典型值	最大值
A	2.290	2.440	2.590
A1	0.570	0.620	0.670
A2	1.450	1.500	1.550
c	0.270	0.320	0.370
D	6.150	6.250	6.350
E	6.150	6.250	6.350
D1	-	5.080	-
E1	-	5.080	-
e	-	1.270	-
b	0.710	0.760	0.810
aaa	0.100		
bbb	0.100		
ddd	0.100		
eee	0.150		
fff	0.080		
N	25		
MD/ME	5/5		

图 33 封装尺寸图

20 订购信息

型号	封装	质量等级	工作温度
LKM4622B	BGA25，陶瓷封装	工业级	-40℃~+125℃

21 版本信息

版本号	日期	版本说明	更改说明
REV 1.00	2024-05- 15	更新版本	—
REV 2.00	2024-06-03	更新版本	优化内容
REV 2.01	2025-11-27	更新版本	优化内容
REV 2.02	2026-7-27	更新版本	优化内容