



1 产品特性

- 超低电压输入: 1.5V~7V
- 电压精度: $\pm 1.25\%$
- 可编程软启动
- 支持并联使用
- 超低噪声: $11.22\mu\text{VRMS}$ (BW=10Hz-100kHz, $V_{\text{IN}}=2.3\text{V}$, $V_{\text{OUT}}=1.8\text{V}$, $I_{\text{OUT}}=3\text{A}$)
- 集成软启动、过流保护(折返电流限制)、过温保护等功能
- 总剂量(TID)耐受: $\geq 100\text{k rad}(\text{si})$
- 单粒子锁定及烧毁对线性能量传输(LET)的抗干扰度: $\geq 75\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$
- 最大输出电流: 3A
- 高电源抑制比: 48dB@1kHz
- 电源良好指示
- 超低压降: $62\text{mV}@1\text{A}$ ($V_{\text{OUT}}=1.8\text{V}$, 25°C)

2 功能描述

C41101RHT 是一款采用 P 型金属氧化物半导体(PMOS)导通元件配置的辐射加固型 LDO 线性稳压器。该器件可工作在 1.5V~7V 的宽输入电压范围,并提供优异的 PSRR 和噪声性能,可通过极宽的调节范围实现精确的可编程折返电流限制功能。

器件可提供导通关断、可编程软启动、电源共享以及电源指示正常开漏输出以满足 FPGA、DSP 或微控制器等复杂电源要求。

3 产品应用

- 航天器FPGA、微处理器、ASIC等负载点器件供电
- 低噪声系统: A/D、D/A、高速Serdes等
- 射频、VCO、接收机、运放等应用

4 器件信息

器件型号	器件标识	尺寸/ 封装形式	结壳热阻 R_{thJC}	重量	质量保证 等级	执行标准
C41101RHT	/	CFP16	0.93°C/W	$1.5\text{g}\pm 0.2\text{g}$	QJB	Q/HXYC41101RHT-001-2019

更多器件信息请参见本手册 [11 选型指南](#)。



5 指标与规格

5.1 绝对最大额定值

表 1 绝对最大额定值

参数	符号	最小值	最大值	单位
输入电压	V_{IN}	-0.3	10	V
	PG	-0.3	7.5	
	EN, CS, FB	-0.3	$V_{IN}+0.3$	V
	COMP, PCL	-0.3	$V_{IN}+0.3$	V
输出电压	V_{OUT} , SS	-0.3	7.5	V
结温范围	T_J	-55	150	°C
贮存温度	T_{STG}	-65	150	°C

注意：使用中超过这些绝对最大值可能对芯片造成永久损坏。

5.2 推荐工作条件

表 2 推荐工作条件

参数	符号	最小值	最大值	单位
输入电压	V_{IN}	1.5	7	V
输出电压	V_{OUT}	0.8	V_I-V_d	V
工作温度	T_A	-55	125	°C

5.3 静电放电敏感度（ESDS）

ESDS等级为2级，不小于2000V（HBM）。

5.4 主要电参数

表 3 电性能参数表

除非特别说明， $1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$ ， $V_{OUT}=V_{IN}-0.35$ ， $I_{OUT}=10mA$ ， $V_{EN}=1.1V$ ， $C_{OUT}=22\mu F$ ，PG 用 $50k\Omega$ 电阻上拉到 V_{IN} 。工作温度：-55°C~125°C。

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
工作电压	V_{IN}		1.5		7	V



反馈电压	V_{FB}	$0A \leq I_{OUT} \leq 3A, 1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$	0.594	0.605	0.616	V
输出范围	V_{OUT}		0.8		$V_{IN}-0.35$	V
压差	V_{DO}	$I_{OUT}=3A, V_{OUT}=1.3V,$ $V_{IN}=V_{OUT}+V_{DO}$		196	335	mV
地电流	I_{GND}	$V_{IN}=1.5V, V_{OUT}=1.2V,$ $I_{OUT}=2A$		10	12	mA
静态电流	I_Q	$V_{IN}=V_{OUT}+0.5V, I_{OUT}=0A$		7	10	mA
关机电流	I_{SHDN}	$V_{EN}=0V, 1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$			50	μA
EN使能输入低	V_{ILEN}	$1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$			0.55	V
EN 使能输入高	V_{IHEN}	$1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$	$V_{IN}-0.7$			V
PG 阈值	V_{THPG}	无负载, $0.8V \leq V_{OUT} \leq 6.65V$	86	90	94	%
PG 迟滞	V_{HYSPG}	$1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$		2	4	%
PG 输出低电压	V_{OLPG}	$I_{PG}=0mA \sim 1mA$		120	150	mV
PG 输出高漏电	I_{LKPGP}	$V_{FB} > V_{THPG}, V_{PG}=7V$		0.5	2.5	μA
SS 充电电流	I_{SS}	$1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$		2.5	3.5	μA
SS 关断电流	I_{SS-DIS}	$1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$		5	10	μA
SS 端电压值	V_{SS}	$1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$			1.25	V
线性调整率	$\Delta V_{OUT}\% / \Delta V_{IN}$	$1.5V \leq V_{IN} \leq 7V$	-0.07	0.01	0.07	%/V
负载调整率	$\Delta V_{OUT}\% / \Delta I_{OUT}$	$V_{IN}=6.5V, V_{OUT}=5V,$ $0A \leq I_{OUT} \leq 1A$			0.15	%/A
EN 开启延时	T_{EN}	$V_{IN}=2.2V, V_{OUT}=1.8V,$ $I_{OUT}=1A,$ $C_{OUT}=220\mu F, C_{SS}=2nF, EN$ 至 输出开启		650	1000	μs
	T_{EN}	$V_{IN}=2.2V, V_{OUT}=1.8V,$ $I_{OUT}=1A,$ $C_{OUT}=220\mu F, C_{SS}=2nF$		1.4	1.6	ms
可编程限流点	I_{PCL}	$T_A=25^\circ C, V_{IN}=1.5V,$ $V_{OUT}=1.2V,$ R_{PCL} 可变	200		3500	mA
过温保护	T_{SD}		140			$^\circ C$
FB 输入电流	I_{FB}	$V_{IN}=7V, V_{OUT}=6.65V$		1	5	nA
EN 输入电流	I_{EN}	$V_{IN}=7V, V_{EN}=7V, V_{OUT}=6.65V$		20	150	nA
CS端口电压范围	V_{CS}	$V_{IN}=7V, V_{OUT}=6.65V, I_{OUT}=1A$	0.3		V_{IN}	V
CSR	CSR	$I_{OUT}/I_{CS}, V_{IN}=2.5V,$ $V_{OUT}=1.8V$	44000		56000	—
功能测试	FUN1	$V_{IN}=6.5V, V_{OUT}=5V, I_{OUT}=0A$; 输出电压在 4.9V~5.10V 之间则功能正常				



