

英飞凌 IRPS5401 PMIC

灵活的电源管理单元

特性

- 完整的电源系统，包括 5 个集成输出
- 4A、4A、2A 和 2A 开关调节器
- 500mA 灌/拉电流线性调节器
- 单轨运行 5.5 V 至 12 V
- 输出范围：A-D 输出为 0.25V 至 5.1V，LDO 为 0.5V 至 3.6V
- 允许组合输出和/或使用外部 IR MOSFET™ 功率级，将输出电流提高到高达 50A
- 仿真电流模式控制，无需外部补偿
- 切换器 A 上的差分电压检测功能可实现更高精度
- 带集成电平转换器的 I2C / PMBus
- 高级测序控制
- 丰富的 PMBus 命令集，包含 74 条命令
- 集成电流采样，并提供完整的遥测功能，包括电压、电流、温度和故障信息
- 额定结温 (T_J) 工作范围为 -40°C 至 +125°C
- 无铅、RoHS6、7x7mm、56 引脚、0.4mm 间距 QFN

潜在应用

- 高密度 ASIC、FPGA & CPU 多轨系统
- 嵌入式计算系统
- 通信和存储系统

描述

英飞凌 IRPS5401 是一款完整的电源管理单元，可为处理器、FPGA 和其他多轨电源系统提供多达 5 个输出电压。四个高效可配置开关调节器和一个灌/拉电流线性调节器可提供所需的典型轨，如内核电压、内存电压和 I/O 电压。

集成的精确电流、电压和温度传感器可通过 I2C/PMBus 进行遥测和故障报告。

IRPS5401 开关调节器采用固定频率仿真电流模式控制，因此无需外部补偿。

IRPS5401 具有高度灵活性。切换器 A 和 B 各提供 2A 电流。切换器 C 和 D 各提供 4A 电流，也可组合提供 8A 电流。此外，切换器 A 可以配置为使用外部 IR MOSFET™ 功率级，以提供高达 50A 或更大的电流。

本数据手册的原文使用英文撰写。为方便起见，英飞凌提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，英飞凌不保证译文的准确性。为确认准确性，请务必访问 infineon.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

目录

目录

特性	1
潜在应用	1
描述	1
目录	2
1 订购信息	4
2 应用电路	6
3 引脚分布图	7
4 引脚功能	8
5 框图	11
6 绝对最大额定值	12
7 电气规格	13
8 典型应用图	20
9 描述	24
9.1 一次性可编程 (OTP) 存储器	24
9.2 MTP 引脚 (引脚 54)	24
9.3 器件上电和初始化	25
9.4 寻址 IRPS5401	26
9.5 开关频率	27
9.6 与外部时钟同步	28
9.7 切换器 A 在外部功率级模式下	28
9.8 数字控制器 & PWM	29
9.9 二极管仿真/非连续模式运行/AOT	30
9.10 输出电压检测、遥测和故障	30
9.11 输出过压保护 (OVP)	31
9.12 输出欠压保护 (UVP)	32
9.13 电流采样、遥测和故障	33
9.14 过流保护 (OCP)	34
9.15 输入电压检测、遥测和故障	35
9.16 芯片温度检测、遥测和故障	36
9.17 电源排序和全局故障	36
9.18 睡眠	38
9.19 切换器 C 和 D 的组合操作	38
9.20 线性调节器	38
9.21 LDO 监测和故障	39
9.22 输出电压报告、输出过压保护和欠压保护	39
9.23 输入电压报告、输入 UVLO 和输入过压保护	39
9.24 过流保护	39
9.25 I2C 安全	40
9.26 密码保护	41
9.27 引脚保护	41
10 布局指南	43
10.1 布局示例	44
11 典型性能	47
11.1 最大输出功率下的典型热性能	48
12 PMBUS 命令	49

目录

13	标记信息	55
14	封装信息	56
14.1	PCB 焊盘尺寸	57
14.2	PCB 焊盘间距	58
14.3	焊膏钢网焊盘尺寸	59
14.4	焊膏钢网焊盘间距	60
15	环境资质	61

订购信息

1 订购信息

表 1 订购信息

Base part number	Package type	Standard pack	Orderable part number	Description
IRPS5401M	QFN 7 mm x 7 mm	Tape and Reel	IRPS5401MTRPBF	Unprogrammed
IRPS5401M	QFN 7 mm x 7 mm	Tape and Reel	IRPS5401MXI03TRP	Pre-programmed per Table 2
IRPS5401M	QFN 7 mm x 7 mm	Tape and Reel	IRPS5401MXI04TRPXUMA1	Pre-programmed per Table 3

表 2 IRPS5401MXI03TRP 环路配置

Config	R_MTP R_ADDR	A (bold = external PS)	B	C	D	LDO (supplied from)
1	8.87kΩ	1.8V/0.5A	1.8V/1.4A	0.85V/0.6A	0.85V/3.7A	1.2V (B)
2	10kΩ	1.2V/1.2A	0.85V/0.6A	3.3V/1.5A	0.85V/4A	1.8V (C)
3	11kΩ	1.8V/0.5A	5V/1.5A	3.3V/3.3A	0.85V/2A	1.8V (C)
4	2.32kΩ	0.85V/16A	1.2V/1.5A	1.8V/1A	1.8V/4A	1.2V (D or external)
5	2.87kΩ	0.85V/25A	1.2V/1.5A	1.8V/1A	1.8V/4A	1.2V (D or external)
6	3.48kΩ	3.3V/1.4A	1.8V/1A	0.9V/3A	1.2V/3A	0.85V (A)
7	4.12kΩ	0.72V/9A	3.3V/2A	0.85V/7A		1.2V (B)
8	4.75kΩ	0.72V/15A	3.3V/2A	0.85V/7A		1.2V (B)
9	5.49kΩ	1.8V/1A	1.2V/1.5A	1.8V/4A	2.5V/1.5A	1.8V (D)
10	6.19kΩ	0.9V/2A	1.2V/1.5A	1.8V/2.5A	1.2V/2A	0.85V (C)
11	6.98kΩ	0.72V/9A	1.2V/1.5A	0.85V/4A	1.8V/2A	1.2V (D or external)
12	7.87kΩ	0.72V/20A	1.2V/1.2A	0.85V/4A	1.8V/2A	1.2V (D or external)

订购信息

表 3 IRPS5401MXI04TRPAUMA1 环路配置

Config	R_MTP R_ADDR	A (bold = external PS)	B	C	D	LDO (supplied from)
1	Not used					
2	Not used					
3	Not used					
4	2.32kΩ	0.85V/ 15A	1.8V/2A	1.2V/5A		0.9V/0.5A (external 2.5V)
5	2.87kΩ	3.3V/10A	1.13V/1A	5V/2.1A	1.8V/3A	0.85V/0.5A (external 2.5V)
6	3.48kΩ	0.85V/15A	1.8V/2A	0.85V/7A		3.3V/0.5A (optional)
7	4.12kΩ	3.3V/10A	2.5V/2A	1.2V/6A		0.85V/0.5A (external 2.5V)
8	4.75kΩ	1.2V/6A	2.5V/0.5A	1.8V/5A		1.8V/0.5A (external 2.5V)

应用电路

2 应用电路

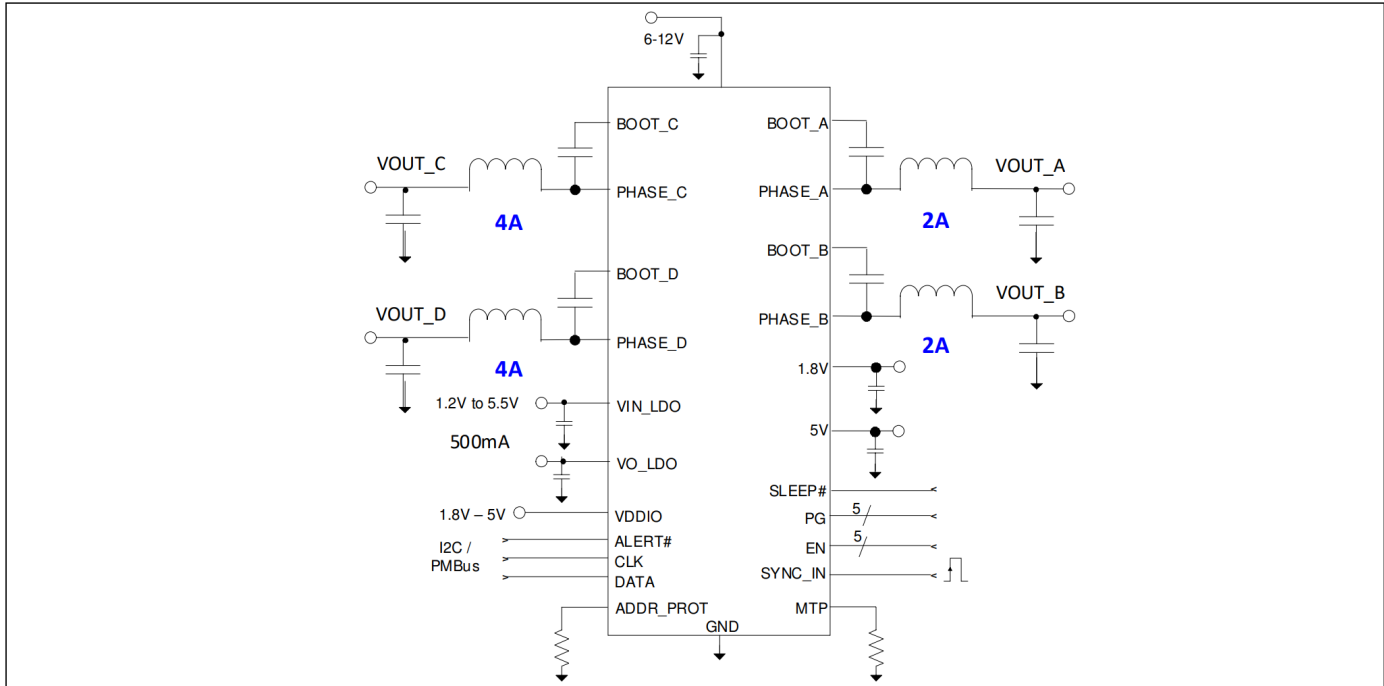


图 1 IRPS5401 基本应用电路

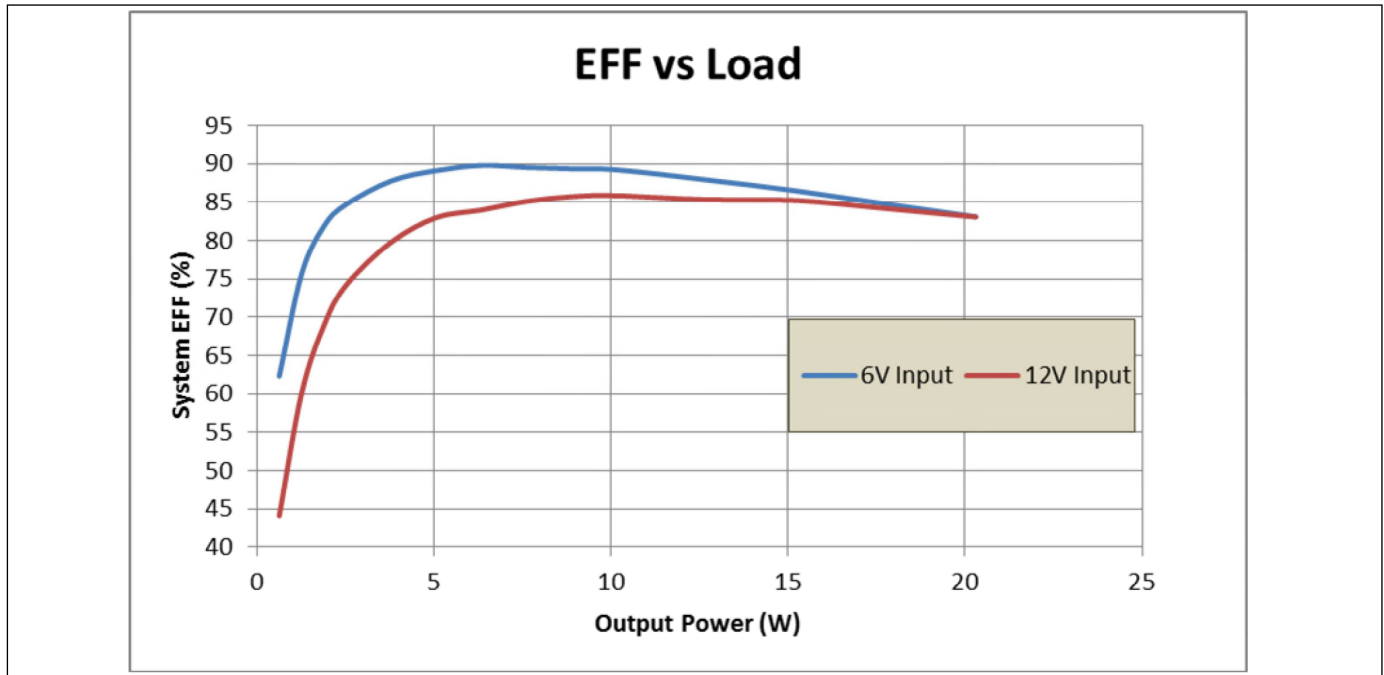


图 2 VO= 2.5V、FSW=800kHz、Tj= 45°C 时的系统效率

引脚分布图

3 引脚分布图

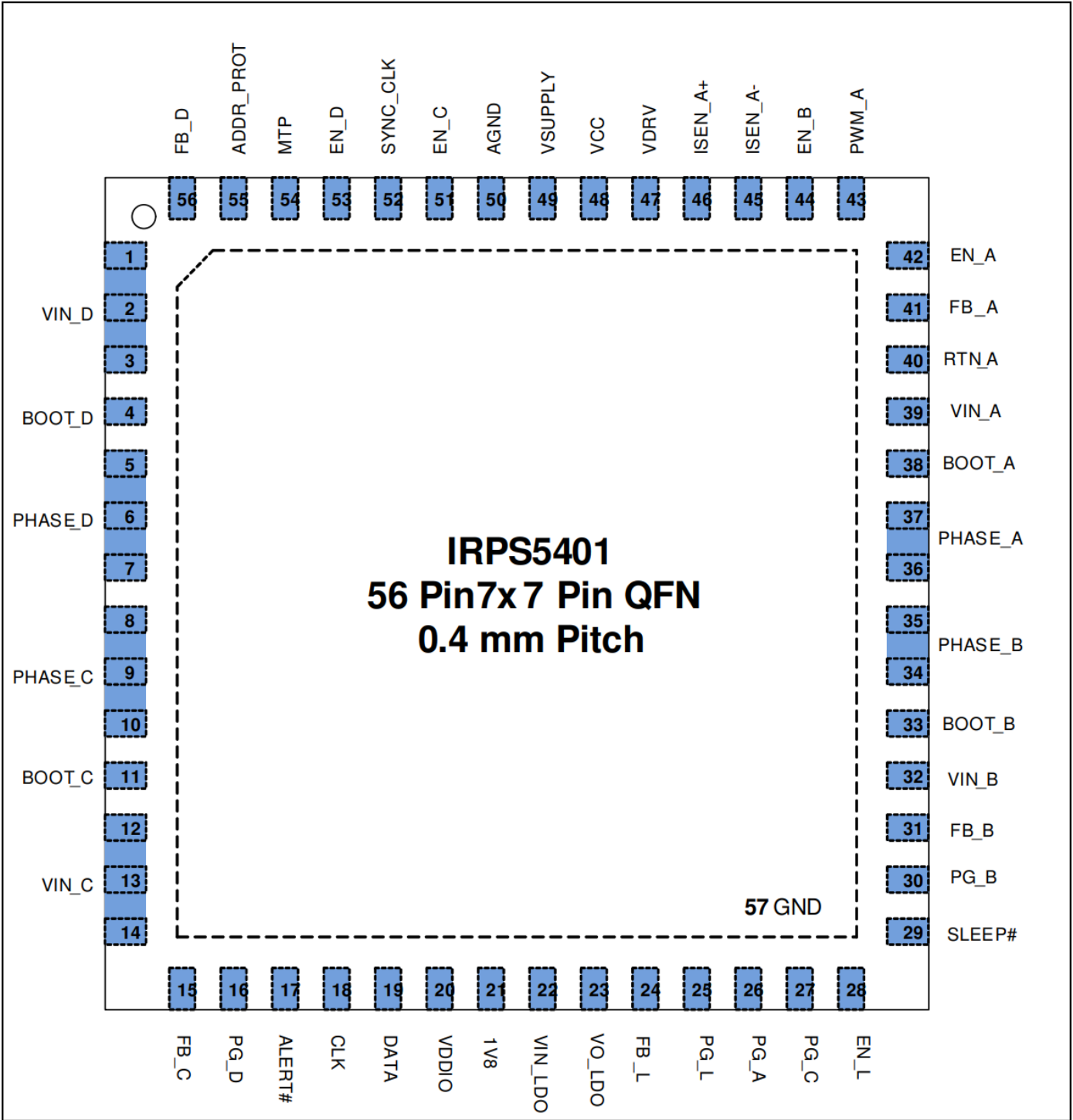


图 3 引脚分布图 7mm x 7mm QFN（俯视图）

引脚功能

4 引脚功能

表 4 PIN 功能

PIN			Description	If not used
#	Name	TYP		
1,2,3	VIN_D	P [I]	Input supply voltage pins for Switcher D. Decouple locally by connecting a ceramic capacitor from this pin to GND.	Short To GND
4	BOOT_D	A [B]	Supply input for Switcher D high side FET gate drive. Connect a 0.1uF MLCC between this pin and PHASE_D pins. An internal diode is connected between VDRV and this pin	Open
5,6,7	PHASE_D	P [O]	Switch node of Switcher D. Connect directly to the output inductor.	Open
8,9,10	PHASE_C	P [O]	Switch node of Switcher C. Connect directly to the output inductor.	Open
11	BOOT_C	A [B]	Supply input for Switcher C high side FET gate drive. Connect a 0.1uF MLCC between this pin and PHASE_C pins. An internal diode is connected between VDRV and this pin	Open
12,13,14	VIN_C	P [I]	Input supply voltage pins for Switcher C. Decouple locally by connecting a ceramic capacitor from this pin to GND.	Short To GND
15	FB_C	A [I]	Switcher C feedback input. Connect directly to VOUT_C for output voltages less than 2.55V. Connect to VOUT_C with a 2:1 resistor divider for output voltages greater than 2.55V.	Open
16	PG_D	D [O]	Open drain power good output indicating Switcher D is powered up	Open
17	ALERT#	D [O]	I2C/PMBus Alert line. This alert signal can indicate one or more faults, allowing the system bus manager to poll the device and identify the root cause. All faults or customer selected faults such as overcurrent or over-temperature may be specifically masked to this pin.	Open
18	CLK	D [B]	I2C/PMBus Clock Line. Pull up to VDDIO with 10K	n/a
19	DATA	D [B]	I2C/PMBus Data Line. Pull up to VDDIO with 10K	n/a
20	VDDIO	P [I]	Pull-up signal voltage for I2C communications. Connect to the same I/O rail used by the I2C master.	n/a
21	1V8	A [O]	1.8V reference used by the device for internal analog and digital control. Decouple using a 1.0uF X7R type ceramic capacitor	n/a
22	VIN_LDO	P [I]	Input to the linear regulator. See linear regulator section for specific requirements. This voltage can range from 1.2V to 5.5V, with restrictions on overall power dissipation	Short To GND
23	VO_LDO	A [O]	LDO output	Open
24	FB_L	A [I]	LDO feedback input	Open
25	PG_L	D [I]	Open drain power good output indicating LDO is powered up. Pull up to 5V with 10K	Open
26	PG_A	D [I]	Open drain power good output indicating switcher A is powered up. Pull up to 5V with 10K	Open

引脚功能

PIN			Description	If not used
#	Name	TYP		
27	PG_C	D[I]	Open drain power good output indicating switcher C is powered up. Pull up to 5V with 10K	Open
28	EN_L	D[I]	LDO enable input control. Active High, external termination required, do not leave floating. LVTTL threshold levels. 'ON' threshold is 2.1V minimum	Short To GND
29	SLEEP#	D[I]	Active low signal to place the device in a low power mode LVTTL threshold levels. 'SLEEP ENABLED' threshold is 0.8V maximum	Short to VCC
30	PG_B	D[I]	Open drain power good output indicating switcher B is powered up. Pull up to 5V with 10K	Open
31	FB_B	A[I]	Switcher B feedback input. Connect directly to VOUT_B for output voltages less than 2.55V. Connect to VOUT_B with a 2:1 resistor divider for output voltages greater than 2.55V.	Open
32	VIN_B	P [I]	Input supply voltage pin for Switcher B. Decouple locally by connecting a ceramic capacitor from this pin to GND.	Short To GND
33	BOOT_B	A[B]	Supply input for Switcher B high side FET gate drive. Connect a 0.1uF MLCC between this pin and PHASE_ B pins. An internal diode is connected between VDRV and this pin	Open
34,35	PHASE_B	P [O]	Switch node of Switcher B. Connect directly to the output inductor.	Open
36,37	PHASE_A	P [O]	Switch node of Switcher A. Connect directly to the output inductor.	Open
38	BOOT_A	A[B]	Supply input for Switcher A high side FET gate drive. Connect a 0.1uF MLCC between this pin and PHASE_A pins. An internal diode is connected between VDRV and this pin	Open
39	VIN_A	P [I]	Input supply voltage pin for Switcher A. Decouple locally by connecting a ceramic capacitor from this pin to GND.	Short To GND
40	RTN_A	A[I]	Differential feedback return signal for Switcher A. This can be connected remotely to the return location of VOUT_A.	Short together
41	FB_A	A[I]	Differential feedback positive signal for Switcher A. Connect directly to VOUT_A for output voltages less than 2.55V. Connect to VOUT_A with a 2:1 resistor divider for output voltages greater than 2.55V.	Short together
42	EN_A	D [I]	Switcher A enable input control; external termination required, do not leave floating. LVTTL threshold levels. 'ON' threshold is 2.1V minimum	Short To GND
43	PWM_A	A [O]	PWM signal for Switcher A to be used when Switcher A is configured for use with an external IR MOSFET™ Power Stage. This PWM pin is a 5V PWM. This pin is used to drive a 5V capable external power stage such as an IR355x power stage and is a tri-state or tri-level signal. A resistor and zener clamp must be used when paired with a 3.3V only power stage (see figure 11). Leave floating if this pin is not used	Open
44	EN_B	D [I]	Switcher B enable input control; external termination required, do not leave floating. LVTTL threshold levels. 'ON'	Short To GND

