

## TRF2001 860MHz 至 930MHz ISM 频段多协议和 Wi-SUN 射频 FEM

### 1 特性

- 860MHz 至 930MHz 射频前端模块
- 发送 (TX) :
  - 饱和输出功率 ( $P_{SAT}$ ) : 28dBm (3.3V)
  - PA 增益 : 23.1dB
  - PAE : 27dBm 时为 39%
  - HD2 / HD3 : - 56dBc / - 67dBc
- 接收 (RX) LNA :
  - 增益 : 15.9dB
  - 噪声系数 (NF) : 1.3dB
  - IP1dB : - 6.6dBm
- ANT 至 RX\_FLT 插入损耗 : 1.7dB
- 集成的 50  $\Omega$  射频匹配
- 集成的 dB 线性功率检测器
- 电源电压 : 3.1V 至 4.25V
- 3.3V 下的总电源电流 :
  - 386mA (TX  $P_O = 27$ dBm)
  - 60.7mA (TX, 无射频)
  - 10.3mA (仅 RX)
- 低睡眠模式电流 : 0.05 $\mu$ A
- 工作环境温度范围 :
  - 40 $^{\circ}$ C 至 85 $^{\circ}$ C

### 2 应用

- 860MHz 至 930MHz 无线系统
- IEEE 802.15.4 系统
- 智能电网和智能仪表 :
  - 电表
  - 水表
  - 燃气表
  - 热量计

- 智能数据集中器和收集器
- 能源基础设施无线通信
- 无线楼宇自动化系统
- 无线现场变送器和传感器
- 无线电动汽车充电站

### 3 说明

TRF2001 是一款高性能射频前端模块 (FEM), 适用于功耗低于 1GHz 的工业、科学和医疗 (ISM) 频段的低功耗无线应用, 可在 860MHz 至 930MHz 的频率范围内运行。TRF2001 需要极少的外部 BOM, 包括范围扩展器功率放大器 (PA) 和低噪声放大器 (LNA)、发送/接收天线开关、天线端口低通滤波器和 dB 线性射频功率检测器等功能, 可实现具有成本效益的设计, 并采用节省空间的 4.5mm  $\times$  4.5mm QFN-28 封装。

TRF2001 通过集成 PA 提供超出 WMCU 或收发器能力的高输出功率, 增加了链路预算并允许在无线系统中进行范围扩展, 并通过低噪声系数 LNA 提高接收器灵敏度。集成功率检测器可用于系统校准或监测传送到天线的功率。该器件具有完全匹配的 50  $\Omega$  射频接口, 可带来使用和设计灵活性。

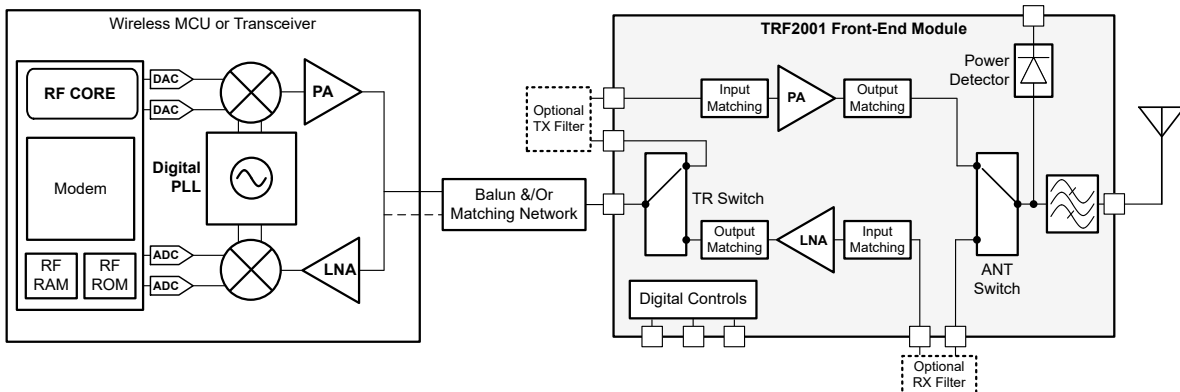
TRF2001 可在 3.1V 至 4.25V 的宽电源电压范围内运行, 并且具有与 1.6V 至 3.3V CMOS 逻辑电平兼容的数字控制。

#### 器件信息

器件型号	封装 <sup>(1)</sup>	封装尺寸 <sup>(2)</sup>
TRF2001	VBA (WQFN-FCRLF, 28), 带镍钯金镀层	4.5mm $\times$ 4.5mm $\times$ 0.7mm

(1) 有关更多信息, 请参阅节 10。

(2) 封装尺寸 (长  $\times$  宽  $\times$  高) 为标称值, 并包括引脚。



带无线 MCU (WMCU) 或收发器的 TRF2001 典型配置



## 内容

<b>1 特性</b> .....	1	6.3 特性说明.....	17
<b>2 应用</b> .....	1	6.4 器件功能模式.....	17
<b>3 说明</b> .....	1	<b>7 应用和实施</b> .....	18
<b>4 引脚配置和功能</b> .....	3	7.1 应用信息.....	18
<b>5 规格</b> .....	4	7.2 典型应用.....	18
5.1 绝对最大额定值.....	4	7.3 电源相关建议.....	21
5.2 ESD 等级.....	4	7.4 布局.....	21
5.3 建议运行条件.....	4	<b>8 器件和文档支持</b> .....	22
5.4 热性能信息.....	4	8.1 第三方产品免责声明.....	22
5.5 电气特性.....	5	8.2 接收文档更新通知.....	22
5.6 时序要求.....	7	8.3 支持资源.....	22
5.7 数字模式控制逻辑.....	7	8.4 商标.....	22
5.8 典型特性 - 发送.....	8	8.5 静电放电警告.....	22
5.9 典型特性 - 接收.....	13	8.6 术语表.....	22
<b>6 详细说明</b> .....	16	<b>9 修订历史记录</b> .....	23
6.1 概述.....	16	<b>10 机械、封装和可订购信息</b> .....	23
6.2 功能方框图.....	16		

## 4 引脚配置和功能

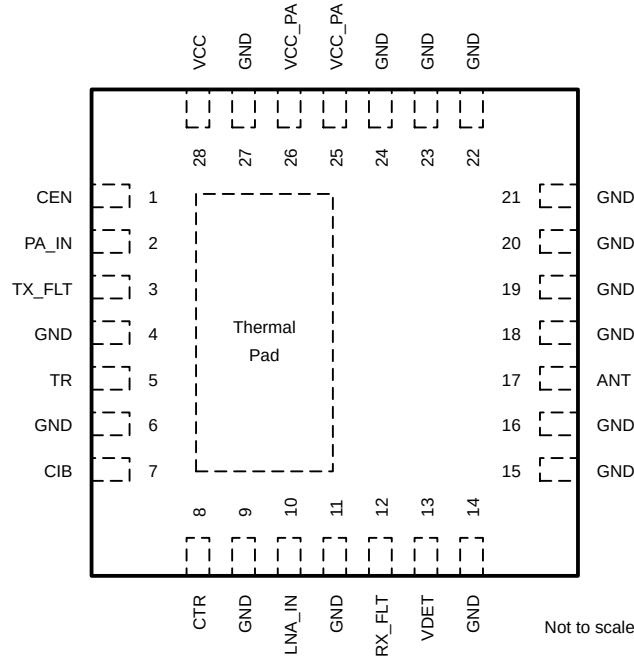


图 4-1. VBA 封装，28 引脚 WQFN-FCRLF (顶视图)

表 4-1. 引脚功能

引脚		类型 <sup>(1)</sup>	说明
名称	编号		
ANT	17	I/O	天线端口。
CEN	1	D	芯片使能数字控制逻辑。
CIB	7	D	内部偏置数字控制逻辑。
CTR	8	D	发送和接收路径选择数字控制逻辑。
GND	4、6、9、11、14、15、16、18、19、20、21、22、23、24、27	-	RF 接地。
LNA_IN	10	I	LNA 输入。如果不需要接收滤波器，可以短接至 RX_FLT。
PA_IN	2	I	PA 输入。
RX_FLT	12	O	从 ANT 引脚接收信号。通常，RX 滤波器连接在 RX_FLT 和 LNA_IN 之间。
TR	5	I/O	发送/接收。
TX_FLT	3	O	从 TR 引脚发送信号。通常 TX 滤波器连接在 TX_FLT 和 PA_IN 之间。
VCC	28	P	LNA 和数字控制逻辑电源电压。
VCC_PA	25、26	P	PA 电源电压。
VDET	13	O	功率检测器电压输出。
散热焊盘	Pad	-	散热焊盘，用作接地基准。连接到电路板上的散热接地平面。

(1) I = 模拟输入，O = 模拟输出，D = 数字控制逻辑，P = 电源，

## 5 规格

### 5.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）<sup>(1)</sup>

			最小值	最大值	单位
V <sub>CC_PA</sub>	PA 电源电压	无射频		4.5	V
V <sub>CC</sub>	VCC 引脚电源电压	无射频		4.5	V
	输入射频电平	ANT、RX 模式		10	dBm
		TR 和 PA_IN, TX 模式		16	
		LNA_IN		10	
	数字控制逻辑引脚		-0.5	4.25	V
VSWR	ANT 电压驻波比			10:1	-
T <sub>J</sub>	最大结温		-40	125	°C
T <sub>stg</sub>	贮存温度		-55	150	°C