		$V_{IN}=6.5V$, $V_{OUT}=5V$, $I_{OUT}=1A$; 输出电压在 4.9V~5.10V 之间则功能正常 $V_{IN}=6.5V$, $V_{OUT}=5V$, $I_{OUT}=3A$; 输出电压在4.9V~5.10V之间则功能正常	
	FUN2	$V_{IN}=2.5V$, $V_{OUT}=1.8V$, $I_{OUT}=0A$; 输出电压在 1.764V~1.836V 之间则功能正常 $V_{IN}=2.5V$, $V_{OUT}=1.8V$, $I_{OUT}=1A$; 输出电压在 1.764V~1.836V 之间则功能正常 $V_{IN}=2.5V$, $V_{OUT}=1.8V$, $I_{OUT}=3A$; 输出电压在 1.764V~1.836V 之间则功能正常	V

6 引脚配置

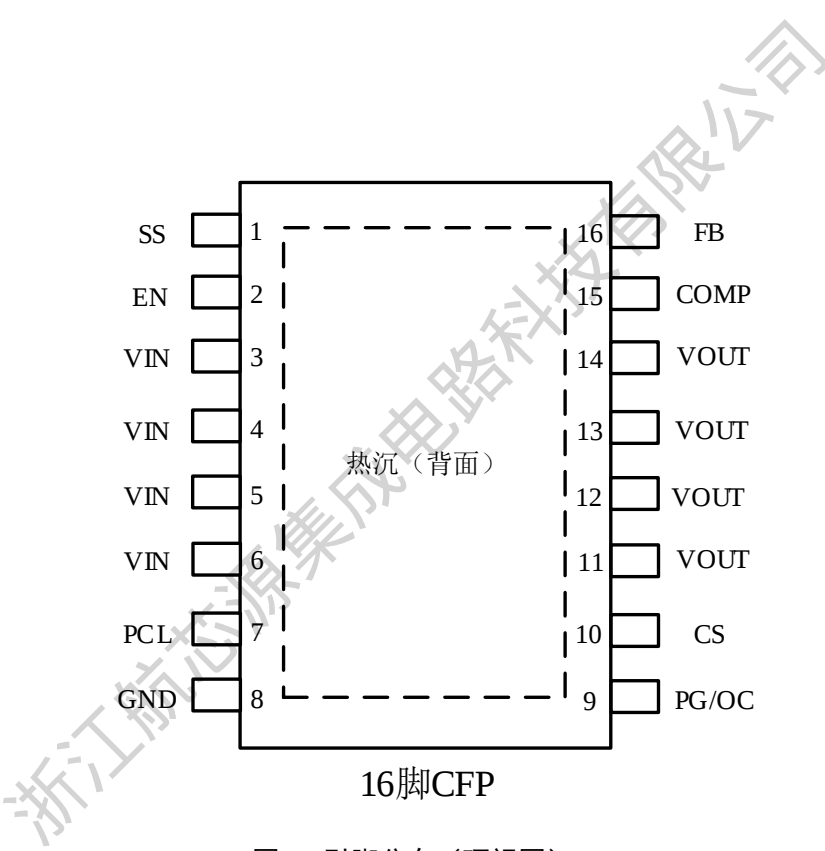


图 1 引脚分布（顶视图）

表 4 引脚说明

引脚序号	引脚介绍	引脚类型	引脚功能描述
1	SS	输入/输出	软启动管脚。外部连接电容用来控制软启动时间，同时也可以拉低来关闭器件输出。
2	EN	输入	使能信号脚。输入逻辑高用来开启器件，输入逻辑低用于关闭器件。建议使用时直接接到 VIN。
3,4,5,6	VIN	输入	功率输入。建议输入加有滤波电容可以有更好的模拟性能。
7	PCL	输入/输出	可编程限流点。通过连接电阻到地设定限流点。电阻阻值 7.5kΩ 到 160kΩ。



8	GND	/	地线。
9	PG/OC	输出	电源指示。
10	CS	输入/输出	电流镜像端口。通过电阻连接到 VIN。CS 端得电流和输出电流成镜像比例关系。 CS 端低时：折返电流限制功能失效。 CS 端高时：折返电流限制功能开启。
11,12,13,14	VOUT	输出	功率输出。
15	COMP	输入/输出	误差放大器输出端。
16	FB	输入	反馈电压端。
/	衬底	/	衬底接地