引脚功能

PIN			Description	If not used
#	Name	TYP		
			threshold is 2.1V minimum	
45	ISEN_A-	A[I]	Negative (return) sense point for Switcher A external IOOUT sense.	Short together
46	ISEN_A+	A[I]	Positive sense point for Switcher A external IOOUT sense.	Short together
47	VDRV	A [O]	5V drive voltage used to power the internal MOSFET drivers. Use a 2.2Ω, 2.2μF filter from VCC to insure noise from this switching node is not injected into the VCC pin. See the application section. Terminate decoupling cap to GND (pin 57)	n/a
48	VCC	A [O]	5V source used by the device to power internal analog and digital control. When VCC is self-generated by the device (from VSUPPLY), do not load this pin with any load other than VDRV. Decouple using a 2.2μF X7R type ceramic capacitor. Terminate decoupling cap to AGND (pin 50)	n/a
49	VSUPPLY	A [I]	Input voltage for internal LDO for internally generated VCC	Short to VCC
50	AGND		Ground reference for the analog and digital control.	n/a
51	EN_C	D[I]	Switcher C enable input control; external termination required, do not leave floating. LVTTTL threshold levels. 'ON' threshold is 2.1V minimum	Short To GND
52	SYNC_CLK	D[I]	External Synchronization pin. LVTTTL threshold levels. 'HIGH' threshold is 2.1V minimum, 'LOW' is 0.8V maximum	Short to GND
53	EN_D	D [I]	Switcher D enable input control; external termination required, do not leave floating. LVTTTL threshold levels. 'ON' threshold is 2.1V minimum	Short to GND
54	MTP	A [I]	A resistor placed to ground on this pin selects which of 15 MTP banks of memory are used. By allowing up to 15 MTP memory banks, a user can use up to 15 identical IRPS5401 devices on a single board using just one customer- configuration file. If this pin is above 2V when POR occurs, the device will not load OTP and the I2C address will be 0Ah. Decouple with 0.01μF cap.	n/a
55	ADDR_PROT		Use a resistor on this pin to set the I2C and/or PMBus Address offset for the device If the I2C register R/W protect security function is used and 'PIN' protect is enabled, this pin must be asserted high to disable the R/W protection. Decouple with 0.01μF cap.	n/a
56	FB_D	A [I]	Switcher D feedback input. Connect directly to VOUT_D for output voltages less than 2.55V. Connect to VOUT_D with a 2:1 resistor divider for output voltages greater than 2.55V.	Open
57	GND		Ground. The large metal pad on the bottom must be connected to Ground.	n/a

框图

5 框图

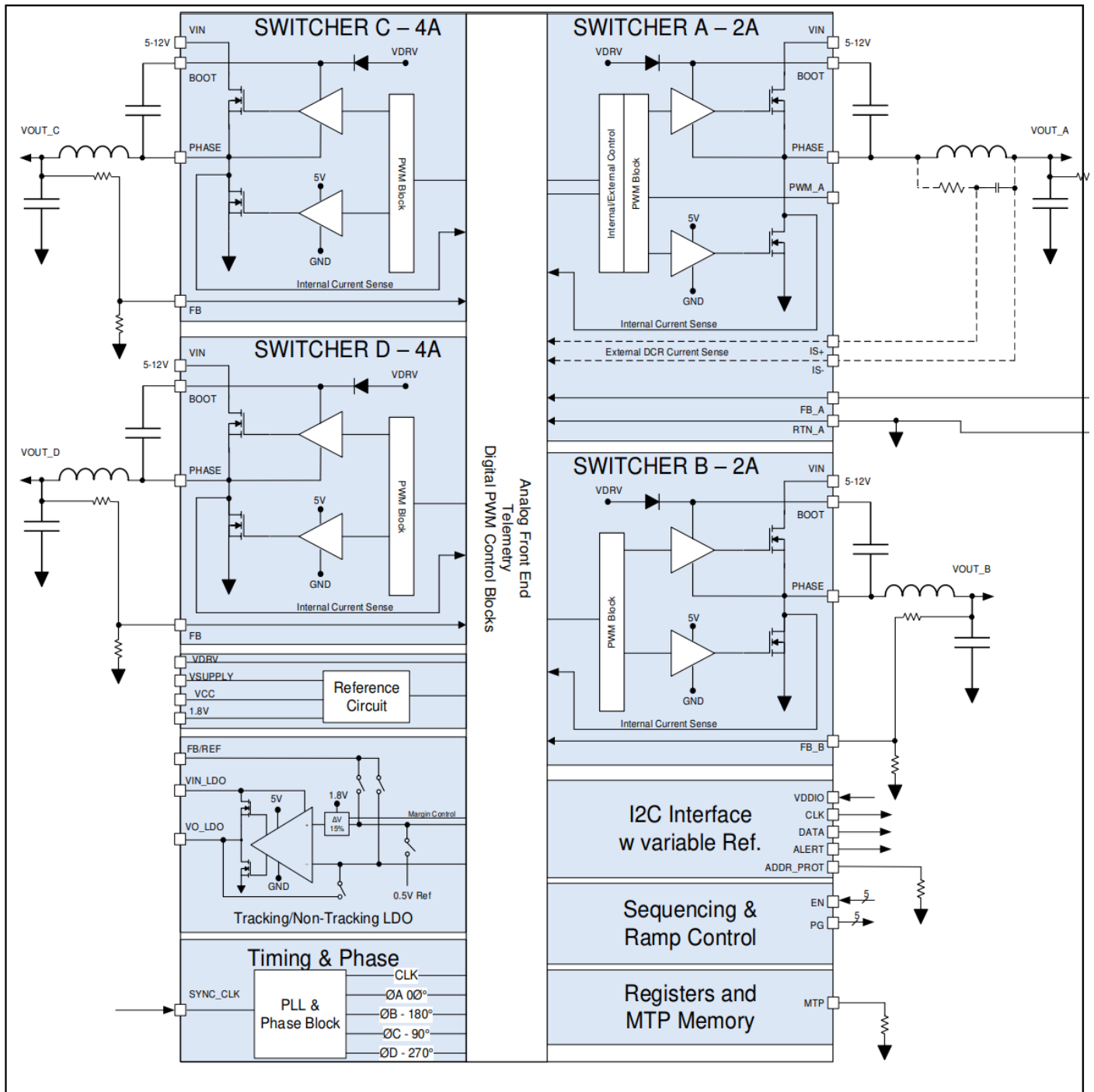


图 4 IRPS5401 框图

绝对最大额定值

6 绝对最大额定值

超过“绝对最大额定值”所列值的应力可能会对器件造成永久性损坏。这些仅仅是应力额定值，并不意味着器件在这些或任何其他超过操作规范部分所示的条件下能够正常运行。

表 5 额定电压

Vin [A_B_C_D], VSUPPLY	-0.3V to 16V
VCC, VDRIVE	-0.3V to 6V
VDDIO	-0.3 to 5.5V
1V8	-0.3V to 2V
BOOT [A_B_C_D]	-0.3V to 22V
BOOT [A_B_C_D] <10ns transient	-0.3V to 24V
SW [A_B_C_D]	-0.3V to 16V
SW [A_B_C_D] <10ns transient	-4V to 18V
BOOT to SW [A_B_C_D]	-0.3V to VCC +0.3V (Note2)
Input / Output Pins	-0.3V to VCC +0.3V (Note1)
GND to AGND	-0.3V to +0.3V

表 6 散热信息

Junction to Ambient Thermal Resistance Θ_{JA}	13.5°C/W
Junction to PCB Thermal Resistance Θ_{J-PCB}	3°C/W
Maximum Storage Temperature Range	-55°C To 150°C
Maximum Junction Operating Temperature Range	-40°C To 125°C (Note 3)
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C

注释:

1. 除非另有说明，否则电压均以接地为基准
2. 电压不得超过6V
3. 低温性能通过统计质量控制的相关性进行验证。未进行生产测试。

电气规格参数

7 电气规格

为保证可靠运行而推荐的工作条件

表 7

Recommended Operating Ambient Temperature Range*	-40°C to 85°C
VIN [A to D]	1.2V to 14V (with external VCC)
VSUPPLY (for Internal VCC)	6V to 14V
External VCC and VDRIVE Voltage Range	4.5V to 5.5V
VDDIO	3.3V
SWA and SWB Output Load	0A to 2A
SWC and SWD Output Load	0A to 4A
Combined SWC+SWD Output Load	0A to 8A

注释: 电气特性表中列出了在推荐工作条件下的验证值范围。典型值代表与 25°C 有关的中值。

注释: *在低于0°C 的温度下运行时, 需要在通电和输出上升之间延迟60 毫秒。详见9.3

表 8 电气特性

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
UVLO Turn-on Threshold				4.2	4.5	V
UVLO Turn-off Threshold			3.6	3.9		V
Supply Current	I_{VCC}	All outputs disabled (low power disabled)		40	45	mA
Supply Current	I_{VCC}	All outputs disabled (low power enabled)		25	30	mA
Supply Current	I_{VCC}	SLEEP# = low (Sleep Mode Enabled)		10	25	uA
VDRV						
UVLO Turn-on Threshold				4.2	4.5	V
UVLO Turn-off Threshold			3.6	3.9		V
Supply Current	I_{Vdrv}	All outputs Enabled, fsw =800kHz		15		mA
Internal Supply VCC LDO						
Input Voltage			6	-	14	V
Output Voltage (on Vcc pin)	V_{CC}	Ta=25°C, 6.0V<VSUPPLY<14V, 0mA<Iout<50mA	4.6	4.85	5.1	V

电气规格参数

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Current	I_{outmax}			-	75	mA
VDDIO						
Input Voltage ¹		I2C termination voltage	1.62	-	5.5	V
Input High Voltage		% of VDDIO	60	-	-	%
Input Low Voltage		% of VDDIO	-	-	30	%
Input Leakage		Vpad = 0 to 5.5V	-1	-	1	μA
Reference Voltage (DAC) [A to D]						
Range			0.25		2.55	V
Resolution				5		mV
Accuracy (0°C to 85°C junction temperature)		VID = 1.0 to 2.55V	-0.8	-	0.8	%
		VID = 0.5V to 0.995V	-8	-	8	mV
		VID = 0.25V to 0.495V	-10	-	10	mV
Accuracy ¹ (-40°C to 125°C junction temperature)		VID = 1.0 to 2.55V	-1.5	-	1.5	%
		VID = 0.5V to 0.995V	-15	-	15	mV
		VID = 0.25V to 0.495V	-20	-	20	mV
Oscillator & PWM Generator						
Internal Oscillator ¹			-	48	-	MHz
Frequency Accuracy		0°C to 85°C junction temperature	-3	-	3	%
Frequency Accuracy		-40°C to 125°C	-6.25		+6.25	%
PWM Frequency Range ¹			200	-	2000	kHz
PWM Resolution ¹			-	2.6	-	ns
Digital Inputs - TTL						
	ADDR_PROT, EN_x					
Input High Voltage			2.1	-	-	V
Input Low Voltage			-	-	0.8	V
Input Leakage		Vpad = 0 to 5.5V	-1	-	1	μA
Digital Inputs - TTL						
	SLEEP#					
Input High Voltage			2.1	-	-	V
Input Low Voltage			-	-	0.8	V
Input Leakage		Vpad = 0 to 5.5V	-10	-	10	μA
External Sync						
	SYNC					
Frequency range			200		1000	kHz
Voltage Range			0		5	Vdc
Input High voltage			2.1			V

电气规格参数

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Low Voltage					0.8	V
Input Leakage current		Vpad = 0 to 5.5V			±5	μA
Sync pin capacitance		Vpad = 0 to 5.5V			10	pF
Synchronization Range (From OTP setting)		0°C to 85°C	-6.25		+6.25	%
Synchronization Range (From OTP setting)		-40°C to 125°C	-3		+3	%
Sync signal Duty Cycle			45	50	55	%
Remote Voltage Sense Inputs	FB [A to D], RTN_A					
FB_x Input Current		VOUT = 0.25V to 2.55V	-35	-	90	μA
RTN_A Input Current			-	-50	-	μA
Differential Input Voltage Range ¹		RTN_A = ±100mV	0		2.55	V
RTN_A Input CM Voltage ¹			-100	-	100	mV
Remote Current Sense Inputs	ISEN_A+/ISEN_A -					
Common Mode Voltage Range ¹			-0.1	-	Vcc-1	V
Differential Voltage Range ¹			-10	-	60	mV
Analog Address/Level Inputs	ADDR_PROT, MTP					
Output Current ¹		Vpad = 0 to 1.2V	96	100	104	μA
Open-Drain Outputs	PG_x, DATA, ALERT#					
Output Low Voltage		4mA	-	-	0.3	V
Output Leakage		Vpad = 0 to 5.5V	-	-	±5	μA
PWM I/O	PWM_A					
Output Low Voltage		I = -4mA	-	-	0.4	V
Output High Voltage		I = +4mA	VCC-0.45V	-	-	V
Tri-State Leakage		Vpad = 0 to Vcc	-	-	±1	μA
I2C/PMBus						
Bus Speed ¹		Normal	-	100	-	kHz
		Fast	-	400	-	kHz
		Maximum	-	1000	-	kHz

电气规格参数

Telemetry Reporting - Switching Outputs [A to D]						
Iout, Iin, Vin and Temperature Filter Rate ¹		Selectable (Selected Frequency applies to all parameters for all loops)	-	0.97, 1.9, 3.8, 7.7, 15.5, 31, 63, 126	-	Hz
Iout, Iin, Vin, Temperature Update Rate ¹			-	25	-	kHz
Vin Reporting Range ¹			0	-	17.5	V
Vin Reporting Accuracy (-2 to 2%)		VIN = 12V	-2	-	2	%
Vin Reporting Accuracy		VIN = 5V	-5	-	5	%
Vin Reporting Resolution ¹			-	31.25	-	mV
Vout Reporting Range ¹		With 2:1 scaling	-	-	5.1	V
Vout Reporting Accuracy ¹		READ_VOUT reports DAC setting		0.5		%
Vout Reporting Resolution ¹	User Selectable per output through VOUT_MODE command. Actual resolution is 5mV/10mV depending on VOUT_SCALING	-	0.244 1.953 3.906	-	mV	
Iout Reporting Gain Accuracy ¹	gain_error	I _{read} =I _{out} (1±gain_error)±I _{os} *full scale	-5		5	%
Iout Reporting Offset Accuracy ¹	I _{os}	full Scale = 2A for A/B and 4A for C/D	-2.5		2.5	%
Iout Reporting Resolution ¹			-	15.625	-	mA
Iin Reporting Resolution ¹			-	7.8125	-	mA
P _{in} Reporting Resolution ¹			-	31.25	-	mW
P _{out} Reporting Resolution ¹			-	31.25	-	mW
Temperature Reporting Resolution ¹				0.25		°C
Temperature Reporting			-2		2	%

电气规格参数

Accuracy ¹						
Telemetry Reporting - Switching Output A with External IR MOSFET™ Power Stage						
I _{out} Reporting Resolution ¹			-	125	-	mA
I _{out} Reporting Accuracy ¹		At 100% full load. Assumes ± 5% accurate external source	-6		6	%
I _{in} Reporting Resolution ¹			-	62.5	-	mA
P _{in} Reporting Resolution ¹			-	250	-	mW
P _{out} Reporting Resolution ¹			-	250	-	mW
Telemetry Reporting - LDO						
V _{in} Reporting Range ¹			0	-	8	V
V _{in} Reporting Resolution ¹			-	7.812	-	mV
V _{in} Reporting Accuracy			-2	-	2	%
V _{out} Reporting Range ¹		V _{out} is measured	0	-	4	V
V _{out} Reporting Resolution ¹		User Selectable through VOUT_MODE command.	-	0.244 1.953 3.906	-	mV
V _{out} Reporting Accuracy			-2	-	2	%
I _{out} Reporting Range ¹			0	-	0.72	A
I _{out} Reporting Resolution ¹			-	0.976	-	mA
I _{out} Reporting Accuracy ¹		At 500mA	-10		10	%
P _{in} Reporting Resolution ¹			-	15.625	-	mW
P _{out} Reporting Resolution ¹			-	15.625	-	mW

电气规格参数

Fault Protection - Switchers [A to D]						
OVP Threshold During Start-up (until output reaches 1V)			1.2	1.35	1.5	V
OVP Threshold During Start-up (until output reaches 1V)			2.4	2.75	3.0	V
OVP and UVP Operating Threshold ¹ Range:		Relative to VID, 1:1 scaling	50	-	400	mV
Resolution:			-	50	-	mV
OVP and UVP Operating Threshold ¹ Range:		Relative to VID, 2:1 scaling	100		800	mV
Resolution:			-	100	-	mV
OVP and UVP delay ¹		After exceeding threshold	-	-	150	ns
OVP and UVP threshold Tolerance ¹		For thresholds > 200mV	-20		20	%
OC WARN and FAULT Range ²		Switcher A and B	0	-	4	A
OC WARN and FAULT Range ²		Switcher C and D	0	-	8	A
OC WARN and FAULT Range ²		Switcher C in C+D mode	0	-	15.97	A
OC WARN and FAULT Resolution			-	31.25	-	mA
OC FAULT Threshold Tolerance (0°C to 85°C junction temperature)		At 3A for A and B, 6A for C and D, at 12A for C+D	-10		+10	%
OC FAULT Threshold Tolerance ¹ (-40°C to 125°C junction temperature)		At 3A for A and B, 6A for C and D, at 12A for C+D	-20		+20	%
OT WARN and FAULT Range ¹			0		255	°C
OT WARN and FAULT Resolution ¹			-	1	-	°C
Fault Protection - Switcher A with External IR MOSFET™ Power Stage						
OC WARN and FAULT Range ²			0	-	255	A
OC WARN and FAULT Resolution			-	0.25	-	A
External ISENSE Filter Bandwidth			-	62	-	kHz

电气规格参数

Fault Protection - LDO						
OV FAULT		Read Only, % of VOUT as set in ldo_target_register - Non tracking OR measured VIN/2 - Tracking	-	125	-	%
OV WARN			-	112.5	-	%
UV FAULT			-	75	-	%
UV WARN			-	87.5	-	%
OC FAULT		Read Only	-	0.72	-	A
OC WARN Range			0	-	0.72	A
OC WARN Resolution			-	3.9	-	mA
MOSFET - Switcher A and B						
High Side Switch Resistance		Tj = 20°C, BOOT-PHASE = 5V	-	150	-	mΩ
Low Side Switch Resistance		Tj = 20°C, VDRV = 5V	-	45	-	mΩ
MOSFET - Switcher C and D						
High Side Switch Resistance		Tj = 20°C, BOOT-PHASE = 5V	-	85	-	mΩ
Low Side Switch Resistance		Tj = 20°C, VDRV = 5V	-	25	-	mΩ
LDO						
Input Voltage	V _{in_ldo}		1.2	-	5.5	V
Output Voltage	V _{out_ldo}		0.5	-	3.6	V
Dropout Voltage	V _{dropout_ldo}	I _{out} =0.5A, Tj=125°C	-	-	0.5	V
Output Current	I _{out_ldo}		-	-	0.5	A
Reference Voltage	V _{ref_ldo}	Ta = 25°C	490	500	510	mV
		-40°C < Tj < 85°C	485	500	515	mV
Timing Information						
Automatic Configuration from MTP ¹		Time from POR to end of configuration loaded from NVM to working registers	-	1	-	ms
Isense AMP Automatic Trim Time ¹			-	1	-	ms
Delay from Enable high to ramp start ¹		Low power mode disabled	-	3	-	μs
Delay from Enable high to ramp start ¹		Low power mode enabled	-	600	-	μs

1. 已通过设计验证

2. 实际OC 限制 (VR 可承受的最大持续负载) 是电感ISAT 和系统热解决方案的函数。SW A 和B 限制为最大2A 直流负载。SW C 和D 限制为最大4A 直流负载