(1) 超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。“绝对最大额定值”并不表示器件在这些条件下或在“建议运行条件”以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出“建议运行条件”但在“绝对最大额定值”范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能并缩短器件寿命。

### 5.2 ESD 等级

			值	单位
V <sub>(ESD)</sub>	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准, 所有引脚 <sup>(1)</sup>	±2000	V
		充电器件模型 (CDM), 符合 JEDEC 规范 JS-002, 所有引脚 <sup>(2)</sup>	±1000	

(1) JEDEC 文件 JEP155 指出, 500V HBM 可通过标准 ESD 管控流程安全生产。

(2) JEDEC 文档 JEP157 指出: 250V CDM 能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

### 5.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

		最小值	标称值	最大值	单位
V <sub>CC_PA</sub>	PA 电源电压	3.1	3.3	4.25	V
V <sub>CC</sub>	VCC 引脚电源电压	3.1	3.3	4.25	V
T <sub>A</sub>	工作环境空气温度	-40	25	85	°C

### 5.4 热性能信息

热指标 <sup>(1)</sup>		TRF2001			单位
		VBA (WQFN-FCRLF)			
		28 引脚			
R <sub>θJA</sub>	结至环境热阻	34.0			°C/W
R <sub>θJC(top)</sub>	结至外壳 (顶部) 热阻	15.5			°C/W
R <sub>θJB</sub>	结至电路板热阻	9.6			°C/W
Ψ <sub>JT</sub>	结至顶部特征参数	0.1			°C/W
Ψ <sub>JB</sub>	结至电路板特征参数	9.5			°C/W
R <sub>θJC(bot)</sub>	结至外壳 (底部) 热阻	5.5			°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息, 请参阅 [半导体和 IC 封装热指标](#) 应用报告。

## 5.5 电气特性

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、 $f = 915\text{MHz}$ 、RX\_FLT 和 LNA\_IN 引脚短接、TX\_FLT 和 PA\_IN 引脚短接、从 TR 到 ANT 引脚的射频传输规范、分别从 ANT 到 TR 引脚的射频接收规范、 $50\ \Omega$  源和输入和输出射频引脚的负载、在 EVM 上测量并取消嵌入到器件引脚 (除非另有说明)

参数	测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
<b>射频传输</b>						
	频率范围		860		930	MHz
G <sub>P</sub>	发送小信号增益	P <sub>IN</sub> = -25dBm	f = 867MHz	23.7		dB
			f = 902MHz	23.4		
			f = 915MHz 至 928MHz	23.1		
P <sub>SAT</sub>	饱和输出功率	f = 867MHz		27.8		dBm
		f = 902MHz 至 928MHz		28.0		
		V <sub>CC\_PA</sub> = 3.6V , V <sub>CC</sub> = 3.6V	f = 867MHz 至 928MHz	28.6		
OP1dB	输出 1dB 压缩点	f = 867MHz 至 928MHz		26.5		dBm
		V <sub>CC\_PA</sub> = 3.6V , V <sub>CC</sub> = 3.6V	f = 867MHz	26.4		
			f = 902MHz	26.8		
			f = 915MHz	27.6		
			f = 928MHz	26.9		
PAE	功率附加效率	P <sub>O</sub> = 27dBm	f = 867MHz	41.0%		
			f = 902MHz	39.5%		
			f = 915MHz , 928MHz	39.0%		
HDx	谐波失真 <sup>(1)</sup>	f = 867MHz , P <sub>O</sub> = 27dBm	二次谐波	-57.0		dBc
			三次谐波	-64.5		
		f = 928MHz , P <sub>O</sub> = 27dBm	二次谐波	-56.0		
			三次谐波	-68.0		
	TR 处的输入回波损耗	P <sub>IN</sub> = -27dBm , f = 867MHz 至 928MHz		11		dB
	TR 处的最大输入功率	f = 867MHz	VSWR = 1:1	16		dBm
			VSWR = 2:1	16		
			VSWR = 4:1	7		
		f = 928MHz	VSWR = 1:1	16		
			VSWR = 2:1	11		
			VSWR = 4:1	6.5		
	坚固性	CW , P <sub>O</sub> 进入 $50\ \Omega$ 负载, VSWR = 10:1, 不会造成永久损坏		27		dBm
<b>功率检测器</b>						
	功率检测器功率范围	ANT 引脚上电, f = 860MHz 至 930MHz		5	P <sub>SAT</sub>	dBm
V <sub>DET</sub>	功率检测器电压范围			0	1.8	V

## 5.5 电气特性 (续)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、 $f = 915\text{MHz}$ 、RX\_FLT 和 LNA\_IN 引脚短接、TX\_FLT 和 PA\_IN 引脚短接、从 TR 到 ANT 引脚的射频传输规范、分别从 ANT 到 TR 引脚的射频接收规范、 $50\ \Omega$  源和输入和输出射频引脚的负载、在 EVM 上测量并取消嵌入到器件引脚 (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
<b>射频接收</b>							
	频率范围			860		930	MHz
	接收小信号增益	$P_{IN} = -27\text{dBm}$ , $f = 867\text{MHz}$ 至 $928\text{MHz}$			15.9		dB
NF	噪声系数	$f = 867\text{MHz}$			3.1		dB
		$f = 915\text{MHz}$			3.3		
		LNA_IN 至 TR、 $f = 867\text{MHz}$ 至 $928\text{MHz}$			1.3		
	ANT 到 RX_FLT 插入损耗	$P_{IN} = -27\text{dBm}$			1.7		dB
IIP3	输入三阶压缩点	$P_{IN} = -27\text{dBm}$	$f = 867\text{MHz}$		-5.4		dBm
			$f = 902\text{MHz}$ 至 $928\text{MHz}$		-6.3		
IP1dB	输入 1dB 压缩点	$f = 867\text{MHz}$ , $902\text{MHz}$			-7.1		dBm
		$f = 915\text{MHz}$ , $928\text{MHz}$			-6.6		
	ANT 处的输入回波损耗	$P_{IN} = -27\text{dBm}$	$f = 867\text{MHz}$		18.5		dB
			$f = 902\text{MHz}$		15.5		
			$f = 915\text{MHz}$		14		
			$f = 928\text{MHz}$		12.5		
	TR 处的输出回波损耗	$P_{IN} = -27\text{dBm}$	$f = 867\text{MHz}$ 至 $915\text{MHz}$		15.5		dB
			$f = 928\text{MHz}$		14.5		

## 5.5 电气特性 (续)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、 $f = 915\text{MHz}$ 、RX\_FLT 和 LNA\_IN 引脚短接、TX\_FLT 和 PA\_IN 引脚短接、从 TR 到 ANT 引脚的射频传输规范、分别从 ANT 到 TR 引脚的射频接收规范、 $50\ \Omega$  源和输入和输出射频引脚的负载、在 EVM 上测量并取消嵌入到器件引脚 (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
<b>直流规格</b>							
$I_{CC\_PA}$	VCC_PA 电源电流	TX 模式	$P_O = 27\text{dBm}$		351		mA
			$P_O = 24\text{dBm}$		260		
			无射频		60.7		
		RX 模式, $P_{IN} = -27\text{dBm}$		0.3			
$I_{CC}$	VCC 电源电流	TX 模式	$P_O = 27\text{dBm}$		35		mA
			$P_O = 24\text{dBm}$		22		
			无射频		7		
		RX 模式, $P_{IN} = -27\text{dBm}$		10			
	断电电源电流 <sup>(2)</sup>	无射频			0.05	1	$\mu\text{A}$
<b>数字控制逻辑规范</b>							
$V_{IH}$	高压阈值	相对于 GND	高电平 (逻辑 1)	1.6	3.3	3.45	V
$V_{IL}$	低压阈值		低电平 (逻辑 0)		0	0.5	V
$I_{IH}$	引脚高输入电流	引脚电压 = 3.3V				1	$\mu\text{A}$
$I_{IL}$	引脚低输入电流	引脚电压 = 0V				1	$\mu\text{A}$

(1) ANT 引脚上无外部滤波器。有关更高阶的谐波性能, 请参阅图 5-4。

(2) 流入 VCC\_PA 和 VCC 引脚的电流之和。

## 5.6 时序要求

		最小值	标称值	最大值	单位
<b>射频传输</b>					
$t_{ON}$	导通时间: ANT 的射频输出功率从 CTR 边沿的 50% 达到最终值的 90% 所需的时间		1.4		$\mu\text{s}$
$t_{OFF}$	关断时间: ANT 的射频输出功率从 CTR 边沿的 50% 达到最终值的 10% 所需的时间		0.1		$\mu\text{s}$
<b>射频接收</b>					
$t_{ON}$	导通时间: TR 的射频输出功率从 CTR 边沿的 50% 达到最终值的 90% 所需的时间		0.8		$\mu\text{s}$
$t_{OFF}$	关断时间: TR 的射频输出功率从 CTR 边沿的 50% 达到最终值的 10% 所需的时间		0.1		$\mu\text{s}$