7 典型特性曲线

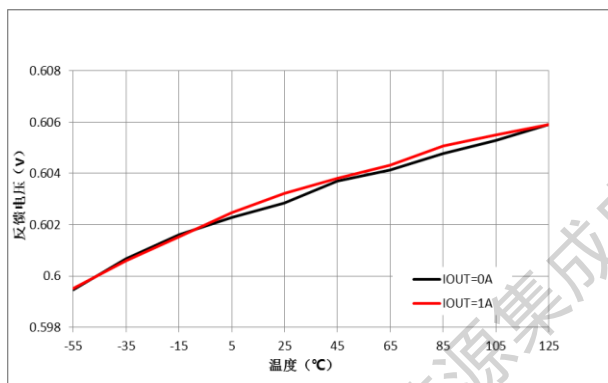


图 2 反馈电压与温度的关系

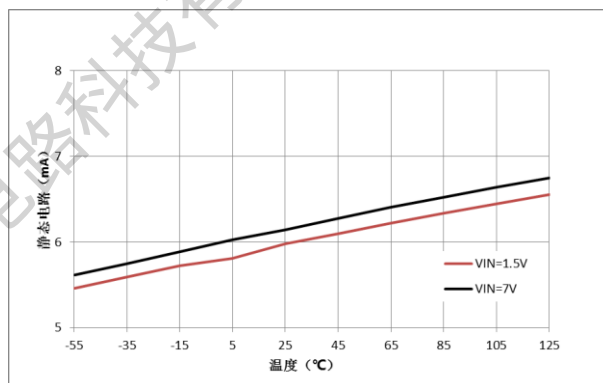


图 3 静态电流与温度的关系

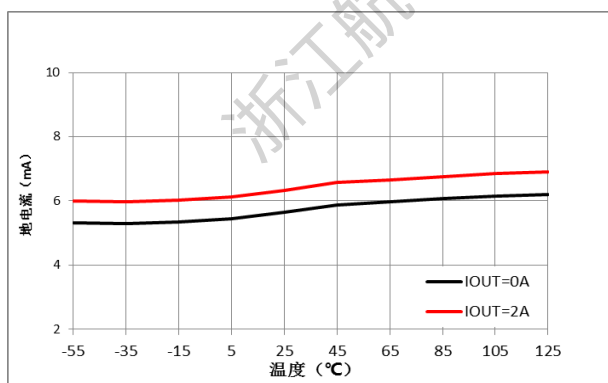


图 4 地电流与温度的关系

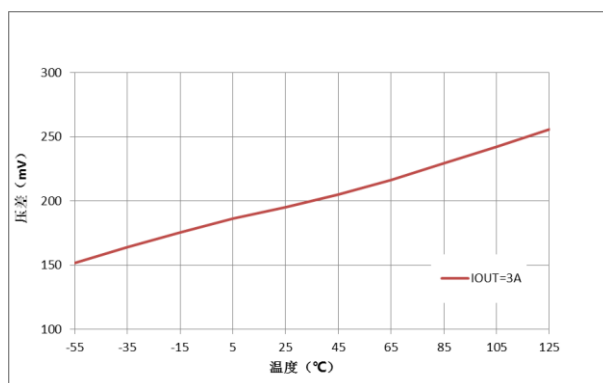


图 5 $V_{OUT}=1.8V$,压差与温度的变化

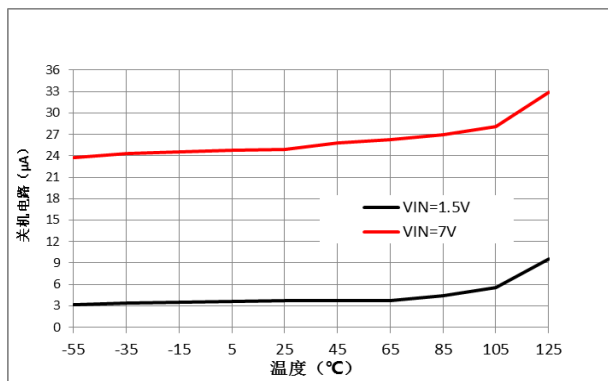


图 6 关机电流与温度的关系

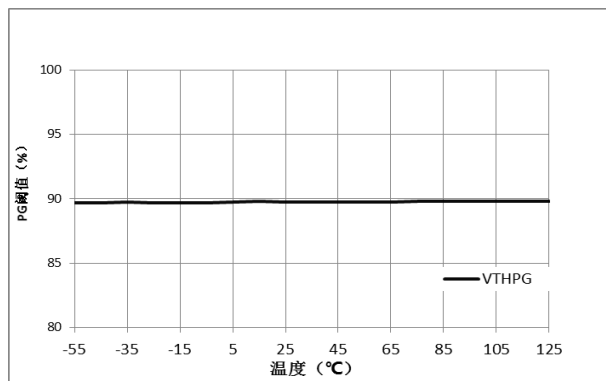


图 7 PG 阈值与温度的关系

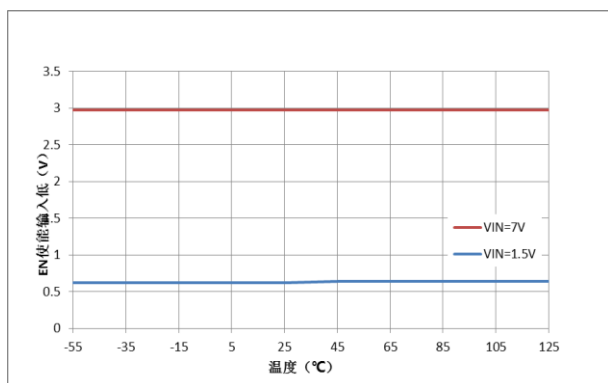


图 8 EN 使能输入高与温度的关系

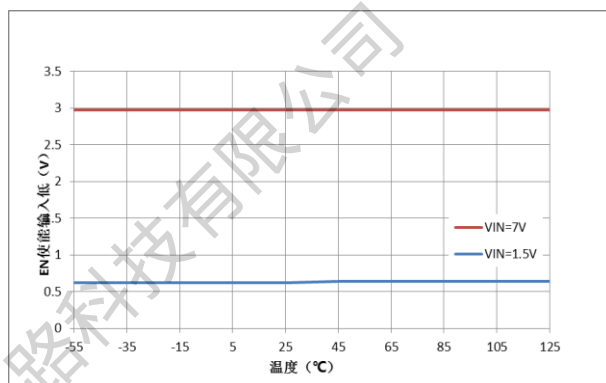


图 9 EN 使能输入低与温度的关系

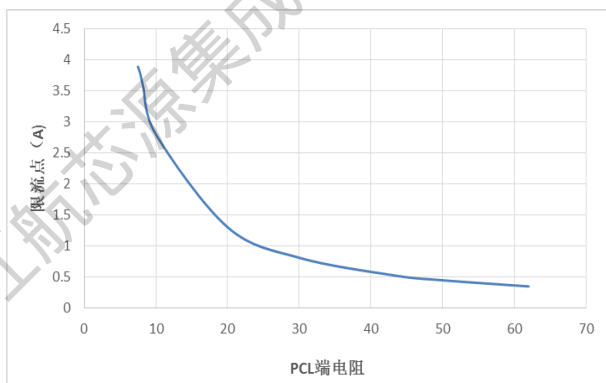


图 10 限流点与 PCL 端电阻的关系

VIN 开机:

CH2: V_{IN} 波形, CH3: V_{OUT} 波形, CH4: 负载波形



图 11 $V_{IN}=1.7V$, $V_{OUT}=1.2V$, 输出电流: 3A

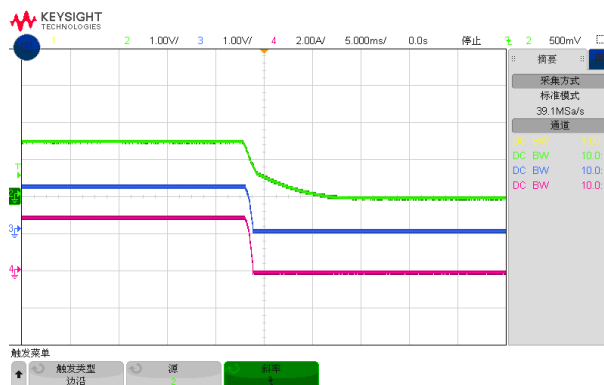


图 12 $V_{IN}=1.7V$, $V_{OUT}=1.2V$, 输出电流: 3A



图 13 $V_{IN}=5V$, $V_{OUT}=3.3V$, 输出电流: 3A

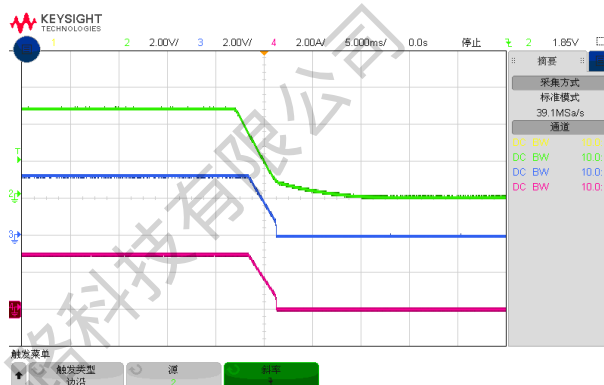


图 14 $V_{IN}=5V$, $V_{OUT}=3.3V$, 输出电流: 3A

使能开机:

