

主要特性

DC/DC 部分:

- ◆ 输入电压范围: 4.5V~5.5V
- ◆ 输出电压可调: 1.0V~3.3V
- ◆ 输出电流: 两路 6A 或单路 12A
- ◆ 电压调整率: 0.5% (典型值)
- ◆ 负载调整率: 0.5% (典型值)
- ◆ 多相并联均流
- ◆ 电流模式控制、快速瞬态响应
- ◆ PGOOD 功能
- ◆ 软启动/输出电压跟踪
- ◆ 过流保护、短路保护、过热保护

LDO 部分:

- ◆ 输入电压范围: $V_{LDO-IN}=1.6V\sim3.6V$;
- ◆ VCNTL: 4.5V~5.5V;
- ◆ 输出电压范围: $V_{LDO-OUT}=0.8V\sim3.5V$;
- ◆ 输出电流范围: $I_{OUT}=0\sim1.5A$;
- ◆ BGA 封装 15mm×15mm×3.42mm

产品简介

MAC4615L是一款三路输出电源模块,包括一个1.5A输出LDO(超低压差)线性稳压器和双路6A输出开关模式DC/DC电源。封装中内置了开关控制器、电感器、一个1.5A稳压器和所有的支持元件。双路6A DC/DC转换器的工作输入电压极限范围为2.7V至5.5V,而LDO的工作输入电压极限范围为1.1V至5.5V。MAC4615L支持1.0V至3.3V(对于DC/DC转换器)和0.8V至3.5V(对于LDO)的输出电压范围。输出电压由用于每输出的单个电阻器来设定,外部仅需在输入和输出外接大容量电容器

该电路是整机系统的重要组成部分,也是整机可靠、稳定工作的关键,因此要求电源具有高可靠、长寿命的特性。

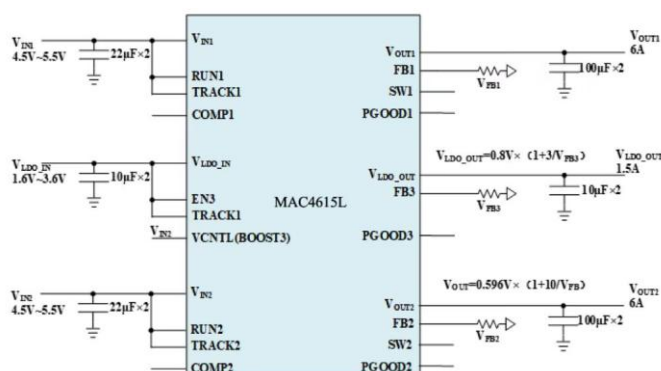
MAC4615L作为表贴型模块,采用回流焊方式装配于PCB板上,电路具有体积小,集成度高、重量轻的特点。

应用场景

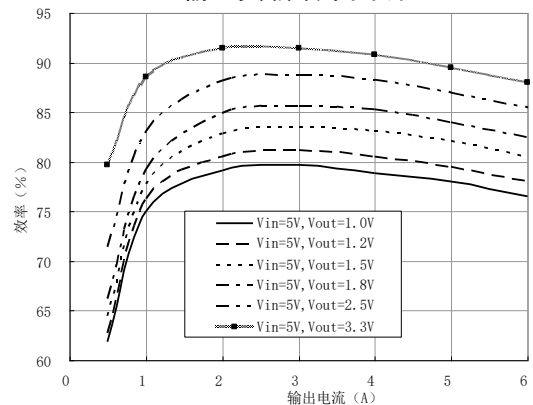
- ◆ FPGA、DSP 供电
- ◆ 多电压轨应用

典型应用

两通道单独工作模式典型应用电路



5V输入负载效率曲线





订货说明

器件规格	引出端材料	封装形式	产品标识	潮湿敏感等级 ^d	温度范围 (T _c)	质量等级
MAC4615L	SAC305	144-BGA	MAC ^a 4615L ^b YYWW ^c	3	-40℃~125℃	工业级

注:

a 厂标

b 产品型号

c 识别代码: YY 为年份的最后两位数字, WW 为当年密封的周数。如: 2401 表示 2024 年的第 1 周封装

d 塑封模块使用前推荐 125℃烘烤 48h

产品系列命名规则

MAC 4615L
① ②

① 厂家代号

② 产品代号



产品使用工作条件

本电路绝对最大额定值^(注1):

DC/DC 部分:

V_{IN} , S_{VIN} (每通道)2.7V~5.5V

V_{OUT} (每通道)0.6V~5V

输出电流范围:

$I_{OUT}=0\sim8A$ 单通道独立工作

LDO 部分:

输入电压范围: $V_{LDO-IN}=0\sim5.5V$;

输入电源电压: $V_{CNTL}=V_{IN}=4.5V\sim5.5V$;

输出电压范围: $V_{LDO-OUT}=0.8V\sim5V$;

输出电流范围: $I_{OUT}=0\sim2A$;

引脚耐焊接温度250°C (30s)

贮存温度范围 (T_{stg})-55°C~125°C

本电路推荐工作条件:

DC/DC 部分:

输入电压范围: $V_{IN}=4.5V\sim5.5V$;

输出电压范围: $V_{OUT}=1.0V\sim3.3V$;

输出电流范围: $I_{OUT}=0\sim6A$ 单通道独立工作;

LDO 部分:

输入电压范围: $V_{LDO-IN}=1.6V\sim3.6V$;

输入电源电压: $V_{CNTL}=V_{IN}=5V$;

输出电压范围: $V_{LDO-OUT}=0.8V\sim3.5V$;

输出电流范围: $I_{OUT}=0\sim1.5A$;

工作外壳温度 T_C ^(注2)-40°C~125°C

板卡焊接温度曲线推荐:

典型有铅曲线 (峰值温度: 210°C~230°C, 液化时间: 30s~90s)

典型无铅曲线 (峰值温度: 240°C~250°C, 液化时间: 30s~90s)

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

注 2: 使用时考虑高温降额, 壳温 $\leq 125^\circ\text{C}$ 。

产品热阻

测试条件: 将产品焊接在测试板上, 测试板尺寸100mm×100mm×1.6mm, 四层板, 表层和内层大面积敷铜, 厚度为1oz(盎司)。由于热阻参数与实际应用环境密切相关, 不同的环境测出的结果会有一定差异, 此项参数仅供参考。

产品型号	封装类型	产品尺寸 (mm ³)	测试板尺寸 (mm ²)	芯片至环境 温度热阻 θ_{JA}	芯片至衬底 温度热阻 $\theta_{JCbottom}$	芯片至顶部 温度热阻 θ_{JCtop}
MAC4615L	BGA	15×15×3.42	≥100×100 (四层)	15.5°C/W	2.7°C/W	25°C/W