## 5.7 数字模式控制逻辑

器件引脚配置			说明
CEN	CIB	CTR	
1	0	0	不支持
1	1	0	RX 模式: 启用 RX 路径 (射频接收)、TX PA 断电
1	0	1	不支持
1	1	1	TX 模式: 启用 TX 路径 (射频传输)
0	X <sup>(1)</sup>	X <sup>(1)</sup>	断电模式: 器件处于断电状态
0	0	0	保证断电电源电流状态

(1) 忽略引脚逻辑

### 5.8 典型特性 - 发送

在  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、输入 = TR、输出 = ANT、RX\_FLT 短接至 LNA\_IN、TX\_FLT 短接至 PA\_IN、 $50\ \Omega$  源和负载位于输入和输出射频引脚，并且已解嵌入至器件引脚、显示的频率和环境温度（除非另有说明）

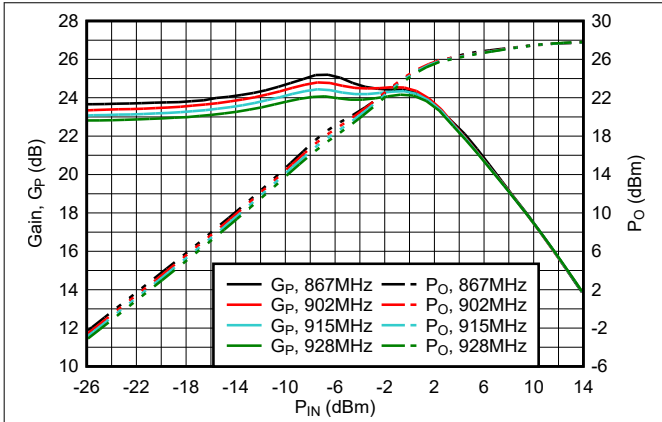
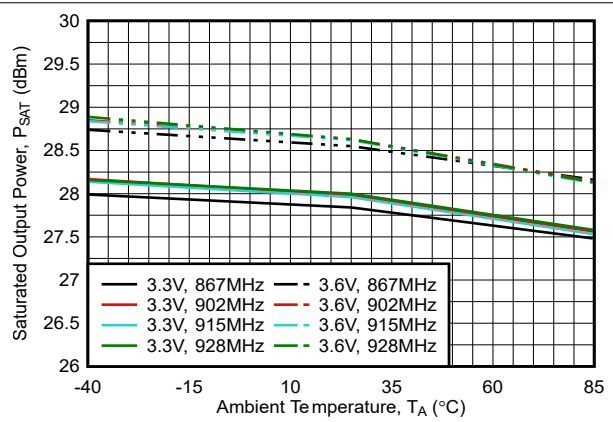


图 5-1. 不同频率下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系



$V_{CC\_PA}$  (如图所示)、 $V_{CC} = V_{CC\_PA}$

图 5-2. 不同频率下  $P_{SAT}$  与温度间的关系

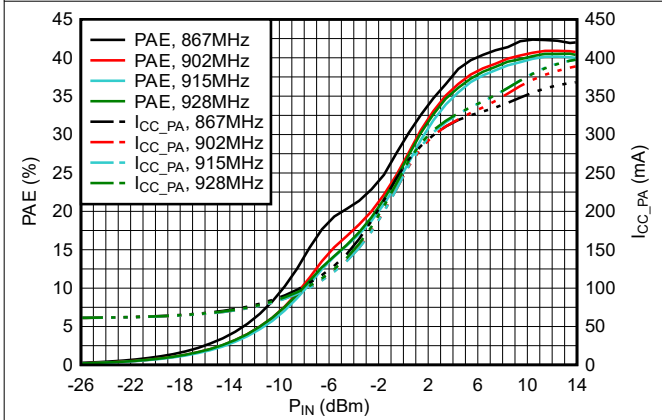
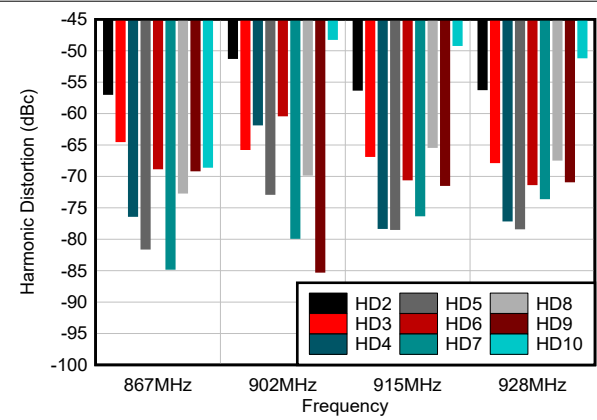


图 5-3. 不同频率下 PAE 和电源电流与  $P_{IN}$  间的关系



$P_O = 27\text{dBm}$

图 5-4. 不同频率下的谐波失真

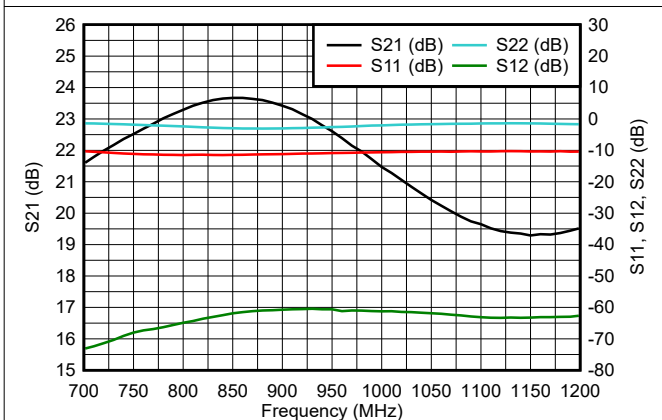


图 5-5. 小信号 S 参数

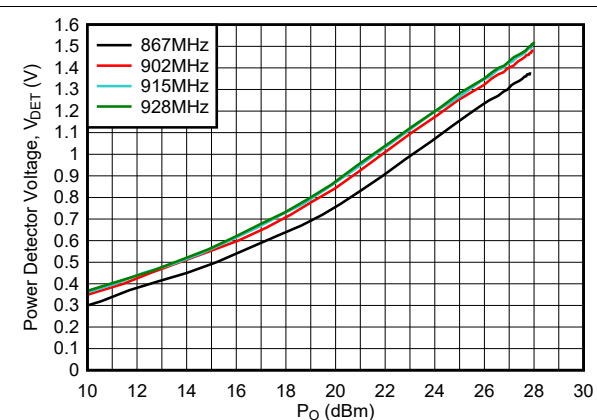


图 5-6. 不同频率下  $V_{DET}$  与  $P_O$  间的关系

### 5.8 典型特性 - 发送 (续)

在  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、输入 = TR、输出 = ANT、RX\_FLT 短接至 LNA\_IN、TX\_FLT 短接至 PA\_IN、 $50\ \Omega$  源和负载位于输入和输出射频引脚，并且已解嵌入至器件引脚、显示的频率和环境温度 (除非另有说明)