CH2: EN 波形, CH3: V_{OUT} 波形, CH4: 负载波形

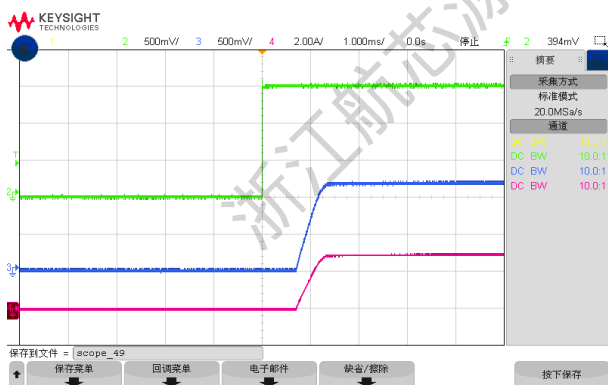


图 15 $V_{IN}=1.7V$, $V_{OUT}=1.2V$, 输出电流: 3A

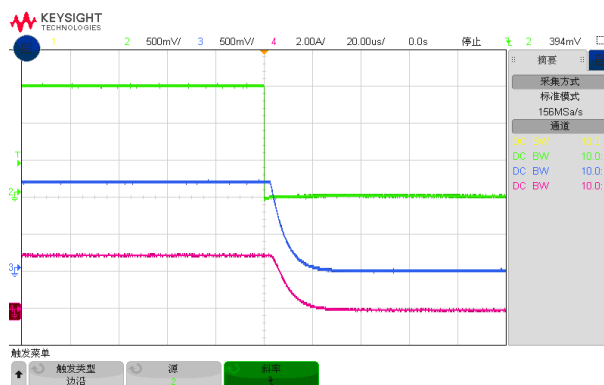


图 16 $V_{IN}=1.7V$, $V_{OUT}=1.2V$, 输出电流: 3A



图 17 $V_{IN}=5V$, $V_{OUT}=3.3V$, 输出电流: 3A
负载阶跃:

CH2: V_{OUT} (AC) 波形, CH4: 负载波形

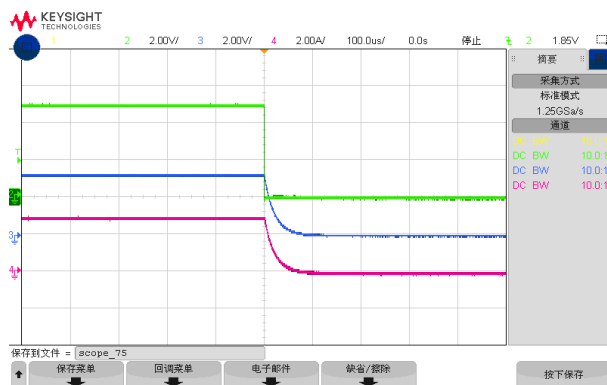


图 18 $V_{IN}=5V$, $V_{OUT}=3.3V$, 输出电流: 3A

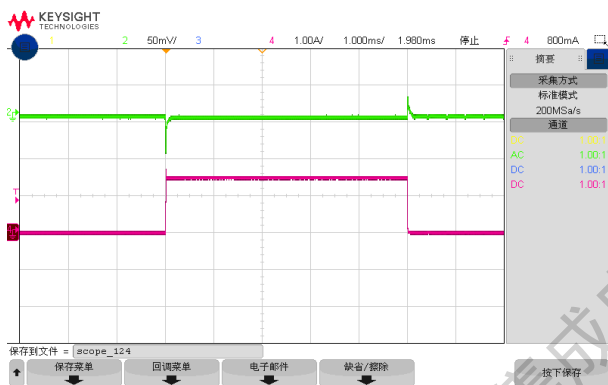


图 19 $V_{IN}=5V$, $V_{OUT}=3.3V$,
 $I_{OUT}=0A-1.5A$ 负载阶跃波形

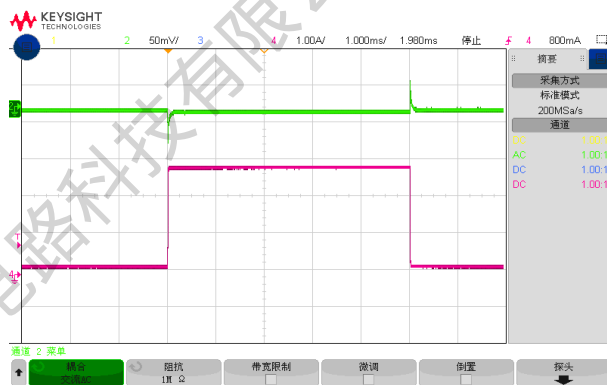


图 20 $V_{IN}=5V$, $V_{OUT}=3.3V$,
 $I_O=0.3A-3A$ 负载阶跃波形



8 功能介绍

8.1 功能框图

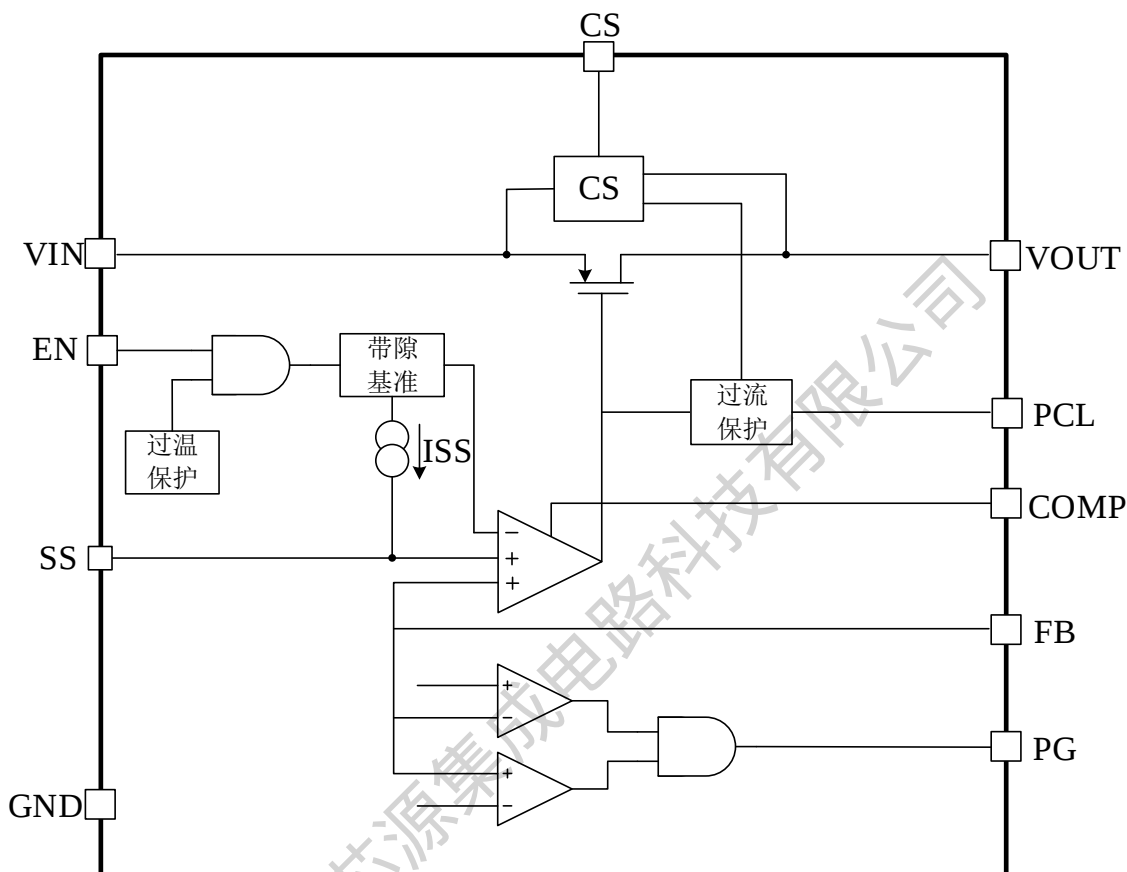


图 21 功能框图

C41101RHT 型 LDO 最大输出电流 3A，主要应用于宇航器件中。该器件具有低压差、低噪声、高 PSRR 等优点。器件内部集成有软启动、过流保护、电流折返、过温保护等功能。该器件支持双片并联应用，扩展输出电流至 6A，满足大功率负载要求应用。