8 典型应用图

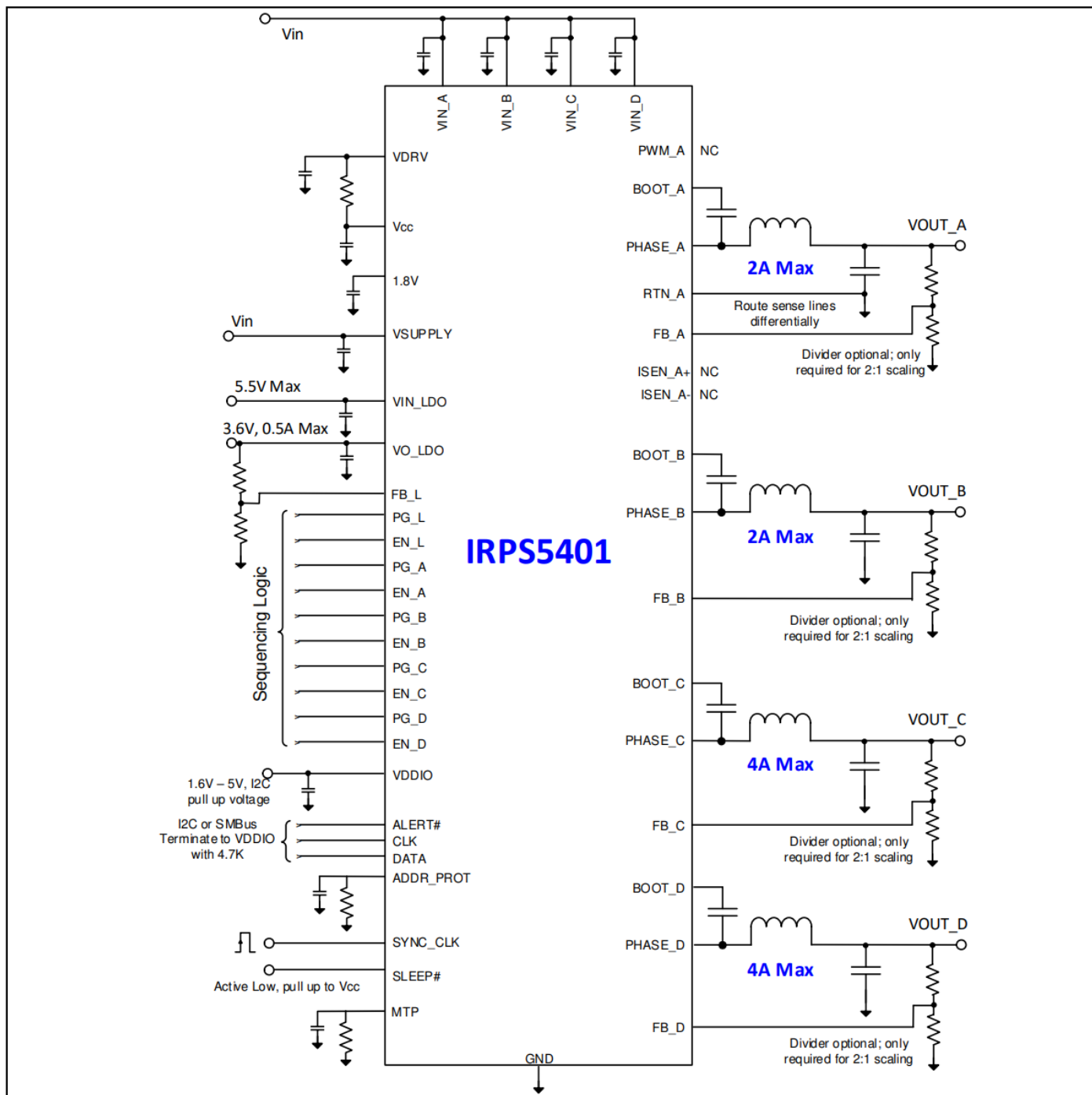


图 5 IRPS5401 采用 5 输出配置，Vcc 由内部 LDO 提供

典型应用图

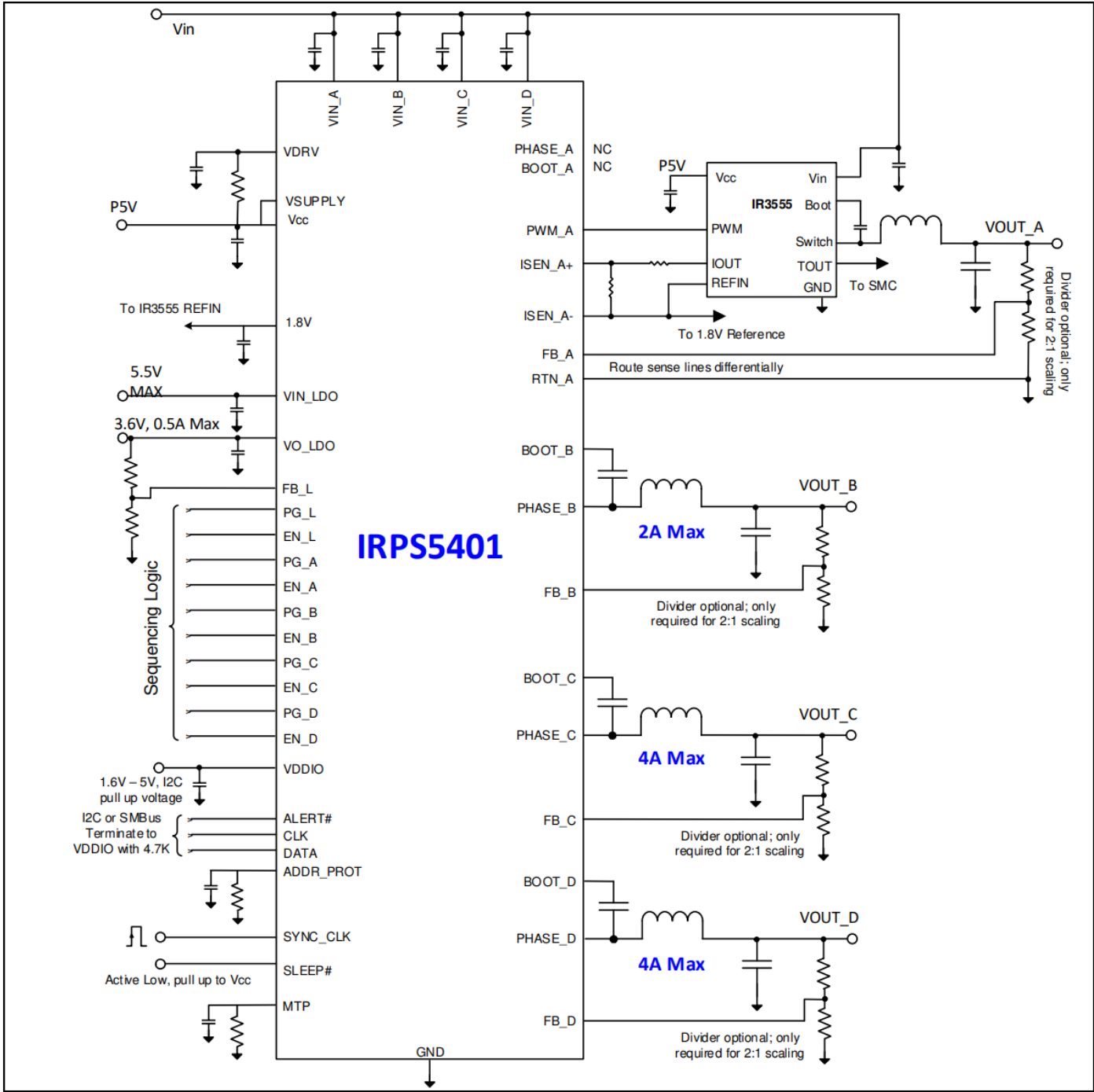


图 6 使用外部 IR MOSFET 的 IRPS5401™ 用于大电流输出的功率级

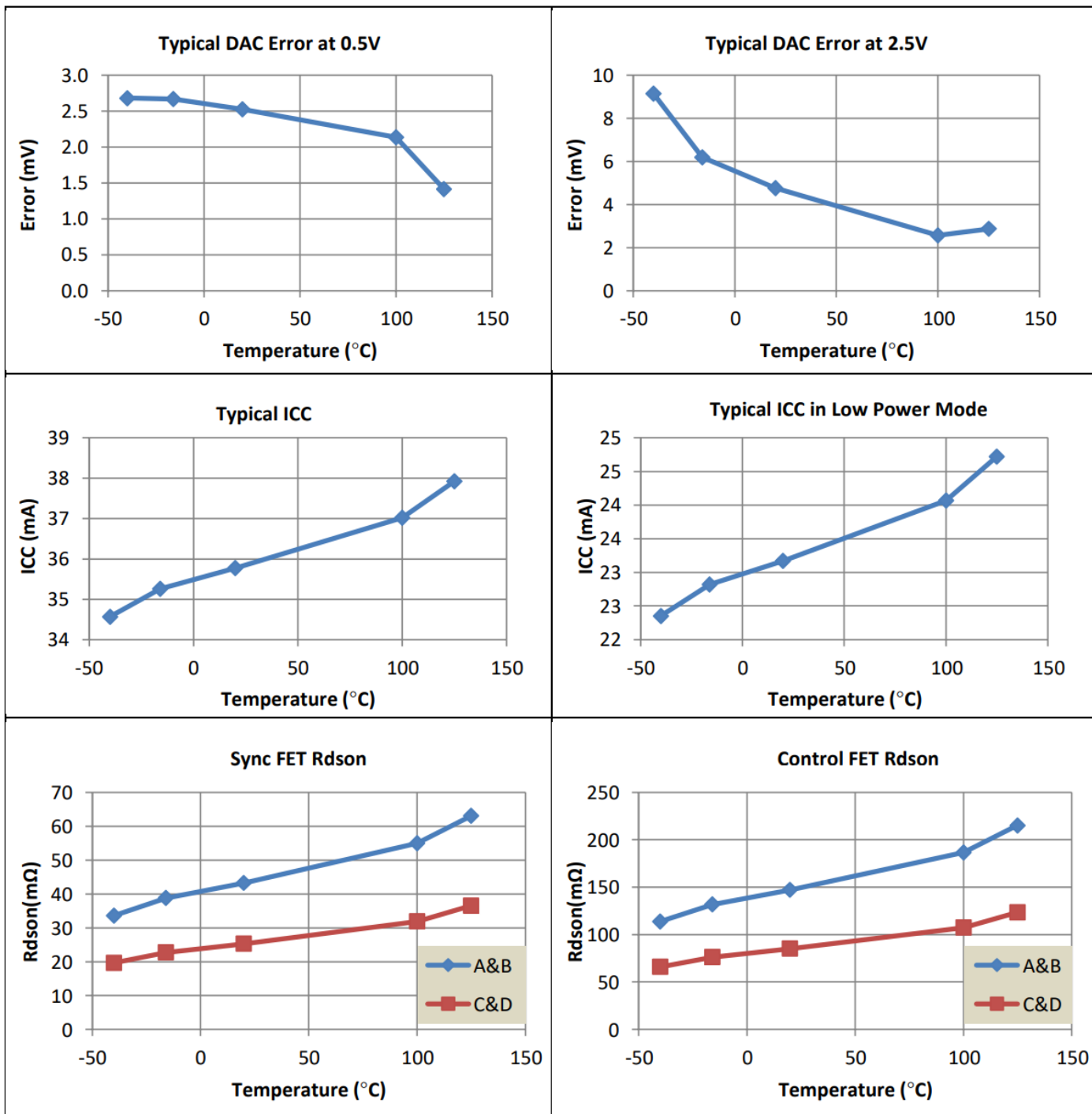
IRPS5401 PMIC

Flexible Power Management Unit

典型应用图

典型工作特性

VCC=5V, -40°C 至 125°C



描述

9 描述

IRPS5401 是一款可数字配置的灵活电源管理单元，具有 I2C/PMBus 接口。它最多可支持 5 个轨道，配备 4 个独立的开关调节器和 1 个线性调节器。

开关频率的可编程范围为 200 kHz 至 2MHz，能够优化设计的尺寸和性能。

IRPS5401 开关可提供 0.25V 至 2.55V 的精确稳压输出电压，无需电阻分压器即可编程，使用电阻分压器时输出电压可高达 5.1V。

IRPS5401 可以使用内部偏置电源 (LDO) (通常为 5.0V) 工作。通过将 LDO 输入 (VSUPPLY) 连接到总线电压 (Vin_x)，可以使用单输入电源运行。应在 VSUPPLY 引脚上使用 1uF 的电容，以便去耦。该 LDO 的输出通过 Vcc 引脚输出，必须使用 1.0uF 去耦电容将其旁路至模拟地 (引脚 50)。内部驱动电路所需的额外电压 VDRV 是通过从 Vcc 引脚到 VDRV 引脚之间的 2 欧姆-1uF 滤波器产生的。请注意，VDRV 引脚上的 1uF 必须旁路至系统电源的地 (引脚 57)。Vcc 引脚也可连接至 VSUPPLY 引脚，并可使用 4.5V 至 5.5V 的外部 Vcc 电源，从而将工作总线电压 (Vin_x) 范围扩展至 1.2V 至 14V。

该器件利用低端 MOSFET (同步 MOSFET) 的导通电阻作为电流采样元件。这种方法提高了转换器的效率，而且无需外部电流采样电阻，从而降低了成本。

9.1 一次性可编程 (OTP) 存储器

IRPS5401 具有 64K OTP 非易失性存储器。OTP 设计基于已获专利的分通道非易失防熔断存储器单元。OTP 存储器的额定数据保留时间为 20 年，工作温度范围为 -40°C 至 150°C (额定存储温度为 -55°C 至 150°C)。

该内存空间分为 26 个 OTP 段，可进行 1 次编程。因此，内存空间被称为多次可编程 (MTP)。这样，用户就可以：a) 更改配置寄存器并对 MTP 重新编程，最多 26 次；或 b) 在初始编程时保存多达 15 个配置文件，并在启动时使用 MTP 引脚选择加载哪个文件。如果使用选项 b，剩余未使用的 MTP 段可供用户使用 PowIRCenter GUI 器件编程器烧录程序对配置文件进行其他更改并保存到 MTP。

9.2 MTP 引脚 (引脚 54)

下表列出了在给定电阻值连接到 MTP 引脚时所选择的 MTP 段。该电阻必须连接到 AGND 引脚，并用 10nF X7R 型多层陶瓷电容旁路。

描述

表 9

MTP pin Resistor	MTP Segment selected
*0.845kΩ	+0
*1.30kΩ	+1
*1.78kΩ	+2
2.32kΩ	+3
2.87kΩ	+4
3.48kΩ	+5
4.12kΩ	+6
4.75kΩ	+7
5.49kΩ	+8
6.19kΩ	+9
6.98kΩ	+10
7.87kΩ	+11
8.87kΩ	+12
10.00kΩ	+13
11.00kΩ	+14

注释： 环境温度为<0°C 时，请勿使用这些数值。

注释： 用户选择使用多个配置文件编程的段数由名为max_prog 的配置寄存器设置。需要将max_prog 寄存器的值设置为将要编程的配置文件数。例如，如果用户对+0、+1 和+2 段进行编程，则max_prog 寄存器的值应为3。对于结温低于0°C 的应用，+0、+1 和+2 段不可用。

9.3 器件上电和初始化

在上电过程中，当 VIN 升高时，内部 LDO 会将其转换为稳压的 5.0V VCC 电压。另一个 LDO 将电压进一步转换为 1.8V，为内部数字电路供电。欠压锁定电路监控 VCC 引脚和 P1V8 引脚的电压，并将 POR 设为低电平，直到这些电压超过其阈值，且内部 48 MHz 振荡器稳定为止。器件复位后，会初始化一个 MTP 加载周期，将 MTP 的内容加载到工作寄存器中。一旦从 MTP 中加载了寄存器，设计人员就可以根据需要使用 I2C/PMBus 重新配置寄存器，以满足特定的 VR 设计要求，而与使能引脚的状态无关。

描述

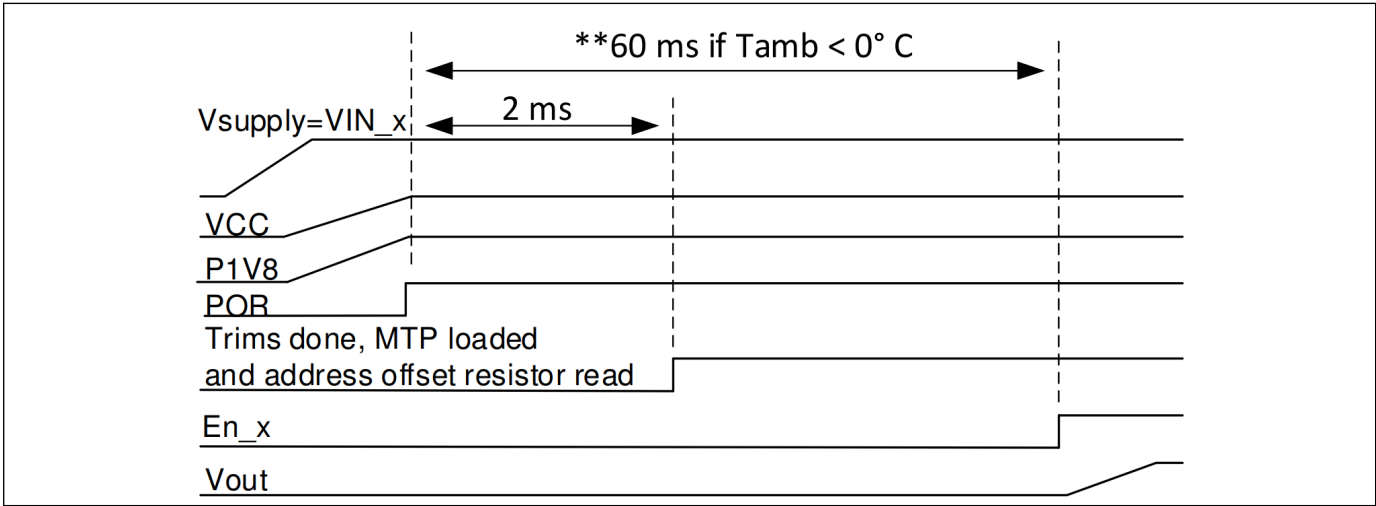


图 8 上电序列

在默认配置中，只有当相应的 En_x 引脚电压为高电平、Vin_x 总线电压超过欠压阈值（存储在 MTP 寄存器中并由 PMBus 命令 VIN_ON 和 VIN_OFF 发出）、MTP 内容已完全加载到工作寄存器中且器件地址已被读取时，才会启用给定环路的电源转换。IRPS5401 提供额外选项，可通过软件使能器件电源转换，这些选项可通过使用 I2C 接口或 PMBus 进行配置，以覆盖默认值。

注释： 器件POR 后，VDDIO 引脚电压必须保持稳定。在器件POR 之后循环VDDIO 电压将导致I2C 总线协议的时序违规，并可能导致I2C 和PMBus 通信问题

注释： **仅对于内部切换器（切换器A、B、C 和D），在环境温度低于0°C 的情况下运行时，需要 60ms 的延迟。延迟也可以通过延迟EN 引脚、使用 PMBus TON_DELAY 命令或两者结合来实现。如果切换器A 配置为外部切换器模式，则该延迟不适用于LDO 输出或切换器A

9.4 寻址 IRPS5401

IRPS5401 有两个 7 位寄存器，用于设置器件的 I2C 基地址和 PMBus 基地址，如下所示。

表 10

Register	Description	Default
i2c_device_address	The chip I2C address. An address of 0 will disable I2C communication	10h
pmb_device_address	The chip PMBus address. An address of 0 will disable PMBus communication.	40h

将另一位（i2c_take_addr_from_ext）设为 1，将允许用户使用一个从 ADDR_PROT 到 AGND 的电阻来偏移器件的基地址。在这种情况下，下表提供了实现最多 15 个基址偏移所需的电阻值。对于结温低于0°C 的应用，不能使用 +0、+1 和 +2 的地址偏移。

描述

表 11

ADDR_PROT Resistor	I2C Address Offset
*0.845kΩ	+0
*1.30kΩ	+1
*1.78kΩ	+2
2.32kΩ	+3
2.87kΩ	+4
3.48kΩ	+5
4.12kΩ	+6
4.75kΩ	+7
5.49kΩ	+8
6.19kΩ	+9
6.98kΩ	+10
7.87kΩ	+11
8.87kΩ	+12
10.00kΩ	+13
11.00kΩ	+14
12.10kΩ	+15

注释：环境温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 时，请勿使用这些数值。

如果设置了 `i2c_pmb_addr_lock`，则允许用户锁定 I2C 和 PMBus 地址。

9.5 开关频率

IRPS5401 的开关频率 (fsw) 设置存储在 MTP 中，可通过 PMBus 命令 `FREQUENCY_SWITCH` 进行配置。

IRPS5401 将 ACK 200 kHz 至 2MHz 范围内的任何 `FREQUENCY_SWITCH` 命令，步进为 1kHz（1MHz 以上的命令步进为 2kHz）。在内部对命令进行解码，并将实际 FSW 设置为 48MHz 内部时钟可支持的最近值。例如，九十六 (96) 个 48 MHz 时钟可支持 500 kHz。因此，如果你要求 500kHz，你就会得到精确的 500kHz。但如果你想要 450kHz，所需的时钟数就是 106.6667 (48/0.45)。在这种情况下，频率将设置为一百零七 (107) 个 48MHz 时钟或 448.6 kHz。0.5 及以上的分数值四舍五入到下一个整数。

由于四个开关线性调节器之间存在强制相位关系，因此所有四个开关线性调节器的开关频率都由发送到切换器 C 的 `FREQUENCY_SWITCH` 命令决定。发送到切换器 A、B、D 的 `FREQUENCY_SWITCH` 命令都将被 ACK 或者忽略掉。向切换器 A、B 或 D 发送 `FREQUENCY_SWITCH` 读取命令后，将响应用户之前写入器件的值，但切换器 B 和 D 的实际开关频率将是切换器 C 的开关频率。如果切换器 A 的 `FREQUENCY_SWITCH` 值等于或大于切换器 C，切换器 A 的切换频率等于切换器 C 的频率。如果切换器 A 的 `FREQUENCY_SWITCH` 值小于切换器 C，切换器 A 的切换频率将是切换器 C 切换频率的一半。即使同步到外部 CLK，切换器 A 的开关频率仍将保持为切换器 C 的一半。切换器 A 和切换器 C 之间的频率关系等同于切换器 A 使用内部模式或外部功率级模式。

描述

如果切换器 C 的频率低于 400 kHz，切换器 A 的切换频率将与切换器 C 相同。

即使在使用内部时钟的情况下，所有四台切换器之间也表现出固定的相位关系，其中切换器 A 比切换器 C 高出 90°

这反过来又比环路 B 超前 90° 。最后，回路 D 滞后回路 B 90° 。因此，环路 A 和环路 B 相位差 180° ，环路 C 和环路 D 也是如此。

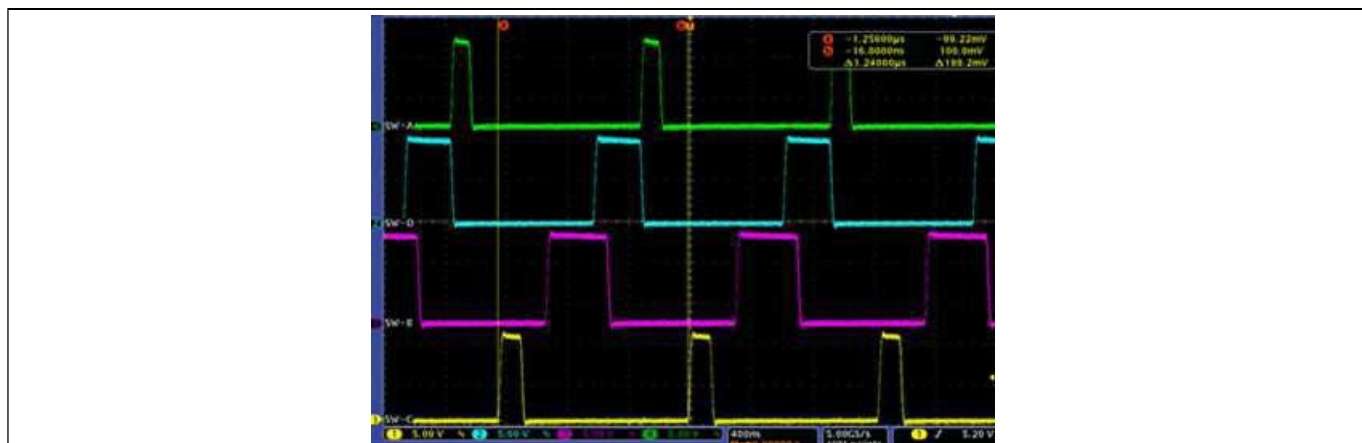


图 9 切换器相位关系

9.6 与外部时钟同步

IRPS5401 实现了一个频率锁定环路，强制所有四个切换器环路以与外部同步时钟相同的频率工作。四个开关之间仍然保持相同的相位关系，就像使用内部时钟时一样。切换器 A 显示与同步时钟有较小的相位偏移 ($\sim 80\text{ns}$)。

- 如果同步时钟在编程频率的 $\pm 6.25\%$ 范围内，器件将根据输入的同步时钟进行相位和频率锁定。
- 如果同步时钟与编程频率相差超过 $\pm 12.5\%$ ，器件将失去同步，并逐渐回落到编程频率。
- 器件同步后，相对于同步时钟将有 $\pm 10\text{ ns}$ 的不确定性或抖动。
- 电路锁定同步时钟大约需要 $110\mu\text{s}$ 的时间。

9.7 切换器 A 在外部功率级模式下

切换器 B、C 和 D 只能在内部功率级模式下运行，其 PWM 信号不输出到引脚。不过，利用 MTP `sw_a_use_internal_driver` 寄存器，可以将切换器 A 配置为内部功率级模式 (`sw_a_use_internal_driver=1`) 或外部功率级模式 (`sw_a_use_internal_driver=0`)。在外部功率级模式下，切换器 A 的 PWM 输出被引出为 PWM_A 引脚，并可连接至工业标准三态驱动器或英飞凌功率级器件的 PWM 输入引脚。三态驱动器的工作逻辑如下图所示。