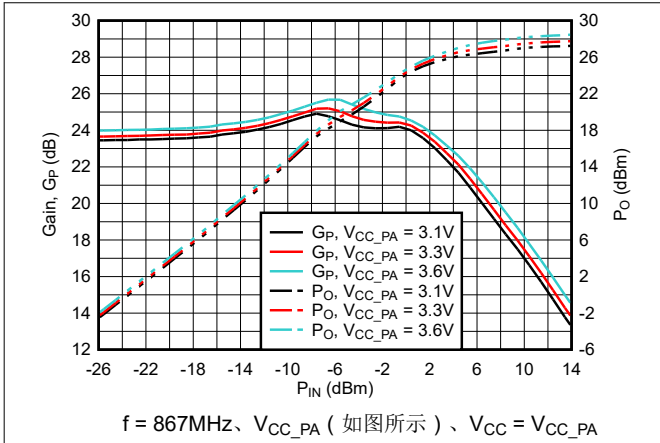


图 5-7. 不同电源电压下增益和  $P_o$  与  $P_{IN}$  间的关系

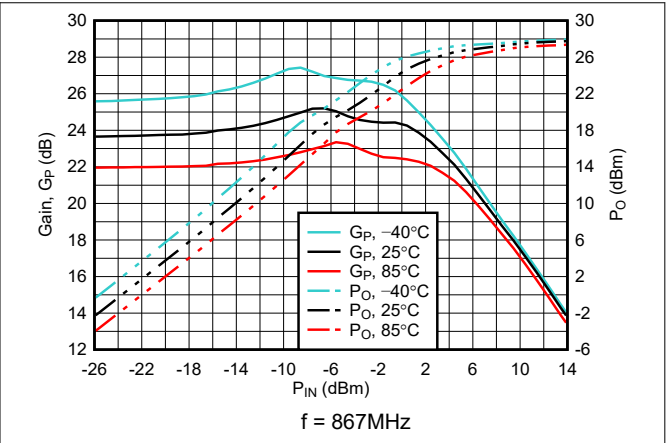


图 5-8. 不同温度下增益和  $P_o$  与  $P_{IN}$  间的关系

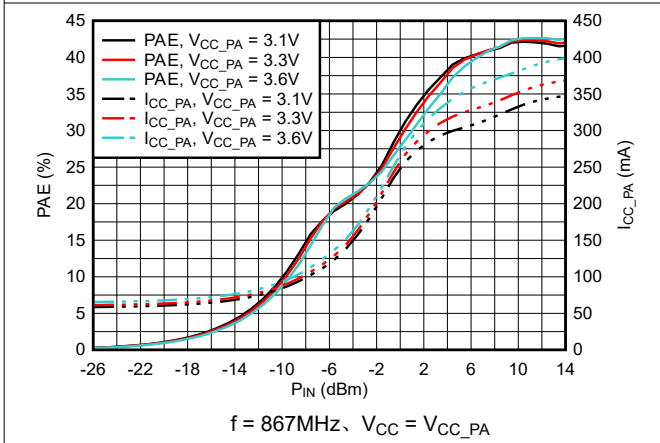


图 5-9. 不同电源电压下 PAE 和电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

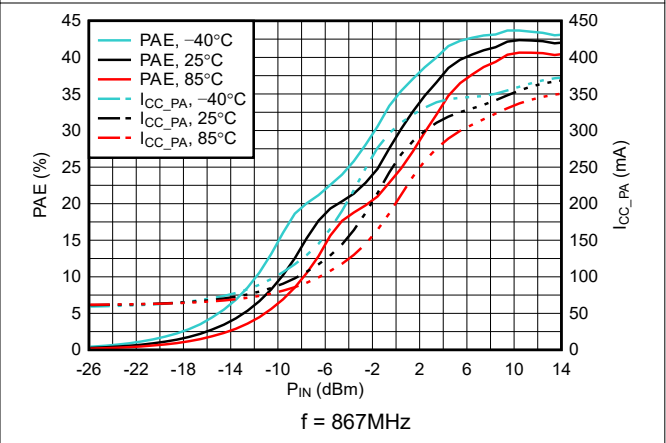


图 5-10. 不同温度下 PAE 和电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

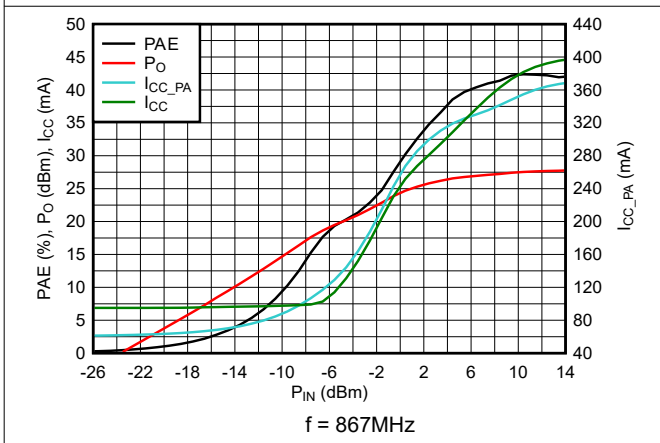


图 5-11. PAE、 $P_o$  和电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

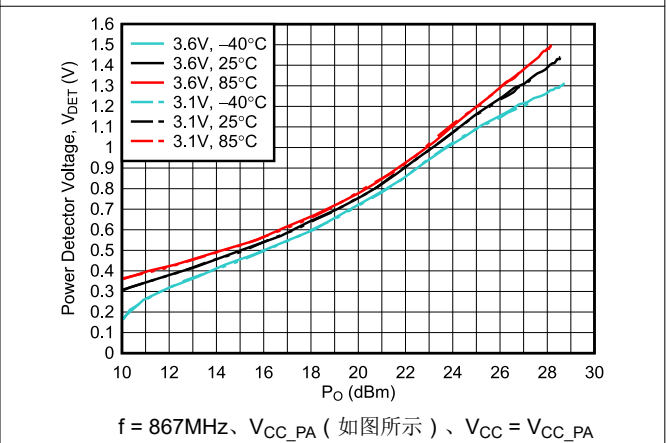


图 5-12. 不同电源电压和温度下  $V_{DET}$  与  $P_o$  间的关系

## 5.8 典型特性 - 发送 (续)

在  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、输入 = TR、输出 = ANT、RX\_FLT 短接至 LNA\_IN、TX\_FLT 短接至 PA\_IN、 $50\ \Omega$  源和负载位于输入和输出射频引脚，并且已解嵌入至器件引脚、显示的频率和环境温度 (除非另有说明)

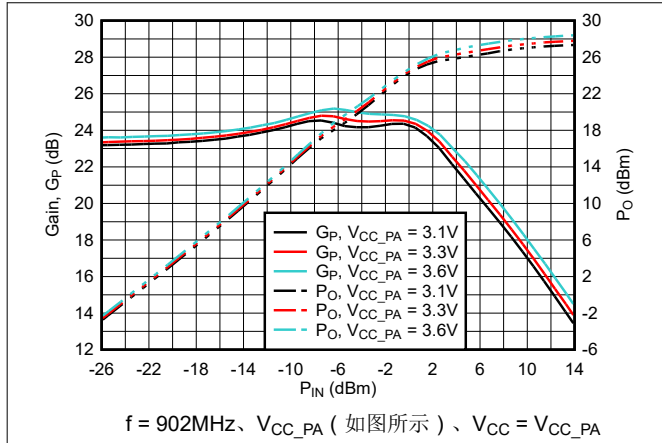


图 5-13. 不同电源电压下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

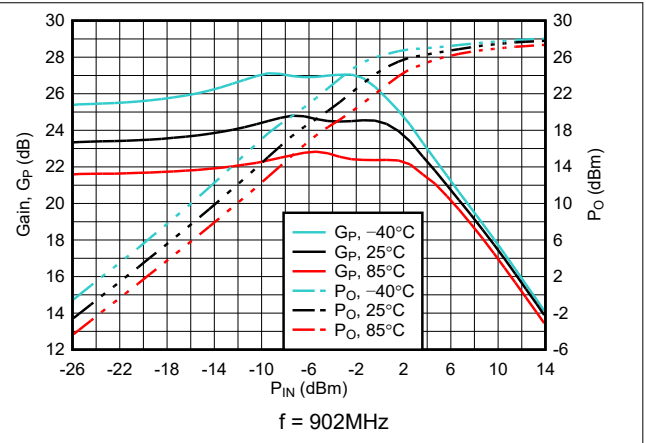


图 5-14. 不同温度下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

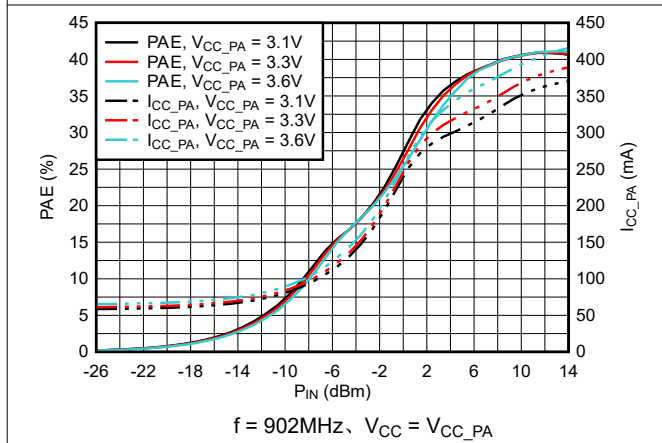


图 5-15. 不同电源电压下 PAE 和电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

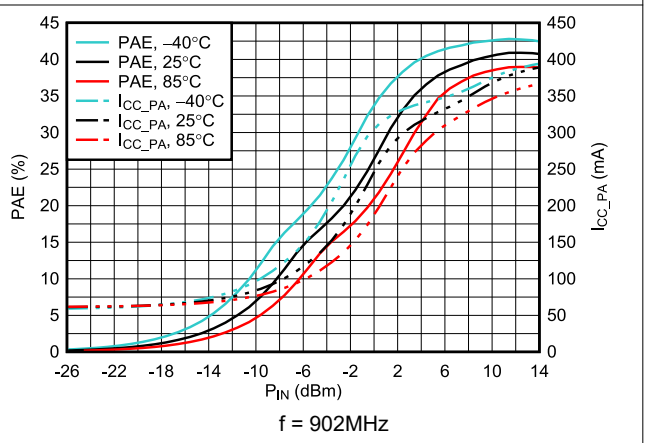


图 5-16. 不同温度下 PAE 和电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

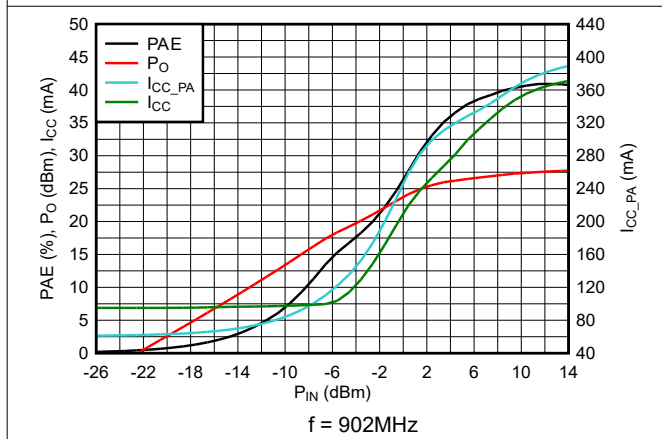


图 5-17. PAE、 $P_O$  和电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

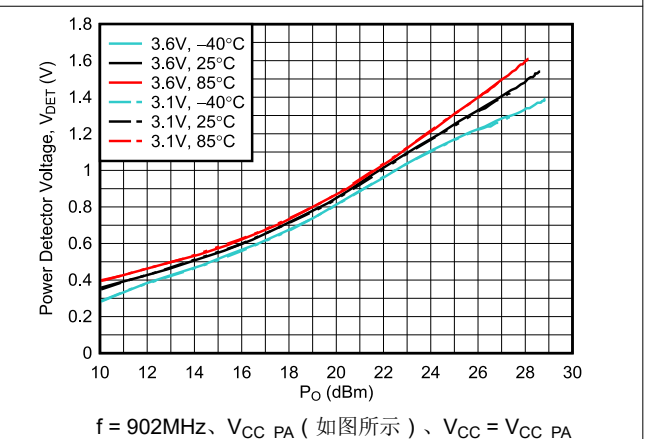


图 5-18. 不同电源电压和温度下  $V_{DET}$  与  $P_O$  间的关系

### 5.8 典型特性 - 发送 (续)

在  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、输入 = TR、输出 = ANT、RX\_FLT 短接至 LNA\_IN、TX\_FLT 短接至 PA\_IN、 $50\Omega$  源和负载位于输入和输出射频引脚，并且已解嵌入至器件引脚、显示的频率和环境温度 (除非另有说明)