8.2 软启动 (SS)

器件通过连接一个电容在 SS 引脚和地之间来控制器件上电速度。SS 电容最终充电至 1.2V。SS 电容计算如下公式：

$$C_{SS} = \frac{t_{SS} \cdot I_{SS}}{V_{FB}} \quad (1)$$

其中， t_{SS} 为软启时间， $I_{SS}=2.5\mu A$ ， $V_{FB}=0.6V$ 。



8.3 电压指示 (PG)

PG是一个开漏输出。当FB脚电压在内部基准电压的90%以上时，下拉失效，引脚悬空。该引脚建议使用10kΩ到100kΩ上拉电阻，上拉电压不超过7.5V。当PG小于90%基准电压值时，PG立即拉低，指示器件工作不正常。

8.4 过温保护 (OTP)

器件内部设有过温保护功能，当器件结温达到175°C时关闭功率管，使得功率管无法输出大电流，从而降低器件温度。当器件结温降低至155°C左右时重新开启功率管，器件恢复正常工作。

8.5 可编程限流点 (PCL)

通过改动PCL电阻来改变器件限流点，PCL电阻计算公式如下：

$$R_{PCL} = \frac{CSR \cdot V_{PCL}}{I_{CL} - 0.0403} \quad (2)$$

其中， $V_{PCL}=0.58V$ ， I_{CL} 是可编程限流点。CSR是镜像电流比例，典型值时49600。器件最大限流3.5A。PCL电阻范围为7.5 kΩ至160kΩ。

上述限流点计算公式是按照典型条件下计算而得，且CSR参数在低电流条件下变化较大，因此不推荐低于2.5A限流点采用该计算公式。如需较低限流点建议参考图 10中PCL端电阻和限流点关系曲线。建议限流点设计不低于最大工作电流的1.2倍。

8.6 电流折返

通过连接CS引脚至高电位可以开启器件电流折返功能。连接CS引脚至地电位关闭器件电路折返功能。当电流折返功能开启后，器件触发限流点，输出电压拉低，限流降至正常限流点的一半值。此功能可以降低器件在错误状态的功率损耗。

8.7 电流共享

对于大功率应用场合，可以通过双器件并联的方式实现最大可达6A的额定输出电流。双路并联应用图如下图所示。

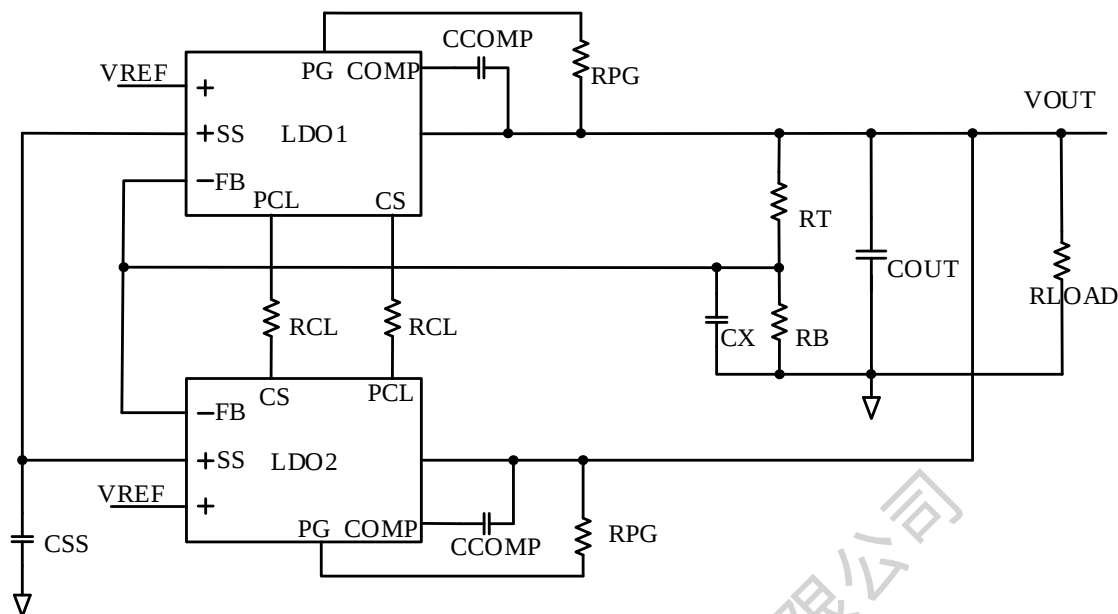


图 22 双路并联

在并联模式中，LDO1的CS引脚和LDO2的PCL引脚通过电阻串联一起，同时LDO1的PCL引脚和LDO2的CS引脚也通过电阻串联一起。对于限流点大于6A应用，此串联电阻典型值为3.75k Ω 。在双路并联模式中，PCL至地的电阻和CS至电源的电阻都需要断开不再连接。

8.8 补偿

下图为器件的小信号框图，含有多级环路，以提供高增益来满足设计要求。

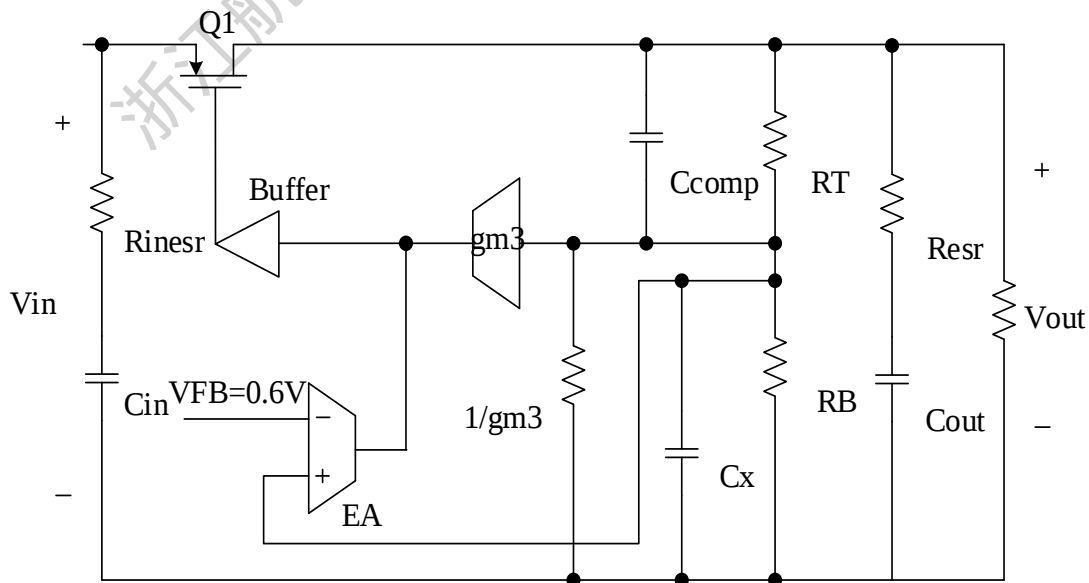


图23 小信号框图



输出电容产生分别一个零点和极点，计算公式如下：

$$F_{p_co} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_{out} \cdot R_L} \quad (3)$$

$$F_{z_co} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_{out} \cdot R_{esr}} \quad (4)$$