请注意，每当切换器 A 禁用、关机斜坡完成或软启动斜坡启动之前，PWM_A 输出均为三态。

描述

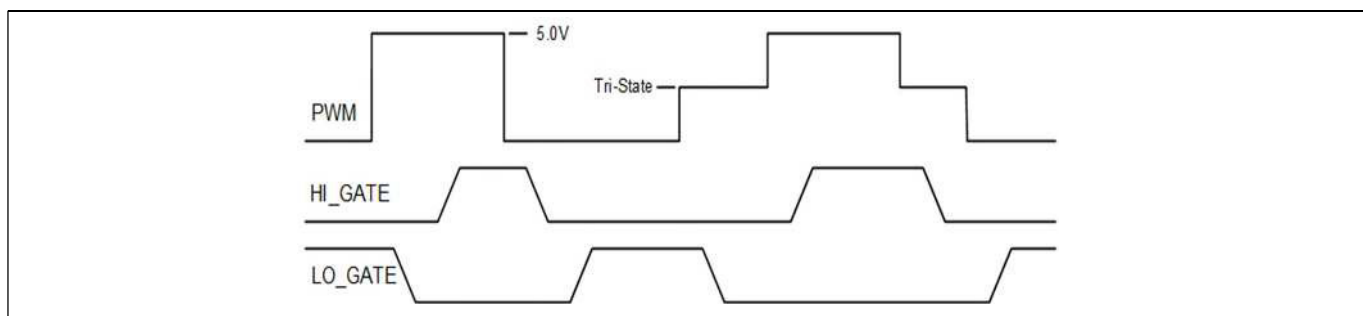


图 10 PWM_A 三态详细信息

PWM_A 是 5V PWM 信号。当 IRPS5401 与不支持 5V PWM 输入的外部功率级配对时，必须使用 3V 齐纳管来限制功率级 PWM 引脚电压。必须使用 402 Ω 的串联电阻来限制齐纳电流。

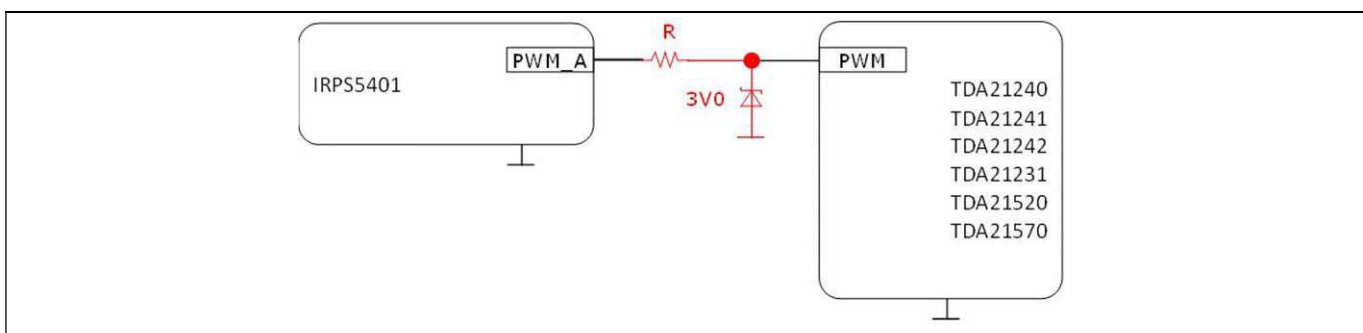


图 11 使用仅支持 3.3V PWM 输入的功率级时的齐纳管钳位详情

9.8 数字控制器 & PWM

对于切换器回路 A、B、C 和 D，IRPS5401 采用了专有的仿真电流模式控制方案，从而可以使用 PI 控制来稳定所有类型的电感和电容（包括 MLCC）的回路。高速电压误差 ADC 输出的数字化误差电压由数字补偿器进行处理，比例系数 (K_p) 和积分系数 (K_i) 均可编程。然后将补偿器的输出与模拟电流信号进行比较，生成 PWM 信号，分辨率为 2.6ns，以避免极限循环。为了接近 Type II 模拟补偿器，控制引擎还实现了一个低通、可编程单极 (K_{pole}) 滤波器。该滤波器的默认频率为 1.1MHz，一般来说，在广泛的应用中无需改变该极点的位置。

通常，使用 MLCC 等低 ESR 电容的功率级需要使用 III 型补偿或 PID 控制，但在 IRPS5401 中，仿真电流模式调制器提供了另一个极零点对，减轻了补偿器的负担，使简单的 PI 补偿器也能稳定此类要求苛刻的应用。

补偿器传递函数定义为

$$\left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) \cdot \left(\frac{1}{1 + s/\omega_{p1}}\right)$$

- 其中， ω_{p1} 是通常用于过滤噪声和纹波的极点，可通过寄存器 $K_{pole1}[3:0]$ 进行编程
- K_p 是比例系数，可通过寄存器 $k_p[5:0]$ 进行编程

描述

- K_i 是积分系数，可通过寄存器 $k_i[5:0]$ 进行编程。

9.9 二极管仿真/非连续模式运行/AOT

在负载很轻的情况下，MOSFET 开关损耗会影响效率。使用制造商专用的 PMBus 命令 MFR_FCCM，可使控制器工作在自适应导通时间 (AOT) 或二极管仿真模式下，从而提高轻载效率。

表 12

MTP Register	Function	Default
diode_emu_thresh	Sets the error voltage at which an on-time pulse is started in 2mV steps	0h
diode_emu_pw	Sets the duration of the on-time pulse	4h
de_off_time_adjust	Reduces the calculated low-side FET on-time in 62.5ns steps. Useful for compensating for DrMOS or other drivers' tri-state delay for a better prediction of the zero-crossing	0h
le_th	Error threshold to go from discontinuous conduction mode to continuous conduction mode; 4 mV resolution. If Vout drops by this amount, the control will be handed to PWM and diode-emulation is ended.	1h
Inductor_ni_thresh	Total current threshold below which it is assumed that the inductor current has a negative component.	00h

当电流读数降到 ni_thresh 以下时，控制器将判定电感电流为负分量，如果 MFR_FCCM=0，则允许 AOT 模式运行。内部电路利用 $diode_emu_pw$ 、 V_{inx} 和 V_{outx} 的读取值，逐周期确定电感电流何时下降为零，并在每个周期的适当时间关闭低边 MOSFET。这不仅减少了传导损耗，还降低了开关频率，从而提高了效率，因为电感和低边 MOSFET 在轻载时不会从输出电容中吸收功率。

在 AOT 模式下，如果由于施加快速瞬态负载而导致 V_{out} 下降到某个阈值 (le_th) 以下，则会立即切换到持续电流模式 (CCM)。

行业标准的三态驱动器通常具有较慢的三态进入时间，从而导致负电流积聚，降低效率并引起振铃。

通过 off_time_adjust 变量，设计人员可将低边 FET 的导通时间缩短等量，以补偿三态延迟。

9.10 输出电压检测、遥测和故障

IRPS5401 为切换器 A 输出提供真正的差分遥感。FB_A 和 RTN_A 引脚连接至切换器 A 输出电压的负载检测引脚，以提供真正的差分远程电压检测和高共模抑制。这使得切换器 A（外部功率级模式）即使在大电流应用中也提供出色的稳压能力。切换器回路 B、C 和 D 具有用于检测和调节的单端反馈连接。每个环路都有一个高带宽误差放大器，用于产生远端采样电压与目标电压之间的误差电压。误差电压由快速、高精度 ADC 进行数字化处理。这一数字化误差用于 V_{out} 欠压故障和警告检测，以及 V_{out} 过压故障警告检测。 V_{out} 通过 READ_VOUT PMBus 命令报告。报告的 V_{out} 是 DAC 参考值，而不是实际测量输出电压。

描述

如下图所示，Vsen 和 Vrtm 输入有一个 20kΩ 上拉至内部 1V 电压轨。这会在 Vsen 和 Vrtm 线路中产生一些电流，因此应尽量减少外部阻抗，以避免在感应输出电压中产生偏移。

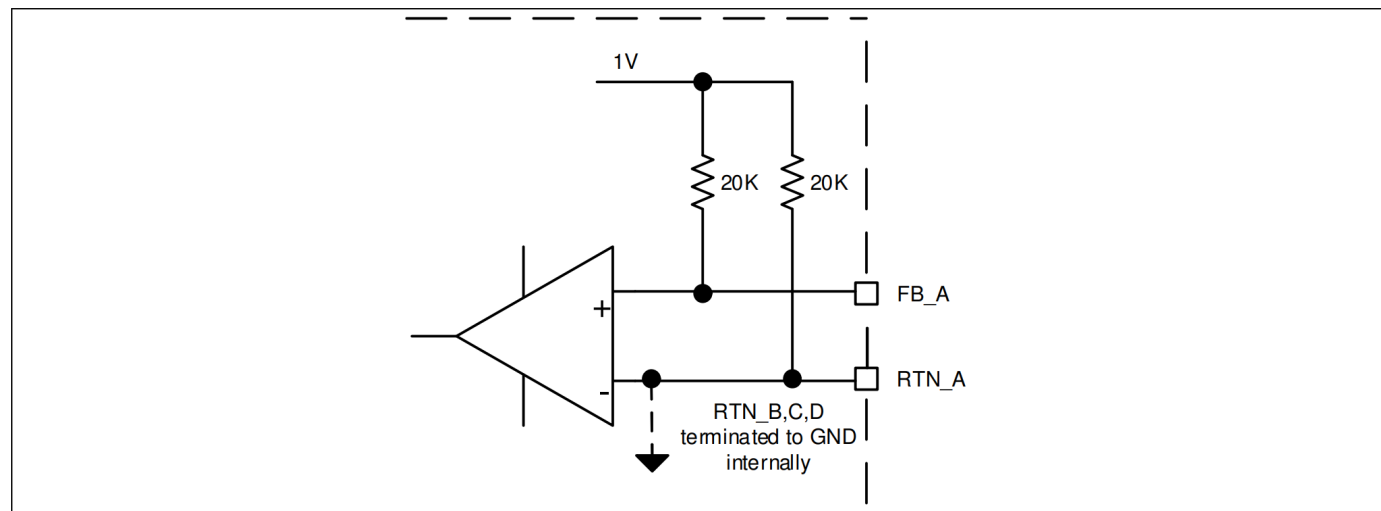


图 12 输出电压感应阻抗

9.11 输出过压保护 (OVP)

如果输出电压超过用户可编程（通过 PMBUS）阈值，IRPS5401 就会检测到输出过压故障，并锁住低边 MOSFET，以限制输出电压上升

不过，需要注意的是，虽然过压阈值可通过 PMBus 命令 VOUT_OV_FAULT_LIMIT 编程为任意值，但在内部它被转换为指令电压或基准电压的偏移，分辨率为 50 mV（如果使用 2:1 分压器，则为 100 mV），最小值为 50 mV（如果使用 2:1 分压器，则为 100 mV），最大值为 400 mV（如果使用 2:1 分压器，则为 800 mV）。

在 OVP 条件下，根据 VOUT_OV_FAULT_RESPONSE 的设置，转换器可设置为继续保持调制或进入锁存关机状态，此时高边 FET 或控制 FET 关闭，低边 FET 或同步 FET 接通。但请注意，有一个 MTP 寄存器 vpu_high_release_en，可将低边 FET 的工作配置为以下两种方式之一：a) 无限期保持锁存状态；b) 保持锁存状态，直到输出电压低于 200mV，此时低边 FET 释放。这种释放模式可以减少或防止输出电压的欠冲。

软启动期间，OVP 触发固定的软启动电平。该电平可通过 MTP 寄存器分别从 1.35V 或 2.75V 两种不同的电压值中选择。如果使用 2:1 分频器，这些值将分别自动缩放到 2.7V 和 5.5V。事实上，正是这个值将 IRPS5401 可支持的最大输出电压限制在 5.5V。

请注意，在 FET 释放模式下，如果输出电压升至高于固定的 OVP 水平，低边 MOSFET 将再次开启，直到 Vout 降至释放阈值水平以下。

用户可通过循环 En_x、VCC 或 PMBus 操作命令来退出锁定的过压故障。其他输出不受 OVP 事件影响，除非 global_fault_en=1

注释：OCP 事件可能会导致 STATUS_VOUT 寄存器中的 VOUT_OV_WARN 位误报。

描述



图 13 vpu_high_release_en=1 时的 OVP

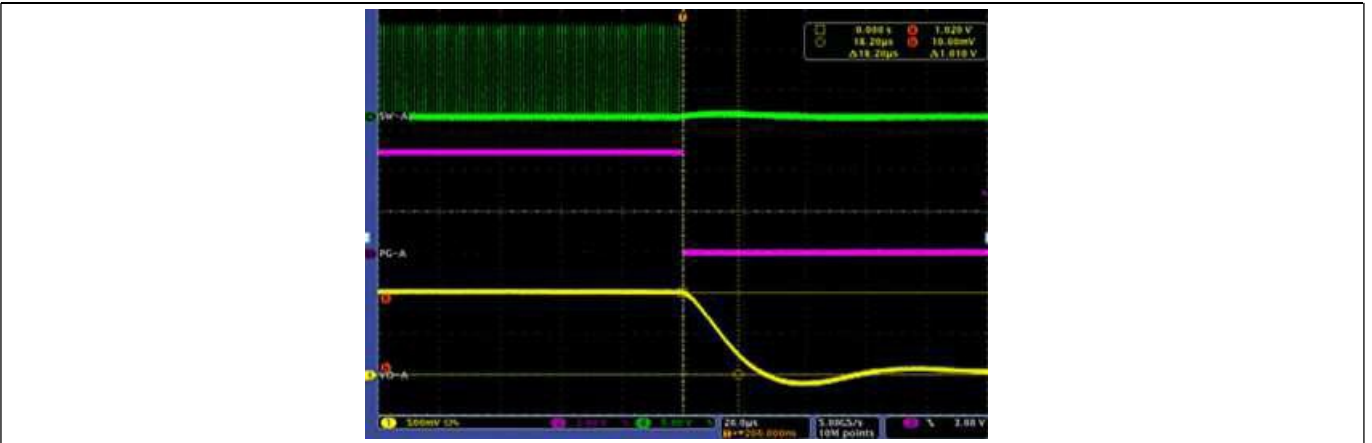


图 14 vpu_high_release_en=0 时的 OVP

9.12 输出欠压保护 (UVP)

如果采样电压低于用户可编程（通过 PMBus）的 UVP 阈值，IRPS5401 就会检测到输出欠压情况。检测到输出欠压条件时，可使用 PMBus 命令 VOUT_UV_FAULT_RESPONSE 对 IRPS5401 进行配置，使其保持调制或进入锁存关机状态。

但需要注意的是，虽然欠压阈值可通过 PMBus 命令 VOUT_UV_FAULT_LIMIT 编程为任意值，但在内部，UV 阈值取决于寄存器位 vout_uv_by_adc 的设置，该寄存器位可设置为 0（Vout 欠压机制通过模拟比较器实现）或 1（Vout 欠压机制通过高速误差 ADC 饱和实现）。

如果选择比较器 Vout 欠压机制，VOUT_UV_FAULT_LIMIT 将转换为指令电压或基准电压的偏移，分辨率为 50 mV（如果使用 2:1 分压器，分辨率为 100 mV），最小值为 50 mV（如果使用 2:1 分压器，分辨率为 100 mV），最大值为 400 mV（如果使用 2:1 分压器，分辨率为 800 mV）。

另一方面，如果选择 ADC 饱和机制，则欠压阈值隐含为低于指令值或参考值 250 mV（如果使用 2:1 分频器，则为 500 mV）。

用户可通过循环启用、VCC 或 PMBus 操作命令来退出锁定的欠压故障。

描述

9.13 电流采样、遥测和故障

IRPS5401 有两种不同的电流采样机制：a) 内部功率级模式下的同步 FET $R_{ds(on)}$ 电流采样；b) 外部功率级模式下的 DCR、并联电流采样或 $R_{ds(on)}$ 采样。

切换器 B、C 和 D 的电流采样始终跨接在同步 FET 的 $R_{ds(on)}$ 上。如果处于内部功率级模式，切换器 A 的电流采样也跨同步 FET $R_{ds(on)}$ 。通过专有的专利方案，可以从同步 FET $R_{ds(on)}$ 上检测到的电压重建电感的平均电流。值得注意的是，在内部功率级模式下，监控器 ADC 将重建的平均电感电流数字化，并将其用于输出电流报告。不过，在这种模式下，过流保护机制依赖于模拟比较器，而不依赖于 ADC 或输出电流报告。

如果切换器 A 在外部功率级模式下运行，则通过精密电流分流器上的压降、电感 DCR 上的压降或 IR3555 等英飞凌 $R_{ds(on)}$ 功率级的 IOOUT 信号来检测电流，并将其输入 IRPS5401 的 ISEN_A+ 和 ISEN_A- 引脚上的差分电流采样放大器。

如下图所示，在电感上连接了一个由 R_{sen} 和 C_{sen} 组成的合适电阻电容网络，用于检测 DCR。该 RC 网络的时间常数设定为等于电感时间常数 (L/DCR)，这样电容 C_{sen} 上的电压就等于电感 DCR 上的电压。还建议在 C_{sen} 上安装一个 100K NTC 热敏电阻，以补偿电感 DCR 的正温度系数。

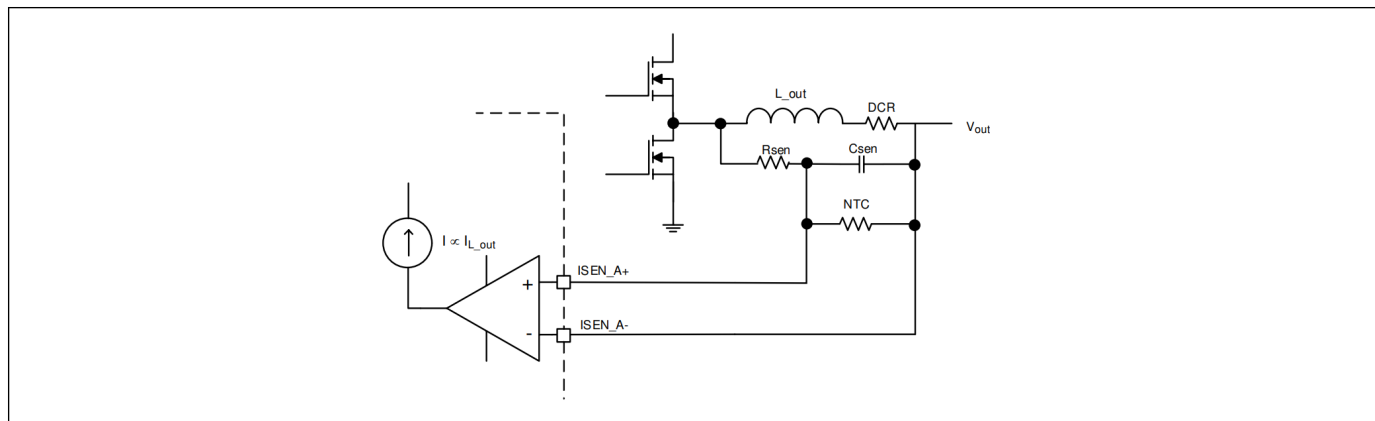


图 15 DCR 电流采样

C_{sen} 的推荐值为 220nF NPO 型电容。

$$R_{sen} = (L_{out}) / (DCR * C_{sen})$$

例如，如果 L_{out} 是一个 1uH、2mΩ 的电感，那么 R_{sen} 将设为 5kΩ ($C_{sen} = 0.1\mu F$)

这些元器件必须靠近 IRPS5401 引脚放置。

对于 $R_{ds(on)}$ 电流采样，来自功率级 IOOUT 引脚的信号以 5mV/A 的增益报告 IOOUT。该信号应使用 5:1 分压器进行衰减，以便 ISENSE 放大器的输入为 1mV/A。出于抗噪原因，通过将 ISEN_A 引脚连接到基准电压，差分 ISENSE 信号被偏移到高于 GND 的位置。这通常是由内部 1.8V LDO 提供的 1.8V 基准电压

描述

表 13

OCP Response Mode
Immediate shutdown and then latch off
Immediate shutdown and retry 6 times before latching off, 22ms period
Immediate shutdown and retry indefinitely, 22ms period

用户可以通过循环 En_x、VCC、VINx 或 PMBus OPERATION 命令（正确设置 ON_OFF_CONFIG）来退出锁定的过流故障。

此外，在内部和外部功率级模式下，如果输出电流的数字读数超过 IOUT_OC_WARN_LIMIT，就会发出过流警告。

9.15 输入电压检测、遥测和故障

对于切换器，输入电压通过 14:1 分压器馈送至监控器 ADC。使用 READ_VIN 命令通过 PMBus 报告数字化电压。它还可通过以下 PMBus 命令实现输入欠压锁定阈值、输入电压警告阈值和输入电压过压阈值。

表 14

Function	PMBus Command	Default
UVLO	VIN_ON	F001h
UVLO	VIN_OFF	F000h
Under voltage warning	VIN_UV_WARN_LIMIT	E000h
Overvoltage fault	VIN_OV_FAULT_LIMIT	E200h

此外，通过 PMBus 命令 VIN_OV_FAULT_RESPONSE，用户可以选择两种响应类型。

表 15

VIN OV Response Mode
Ignore
Immediate shutdown and then latch off

用户可通过循环 En_x、VCC 或 PMBus 操作命令来退出锁存的 VIN 过压故障。

描述

9.16 芯片温度检测、遥测和故障

IRPS5401 采用片上温度检测技术，可进行精确的温度报告和过温检测。此外，为了考虑整个芯片的温度梯度，温度检测实际上是由芯片上不同位置的两个独立检测电路完成的。因此，切换器 A 和切换器 B 共用一个温度传感器，而切换器 C 和切换器 D 以及 LDO 共用另一个温度传感器。因此，READ_TEMPERATURE PMBus 命令在切换器 A 和切换器 B 上报告的温度相同。切换器 C 和 D 以及 LDO 上报相同的温度。报告分辨率为 0.250°C。

PMBus 命令 OT_FAULT_LIMIT 和 OT_WARN_LIMIT 允许用户分别设置过温故障和警告阈值。

此外，通过 PMBus 命令 OT_FAULT_RESPONSE，用户还可以在三种过温故障（即温度的数字读数超过 OT_FAULT_LIMIT）响应类型中进行选择。

表 16

OT Response Mode
Ignore
Immediate shutdown and then latch off
Auto restart if fault condition disappears

用户可以通过循环 En_x、VCC 或 PMBus 操作命令来退出锁定的过温故障。

9.17 电源排序和全局故障

通过以下 PMBus 命令，IRPS5401 可灵活安排五个输出的启动和关闭顺序：

表 17

Output	Sequencing Function	PMBus command	Default
Switchers A,B,C and D	Startup	TON_DELAY	F800h
		TON_RISE	F004h
	Shutdown	TOFF_DELAY	F800h
		TOFF_FALL	F004h
LDO	Startup	TON_DELAY	F800h