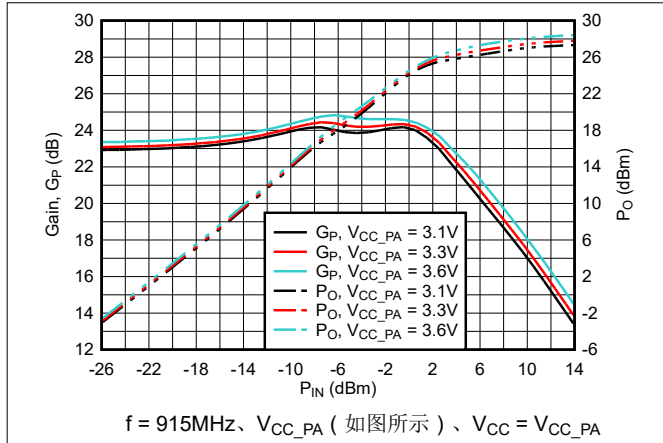


图 5-19. 不同电源电压下增益和  $P_o$  与  $P_{in}$  间的关系

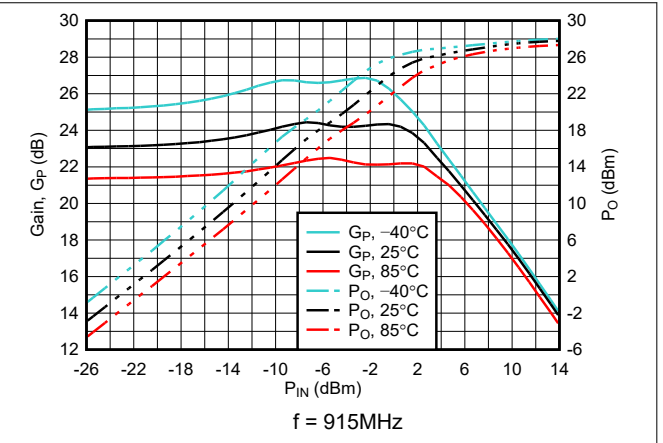


图 5-20. 不同温度下增益和  $P_o$  与  $P_{in}$  间的关系

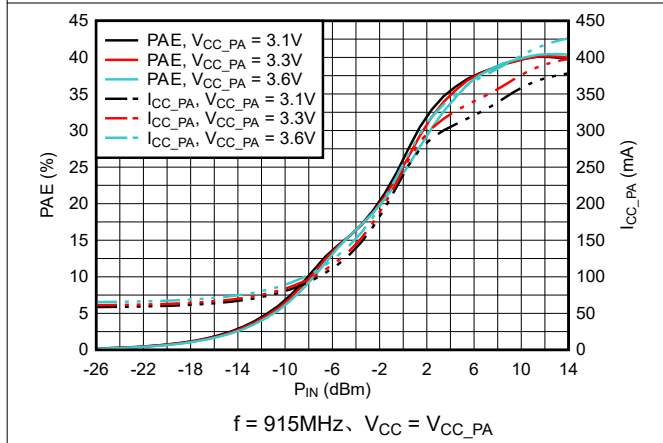


图 5-21. 不同电源电压下 PAE 和电源电流与  $P_{in}$  间的关系

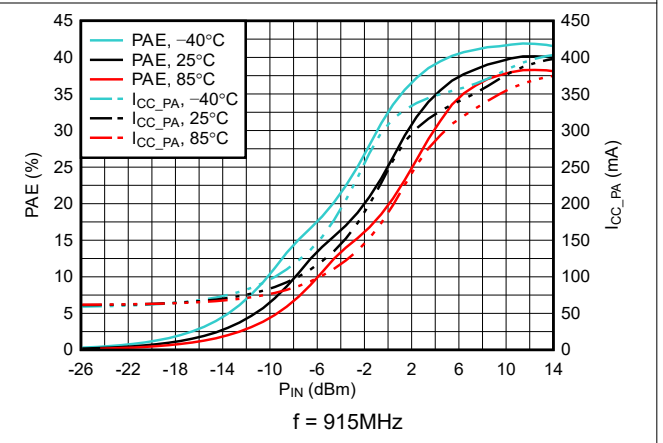


图 5-22. 不同温度下 PAE 和电源电流与  $P_{in}$  间的关系

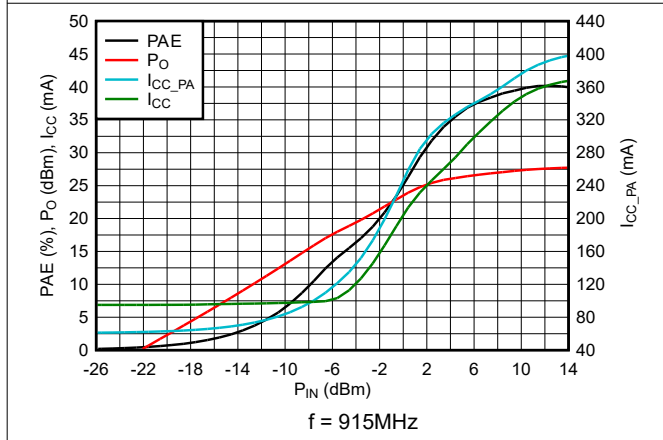


图 5-23. PAE、 $P_o$  和电源电流与  $P_{in}$  间的关系

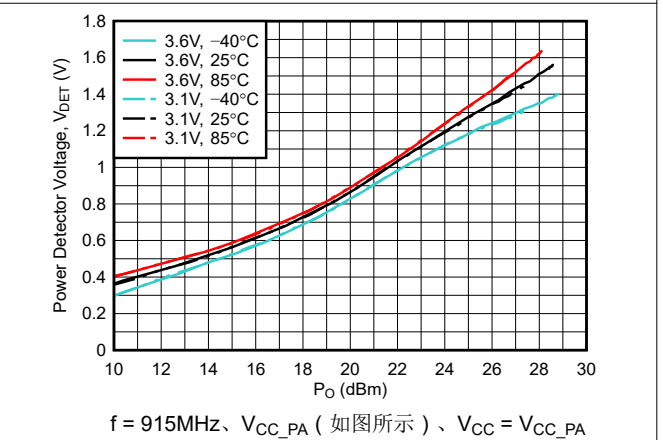
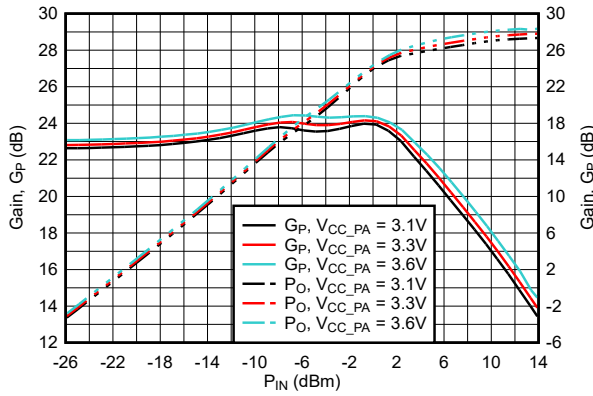


图 5-24. 不同电源电压和温度下  $V_{DET}$  与  $P_o$  间的关系

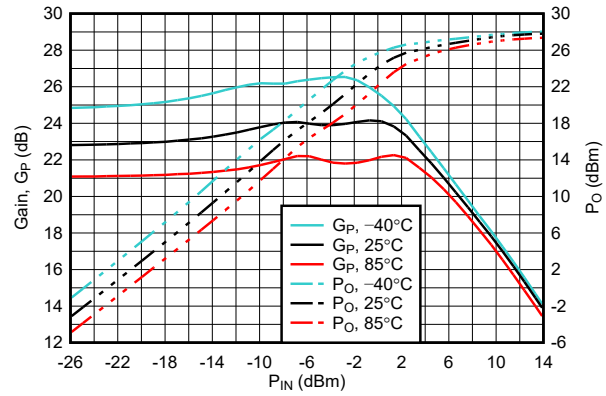
## 5.8 典型特性 - 发送 (续)