C_X 引入的极点用于抵消输出电容寄生电阻产生的零点。

$$F_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_X \cdot R_B} \quad (5)$$

推荐下分压电阻选择 $1K\Omega$ ， C_X 电容选择 $22nF$ 。当下分压电阻选择 $10K\Omega$ 时， C_X 电容选择 $2.2nF$ 。

C_{COMP} 电容补偿压低主极点，提高系统稳定性。建议采用 $10nF$ 的补偿电容以实现各种负载条件下的稳定。

9 应用说明

9.1 典型应用电路

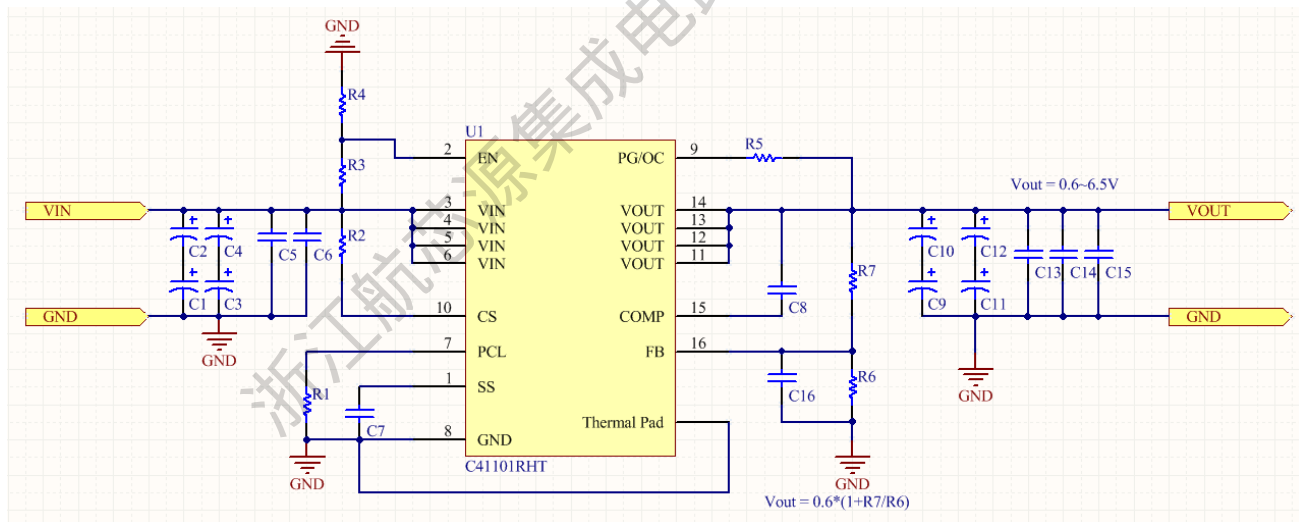


图 24 典型应用电路

表 5 典型应用电路图器件清单

器件标注	描述	规格	数量
U1	C41101RHT	/	1
C1	推荐用 ESR 较小的 $100\mu F$ 以上的钽电容 CAK55	$\geq 100\mu F$	1
C2	推荐用 ESR 较小的 $100\mu F$ 以上的钽电容 CAK55	$\geq 100\mu F$	1
C3	推荐用 ESR 较小的 $100\mu F$ 以上的钽电容 CAK55	$\geq 100\mu F$	1



C4	推荐用 ESR 较小的 100 μ F 以上的钽电容 CAK55	$\geq 100\mu\text{F}$	1
C5	电容	$\geq 10\mu\text{F}$	1
C6	电容	$\geq 10\mu\text{F}$	1
C7	电容	2nF	1
C8	电容	10nF	1
C9	推荐用 ESR 较小的 100 μ F 以上的钽电容 CAK55	$\geq 100\mu\text{F}$	1
C10	推荐用 ESR 较小的 100 μ F 以上的钽电容 CAK55	$\geq 100\mu\text{F}$	1
C11	推荐用 ESR 较小的 100 μ F 以上的钽电容 CAK55	$\geq 100\mu\text{F}$	1
C12	推荐用 ESR 较小的 100 μ F 以上的钽电容 CAK55	$\geq 100\mu\text{F}$	1
C13	推荐用 ESR 较小的 10 μ F 以上陶瓷电容	$\geq 10\mu\text{F}$	1
C14	推荐用 ESR 较小的 10 μ F 以上陶瓷电容	$\geq 10\mu\text{F}$	1
C15	推荐用 ESR 较小的 10 μ F 以上陶瓷电容	$\geq 10\mu\text{F}$	1
C16	电容	22nF	1
R1	电阻	7.5k Ω	1
R2	电阻	3k Ω	1
R3	电阻	1k Ω	1
R4	电阻	10k Ω	1
R5	电阻	10k Ω	1
R6	电阻	1k Ω	1
R7	电阻	1.5k Ω 输出 1.5V	1