下图显示了四个输出启动和关闭的过程，每个输出都比前一个输出延迟 0.5 毫秒。

描述

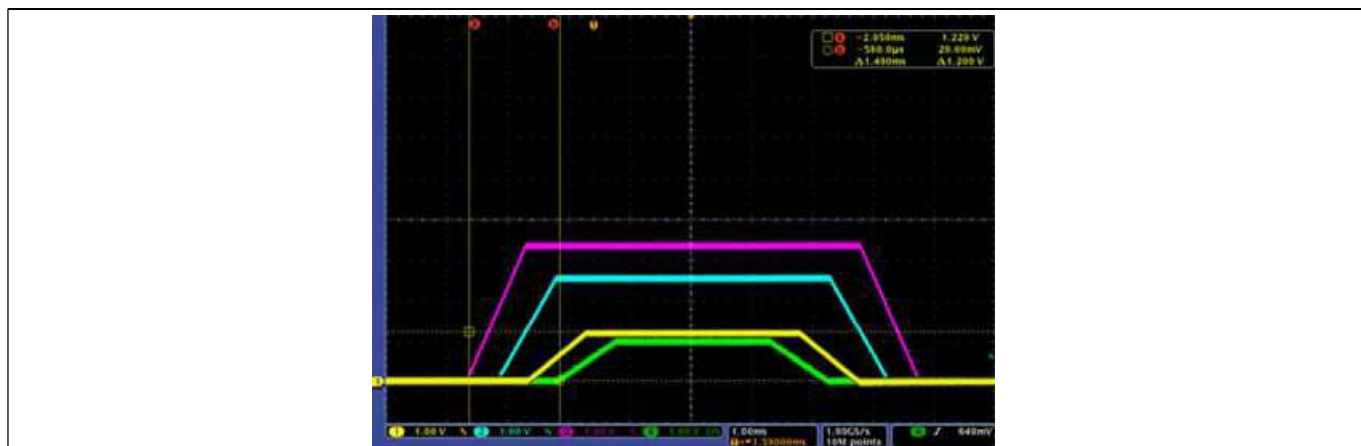


图 17 VO 排序

IRPS5401 的全局故障功能为不同输出的排序提供了额外的灵活性。这是一项非常有用的功能，可在出现故障而关闭任何一条轨道时强制关闭所有 5 条轨道。可通过设置 MTP 寄存器的 `global_fault_en` 位来启用该功能。下图显示了当 `global_fault_en=1` 启用全局故障关断和 `global_fault_en=0` 禁用全局故障关断时，切换器 A 因输出过压故障而关断时所有 IRPS5401 输出的响应。

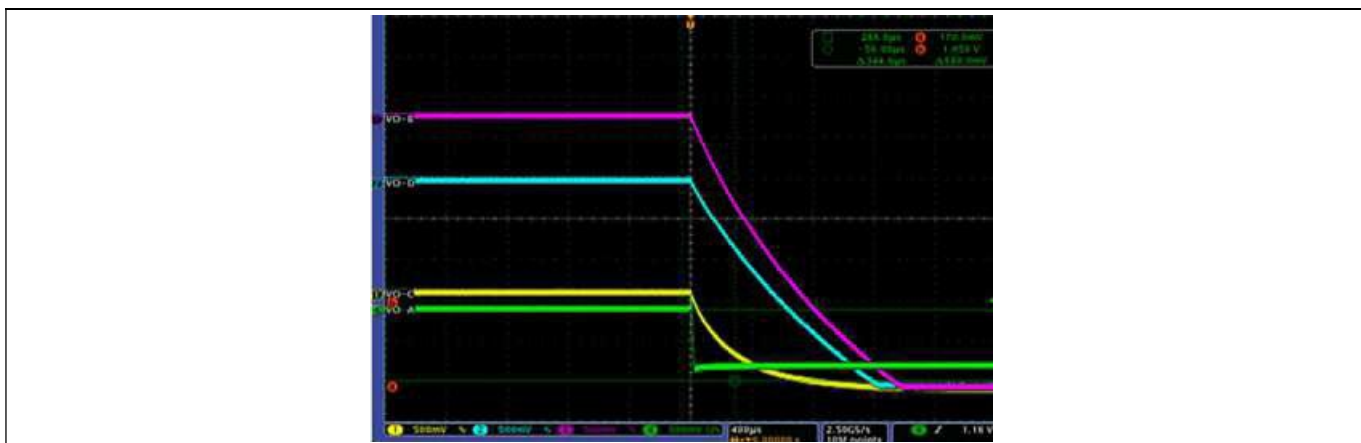


图 18 Global fault en=1



图 19 Global_fault_en=0

描述

9.18 睡眠

IRPS5401 有一个输入引脚 SLEEP#，如果 MTP 寄存器 `por_sleep_mode_en` 置位，则可将该引脚拉低，作为所有轨道的主控禁用引脚。事实上，将该引脚拉低将使器件进入超低功耗状态，静态电流为 <10 μ A。这将导致 1.8V 电压变低，禁用所有通信并强制上电复位，从而丢失所有易失性寄存器的内容，并将其恢复为复位值。如果再次将该引脚拉高，器件必须再次经历一个 POR 循环，这需要加载一个完整的 MTP。

9.19 切换器 C 和 D 的组合操作

切换器 C 和 D 可以合并为单个输出，并联运行，以支持高达 8A 的负载电流。为此，必须将 MTP 寄存器 (`combine_outputs_c_d`) 设为 1。在这种模式下，切换器 C 和 D SW 引脚的输出相位相差 180°。切换器 C 接管误差电压检测和控制环路，内部 PWM_C 信号用于 C 和 D 两个环路的内部功率级。以下表格汇总了切换器 C 和 D 合并后的汇报，报错和警告阈值调整。任何发给切换器 D 的 PMBus 指令都会被 NACK

表 18

PMBus Command to Switcher C	Response
READ_IOUT	Will report the total Switcher C+D output current
READ_VIN	Will report the Switcher C input voltage (VIN_D and VIN_C must be connected to the same input)
READ_IIN	Will report the total input current for Switcher C+D
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	Will set the Switcher C and D FAULT value to ½ this value
IOUT_OC_WARN_LIMIT	Will set the Switcher C and D WARN value to ½ this value
VIN_ON	Will be applied to Switcher C
VIN_OFF	(VIN_D and VIN_C must be connected to the same input)
IOUT_CAL_OFFSET	Will be applied to the total Switcher C+D output current

9.20 线性调节器

除了四个切换器之外，IRPS5401 还有一个线性调节器 (LDO)。该调节器可接受 1.2V 至 5.5V 的宽输入电压范围，并提供 0.5V 至 3.3V 的输出电压，可提供高达 0.5A 的连续电流和 0.6V 的低压差。此外，线性调节器还可通过 MTP 寄存器 `ldoo_track_config` 进行配置。要在 source-only 模式下运行，将 `ldo_track_config` 设置为 0。要在跟踪模式下运行，将 `ldo_track_config` 设置为 1。跟踪运行模式使其非常适合用于存储器终止跟踪应用 (Vtt)。LDO 还支持制造商专用的 PMBus 命令 MFR_LDO_MARGIN，允许输出电压 $\pm 15\%$ 。

LDO 的基准电压标称为 0.5V，因此需要一个从 `Vo_LDO` 到 `FB_L` 的电阻分压器，以产生高于 0.5V 的输出电压。在跟踪模式下，基准是 `Vin_LDO` 的内部 2:1 分压器。需要注意的是，对于 LDO，`VOUT_OV_FAULT_LIMIT`、`VOUT_UV_FAULT_LIMIT`、`OUT_OV_WARN_LIMIT` 和 `VOUT_UV_WARN_LIMIT` PMBus 命令是只读的，它们报告的是内部根据 $1/2V_{in_LDO}$ （跟踪模式）或 MTP 寄存器 `ldo_target_vout` [7:0] 的内容（非跟踪模式）计算出的相应阈值。

描述

9.21 LDO 监测和故障

与开关回路不同，除过流故障外，所有 LDO 故障的故障检测都依赖于数字监控和数字比较。

9.22 输出电压报告、输出过压保护和欠压保护

输出电压通过内部 3.2:1 分压器馈送至 10 位监控 ADC。然后使用 READ_VOUT 命令在 PMBus 上报告数字化电压值。正是这个 MTP 寄存器用来 "告诉" 器件基于 0.5V 基准电压和反馈分压器的目标输出电压是多少。该寄存器的分辨率为 1/64V。

各种输出电压故障和警告阈值如下表所示：

表 19

	Non-Tracking	Tracking
OV Fault limit	125% target voltage	125% (Vin_LDO/2)
UV Fault limit	75% target voltage	75% (Vin_LDO/2)
OV Warn limit	112.5% target voltage	112.5% (Vin_LDO/2)
UV Warn limit	87.5% target voltage	87.5% (Vin_LDO/2)

对过压和欠压故障的响应可编程为忽略或关闭，与切换器类似。

9.23 输入电压报告、输入 UVLO 和输入过压保护

输入电压通过内部 6.4:1 分压器馈送至 10 位监控 ADC。然后使用 READ_VIN 命令在 PMBus 上报告数字化电压值。它还可通过以下 PMBus 命令实现输入欠压锁定阈值、输入欠压警告阈值和输入过压阈值

表 20

Function	PMBus Command	Default
UVLO	VIN_ON	D808h
	VIN_OFF	D800h
Under voltage Warning	VIN_UV_WARN_LIMIT	C800h
Overvoltage fault	VIN_OV_FAULT_LIMIT	CAC0h

此外，通过 PMBus 命令 VIN_OV_FAULT_RESPONSE，用户可以选择忽略 VIN 过压故障，或在发生故障时关断。

用户可通过循环启用、VCC 或 PMBus 操作命令来退出锁存的 VIN 过压故障。

9.24 过流保护

对于 LDO，PMBus 命令 IOUT_OC_FAULT_LIMIT 以只读方式执行，读数为 0.72A。因此，LDO 的固定过流限值为 0.72A。内部模拟控制环路将电流限制在这一阈值内，从而导致输出电压下降。当输出电压低于 LDO 的 UV 故障限值时，器件会标记 UV 故障（而不是过流故障），但仍会根据 IOUT_OC_FAULT_RESPONSE

描述

的设置（恒流限制或关断）做出响应。

此外，如果 IOUT_OC_FAULT_RESPONSE 配置为恒定电流响应，则可配置额外的 MTP 寄存器 Ido_foldback_enable 以允许在超出 UV 故障限制时作出电流限制折返响应。具有恒定电流响应的 Ido_foldback_enable 配置将在超过 UV 故障限值后，进一步将 0.72A 的过流限值降至该值的 ~1/4 或 ~0.18A。

可使用 READ_IOUT 命令在 PMBus 上读取输出电流。

9.25 I2C 安全

IRPS5401 提供强大而灵活的安全选项，可满足客户的各种应用需求。硬件引脚和软件密码相结合，可防止意外覆盖，阻止黑客入侵，并确保自定义配置和操作数据的安全。

下列 MTP 寄存器可用于设置读写安全区。

表 21

Register	Description	Default
Write_protect_section	Choose among 3 options 1) No protection or Open zone 2) Protect only configuration registers or No Configuration zone 3) Protect all registers or Secure zone	No protection or Open zone
Read_protect_section	Choose among 4 options 1) No protection or Open zone 2) Protect only configuration registers or No Configuration zone 3) Telemetry zone 4) Protect all registers or Secure zone	No protection or Open zone

下表描述了每个安全区的访问级别。

表 22 读取安全区

Zone	Locked	Unlocked
Open	All	All
No Configuration	Debug & Telemetry	All
Telemetry	Telemetry	All
Secure	None	All

表 23 写入安全区域

Zone	Locked	Unlocked
Open	All	All
No Configuration	Debug & Telemetry	All
Secure	None	All

此外，还提供以下保护模式或方法。

描述

表 24 读或写解锁选项

Password Only
Pin Only
Pin & Password
Lock Forever

9.26 密码保护

系统设计人员可以设置任何 16 位密码（00h 除外），并将其存储在 MTP 的寄存器 `usr_password[15:0]` 中。要解锁，用户必须将正确的密码写入 "密码尝试" 寄存器 `usr_try_password[15:0]`，这是一个易失性读写寄存器。要锁定，请在 "尝试密码" 寄存器中写入错误密码。在一定次数的错误尝试后，IC 将锁定，以防止未经授权的访问。

下面的伪代码说明了如何更改密码：

```
#first unlock the IC
Write old password to R/W Try register
#now write new password into MTP
Write new password to the MTP Password register
# password change complete, status is locked
#Need to write new password to Try register to unlock
```

9.27 引脚保护

ADDR_PROT 引脚具有双重功能。启用 IC 后，电阻值将被锁存并存储，以用于 I2C 地址偏移功能。此后，该引脚完全充当 PROTECT 引脚。如果启用，必须将 PROTECT 引脚驱动为高电平才能解锁，驱动为低电平才能锁定。注意，如果使用电阻地址偏移功能，必须注意在将引脚驱动为高电平或低电平以设置安全状态之前，让 IC 读取电阻值，否则可能会锁住错误的地址偏移值。

描述

内部切换器的建议电路和运行参数

表 25

Input Voltage	Output Voltage	Switching Frequency	Min L _{out} for 1Ap-p inductor ripple ¹	Min C _{out} for $\pm 3\%$ AC regulation ²	Kp ³	Ki ³
V	V	kHz	uH	uF	Decimal	Decimal
12	0.5 to 1	800	1.1	7 x 22uF	35	42
	1 to 1.5		1.6	6 x 22uF	36	43
	1.5 to 2		2	5 x 22uF	38	43
	2 to 2.5		2.5	4 x 22uF	40	44
	2.5 to 3.3		3	4 x 22uF	42	46
	3.3 to 5		3.6	3 x 22uF	42	50
9	0.5 to 1		1.1	7 x 22uF	36	43
	1 to 1.5		1.5	6 x 22uF	37	43
	1.5 to 2		2	5 x 22uF	38	43
	2 to 2.5		2.2	4 x 22uF	40	44
	2.5 to 3.3		2.7	4 x 22uF	42	46
	3.3 to 5		2.7	3 x 22uF	42	50
5	0.5 to 1		1	7 x 22uF	38	44
	1 to 1.5		1.3	6 x 22uF	38	45
	1.5 to 2		1.5	5 x 22uF	40	48
	2 to 2.5		1.5	4 x 22uF	41	50
	2.5 to 3.3		1.5	4 x 22uF	42	53

注释:

- 1Ap-p = 4A 轨上 25% 的 I_{MAX}, 2A 轨上 50% 的 I_{MAX}
- 负载阶跃为 1A, 压摆率为 5A/us
- F_{co} ~ 50kHz MIN, PWM 抖动 ~ 20% 脉冲宽度 MAX

10 布局指南

1. IRPS5401 可从四个独立输出端提供相对较大的输出电流。部件的散热能力是一个问题，因此应在顶层的 GND、VIN 和 SW 上尽可能多地使用铜，以最大限度地散热。
2. 将输出电感尽可能靠近 SW 节点，以尽量减少 SW 节点铜区的长度。这将有助于最大限度地减少寄生电容和辐射发射
3. 如图所示，PGND 散热垫（引脚 57）必须连接到带有 VIAS 的专用 GND 平面。其他内部 GND 层也应连接至 VIAS
4. 尽可能扩大 VIN、SW、VOUT 和 GND 的 PCB 布局
5. 使用最小 1 μ F X7R 型 MLCC 对 VIN 进行去耦，尽可能靠近 VIN 引脚
6. 使用 1 μ F X7R MLCC 将 VCC 与 AGND 引脚去耦
7. 用 2 Ω 电阻将 VCC 与 VDRV 连接，并用 1 μ F X7R MLCC 将 VDRV 与 PGND 去耦
8. 将 MTP 和 ADDR_PROT 电阻连接至 AGND
9. 使用 10nF X7R MLCC 将 MTP 和 ADDR_PROT 引脚与 AGND 去耦
10. AGND 与 PGND 之间必须有单点接触
11. 让敏感网络远离 SW 节点
12. 在第 2 层，即顶层元器件的正下方放置一个 GND 平面
13. 切勿将开关电流（包括脉冲输入电流）引入器件下方
14. 开关电流回路尽可能小
15. 如果使用比例电阻分压器，则较低的电阻必须与 PGND 连接。
16. 如果使用 2:1 比例电阻分压器，建议值为 249 Ω , 1%