产品电特性

参数符号	参数名称	测试条件 ^(注3)	极限值			单位
			最小值	典型值	最大值	
DC/DC 部分						
V _{IN1} , V _{IN2}	输入 DC 电压	—	3.3	—	5.5	V
V _{OUT1} , V _{OUT2}	输出电压	C _{IN} =22μF×2, C _{OUT} =100μF×2 V _{IN} =3.3V~5.5V, R _{FB} =6.65k Ω I _{OUT} = 0A ~ 6A	1.474	1.500	1.526	V
V _{IN1} (ULVO) ,V _{IN2} (ULVO)	输入欠压阈值	I _{OUT} =0A	1.85	2.0	2.35	V
I _Q (V _{IN1} ,V _{IN2})	静态电流	V _{IN} =5V, V _{OUT} =1.5V	—	62	—	mA
I _S (V _{IN1} ,V _{IN2})	输入电源电流	V _{IN} =5V, V _{OUT} =1.5V, I _{OUT} =6A	—	2.2	—	A
I _{OUT1} (DC) I _{OUT2} (DC)	输出电流	V _{OUT} =1.5V, V _{IN} =5V	0	—	6	A
S _{V1} S _{V2}	电压调整率	V _{OUT} =1.5V, 0A V _{IN} =3.3V~5.5V	—	0.5	1.5	%
S _{I1} S _{I2}	负载调整率	V _{OUT} =1.5V, 0A~6A V _{IN} =5V	—	0.5	1.5	%
V _{pp1} V _{pp2}	输出纹波电压	I _{OUT} =0A, C _{OUT} ≥200μF V _{IN} =5V, V _{OUT} =1.5V	—	30	50	mV _{P-P}
f _{S1} f _{S2}	开关频率	V _{OUT} =1.5V, I _{OUT} =6A, V _{IN} =5V	1.25	1.5	1.75	MHz
ΔV _{OUT1} (LS) ΔV _{OUT2} (LS)	动态响应	负载: 0%~50%~0% C _{OUT} =200μF V _{IN} =5V, V _{OUT} =1.5V	—	100	—	mV
t _{SETTLE1} t _{SETTLE1}	动态恢复时间	负载: 0%~50%~0% V _{IN} =5V, V _{OUT} =1.5V	—	20	—	μS
I _{OUT1} (PK) I _{OUT2} (PK)	输出限流点	C _{OUT} =100μF, V _{IN} =5V, V _{OUT} =1.5V	—	14	—	A
V _{FB1} ,V _{FB2}	FB 脚电压	V _{OUT} =1.5V, I _{OUT} =0A	0.590	0.596	0.602	V
V _{LDO-IN}	工作电压	V _{CNTL} -V _{LDO-OUT} >1.7V	1.1	—	5.5	V
V _{BOOST3}	V _{CNTL} 电压	—	4.5	5	5.5	V
V _{FB3}	FB3 内部基准电压	1mA≤I _{OUT} ≤1A, 1.6V≤V _{LDO_IN} ≤5.5V V _{CNTL} =5V, 1V≤V _{OUT} ≤3.5V	0.792	0.8	0.808	V
V _{LDO-OUT}	输出电压范围	—	0.8	—	3.5	V
V _{DO}	压差电压	V _{CNTL} -V _{LDO-OUT} >1.7V	—	240	—	mV
I _{OUT}	输出电流	V _{EN3} ≥0.8V	—	—	1.5	A
V _{RUN1} , V _{RUN2}	使能阈值	RUN 上升	1.4	1.5	1.7	V

注 3: 电特性指标测试基于实验室条件, 将模块焊接至评估板测试。



产品引脚功能

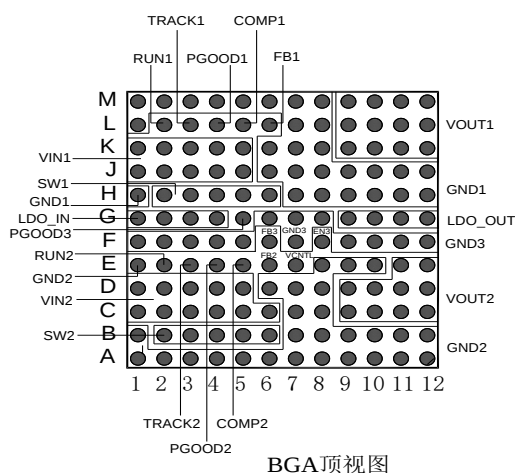


图 1 引脚定义顶视图

引脚	引脚定义	引脚说明
J1-J5, K1-K5	V _{IN1}	每路的电源输入引脚，在输入与地之间直接连接滤波电容。
C1-C6, D1-D5	V _{IN2}	
H1, H7-H12, J6-J12, K6-K8, L1, L7-L8, M1-M8	GND1	每路的输入和输出回路的电源地。
A1-A12, B1, B7-B12, C7-C8, D6-D8, E1, E8-E10	GND2	
K9-K12, L9-L12, M9-M12	VOUT1	电源输出引脚，在输出与地之间直接连接滤波电容。
C9-C12, D9-D12, E11-E12	VOUT2	
L3	TRACK1	各通道输出电压跟随端。在 TRACK 脚接一个电阻和电容，可以增加电路的软启动时间。如果这个引脚不用，可将其接到 VIN 脚，不要让此脚悬空。
E3	TRACK2	
L6	FB1	各通道的误差放大器的反相输入端。在模块内部，这个引脚与 V _{OUT} 之间接一个 10k 的精密电阻。可以通过在 FB 和 GND 之间外接电阻来确定输出电压。
E6	FB2	
F6	FB3	LDO 误差放大器的负输入。在模块内部，这个引脚与 V _{LDO-OUT} 之间接一个 3k 的精密电阻。
L5	COMP1	电流控制门限及误差放大器补偿点。并联应用时，将各路的此脚接在一起，可以实现均流。
E5	COMP2	
L4	PGOOD1	各通道显示输出是否正常的指示端。当输出电压不在正常值的±10%以内时，漏极开路逻辑输出被拉至地。
E4	PGOOD2	

引脚	引脚定义	引脚说明
L2	RUN1	启动控制引脚。该引脚电压大于 1.5V 时，模块才会工作。
E2	RUN2	
H2-H6	SW1	电路的开关节点用于测试用途。
B2-B6	SW2	
G1-G4	LDO_IN	LDO 输入引脚。
G9-G12	LDO_OUT	LDO 输出引脚。
E7	VCNTL	用于驱动内部 LDO MOS 至全面强化状态的升压电源。 $VCNTL - V_{LDO-OUT} > 1.7V$ ，当 VCNTL 外接 5V 电源时，LDO 可实现较小的输入输出压降。VCNTL 在模块内部与 V_{IN2} 相连接。应用时，需要 LDO_IN 和 V_{IN} 同时存在。
F1-F5, F7, F9-F12, G6-G8	GND3	用于内部 LDO 的输入和输出回程的电源接地引脚。
G5	PGOOD3	LDO 显示输出是否正常的指示端。
F8	EN3	LDO 使能引脚。