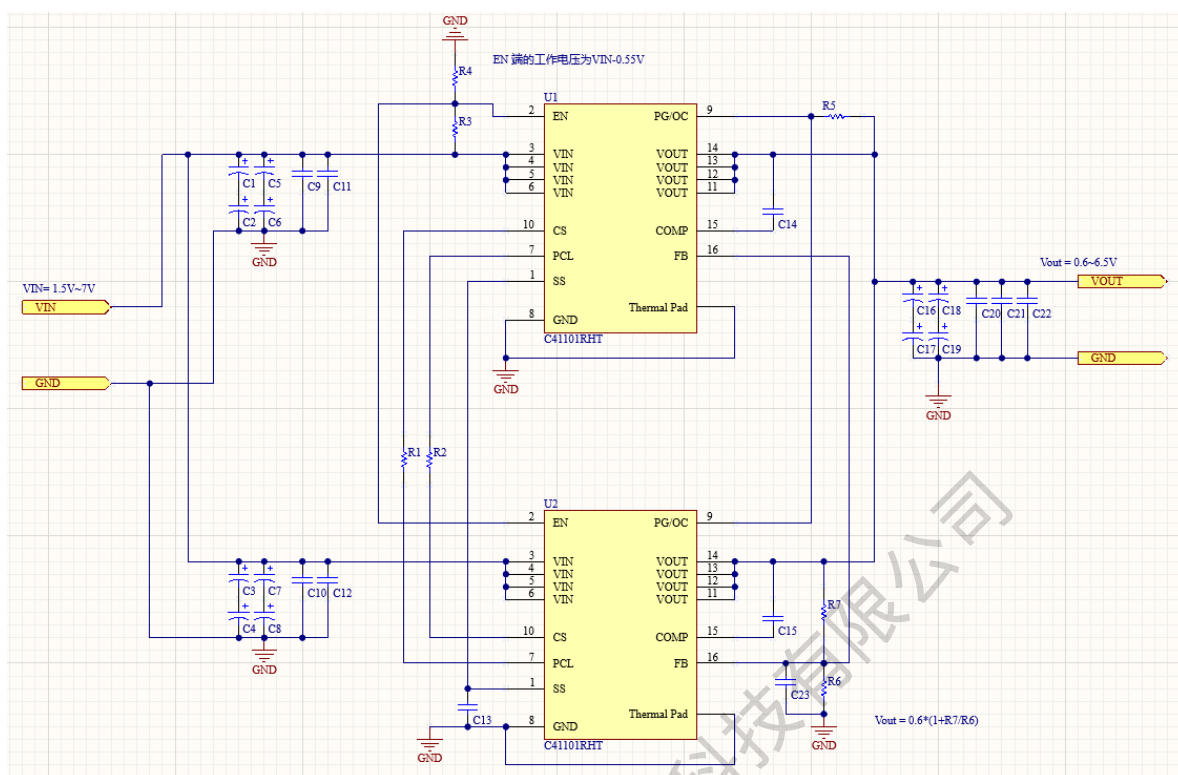


图 25 双路并联工作推荐电路

表 6 典型应用电路图器件清单

器件标注	描述	规格	数量
U1, U2	C41101RHT		2
C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C16, C17, C18, C19	推荐用 ESR 较小的 100μF 以上的钽电容 CAK55	≥100μF	12
C9, C10, C11, C12, C20, C21, C22	推荐采用 ESR 较小的 10μF 以上陶瓷电容	≥10μF	7
R1, R2	电阻	3.75K	2
C13	电容	2nF	1
C14, C15	电容	10nF	2
R3	电阻	1kΩ	1
R4	电阻	10kΩ	1
R5	电阻	10kΩ	1
C23	电容	22nF	1
R6	电阻	1kΩ	1
R7	电阻	1.5kΩ 输出 1.5V	1



9.2 可调输出电压

输出电压通过设置VOUT到FB端口的分压电阻实现，可以实现0.8V至VIN-VDO输出电压范围。建议使用1%精度或者更高精度的电阻实现。具体计算公式如下：

$$V_{OUT} = \frac{(R_7 + R_6)}{R_6} \cdot V_{FB} \quad (6)$$

其中， $V_{FB}=0.6V$ 。

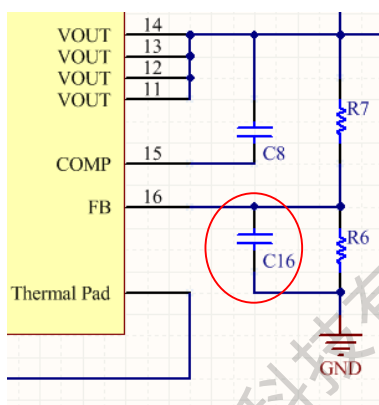


图 26 补偿电容电路图

当图 27中补偿电容 $C16=22nF$ 时，对应下分压电阻 $R6=1\text{ k}\Omega$ ，如下表 7所示。

表 7 推荐输出电压对应的反馈电阻列表

VOUT	R7	R6
1V	660 Ω	1k Ω
1.2V	1k Ω	
1.5V	1.5k Ω	
1.8V	2k Ω	
3.3V	4.5k Ω	
5V	7.33k Ω	
6.5V	9.83k Ω	

当图 26中补偿电容 $C16=2.2nF$ 时，对应下分压电阻 $R6=10\text{ k}\Omega$ ，如下表 8所示。

表 8 推荐输出电压对应的反馈电阻列表

VOUT	R7	R6
1V	6.6k Ω	10k Ω
1.2V	10k Ω	
1.5V	15k Ω	



1.8V	20k Ω	
3.3V	45k Ω	
5V	73.3k Ω	
6.5V	98.3k Ω	

9.3 电容选择

该器件需要采用钽电容和陶瓷电容并联的方式来达到体积和容量的折中。Polymer材料钽电容在电压变化时变化达到60%，MnO₂材料钽电容在器件工作温度范围内变化可达30%，因此在选择时适当留有裕量。

系统可以正常工作的输入输出电容容值范围为22 μ F至220 μ F，ESR值为3m至1 Ω 。具体器件的表现也随输出负载和电容的变化而变化。

建议输出电容容值不低于22 μ F，ESR电阻不高于1 Ω ，以保证器件稳定工作不震荡。

需要着重注意的是在设计器件PCB板时尽可能降低输入和输出与地之间的距离，以降低寄生电感的影响。

器件对输出电容的最小要求如下表所示。

表 9 输出电容选择最小要求

/	陶瓷电容+钽电容	陶瓷电容	钽电容
最小电容	陶瓷电容不小于 2 颗 2.2 μ F 陶瓷电容并联， 钽电容不小于 22 μ F CAK55 钽电容	不小于 22 μ F 陶瓷电容	不小于 22 μ F CAK55 钽电容

用户可以根据动态性能指标要求，添加更大的输出电容，不推荐使用CAK45系列钽电容作为输出电容，其过高的ESR会导致LDO的动态性能受到影响。

9.4 PCB 建议

当给FPGA等器件进行供电时，需要非常注意PCB设计，尤其当器件的使能功能时，会在电路线路上产生较大的di/dt，如在输入、输出路径上产生较大的寄生电感，则会产生大幅度噪声电压，超过器件及FPGA的最大耐受电压，则可能导致器件及FPGA损坏。另外还需考虑器件自身的功耗采取相应的散热措施。建议按照以下方法对PCB进行设计。

- 所有引脚连线尽量短，以减小寄生电感。
- 加粗V_{IN}、V_{OUT}、GND引脚的连接宽度，减小输入、输出的环路面积，如果采用多层板设计，最好能提供完整的GND平面。



- c. 输入输出电容尽可能靠近器件的 V_{IN} 、 V_{OUT} 引脚，防止出现“外挂”电容设计。
- d. 器件的功耗=压差×输出电流，当器件功耗大于0.3W以上时，必须采取相应的散热措施。器件底部需要加热沉，开窗大小可以根据封装尺寸图的热沉大小的最大值来画PCB，且热沉通过孔与GND平面相连，过孔数量尽量多，以减少散热路径的热阻。
- e. 通过改变反馈端分压电阻比例来改变输出电压。