在  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、输入 = TR、输出 = ANT、RX\_FLT 短接至 LNA\_IN、TX\_FLT 短接至 PA\_IN、 $50\ \Omega$  源和负载位于输入和输出射频引脚，并且已解嵌入至器件引脚、显示的频率和环境温度 (除非另有说明)



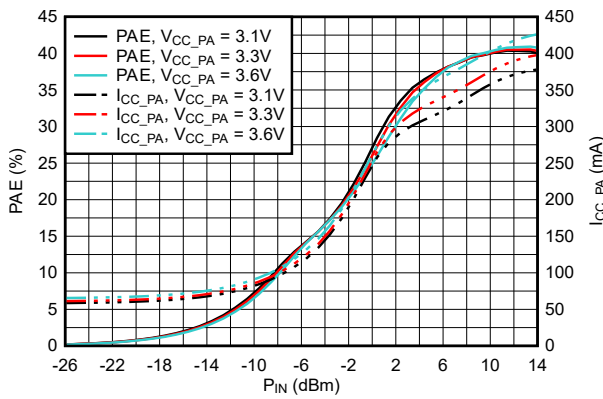
$f = 928\text{MHz}$ 、 $V_{CC\_PA}$  (如图所示)、 $V_{CC} = V_{CC\_PA}$

图 5-25. 不同电源电压下增益和  $P_o$  与  $P_{in}$  间的关系



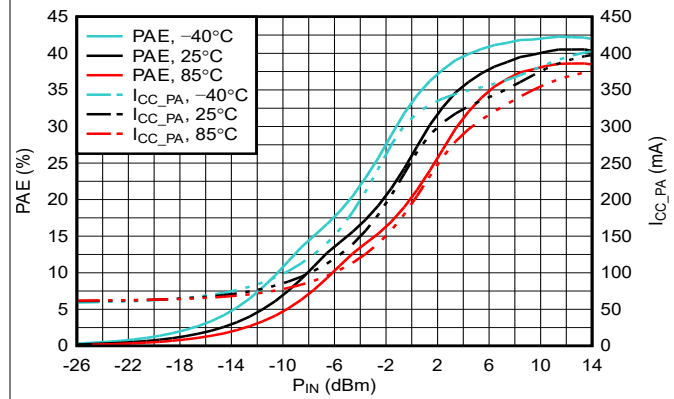
$f = 928\text{MHz}$

图 5-26. 不同温度下增益和  $P_o$  与  $P_{in}$  间的关系



$f = 928\text{MHz}$ 、 $V_{CC} = V_{CC\_PA}$

图 5-27. 不同电源电压下 PAE 和电源电流与  $P_{in}$  间的关系



$f = 928\text{MHz}$

图 5-28. 不同温度下 PAE 和电源电流与  $P_{in}$  间的关系

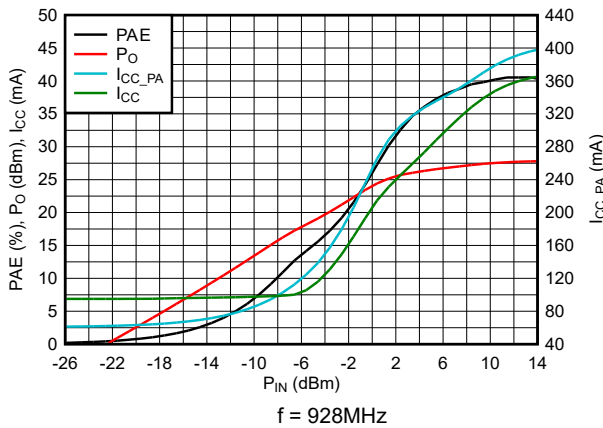
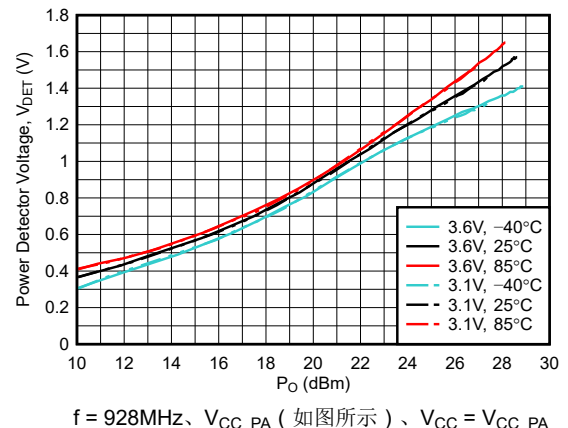


图 5-29. PAE、 $P_o$  和电源电流与  $P_{in}$  间的关系



$f = 928\text{MHz}$ 、 $V_{CC\_PA}$  (如图所示)、 $V_{CC} = V_{CC\_PA}$

图 5-30. 不同电源电压和温度下  $V_{DET}$  与  $P_o$  间的关系

### 5.9 典型特性 - 接收

在  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、输入 = ANT、输出 = TR、RX\_FLT 短接至 LNA\_IN、TX\_FLT 短接至 PA\_IN、 $50\ \Omega$  源和负载位于输入和输出射频引脚，并且已解嵌入至器件引脚、显示的频率和环境温度（除非另有说明）