布局指南

10.1 布局示例

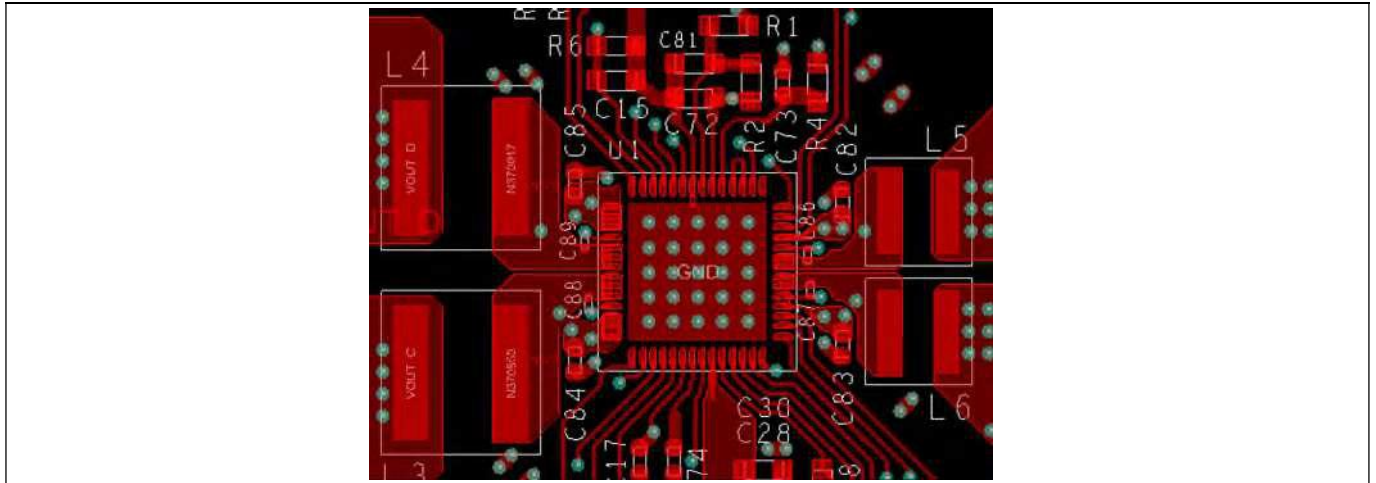


图 20 第 1 层-顶侧元器件加电源平面

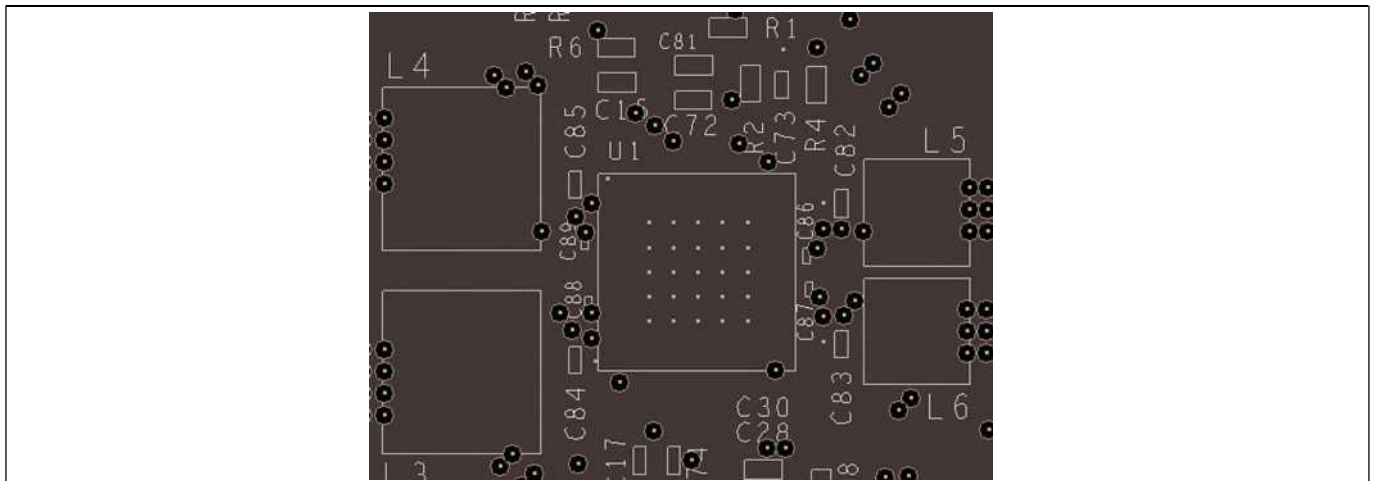


图 21 第 2 层 - 地平线

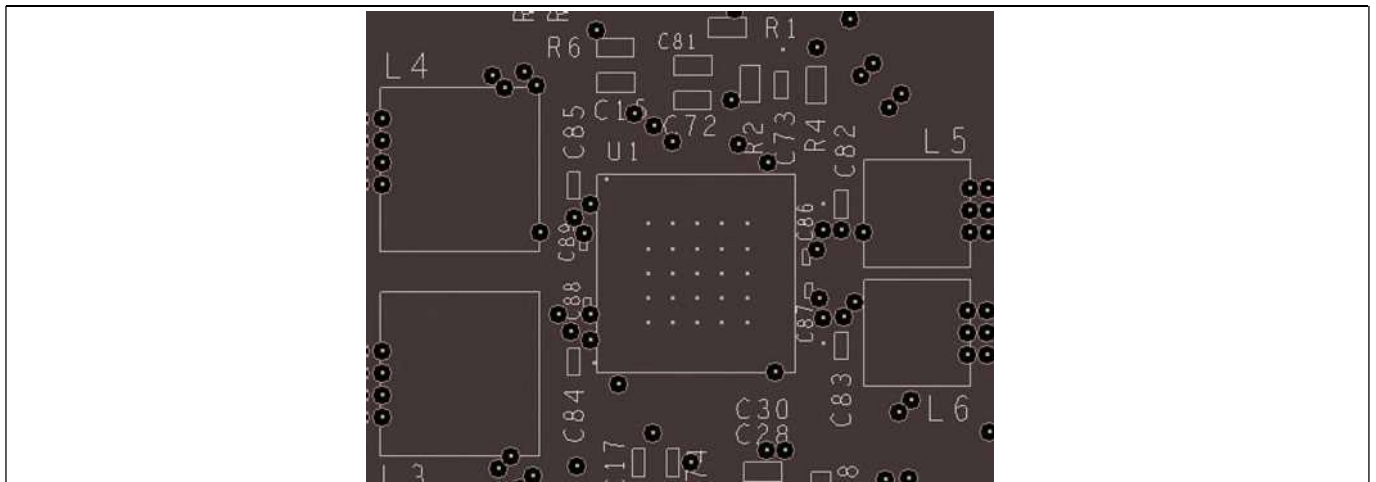


图 22 第 3 层 - 信号层

布局指南

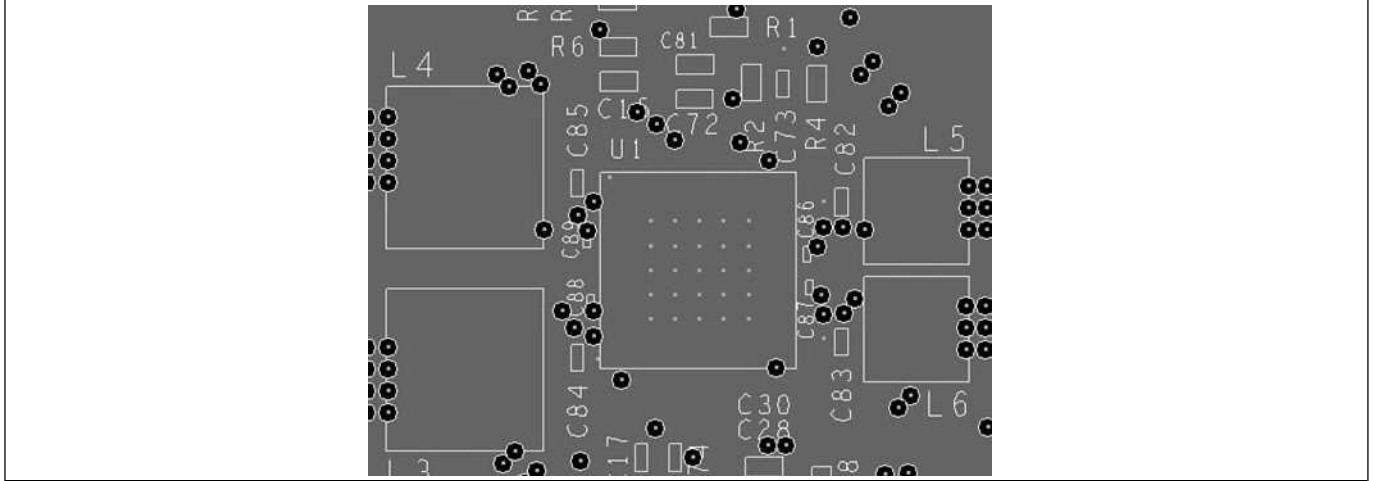


图 23 第 4 层 - 地平线

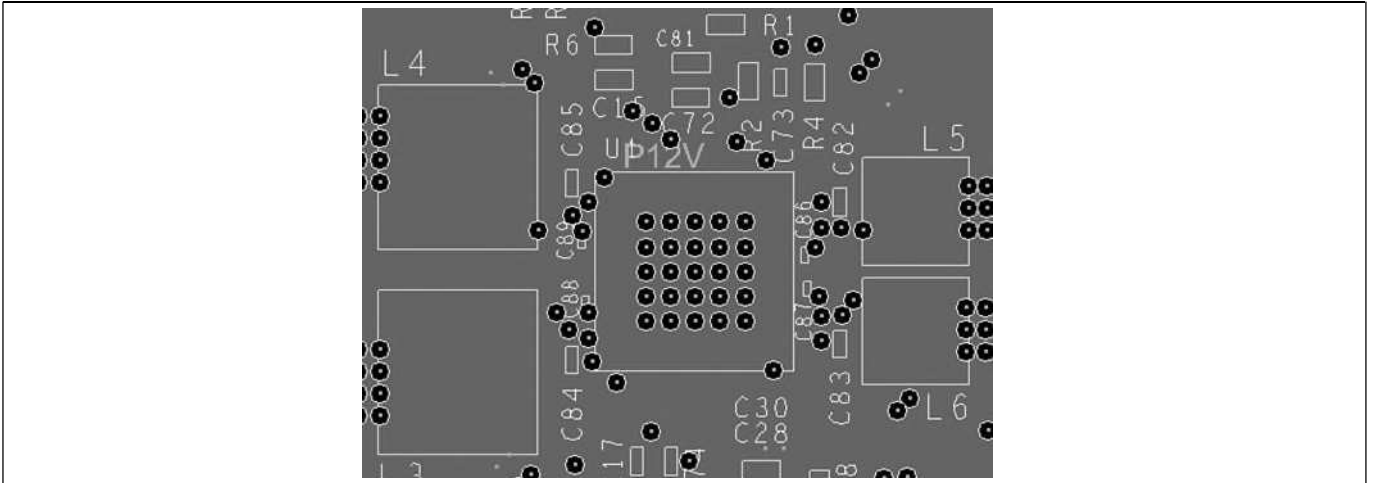


图 24 第 5 层 - 电源平面

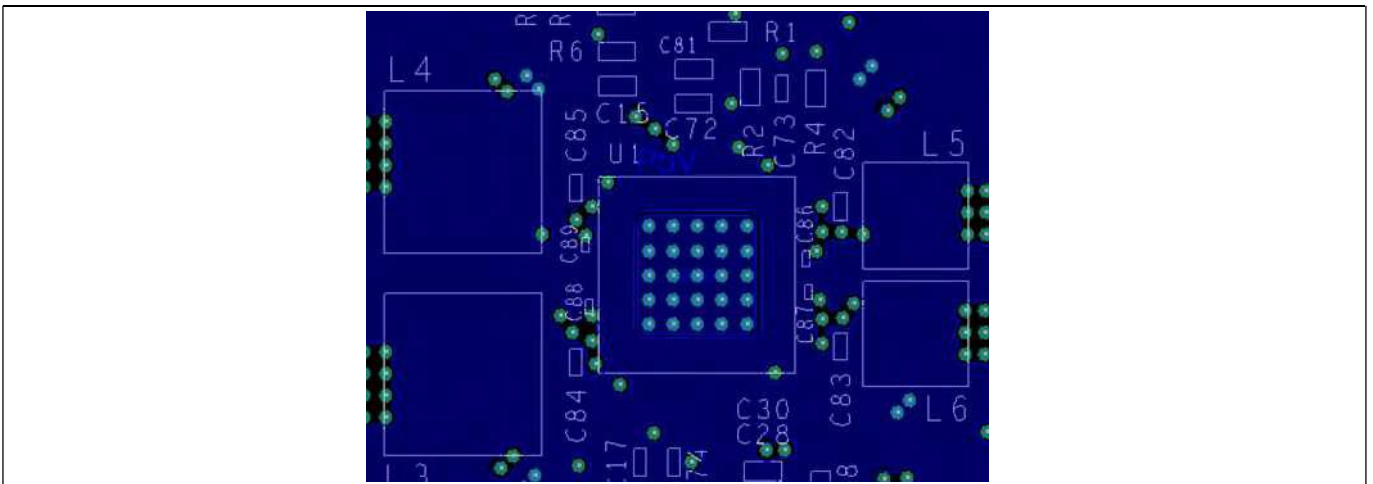


图 25 第 6 层 - 电源平面

布局指南

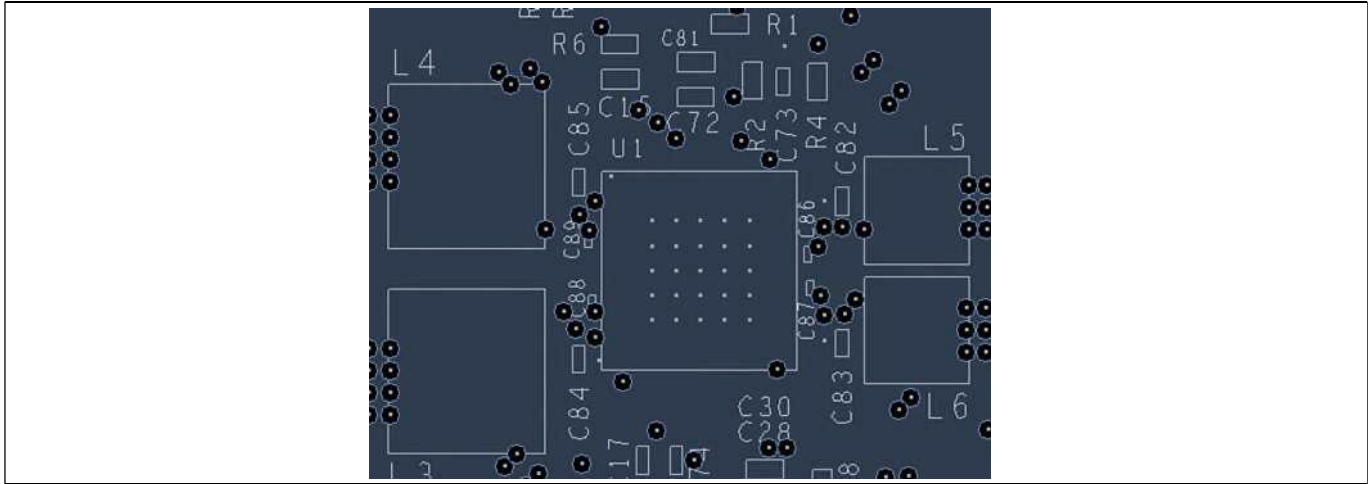


图 26 第 7 层 - 地平面

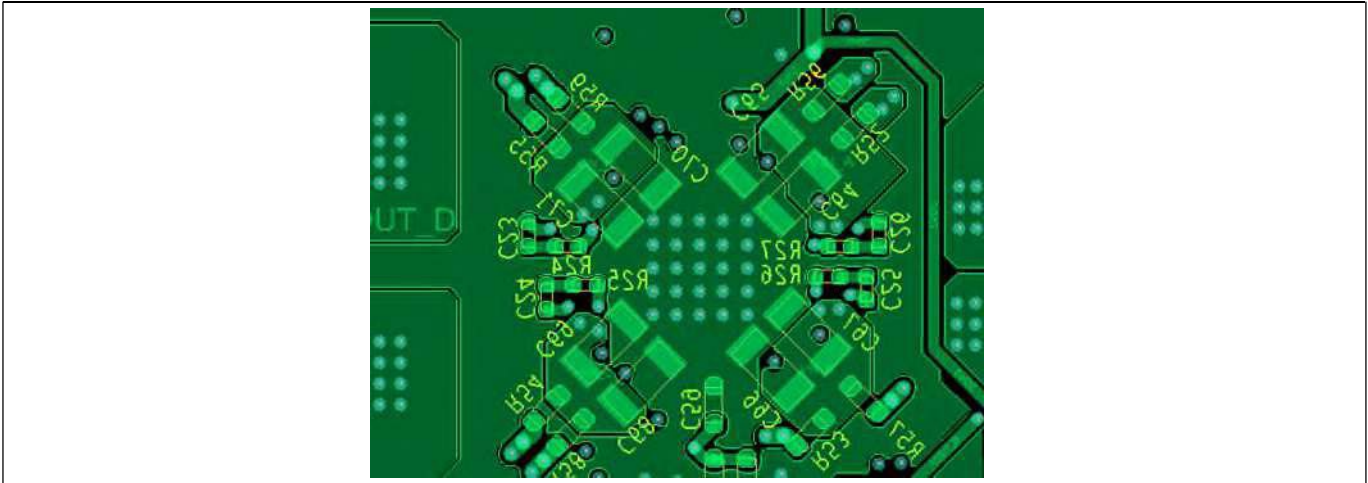


图 27 第 8 层 - 底侧元器件加电源和地平面

11 典型性能

VIN=12V, VOUT=2.5V, IOUT=4A, TAMB=25°C

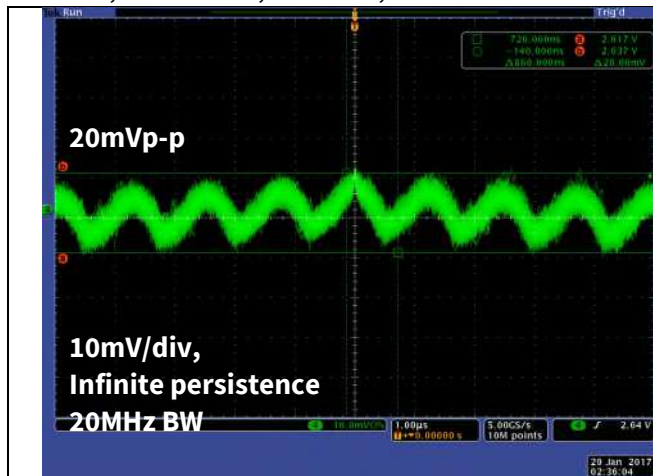


Figure 28 Output ripple

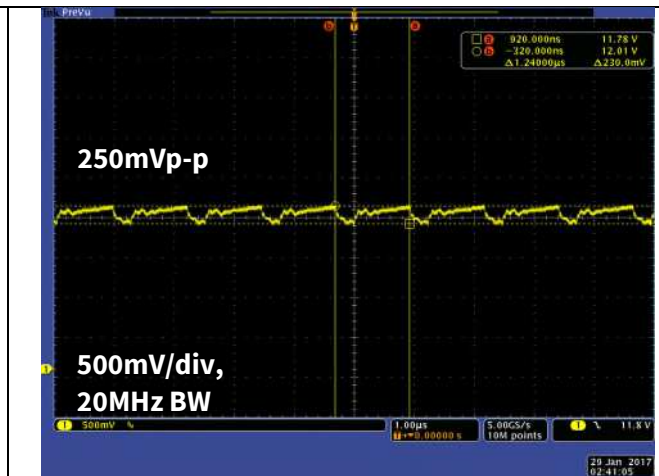


Figure 29 Input ripple

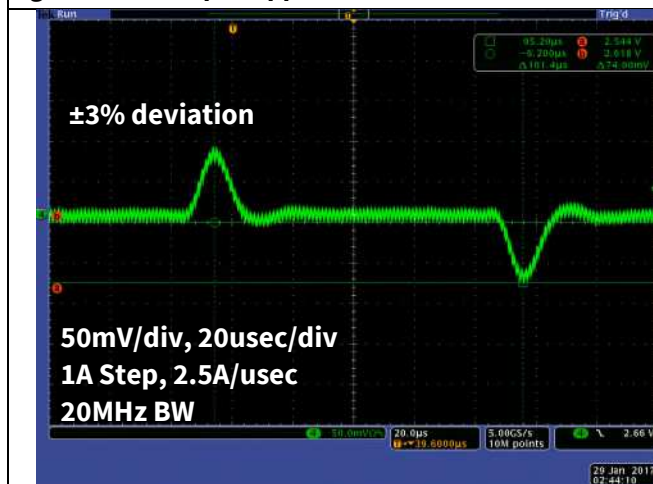


Figure 30 Transient response

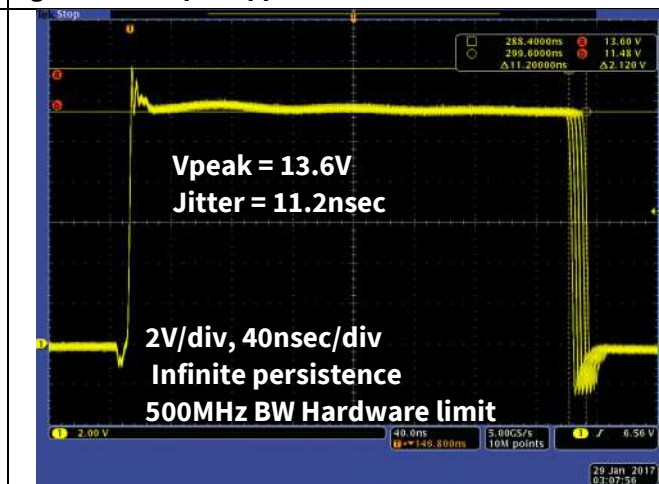


Figure 31 Switch node peak and jitter



Figure 32 Enable start

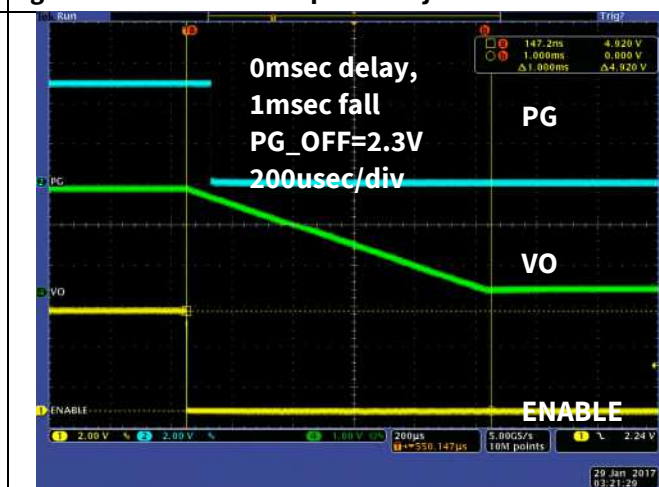


Figure 33 Enable shut down

典型性能

11.1 最大输出功率下的典型热性能

VIN=12V, VOUT A、B、C、D=5V, IOUT A、B、C、D=2A、2A、4A 和 4A, POUT=60W, TAMB=25°C

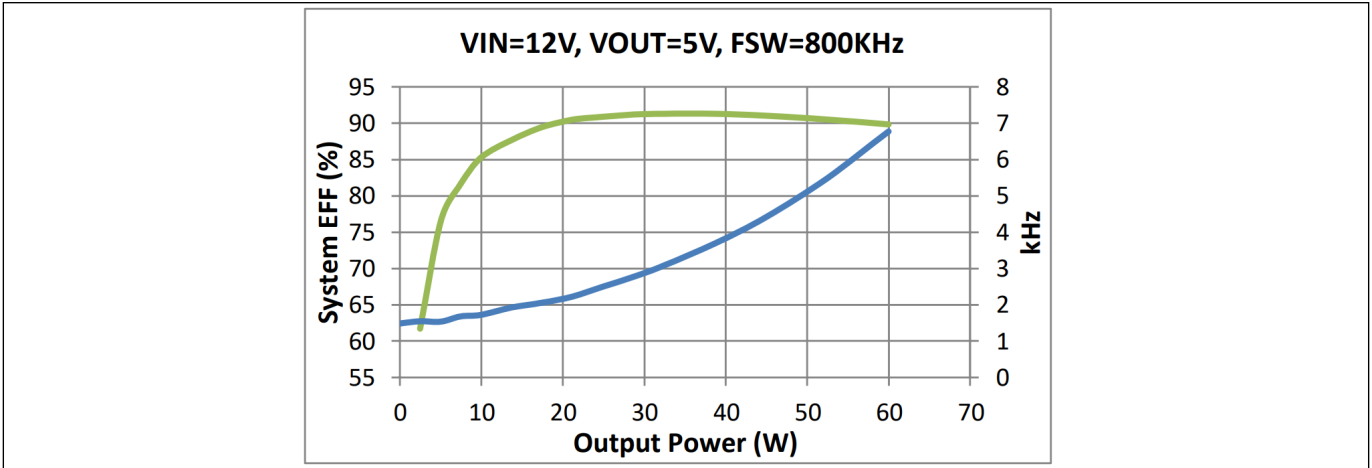


图 34 0W 至 60W 输出时的系统总效率和功率耗散

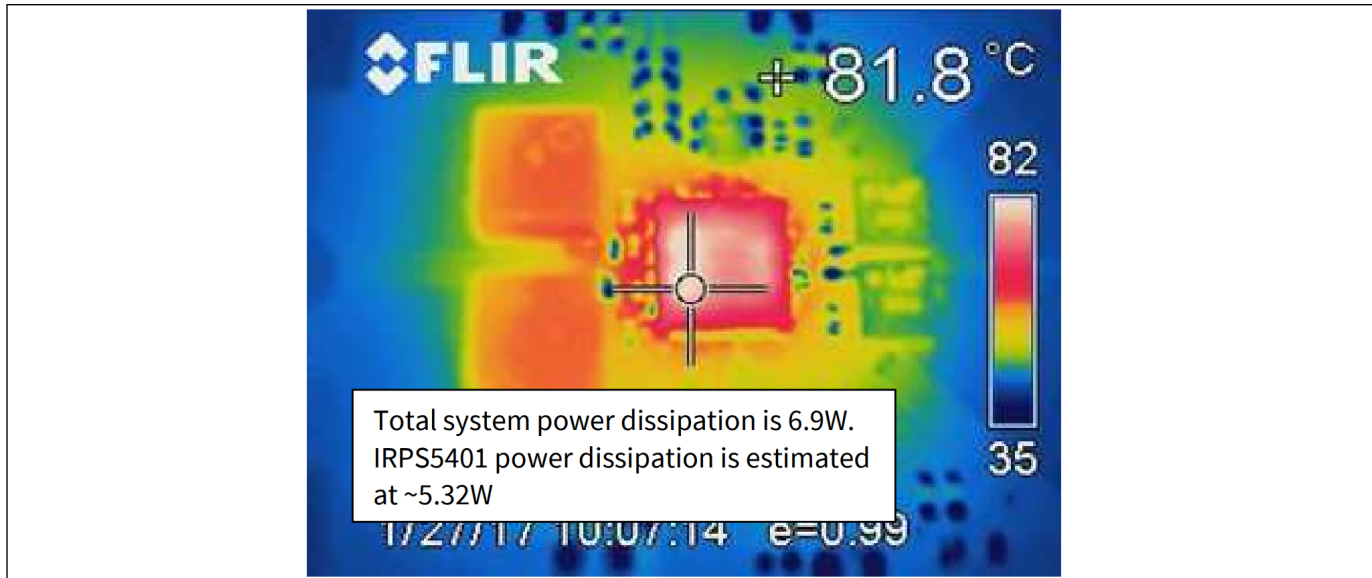


图 35 室温下的温升，自然对流冷却，60 W 输出

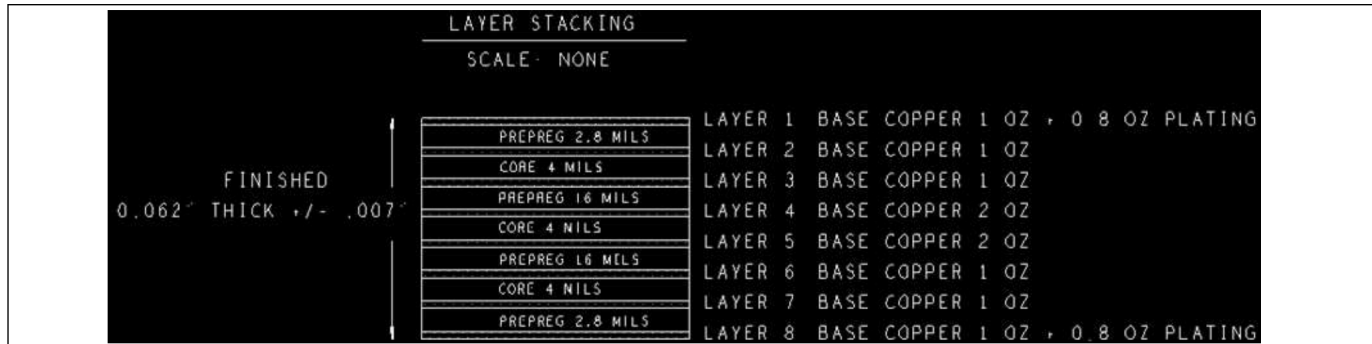


图 36 PCB 结构细节（8 层，总铜厚 11.6 盎司）

PMBUS 命令

12 PMBUS 命令

表 26 PMBus 命令 (详见 UN0049)