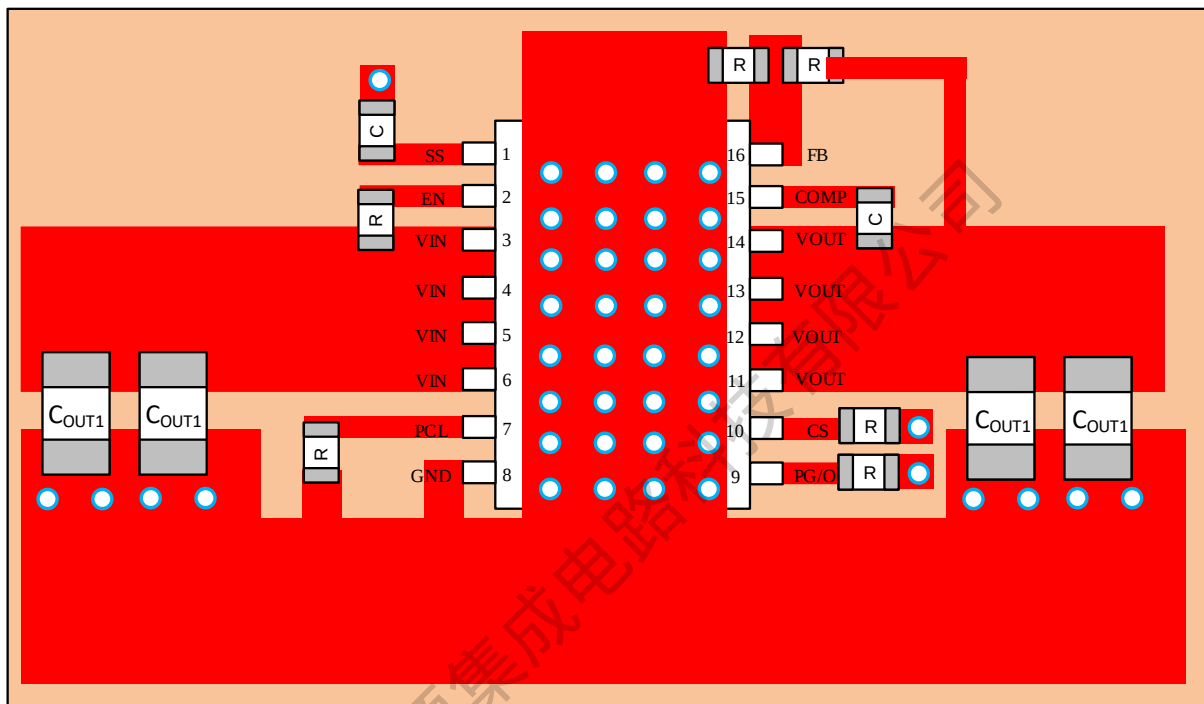
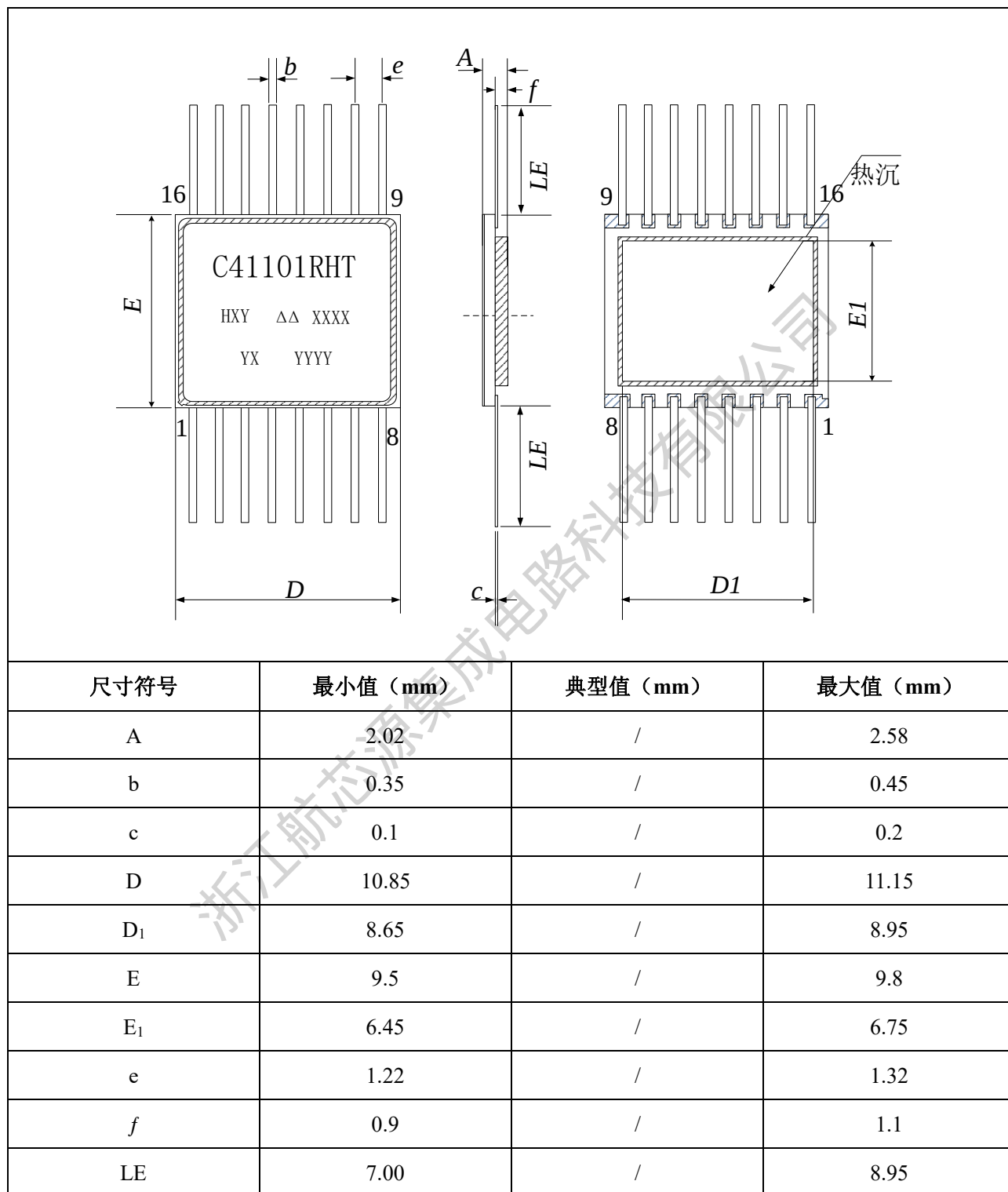


图 28 PCB 推荐布局图



10 封装外形尺寸





11 选型指南

器件型号	器件标识	尺寸/ 封装形式	结壳热 阻 R_{thJC}	重量	质量保 证 等级	执行标准
C41101RHT	C41101RHT	CFP16	0.93°C/W	1.5g±0.2g	QJB	Q/HXYC41101RHT-001-2019
C41101RHT	C41101RHT	CFP16	0.93°C/W	1.5g±0.2g	YC	Q/QJA 20084/765-2022(WS)
C41101RH	/	3100μm×5100μm 裸片	/	/	QJB	Q/HXYC41101RH-001-2019



12 版本说明

C41101RHT 数据手册		
版本编号	发布时间	修订记录
Rev.A	2023.12.29	统一修订

浙江航芯源集成电路科技有限公司