产品原理框图

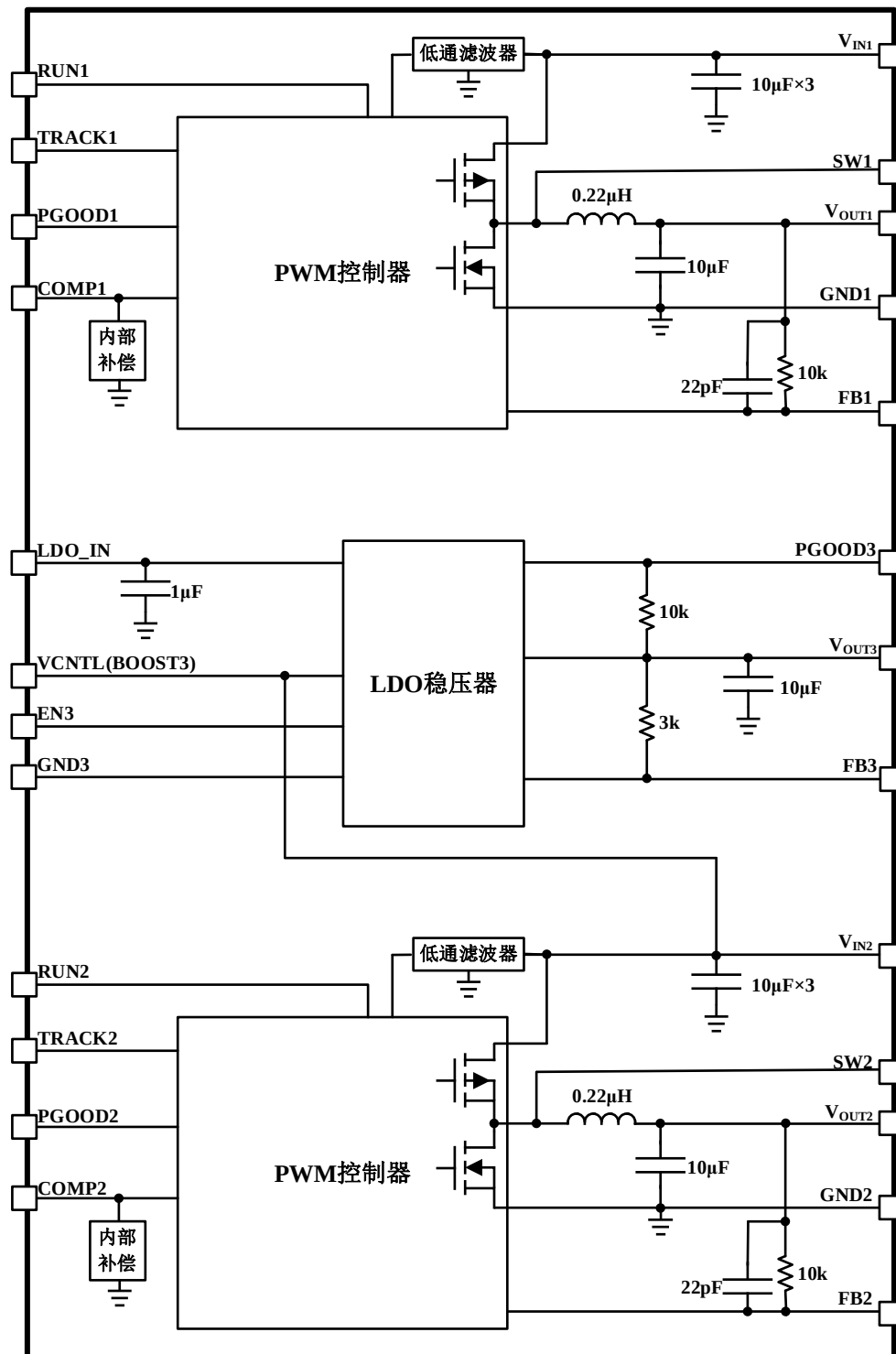


图 2 MAC4615L 原理框图

产品典型性能

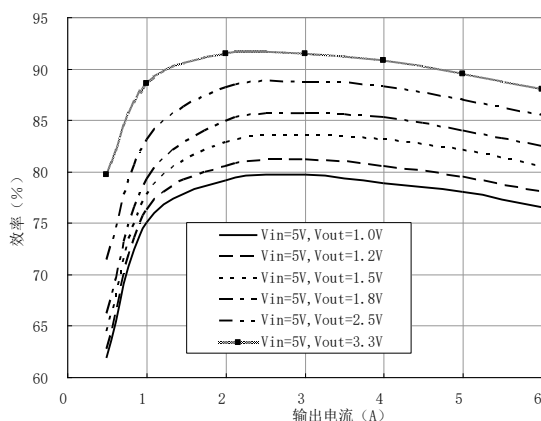


图 3 5V 输入-负载-效率曲线

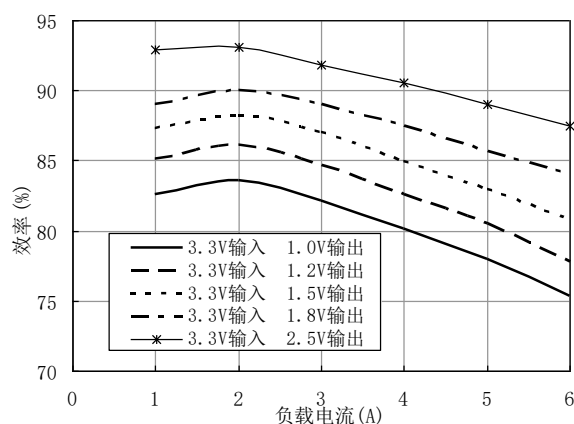


图 4 3.3V 输入-负载-效率曲线

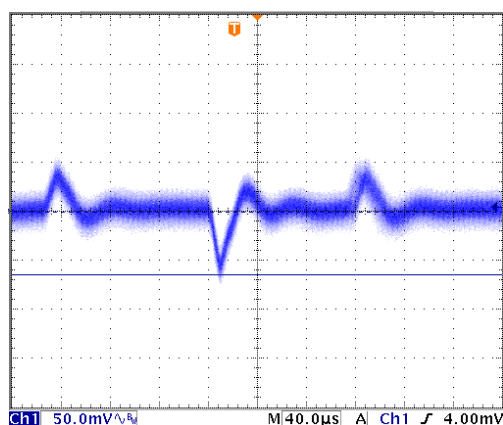

 $V_{IN}=5V; V_{OUT}=1.5V; I_{OUT}=0\sim 2A\sim 0;$
 $f=1kHz (T=1ms); C_{OUT}\geq 100\mu F\times 2$