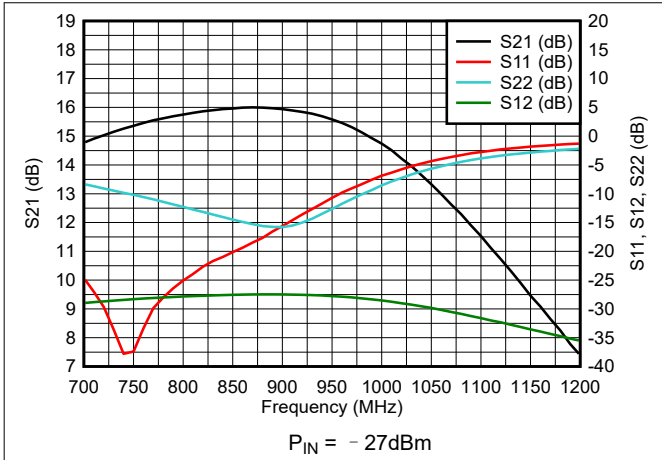


图 5-31. 小信号 S 参数

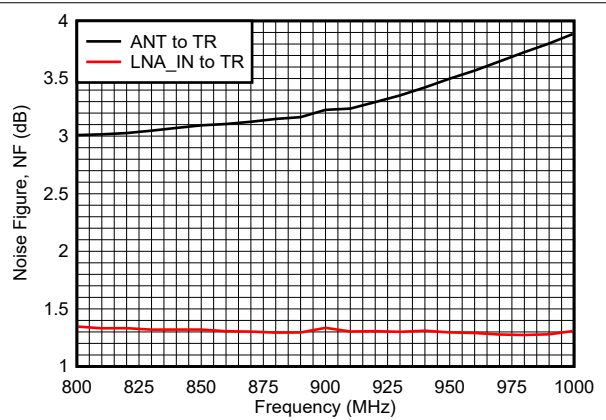


图 5-32. 噪声系数

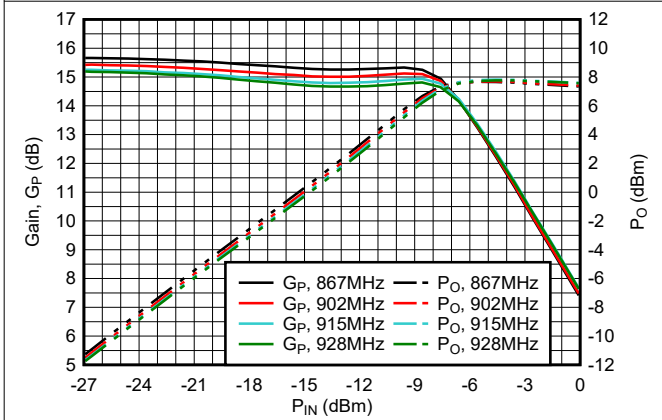


图 5-33. 不同频率下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

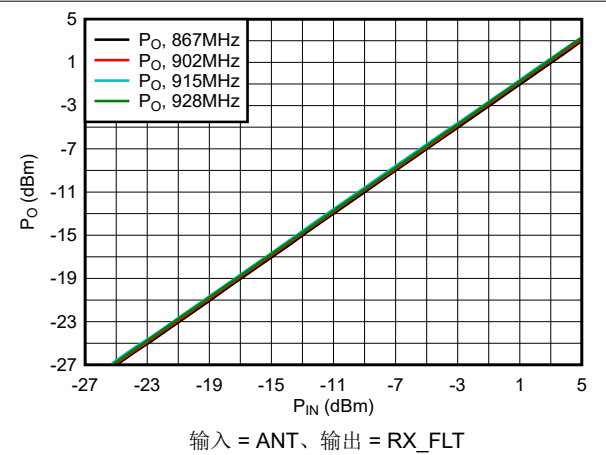


图 5-34. 不同频率下  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

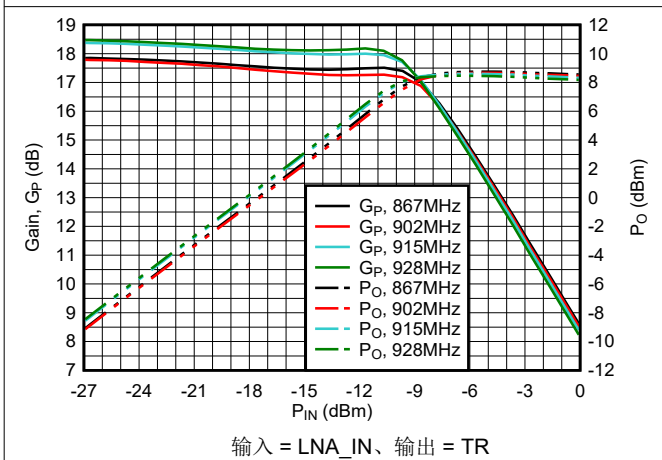


图 5-35. 不同频率下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

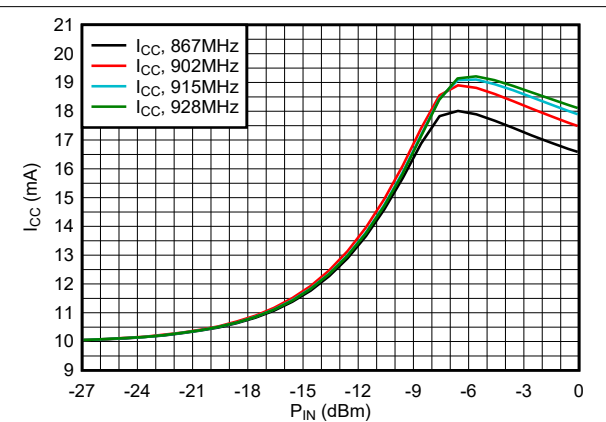


图 5-36. 电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

### 5.9 典型特性 - 接收 (续)

在  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、输入 = ANT、输出 = TR、RX\_FLT 短接至 LNA\_IN、TX\_FLT 短接至 PA\_IN、 $50\Omega$  源和负载位于输入和输出射频引脚，并且已解嵌入至器件引脚、显示的频率和环境温度 (除非另有说明)

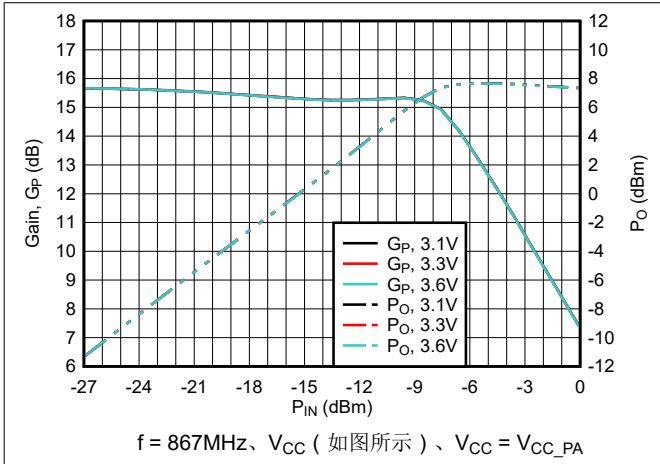


图 5-37. 不同电源电压下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

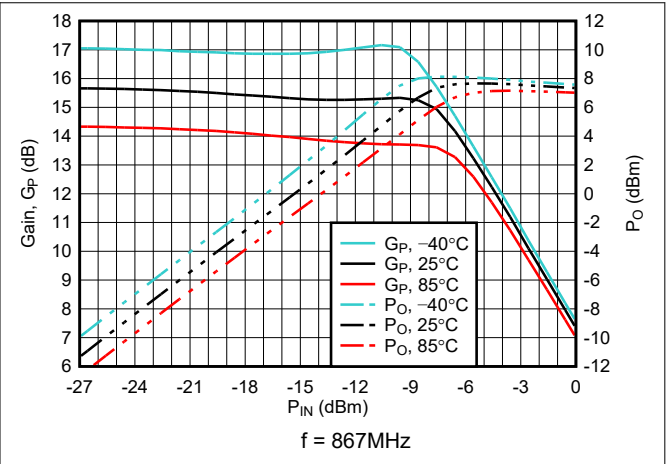


图 5-38. 不同温度下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

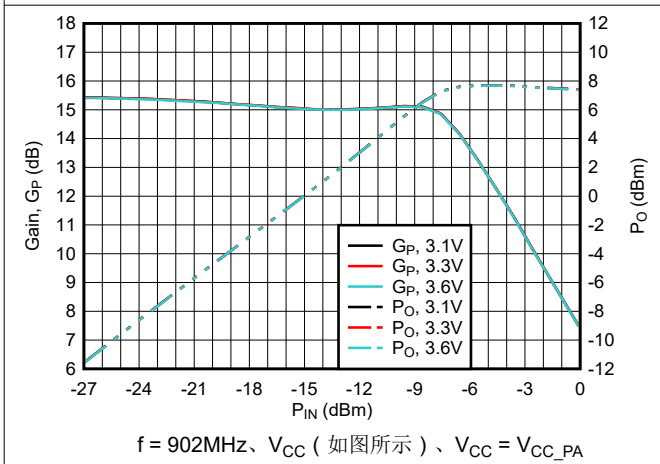


图 5-39. 不同电源电压下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

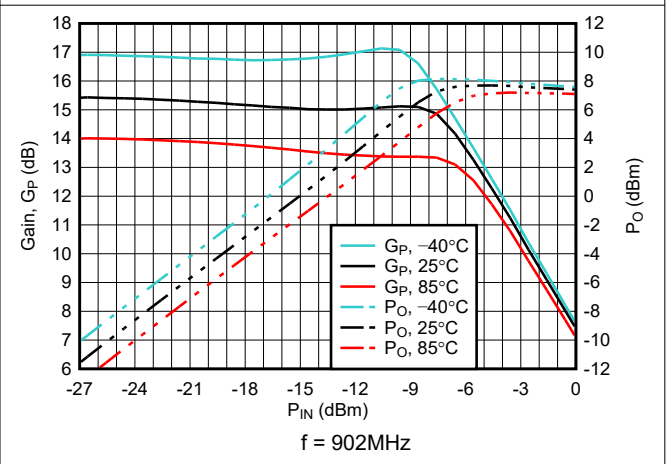


图 5-40. 不同温度下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

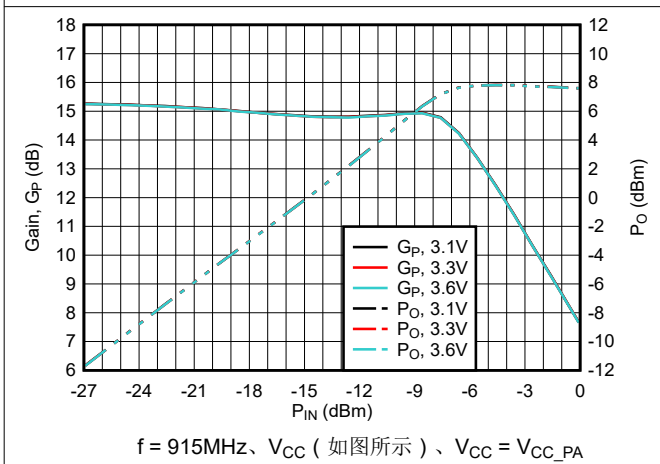


图 5-41. 不同电源电压下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

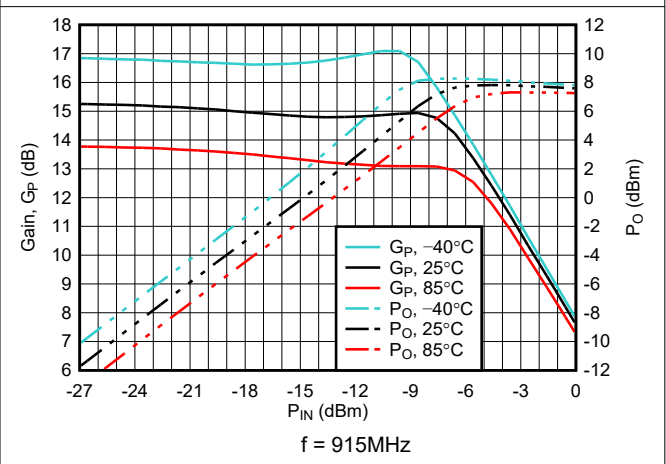


图 5-42. 不同温度下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

### 5.9 典型特性 - 接收 (续)

在  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC\_PA} = V_{CC} = 3.3\text{V}$ 、输入 = ANT、输出 = TR、RX\_FLT 短接至 LNA\_IN、TX\_FLT 短接至 PA\_IN、 $50\ \Omega$  源和负载位于输入和输出射频引脚，并且已解嵌入至器件引脚、显示的频率和环境温度 (除非另有说明)