COMMAND	PMBUS PROTOCOL	COMMAND CODE	DESCRIPTION	Default
PAGE	Read/Write Byte	00h	Allows access to each output via paging.	N/A
OPERATION	Read/Write Byte	01h	Enables or disables the output and controls margin.	00h
ON_OFF_CONFIG	Read/Write Byte	02h	Configures the combination of Enable pin and OPERATION command needed to turn the unit on and off.	17h
CLEAR FAULTS	Send Byte	03h	Clear contents of Fault registers	N/A
PAGE_PLUS_READ	Block Read	06h		N/A
WRITE_PROTECT	Read/Write Byte	10h	Provides protection from accidental changes	00h
RESTORE_DEFAULT_ALL	Send Byte	12h	Reloads the OTP	N/A
STORE_USER_ALL	Send Byte	15h	Stores the user OTP section	N/A
RESTORE_USER_ALL	Send Byte	16h	Reloads the user OTP section	N/A
CAPABILITY	Read Byte	19h	Returns 1010xxxx to indicate Packet Error Checking is supported and Maximum bus speed is 400kHz	N/A
SMBALERT_MASK	Block Write/ Block Read Process Call	1Bh	Set to prevent warning or fault conditions from asserting the SMBALERT# signal. Write command code for STATUS register to be masked in the low byte, the bit to be masked in the High byte.	N/A
VOUT_MODE	Read/Write Byte	20h	Sets the format for VOUT related commands. Linear mode, -8, -9, and -12 exponents supported. No LDO support	18h
VOUT_COMMAND	Read/Write Word	21h	Sets the voltage to which the device should set the output. Format according to VOUT_MODE. No LDO support	0000h
VOUT_TRIM	Read/Write Word	22h	Applies a fixed offset to the output voltage command value. Format according to VOUT_MODE. No LDO support	0000h
VOUT_MAX	Read/Write Word	24h	Sets an upper limit on the output voltage the unit can command. Format according to VOUT_MODE. No LDO support	0800h
VOUT_MARGIN_HIGH	Read/Write Word	25h	Sets the margin high voltage when commanded by OPERATION. Must be in format determined by VOUT_MODE. No LDO support	0000h
VOUT_MARGIN_LOW	Read/Write Word	26h	Sets the margin low voltage when commanded by OPERATION. Must be in format determined by VOUT_MODE. No LDO support	0000h
VOUT_TRANSITION_RATE	Read/Write Word	27h	Sets the rate at which the output changes voltage due to VOUT_COMMAND or	E808h

PMBUS 命令

COMMAND	PMBUS PROTOCOL	COMMAND CODE	DESCRIPTION	Default
			OPERATION commands. mV/μs; Exp = -3. No LDO support	
VOUT_SCALE_LOOP	Read/Write Word	29h	Supports scale factor 1 and 0.5. No LDO support	E808h
FREQUENCY_SWITCH	Read/Write Word	33h	Sets the switching frequency in kHz. Exp = 0, 1. No LDO support	0320h
VIN_ON	Read/Write Word	35h	Sets the value of the input voltage at which the unit should begin power conversion. Exp = -2 for Switchers, -5 for LDO.	SW;F001h LDO;D808h
VIN_OFF	Read/Write Word	36h	Sets the value of the input voltage that the unit, once operation has started, should stop power conversion. Exp = -2 for Switchers, -5 for LDO	SW;F000h LDO;D800h
IOUT_CAL_OFFSET	Read/Write Word	39h	Used to null out any offsets in the output current sensing circuitry. Exp = -10 for LDO, -6 for Internal, -3 for External	SW:D000h LDO:B000h
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	Read/Write Word	40h	Sets fault limit relative to VOUT... LDO=read only	8000h
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	Read/Write Byte	41h	Instructs the device on what action to take in response to an output over voltage fault. Only shutdown and ignore are supported.	00h
VOUT_OV_WARN_LIMIT	Read/Write Word	42h	Sets the value of the output voltage, measured at the sense or output pins, that causes an output overvoltage warning. Format as determined by VOUT_MODE... LDO=read only	8000h
VOUT_UV_WARN_LIMIT	Read/Write Word	43h	Sets the value of the output voltage, measured at the sense or output pins, that causes an output voltage low warning. Format as determined by VOUT_MODE... LDO=read only	0000h
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	Read/Write Word	44h	Sets fault limit relative to VOUT... LDO=read only	0000h
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	Read/Write Byte	45h	Instructs the device on what action to take in response to an output under voltage fault. Only shutdown and ignore are supported.	00h
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	Read/Write Word	46h	Sets the value of the output current, in amperes, that causes the overcurrent detector to indicate an overcurrent fault condition. Set by writing this command in Linear format. Exp = -5 for internal and -2 for external ... LDO=read only	SW:D900h LDO:C0B8h
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	Read/Write Byte	47h	Instructs the device on what action to take in response to an output overcurrent fault. Only C0h (latch off), F8h (hiccup forever), and F0h (hiccup 6 times then latch off) are supported...LDO supports C0h (latch off) and 00h (current limiting)	SW:F8h LDO:C0h

PMBUS 命令

COMMAND	PMBUS PROTOCOL	COMMAND CODE	DESCRIPTION	Default
IOUT_OC_WARN_LIMIT	Read/Write Word	4Ah	Sets the value of the output current that causes an output over current warning. Set by writing this command in Linear format. Exp = -10 for LDO, -5 for internal and -2 for external.	SW:D900h LDO:C0B8h
OT_FAULT_LIMIT	Read/Write Word	4Fh	Sets the temperature in °C that would should indicate an over temperature fault. Linear format, Exp = 0.	0080h
OT_FAULT_RESPONSE	Read/Write Byte	50h	Instructs the device on what action to take in response to an over temperature fault. Only 80h (shutdown), 00h (ignore), and C0h (inhibit then restart) are supported.	00h
OT_WARN_LIMIT	Read/Write Word	51h	Sets the temperature in °C that would indicate an over temperature warning alarm. Linear format, Exp = 0.	0080h
VIN_OV_FAULT_LIMIT	Read/Write Word	55h	Sets the value of the input voltage that causes an input overvoltage fault. Exp = -4 for switchers, -7 for LDO	SW:E200h LDO:CAC0h
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	Read/Write Byte	56h	Instructs the device on what action to take in response to an input overvoltage fault. Only 80h (shutdown) and 00h (ignore) are supported.	00h
VIN_UV_WARN_LIMIT	Read/Write Word	58h	Sets the value of the input voltage that causes an input voltage low warning. Exp = -4 for switchers, -7 for LDO	SW:E000h LDO:C800h
POWER_GOOD_ON	Read/Write Word	5Eh	Sets the output voltage at which the POWER_GOOD signal will be asserted. Format according to VOUT_MODE.	0000h
POWER_GOOD_OFF	Read/Write Word	5Fh	Sets the output voltage at which the POWER_GOOD signal will be de-asserted. Format according to VOUT_MODE.	0000h
TON_DELAY	Read/Write Word	60h	Sets the time, in milliseconds, from when a start condition is received until the output voltage starts to rise. Exp = -1.	F800h
TON_RISE	Read/Write Word	61h	Sets the time, in milliseconds, from when the output starts to rise until the voltage has entered the regulation band. Exp = -2. No LDO support	F004h
TON_MAX_FAULT_LIMIT	Read/Write Word	62h	Sets an upper limit, in milliseconds, on how long the unit can attempt to power up the output without reaching the output under voltage fault limit. Exp = -2.	F004h
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	Read/Write Byte	63h	Instructs the device on what action to take in response to a TON_MAX fault. Only 80h (shutdown) and 00h (ignore) are supported.	00h
TOFF_DELAY	Read/Write Word	64h	Sets the time, in milliseconds, from when a stop condition is received until the unit starts ramping down to 0V. Exp = -1. No	F800h

PMBUS 命令

COMMAND	PMBUS PROTOCOL	COMMAND CODE	DESCRIPTION	Default
			LDO support	
TOFF_FALL	Read/Write Word	65h	Sets the time, in milliseconds, for the output to ramp to 0V. Exp = -2. No LDO support	F004h
STATUS_BYTE	Read/Write Byte	78h	Returns 1 byte where the bit meanings are: Bit <7> Reserved Bit <6> Output off (due to fault or enable) Bit <5> Output over-voltage fault Bit <4> Output over-current fault Bit <3> Input Under-voltage fault Bit <2> Temperature fault Bit <1> Communication/Memory/Logic fault Bit <0>: None of the above	N/A
STATUS_WORD	Read/Write Word	79h	Returns 2 bytes where the Low byte is the same as the STATUS_BYTE data. The High byte has bit meanings are: Bit <7> Output high or low fault Bit <6> Output over-current fault Bit <5> Input under-voltage fault Bit <4> MFR_SPECIFIC Bit <3> POWER_GOOD# Bit <2:0> Reserved	N/A
STATUS_VOUT	Read/Write Byte	7Ah	Bit <7> Output Over voltage Fault Bit <6> Output Over voltage Warning Bit <5> Output Under voltage Warning Bit <4> Output Under voltage Fault Bit <3> VOUT_MAX Warning Bit <2> TON_MAX_FAULT Bit <1> Reserved Bit <0> Reserved	N/A
STATUS_IOUT	Read/Write Byte	7Bh	Bit <7> Output Over current Fault Bit <6> Reserved Bit <5> Output Over current Warning Bit <4:0> Reserved	N/A
STATUS_INPUT	Read/Write Byte	7Ch	Bit <7> Input Overvoltage Fault Bit <6> Reserved Bit <5> Input Under voltage Warning Bit <4> Reserved Bit <3> Unit Off For Insufficient Input Voltage Bit <2:0> Reserved	N/A
STATUS_TEMPERATURE	Read/Write Byte	7Dh	Bit <7> Over Temperature Fault Bit <6> Over Temperature Warning Bit <5:0> Reserved	N/A
STATUS_CML	Read/Write Byte	7Eh	Returns 1 byte where the bit meanings are: Bit <7> Invalid or unsupported command Bit <6> Invalid or unsupported data or send too may bytes	N/A

PMBUS 命令

COMMAND	PMBUS PROTOCOL	COMMAND CODE	DESCRIPTION	Default
			Bit <5> PEC fault Bit <4:2> Reserved Bit <1> Other communication fault not listed here Bit <0> Reserved	
READ_VIN	Read Word	88h	Returns the input voltage in Volts. Exp = -5 for Switchers and -7 for LDO	N/A
READ_IIN	Read Word	89h	Returns the input current in Amperes. Exp = -7 for Internal, and -4 for External	N/A
READ_VOUT	Read Word	8Bh	Returns the output voltage in the format set by VOUT_MODE	N/A
READ_IOUT	Read Word	8Ch	Returns the output current in Amperes. Exp = -10 for LDO, -6 for Internal, and -3 for External	N/A
READ_TEMPERATURE_1	Read Word	8Dh	Returns the addressed loop temperature in °C. Switcher A and B have a common sensor, Switcher C, D and LDO have a common sensor. Exp = -2	N/A
READ_POUT	Read Word	96h	Returns the output power in Watts. Exp = -6 for LDO, -5 for Internal, and -2 for External	N/A
READ_PIN	Read Word	97h	Returns the input power in Watts. Exp = -6 for LDO, -5 for Internal, and -2 for External	N/A
PMBUS_REVISION	Read Byte	98h	Reports PMBus Part I rev 1.1 & PMBus Part II rev 1.2	22h
MFR_ID	Block Read/Write Byte count = 3	99h	The MFR_ID is set to IR (ASCII 52 49) unless programmed different in the USER registers of the controller.	004952h
MFR_MODEL	Block Read/Write byte count = 4	9Ah		00000052h
MFR_REVISION	Block Read/Write byte count = 4	9Bh		00000002h
IC_DEVICE_ID	Block Read byte count = 1	ADh	Returns a 1 byte code with the following values: 52h = IRPS5401	N/A
IC_DEVICE_REV	Block Read byte count = 1	AEh	The IC revision that is stored inside the IC	N/A
MFR_REG_ACCESS	Custom MFR protocol	D0h	Read/Write I2C registers	N/A
MFR_I2C_ADDRESS	Read/Write Byte	D6h	Reads I2C address	N/A
MFR_TPGDLY	Read/Write Word	B8h	Sets delay from PG threshold crossed to PG assertion.	0000h

PMBUS 命令

COMMAND	PMBUS PROTOCOL	COMMAND CODE	DESCRIPTION	Default
			Exp = 0	
MFR_FCCM	Read/Write Byte	B9h	Write a 1 to force continuous current mode (CCM) and disable constant on time (COT) mode at light load. No LDO support	01h
MFR_VOUT_PEAK	Read Word	DBh	Reads maximum VOUT recorded since the last read. Reading the register automatically clears the value. Resolution set by VOUT_MODE	N/A
MFR_IOUT_PEAK	Read Word	DCh	Reads maximum IOUT recorded since the last read. Reading the register automatically clears the value. Exp = -10 for LDO, -6 for Internal, and -3 for External	N/A
MFR_TEMPERATURE_PEAK	Read Word	DDh	Reads maximum temp recorded since the last read. Reading the register automatically clears the value. Exp = 0, -2 for LDO	N/A
MFR_LDO_MARGINING	Read/Write Byte	DEh	Allows margining of the LDO output $\pm 15\%$	00h

注释:

1. 如果在 START 或 RESTART 之后、第一个 CLK 脉冲出现之前，当 CLK 处于低电平时，DIO 线路上发生了低电平到高电平再到低电平，则该事件将被 NAK'd (拒绝)
2. MFR_LDO_MARGIN 命令可读可写，但不能保存在配置文件中
3. MFR_TPGDLY 命令可读可写，但不能保存在配置文件中
4. 为避免无意中将 MFR_LDO_MARGIN 和 MFR_TPGDLY 命令设置为非 0 值，必须将 LDO VOUT_MODE 命令设置为 -8，将 LDO POWER_GOOD_ON 命令设置为 0.109V (或 0V)，将 LDO POWER_GOOD_OFF 命令设置为 0.063V (或 0V)
5. 为避免无意中屏蔽 LDO STATUS_INPUT 寄存器第 5、6 和 7 位以及 LDO STATUS_TEMPERATURE 第 7 和 6 位，必须将 LDO VIN_UV_WARN_LIMIT 命令设置为不大于 0.49V 的值

表 27 保存到 MTP 的 PMBus 命令

OPERATION	ON_OFF_CONFIG	WRITE_PROTECT	VOUT_MODE
VOUT_COMMAND	VOUT_MAX	VOUT_TRANSITION_RATE	VOUT_SCALE_LOOP
VOUT_MIN	FREQUENCY_SWITCH	POWER_MODE	VOUT_OV_FAULT_LIMIT
VIN_OFF	IOUT_CAL_GAIN	IOUT_CAL_OFFSET	VOUT_OV_FAULT_RESPONSE
VIN_ON	VOUT_OV_WARN_LIMIT	VOUT_UV_WARN_LIMIT	VOUT_UV_FAULT_LIMIT
VIN_UV_WARN_LIMIT	IOUT_OC_WARN_LIMIT	OT_FAULT_LIMIT	OT_FAULT_RESPONSE
OT_WARN_LIMIT	VIN_OV_FAULT_LIMIT	TON_DELAY	VIN_OV_FAULT_RESPONSE
IIN_OC_WARN_LIMIT	POWER_GOOD_ON	POWER_GOOD_OFF	TON_MAX_FAULT_RESPONSE
TON_RISE	TON_MAX_FAULT_LIMIT	TOFF_DELAY	IOUT_OC_FAULT_RESPONSE
TOFF_FALL	POUT_OP_WARN_LIMIT	PIN_OP_WARN_LIMIT	RESET_TRANSITION_RATE
VOUT_RESET	STATUS_INPUT (Mask)	STATUS_VOUT (Mask)	STATUS_TEMPERATURE (Mask)
	STATUS_CML (Mask)	STATUS_IOUT (Mask)	STATUS_MFR_SPECIFIC (Mask)