图 5 负载-动态曲线

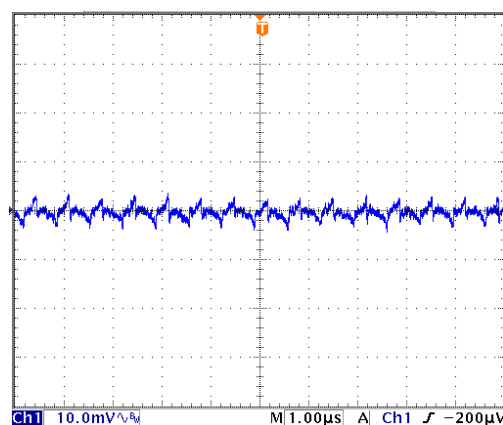

 $V_{IN}=5V; V_{OUT}=1.5V; I_{OUT}=6A; BW: 20MHz$
 $C_{OUT}\geq 100\mu F\times 2$

图 6 输出纹波电压

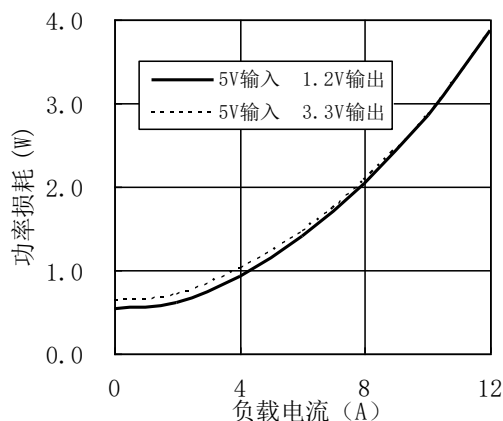
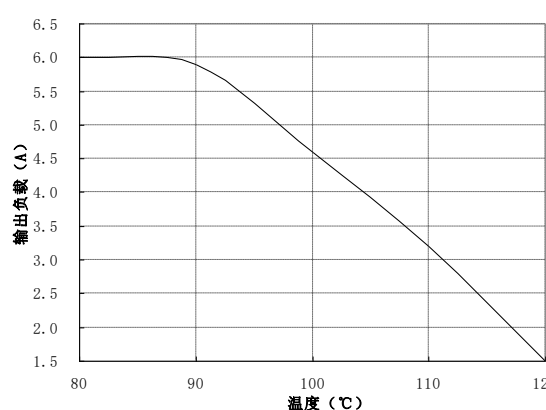

 $V_{OUT}=1.2V, 3.3V; I_{OUT}=0\sim 12A; \text{双路并联。}$

图 7 负载-功耗关系曲线


 $V_{IN}=5V, V_{OUT}=1.5V, T_C\leq 125^\circ C, I_{OUT}=0\sim 6A; \text{壳温: } \leq 125^\circ C$

双路 DC/DC 同时工作。

图 8 降额曲线

应用说明

开关稳压器部分

MAC4615L 是一款独立型双路非隔离式开关模式 DC/DC 电源。该器件可以为每个通道提供高达 8A 的 DC 输出电流，只需要很少的外部输入和输出电容器。在 3.3V~5.5V 的输入电压范围内，该模块可提供两个精确调节的输出电压(每个通道的输出电压可利用一个外部电阻器设置在 0.6V 到 5V DC 输出电压)。典型的应用原理图如图 11 所示。

MAC4615L 具有两个集成型恒定频率电流模式稳压器，并内置了高开关速度的功率 MOSFET。典型的开关频率为 1.5MHz。

通过电流模式控制和内部反馈回路补偿，MAC4615L 模块具有足够的稳定边际和良好的瞬态性能，并可采用各种各样的输出电容，甚至是全陶瓷电容。

电流模式控制在过电流条件下提供过流保护和过温保护。如果输出反馈电压超过设定值的±10%，则内部过压和欠压比较器将把漏极开路 PGOOD 输出拉至低电平。

通过将每个 RUN 引脚拉至 1.3V 以下，将强制该稳压控制器进入停机状态。TRACK 引脚用于设置在启动期间的软启动和电压跟踪。

MAC4615L 采取内部补偿方式以在所有的工作条件下保持稳定。FB 引脚通过与一个外部电阻器接地设置输出电压。

典型的 MAC4615L 应用电路如图 11 所示。外部组件的选择主要由最大负载电流和输出电压决定。

VLDO 部分

VLDO (非常低压差)线性稳压器可在 1.6V 至 3.6V 输入电压范围内工作。VLDO 使用一个内部 NMOS 晶体管作为源极跟随器配置的传输器件。VCNTL 在模块内部与 VIN2 连接，为 LDO 路提供

偏置电压。

LDO 提供了一个能够提供 1.5A 输出电流和一个 100mV 典型压差电压的高准确度输出。两个 10 μF 陶瓷电容器便可完全满足输出电容器旁路的需要。低基准电压导致 VLDO 具有低于常用 LDO 的输出电压。

另外，该器件还拥有电流限制和热过载保护功能。NMOS 跟随器架构具有快速瞬态响应。

V_{IN} 至 V_{OUT} 降压比

对于两个开关稳压器上的某种给定的输入电压，可实现的最大 V_{IN} 到 V_{OUT} 的降压比受到限制。MAC4615L 的 V_{IN} 到 V_{OUT} 的最小压降为负载电流的一个函数。对于 5V 的输入电压，两个稳压器都可以为 3.3V 及以下输出电压提供 6A 电流。

输出电压

每个稳压控制器具有一个内部 0.596V 基准电压。如“原理框图”所示，一个 10k 内部反馈电阻器把 Vout 和 FB 引脚连接在一起。在 FB 引脚与 GND 引脚之间增设一个电阻器 R_{FB}，用于设置输出电压：

$$R_{FB} = \frac{0.596V}{V_{OUT} - 0.596V} \times 10k$$

表 1: 输出电压与 R_{FB} 电阻阻值的对应关系

V _{OUT} (V)	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.5	3.3
R _{FB} (kΩ)	开路	14.75	10	6.65	4.87	3.09	2.21

对于 N 个通道并联工作的情形，可以采用下式求解 R_{FB}：

$$R_{FB} = \frac{0.596V}{V_{OUT} - 0.596V} \times \frac{10k}{N}$$

输入电容

MAC4615L 模块应连接至一个低 AC 阻抗 DC 电源。对于每个稳压器通道，建议采用 2 个 22μF 的

陶瓷输入电容器来实现 RMS 纹波电流去耦。仅在输入端具有长的电感性导线或走线的条件下才需要使用一个大容量的输入电容器。这个大容量电容器可以是铝电解电容器或者固态电容器。