标记信息

13 标记信息

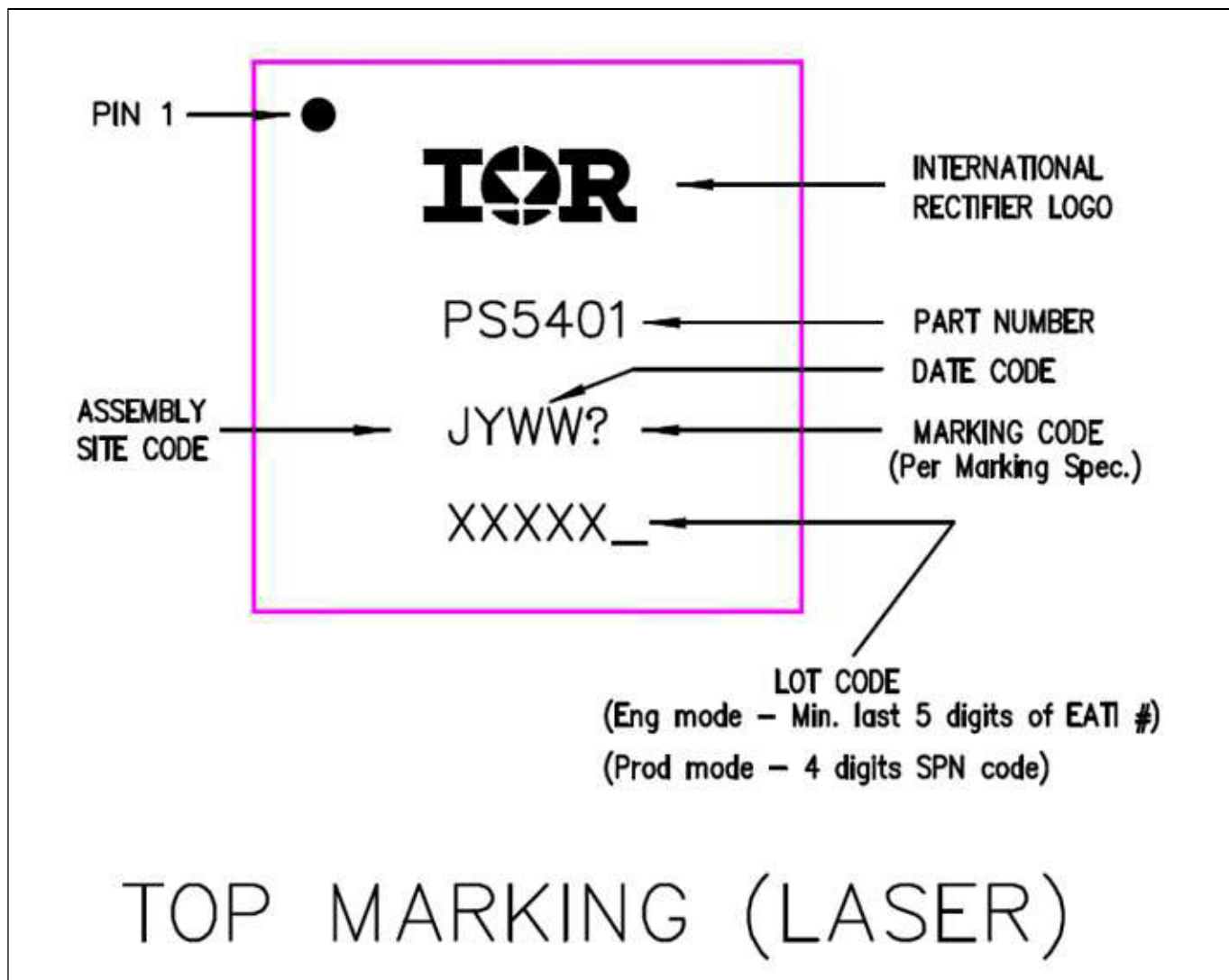


图 37 封装标记

封装信息

14 封装信息

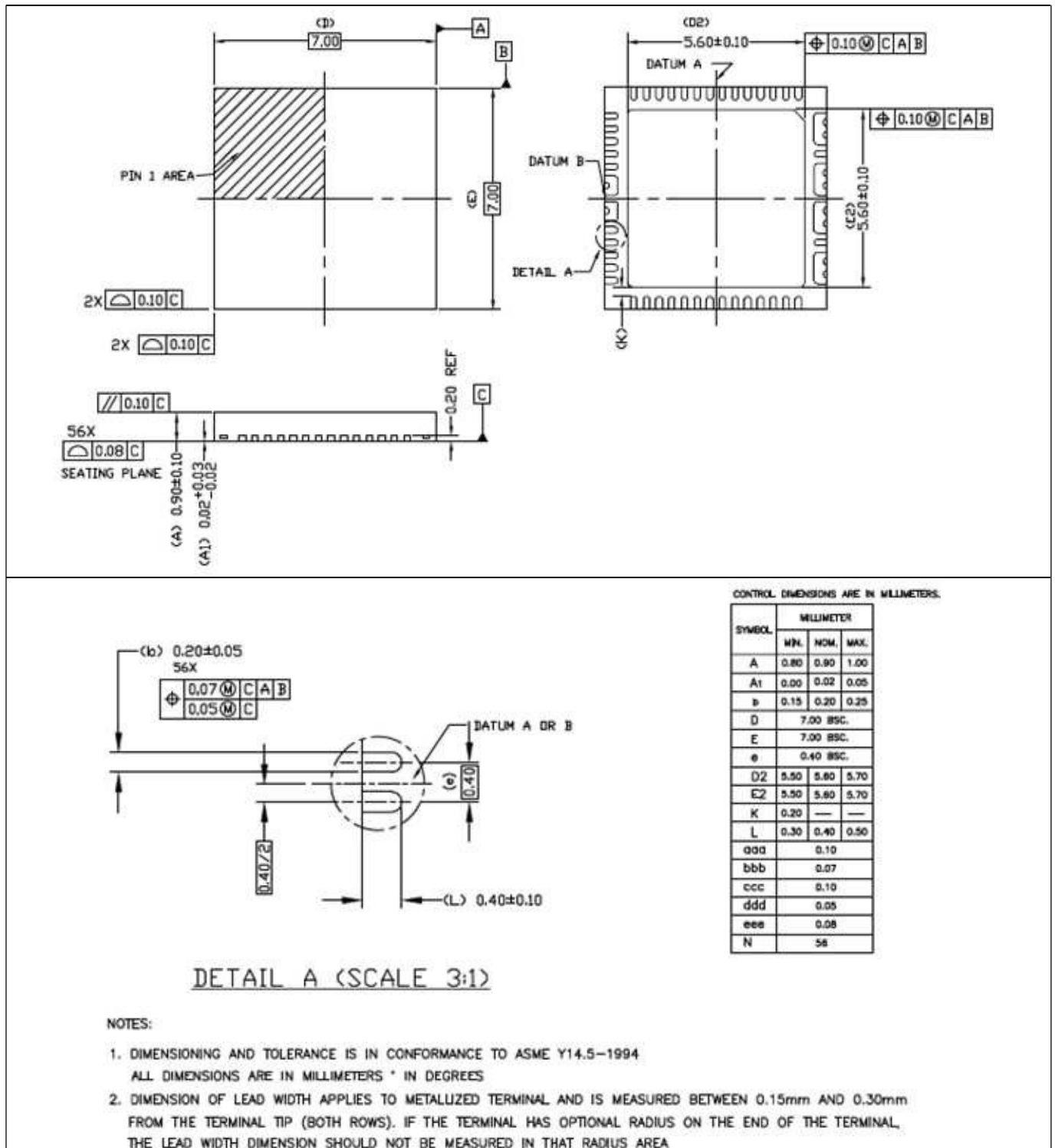


图38 封装信息

封装信息

14.1 PCB 焊盘尺寸

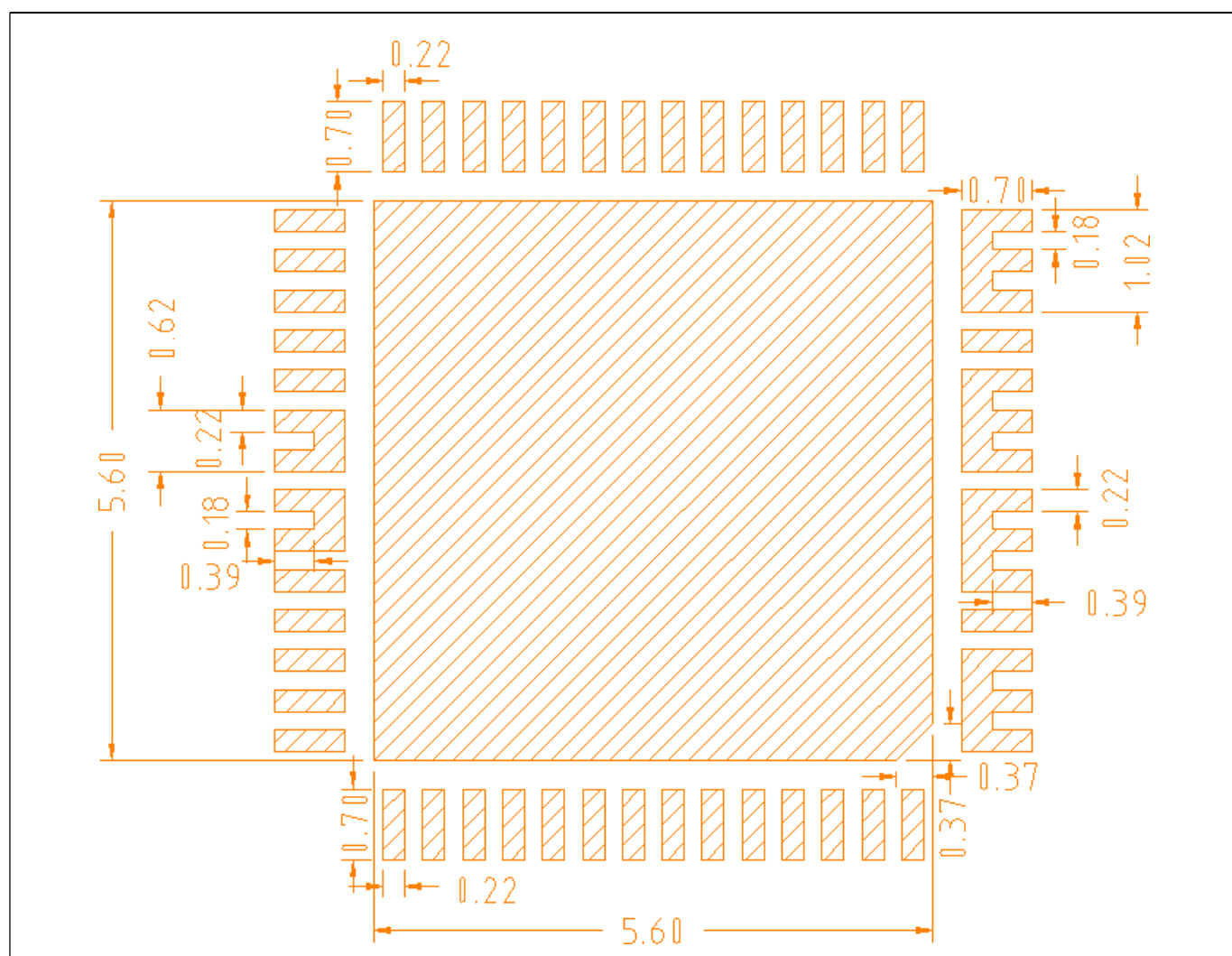


图 39 PCB 焊盘尺寸

封装信息

14.2 PCB 焊盘间距

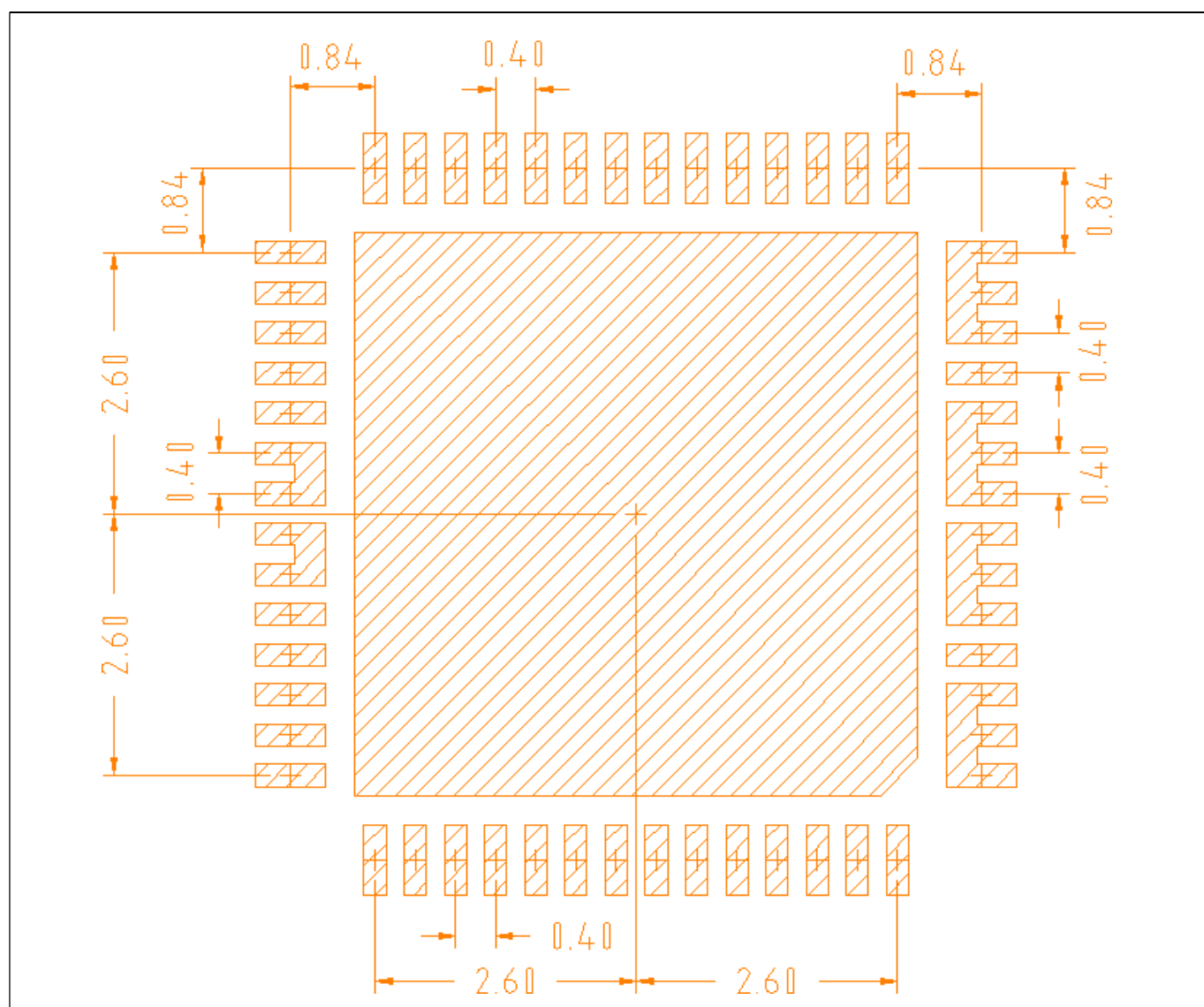


图 40 PCB 焊盘间距

14.3 焊膏钢网焊盘尺寸

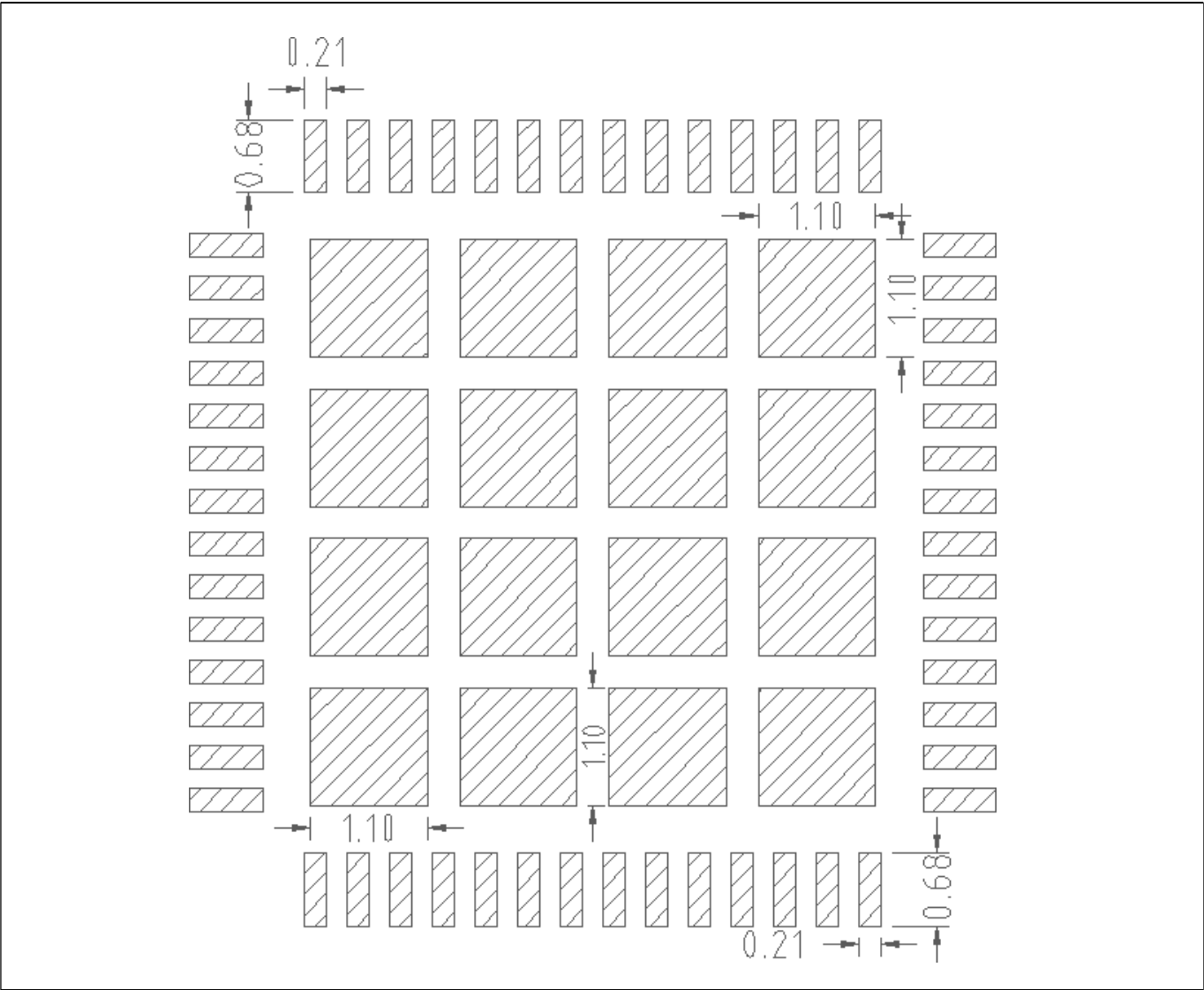


图 41 焊膏钢网焊盘尺寸

封装信息

14.4 焊膏钢网焊盘间距

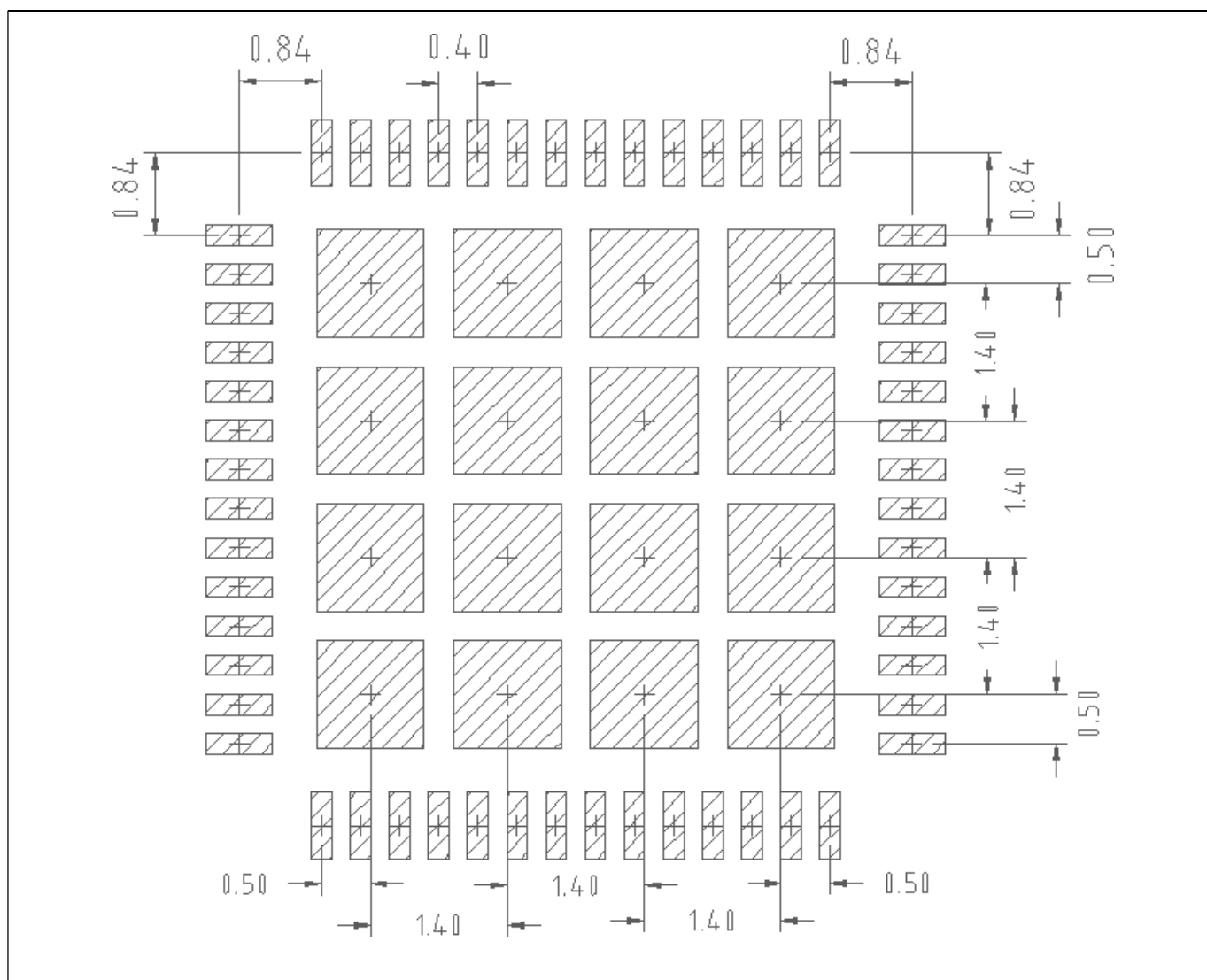


图 42 焊膏钢网焊盘间距

15 环境资质

Qualification Level		Industrial	
Moisture Sensitivity Level		7mm x 7mm PQFN	JEDEC Level 2 @ 260°C
ESD	Human Body Model (JS-001-2014)	Class 1B	
		500V to <1000V	
	Charged Device Model (JESD22-C101F)	Class C3	
		>1000V	
RoHS2 Compliant		Yes (6/6)	

修订记录

IRPS5401

Revision: 2022-07-11, Rev. 2.8**历史修订版本**

Revision	Date	Subjects (major changes since last revision)
2.0	2018-08-11	Release of final version
2.1	2018-10-27	Correct PWM_A output HI Value
2.2	2018-12-21	Update pin descriptions
2.3	2019-05-09	Change LDO reference tolerance to 3%
2.4	2019-10-08	Add VDDIO note to section 9.3 Table 26; update reset value for command 5Eh, 5Fh, 62h Table 26; add reset values to command 99h, 9Ah and 9Bh to agree with PMBUS command document
2.5	2020-10-12	Add Table 27 to show PMBUS commands that are saved to OTP Add VDDIO info ABS MAX table, Table 5 and recommended table, Table 7 Update VDDIO voltage in FIG1 (application circuit) from 1V-5V to 1.8V-5V
2.6	2021-01-14	Add cold start delay requirement note to section 9.3 and update FIGURE 8. This change is only describing the operation of the controller. It is not a change in form fit or function Fix Table 8 formatting, some categories were not BOLDed
2.7	2021-07-20	Update note in section 9.3 to specify internal switchers only
2.8	2022-07-11	update OPN in Table 1 from IRPS5401MXI04TRPAUMA to IRPS5401MXI04TRPXUMA11

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

We Listen to Your Comments

Any information within this document that you feel is wrong, unclear or missing at all? Your feedback will help us to continuously improve the quality of this document. Please send your proposal (including a reference to this document) to:

erratum@infineon.com

Published by

Infineon Technologies AG

81726 München, Germany

© 2022 Infineon Technologies AG

All Rights Reserved.

Legal Disclaimer

The information given in this document shall in no event be regarded as a guarantee of conditions or characteristics ("Beschaffenheitsgarantie").

With respect to any examples, hints or any typical values stated herein and/or any information regarding the application of the product, Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind, including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party.

In addition, any information given in this document is subject to customer's compliance with its obligations stated in this document and any applicable legal requirements, norms and standards concerning customer's products and any use of the product of Infineon Technologies in customer's applications.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer's technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

Information

For further information on technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies Office (www.infineon.com).

Warnings

Due to technical requirements, components may contain dangerous substances. For information on the types in question, please contact the nearest Infineon Technologies Office.

The Infineon Technologies component described in this Data Sheet may be used in life-support devices or systems and/or automotive, aviation and aerospace applications or systems only with the express written approval of Infineon Technologies. The failure of such components can reasonably be expected to cause the failure of that life-support, automotive, aviation and aerospace device or system or to affect the safety or effectiveness of that device or system. Life support devices or systems are



免责声明

请注意，本文件的原文使用英文撰写，为方便客户浏览英飞凌提供了中文译文。该中文译文仅供参考，并不可作为任何论点之依据。

由于翻译过程中可能使用了自动化程序，以及语言翻译和转换过程中的差异，最后的中文译文与最新的英文版本原文含义可能存在不尽相同之处。

因此，我们同时提供该中文译文版本的最新英文原文供您阅读，请参见 <http://www.infineon.com>

英文原文和中文译文版本之间若存有任何歧异，以最新的英文版本为准，并且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用本文件，即表示您同意并理解上述说明。英飞凌不对因翻译过程中可能存在的任何不完整或不准确信息而产生的任何直接或间接损失或损害负责。英飞凌不承担中文译文版本的完整性和准确性责任。如果您不同意上述说明，请不要使用本文件。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

重要通知

版本 2026-08-27

Infineon Technologies AG 出版，
德国 Neubiberg 85579

版权 © 2026 Infineon Technologies AG
及其关联公司。
保留所有权利。

**Do you have a question about this
document?**

Email:

erratum@infineon.com

Infineon Technologies AG 及其关联公司（以下简称“英飞凌”）销售或提供和交付的产品（可能也包括样品，且可能由硬件或软件或两者组成）（以下简称“产品”），应遵守客户与英飞凌签订的框架供应合同或其他书面协议的条款和条件，如无上合同或其他书面协议，则应遵守适用的英飞凌销售条件。只有在英飞凌明确书面同意的情况下，客户的一般条款和条件或对适用的英飞凌销售条件的偏离才对英飞凌具有约束力。

为避免疑义，英飞凌不承担不侵犯第三方权利的所有保证和默示保证，例如对特定用途/目的的适用性或适销性的保证。

英飞凌对与样品、应用或客户对任何产品的具体使用有关的任何信息或本文件中给出的任何示例或典型值概不负责。

本文件中包含的数据仅供具有技术资格和技能的客户代表使用。客户有责任评估产品对预期应用和客户特定用途的适用性，并在预期应用和客户特定用途中验证本文件中包含的所有相关技术数据。客户有责任正确设计、编程和测试预期应用的功能性和安全性，并遵守与其使用相关的法律要求。

除非英飞凌另行明确批准，否则产品不得用于任何因产品故障或使用产品的任何后果可合理预期会导致人身伤害的应用。但是，上述规定并不妨碍客户在英飞凌明确设计和销售的使用领域中使用任何产品，但是客户对应用负有全部责任。

英飞凌明确保留根据适用法律，如《德国版权法》（UrhG）第 44b 条，将其内容用于商业资料和数据勘探（TDM）的权利。

如果产品包含安全功能：

由于任何计算设备都不可能绝对安全，尽管产品采取了安全措施，但英飞凌不保证产品不会被入侵、数据不会被盗或遗失，或不会发生其他漏洞（以下简称“安全漏洞”），英飞凌对任何安全漏洞不承担任何责任。

如果本文件包含或引用软件：

根据美国、德国和世界其他国家的知识产权法律和条约，该软件归英飞凌所有。英飞凌保留所有权利。因此，您只能按照软件附带的软件授权协议的规定使用本软件。

如果没有适用的软件授权协议，英飞凌特此授予您个人的、非排他性的、不可转让的软件知识产权授权（无权转授权）：(a) 对于以源代码形式提供的软件，仅在贵组织内部修改和复制该软件用于英飞凌硬件产品；及 (b) 对于以二进制代码 (binary code) 形式对外向终端用户分发该软件，仅得用于英飞凌硬件产品。禁止对本软件进行任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。有关产品、技术、交货条款和条件以及价格的详细信息，请联系离您最近的英飞凌办公室或访问 <https://www.infineon.com>。