如果不考虑电感器电流纹波，那么输入电容器的 RMS 电流可运用下式来估算：

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

式中的 $\eta\%$ 是电源模块的估计效率。

输出电容

MAC4615L 开关电源专为在每个通道上实现低输出电压纹波而设计。输出电容应选择具有足够低有效串联电阻（ESR）的大容量输出电容器，以满足输出电压纹波和瞬态要求。输出电容器可以是低 ESR 钽电容器、低 ESR 聚合物电容器或陶瓷电容器。典型的输出电容设置为 $\geq 200\mu F$ 陶瓷电容。如果需要进一步减少输出纹波或动态瞬态峰值，系统设计师可能需要额外的输出滤波，为更好地滤除高频噪声，可额外配置多颗 $1\mu F$ 、 $0.1\mu F$ 、 $1000pF$ 等容量的电容器。

输出滤波电容应充分连接至输出功率回路中，可参见 PCB 布局图，以保证良好的滤波效果。版图布局时，可通过布设多个过孔实现多层电源的互联。

输出电压跟踪

输出电压跟踪可以使用 TRACK 引脚进行外部编程。输出可以用另一个变换器进行跟踪和下降。主变换器的输出被外部电阻分压器分压，该分压器与从变换器的反馈分压器相同，以实现同步跟踪。MAC4615L 内部使用精确的 $10k$ 电阻器作为输出采样的上分压电阻。图 13 显示了输出跟踪的示例：

$$Slave = \left(1 + \frac{10k}{R_{TA}}\right) \times V_{TRACK}$$

V_{TRACK} 是应用于从属装置的输出的斜坡。

V_{TRACK} 的控制范围为 $0V$ 到 $0.596V$ ，或内参考电压。

当主输出用从输出的相同设定电阻值时，从输出将与主输出一致，直到达到最终值。从输出的调节点开始，主输出将继续达到最终值。当 V_{TRACK} 大于 $0.596V$ 时，禁用电压跟踪。图 9 中的 R_{TA} 将等于重合跟踪的 R_{FB} 。主输出的启动可以通过外部斜坡或图 9 中引用 V_{IN} 的 R_{SR} 和 C_{SR} 控制。斜坡时间可以通过以下公式进行编程：

$$t = - \left(\ln \left(1 - \frac{0.596V}{V_{IN}} \right) \right) \times R_{SR} \times C_{SR}$$

以“输出电压/时间”为单位的主稳压器输出斜率（MR）和从属稳压器输出斜率（SR）由下式决定：

$$\frac{MR}{SR} \times 10k = R_{TB}$$

其中 MR 为主输出转换率，SR 为从输出转换率，单位为伏特/时间。当需要一致跟踪时，MR 和 SR 相等，因此 R_{TB} 等于 $10k$ 。 R_{TA} 由下式可知：

$$R_{TA} = \frac{0.596V}{\frac{V_{FB}}{10k} + \frac{V_{FB}}{R_{FB}} - \frac{V_{TRACK}}{R_{TB}}}$$

其中， V_{FB} 为调节器的反馈电压参考， V_{TRACK} 为 $0.596V$ 。由于 R_{TB} 在重合跟踪中等于从调节器的 $10k$ 顶部反馈电阻，那么 R_{TA} 等于与 $V_{FB}=V_{TRACK}$ 的 R_{FB2} 。

因此，图 9 中的 $R_{TB}=10k$ 和 $R_{TA}=6.65k$ 。图 9 显示了重合跟踪的输出电压。

在输出电压跟踪中，从调节器可能需要一个不同的转换速率。当 SR 比 MR 慢时，可以设置 R_{TB} ，确保从输出转换率足够快，使从输出电压在主输出之前达到最终值。

例如：MR=3.3V/ms 和 SR=1.5V/ms。然后是 $R_{TB}=22.1k$ 。求解 R_{TA} 等于 $4.87k$ 。

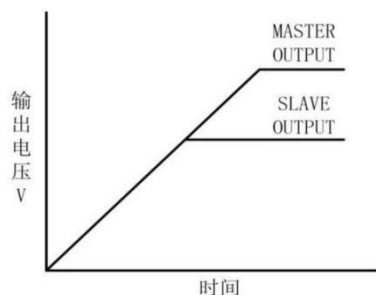


图 9 重合跟踪示意图

PGOOD 功能

PGOOD 引脚是一个漏极开路引脚，可用于指示输出电压是否正常。这个管脚可监测输出电压在设定值 $\pm 10\%$ 附近的变化。PGOOD 引本身不能输出高电平，使用时需要进行上拉，通常推荐上拉至各自通道的 VIN 引脚，上拉电阻可配置为 $10k\Omega \sim 100k\Omega$ 。

使能功能

RUN 引脚具有运行使能的作用。RUN 引脚用于控制 MAC4615L 中每通道开关模式 DC/DC 变换器的接通。当每个使能引脚拉低时，MAC4615L 将处于停机状态。给使能引脚施加 1.5V 以上电平才能使功率管导通工作。

COMP 引脚

此引脚为外部补偿引脚。该模块已经针对所有的输出电压进行了内部补偿。在并联操作中，COMP 引脚必须连接在一起。

VLDO 部分：

可调输出电压

输出电压由两个电阻器之比来设定。在模块中内置了一个 3k 电阻器(置于 LDO_OUT 和 FB3 引脚之间)。需要在 FB3 和 GND3 之间布设一个额外的电阻器(R_{FBLDO})，用于在一个 0.8V 至 3.5V 的范围内设定输出电压。

公式：

$$R_{FBLDO} = \frac{0.8V}{V_{LDO_OUT} - 0.8V} \times 3k$$

电源良好操作

VLDO 包括一个具迟滞的漏极开路电源良好 (PGOOD3) 引脚。如果 VLDO 处于停机模式或在

UVLO 状态，则 PGOOD3 为对地低阻抗。当 VLDO 输出电压上升至其稳定电压的 90% 时，PGOOD3 变至高阻抗。在输出电压下降至其稳定电压的 90% 之前，PGOOD3 将保持高阻抗。可在 PGOOD3 引脚与一个正逻辑电源(例如：VLDO 输出或输入)之间插入一个上拉电阻器。LDO_IN 至少应为 1.6V 或更高，以使电源良好功能电路正确运作。

输出电容和瞬态响应

对于较宽范围的陶瓷输出电容，VLDO 均可稳定工作。输出电容器的 ESR 会影响稳定性，特别是数值较小的电容器。为确保稳定性，建议采用两个 $10\mu F$ 或更大的输出电容器。可使用较大数值的电容器以减小负载变化条件下的瞬态偏差。在负载设备上使用的旁路电容器也会增加有效输出电容。可以采用高 ESR 钽或电解体电容，但在输出端上必须使用一个并联的陶瓷电容器。

过温保护

内部过热保护功能电路负责监视模块的结温。如果结温达到约 $150^{\circ}C$ ，则两个电源开关都将被切断，直到温度下降大约 $25^{\circ}C$ 为止。

推荐 PCB 布局

① 焊盘设计

BGA 焊盘推荐尺寸直径 0.63mm。

建议将 V_{IN} 、GND、 V_{OUT} 等大面积敷铜的功率引脚焊盘的开阻焊窗口进行调整设计；否则 PCB 制板厂家会采用一般软件默认的 0.1mm 左右的开阻焊制作，实际焊盘会略大，容易造成和独立引脚焊盘存在实际大小不一样的情况。若焊盘窗口不一致，会导致再流焊时，模块在垂直于 PCB 板的方向受焊锡张力影响，对其它独立焊盘的焊锡造成挤压或拉伸。

② PCB板布局

为了优化其电性能和热性能，需要在布局上进

行考虑。

a、对于大电流路径,使用大的 PCB 铜箔区域,包括 V_{IN} 、GND、 V_{OUT} ,从而有助于减少 PCB 的导通损耗和热应力;

b、在 V_{IN} 、GND 和 V_{OUT} 引脚附近放置高频陶瓷电容,用于减少高频噪声;

c、放置一个专用功率地层位于模块下面;

d、为了最小化过孔导通损耗和减少模块热应力,可使用多个过孔在顶层和其他功率层之间连接;

e、不要将过孔直接布局在焊盘上,除非通孔做填孔处理;

f、对于并联模块,将引脚 COMP、 V_{FB} 、RUN、TRACK 分别连在一起。

图 10 提供了一种 PCB 板推荐布局。

③ 推荐焊盘

MAC4615L 产品 BGA 锡球球径典型值为 0.76mm。推荐用户 BGA 封装库按表 2 尺寸设计。

表 2 MAC4615L 焊盘尺寸推荐

产品型号	BGA 球直径 (mm)	推荐焊盘开窗尺寸 (mm)
MAC4615L	0.76	$\Phi 0.63$

安全注意事项

MAC4615L 模块不提供从 V_{IN} 到 V_{OUT} 的电隔离。如果需要,需要提供额定值为最大输入电流两倍的慢熔保险丝,以保护每个设备免遭灾难性故障。该模块支持热关断和过流保护。

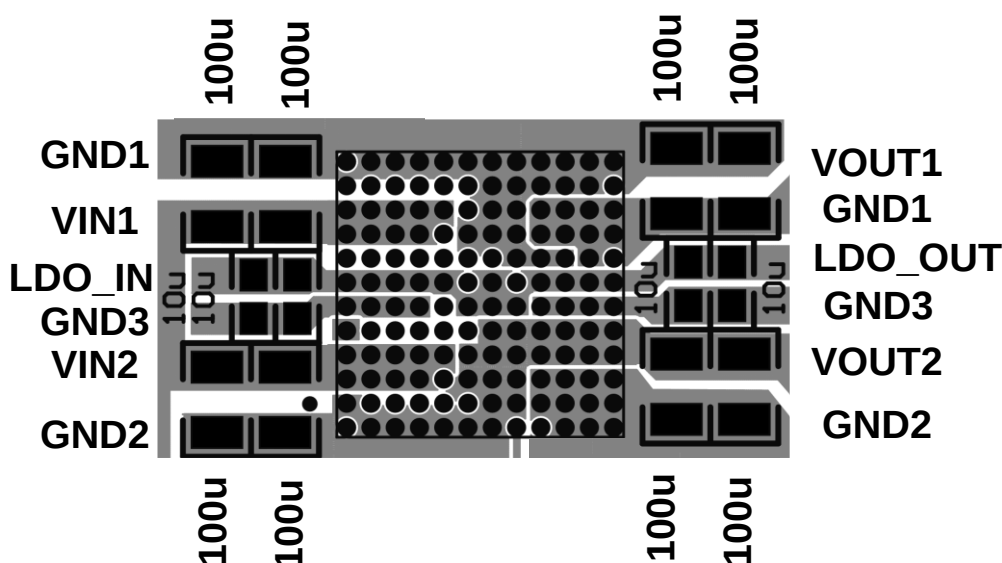


图 10 MAC4615L 推荐 PCB 板布局

产品典型应用

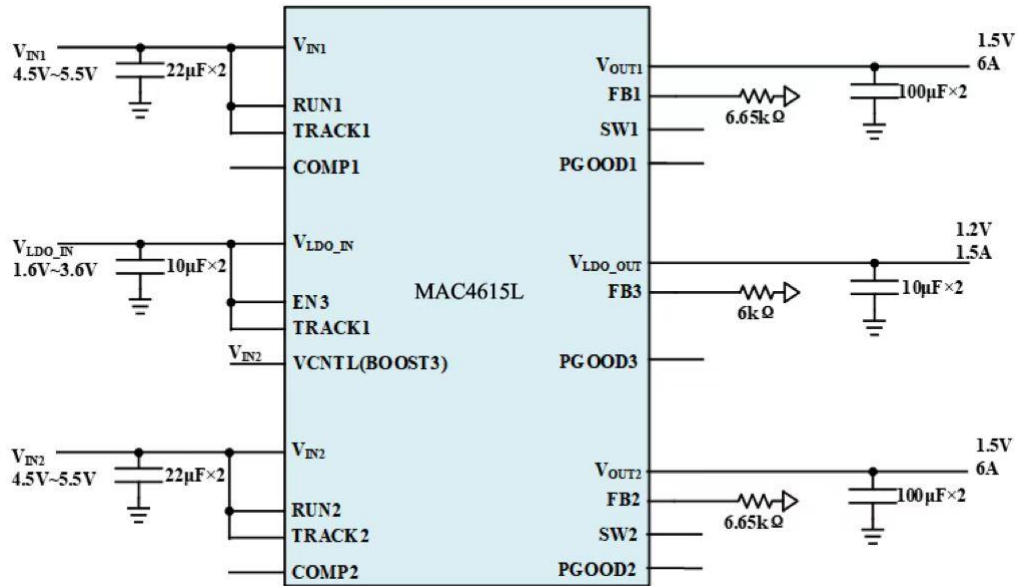


图 11 DC/DC 单路输出 1.5V，负载 6A；LDO 输出 1.2V，负载 1.5A

(VCNTL 已在内部与 V_{IN2} 引脚连接，外部悬空即可，下同)

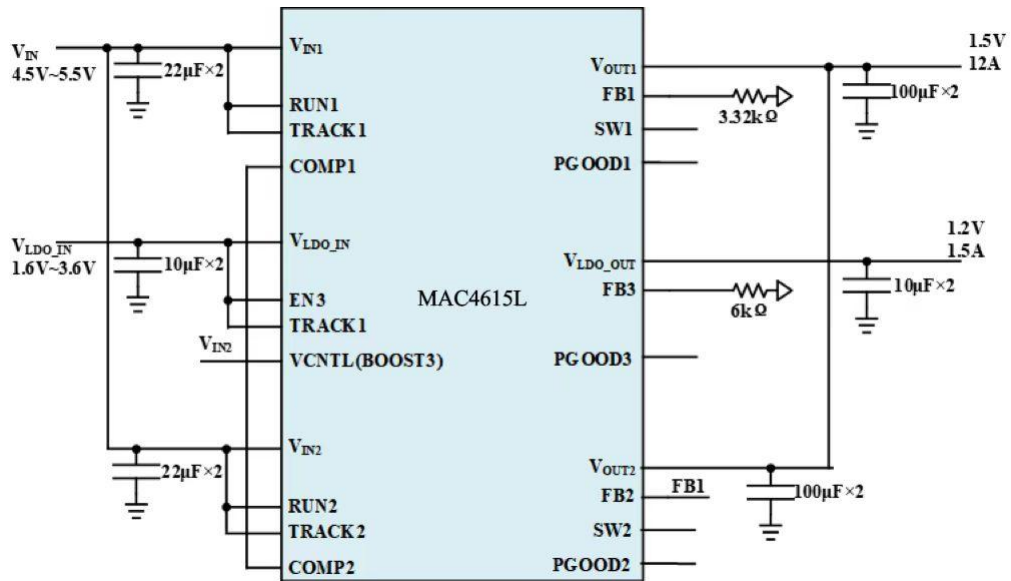


图 12 DC/DC 并联输出 1.5V，负载 12A；LDO 输出 1.2V，负载 1.5A

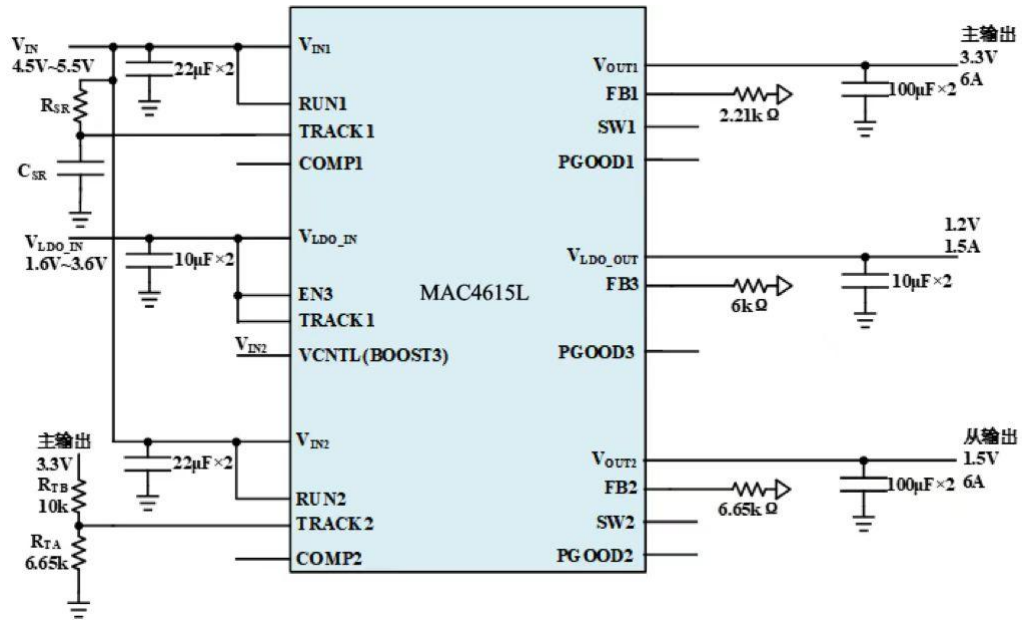
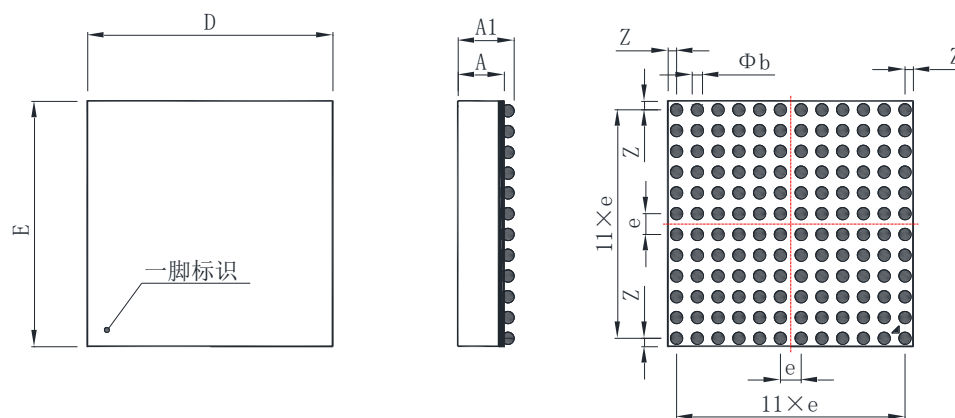


图 13 DC/DC 双路输出 3.3V、1.5V，实现重合追踪；LDO 输出 1.2V，负载 1.5A

产品尺寸



单位为毫米

尺寸符号	数值		
	最小	公称	最大
A	—	2.82	3.00
A1	—	3.42	3.60
D	14.80	15.00	15.20
E	14.80	15.00	15.20
Φb	0.66	0.76	0.86
e	1.12	1.27	1.42
Z	—	0.52	0.67

注 ▲ 为第一引出端标识区。

图 14 MAC4615L 外形尺寸图

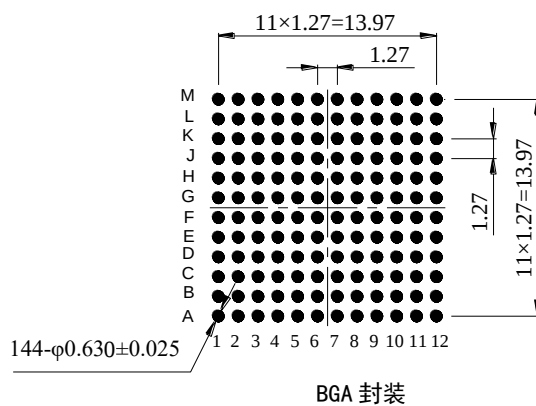


图 15 PCB 推荐焊盘尺寸图

电装说明

存储要求

通用要求：塑封封装产品（器件）必须贮存在清洁、通风、无腐蚀气体并有温度和相对湿度指示仪器的场所。塑封封装产品（器件）发货时采用防静电密封包装，开封后如果 168 小时内未进行装配，要求使用防静电袋重新抽真空密封贮存。

贮存条件：贮存温度 10℃~25℃；相对湿度≤70%RH，有效贮存期 18 个月。

推荐焊接工艺条件

① 产品预处理

塑封模块使用前推荐 125℃烘烤 48h，或者参照 IPC/JEDEC J-STD-033b《湿敏/再流焊敏感表贴器件的操作、包装、运输及使用》的要求，确保吸附的水汽排除干净，建议烘烤后在 48h 内完成回流焊。

② 焊接焊料

有铅焊接推荐有铅锡膏 Sn63Pb37，Sn62Pb36Ag2；无铅焊接推荐无铅焊膏 Sn96.5Ag3Cu0.5。锡膏需选用 3 号粉及以上。

③ 贴片

模块焊盘中心应与印刷的焊锡膏对准，如果钢

网厚度 0.13mm，模块焊盘压进锡膏的深度 0.05mm 左右。如果贴片机能调整压力，使压力能够确保焊盘和锡膏接触良好，但又不能将锡膏挤压出焊盘外的阻焊层上。良好的锡膏接触，能最大程度的减小空洞，焊接空洞不允许超过 25%。

④ 推荐的回流焊曲线

本产品模块可以同时兼容有铅焊接曲线（如图 16 所示），无铅焊接曲线（如图 17 所示）。推荐使用 9 温区或以上的回流焊炉，可使回流温度均匀性更好^{注4}。

⑤ 清洗

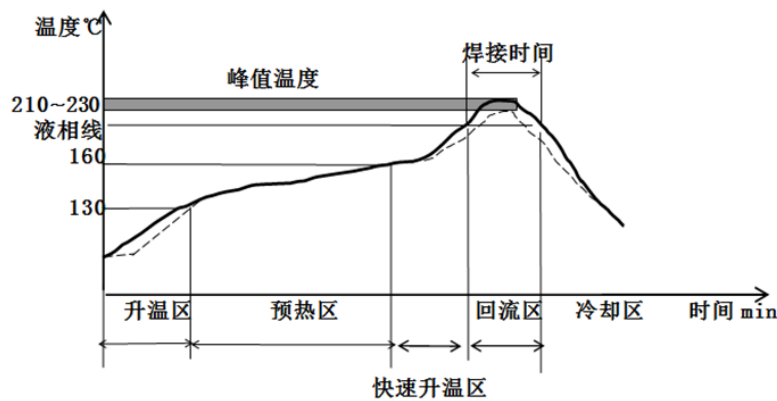
使用水基清洗剂清洗，取出后烘干；焊接清洗工艺，用户可根据实际情况进行，但不建议使用超声清洗工艺。

⑥ 检验

在显微镜下检验外观，是否符合要求。

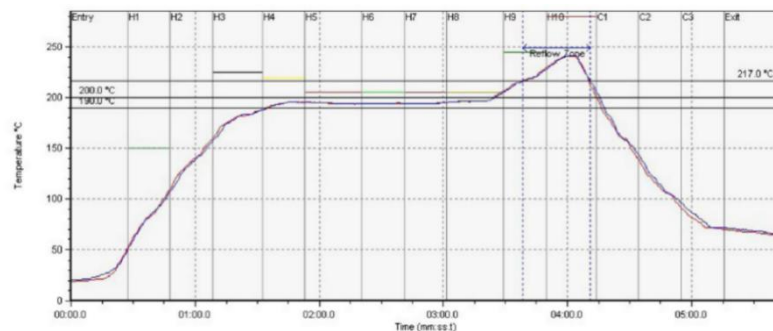
⑦ X光拍照

用 X-RAY 检测焊盘焊点位置，检测焊点空洞是否符合要求；是否有短路情况。首样 1-3 只检验符合要求后，可进行批量回流焊接。



序号	项目	条件
1	预热区最高温度上升斜率	$\leq 3^{\circ}\text{C/s}$
2	预热区最高温度下降斜率	$\leq 4^{\circ}\text{C/s}$
3	预热区时间 (130~160°C)	60s~120s
4	回流区最高温度	210°C~230°C
5	回流区时间 ($\geq 183^{\circ}\text{C}$ (Sn63Pb37) 以上时间)	30s~90s

图 16 典型的有铅回流焊曲线及参数



序号	项目	条件
1	升温速率	$< 3^{\circ}\text{C/s}$
2	保温区间	180°C~200°C
3	保温时间	60s~120s
4	峰值温度	240°C~245°C
5	液化时间 ($> 217^{\circ}\text{C}$)	30s~90s
6	降温速率	$< 5^{\circ}\text{C/s}$

图 17 典型的无铅回流焊曲线及参数

注 4: 用户电装时, 根据器件的实际布局情况可对上述曲线各项目进行优化, 但曲线峰值温度不得超过 245°C。如果用户电装中确有厚、大金属器件温度需要高于 245°C, 必须对电源模块采取热屏蔽措施, 确保该器件实际焊接温度不高于 245°C。



故障排查

如果器件装配完毕后，发现疑似故障，建议如下操作：

断路：检查焊点是否存在虚焊、引脚少焊、冷焊现象。

性能无输出：检查靠近模块附件的输出电容。

短路：用 X-RAY 检查器件内部或外部有无短路现象。

拆除流程

将产品模块从 PCB 上拆除前，需要将 PCB 板进行 125℃、48h 烘烤，确保模块不受影响。如果不进行烘烤，塑封模块内部与底部基材有发生分层的风险，严重时模块内部焊料发生熔化并沿分层缝隙进行流动，造成模块失效。拆除模块建议使用 BGA 返修台，不建议使用手持热风枪（温度可能超过 245℃），且产品只允许返修一次。

注意事项

器件必须采取防静电措施进行操作。取用模块时应佩戴防静电手套，防止人体电荷对模块的静电冲击，损坏模块。

推荐下列操作措施：

a) 器件应在防静电的工作台上操作，或戴指套操作；

b) 试验设备和器具应接地；

c) 不能触摸器件引线；

d) 器件应存放在防静电材料制成的容器中（如：防静电盒）；

e) 生产、测试、使用以及转运过程中应避免使用引起静电的塑料、橡胶或丝织物；

f) 相对湿度尽可能保持在 30%RH~70%RH 之间。

免责声明

本手册版权归南京天仪航太电子技术有限公司所有，并保留一切权利。未经书面许可，任何单位、组织和个人不得将此文档中的任何部分公开、转载或以其他方式散发给第三方，否则将追究其法律责任。

本手册版本将不定期更新，请在使用本产品之前联系本单位市场部门获取本手册最新版本。用户因未严格按本手册要求保存、使用本产品，致使产品工作异常或损坏，造成任何直接或间接损失，本单位不承担任何责任。

除本手册说明之外，请勿接受第三方指导或参考第三方资料对本产品进行操作，用户对本手册有疑问之处请与本单位市场部门联系。