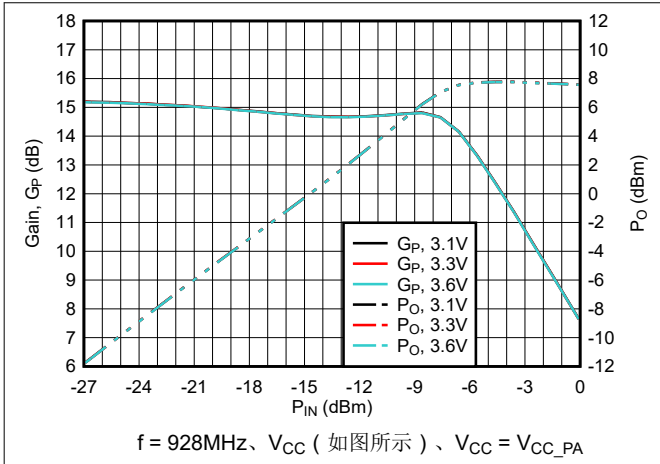


图 5-43. 不同电源电压下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

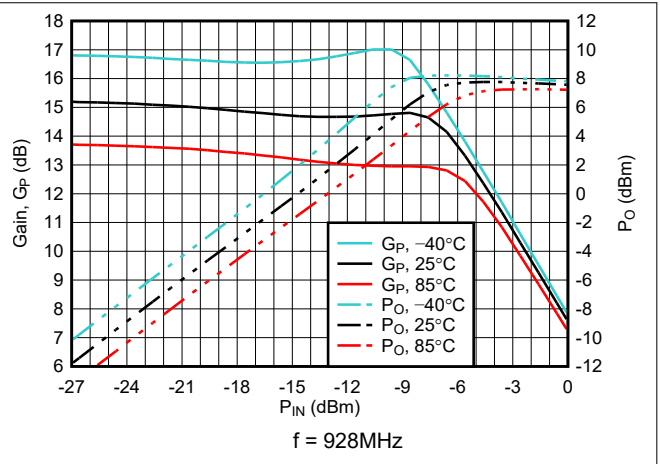


图 5-44. 不同温度下增益和  $P_O$  与  $P_{IN}$  间的关系

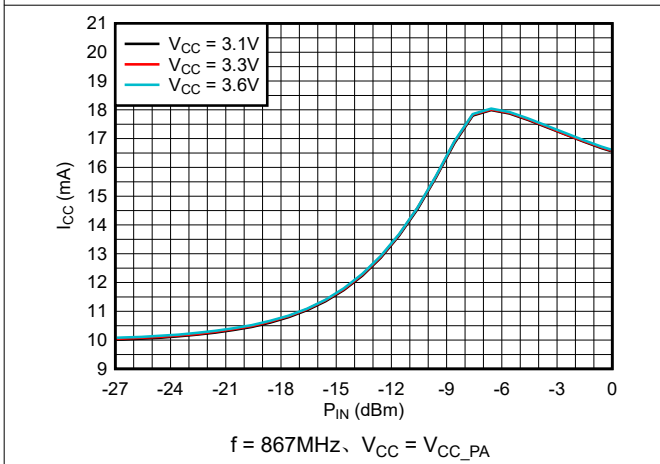


图 5-45. 不同电源电压下电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

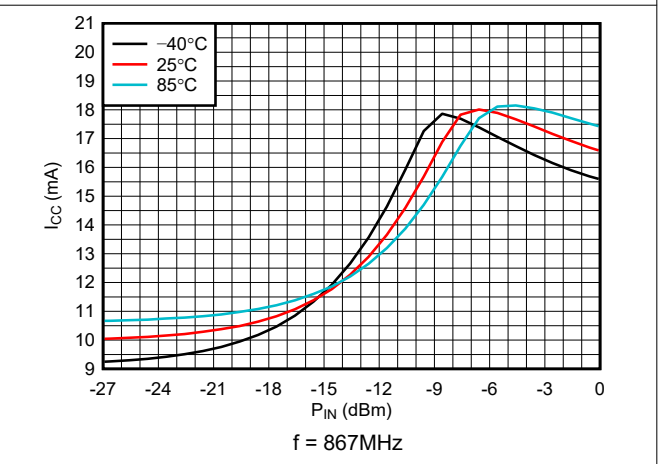


图 5-46. 不同温度下电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

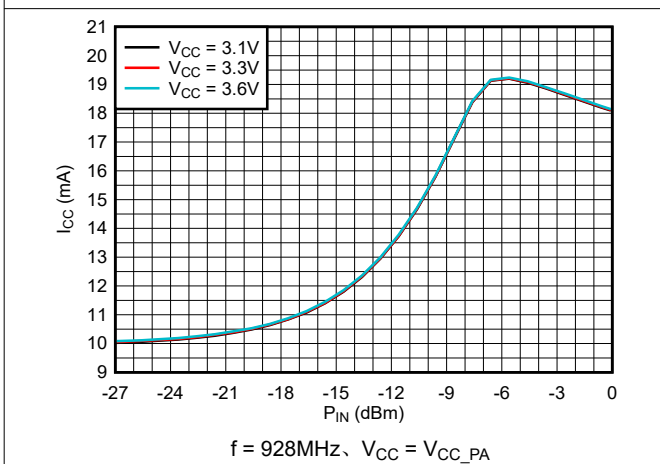


图 5-47. 不同电源电压下电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

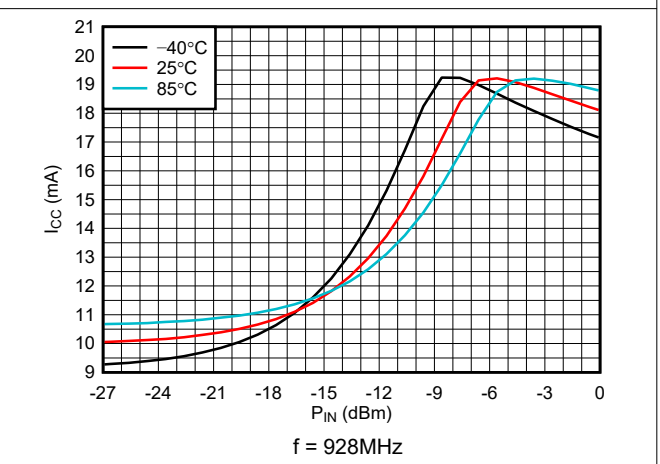


图 5-48. 不同温度下电源电流与  $P_{IN}$  间的关系

## 6 详细说明

### 6.1 概述

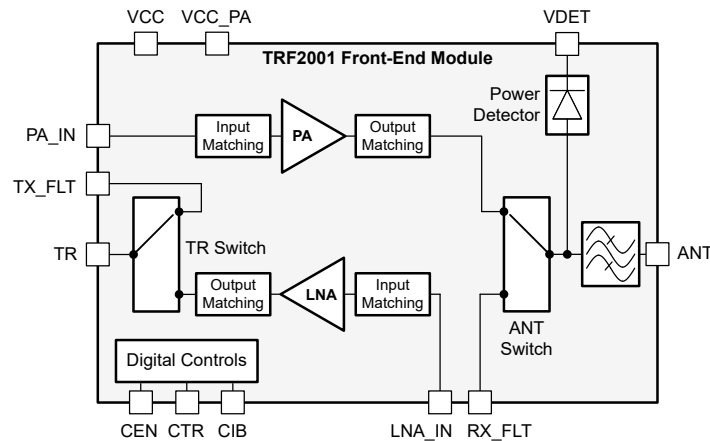
TRF2001 是一款高性能射频前端模块 (FEM)，旨在与无线微控制器 (MCU) 和片上系统 (SoC) IC 配合使用，适用于主要支持功耗低于 1GHz 的 ISM 频段的应用。该器件通过将系统的 TX 功率远远超出具有集成 PA 的无线 MCU 和 SoC 的能力，并通过集成 LNA 提高 RX 灵敏度来提高链路预算。

大多数为功耗低于 1GHz 的 ISM 频带设计的无线 SoC 的一个关键限制是，发送 (TX) 输出功率通常限制在 16dBm 左右，很少有 SoC 支持高达 22dBm 的功率。当在 TX 功率大于 10dBm 时使用这些 SoC 时，无伪波动态范围 (SFDR) 通常会下降。在许多情况下，增加的杂散电平需要额外的滤波和金属屏蔽，以符合 FCC 和 ETSI 标准设定的法规要求。TRF2001 通过提供射频增益和超过 27dBm 的高 TX 输出功率能力，允许 SoC 在较低的输出功率级别下运行，从而降低 SoC 的伪波水平，通常无需额外的滤波和屏蔽。

借助完全匹配的集成式 50 Ω 射频接口，TRF2001 简化了天线和无线 SoC 的接口设计。该器件的数字控制逻辑引脚 (CEN、CTR 和 CIB) 用于将器件配置为 TX、RX 或器件断电模式，并与 1.6V 至 3.3V 的 CMOS 电平兼容。

TRF2001 在 3.1V 至 4.25V 的宽单电源电压范围内工作，在 3.3V 电源上达到 27.8dBm P<sub>SAT</sub>。该器件采用节省空间的 4.5mm × 4.5mm、28 针、WQFN-FCRLF 封装。

### 6.2 功能方框图



### 6.3 特性说明

除了 PA、LNA、TR 开关和 ANT 开关之外，TRF2001 在小型 4.5mm × 4.5mm 封装中集成了谐波抑制滤波器和功率检测器等附加功能。

集成的谐波抑制滤波器可以省去天线外部滤波器，或者在系统需要外部滤波器时，显著放宽外部滤波器的抑制要求。TRF2001 在  $P_O = 27\text{dBm}$  下固有地实现低于  $-56\text{dBc}$  的二阶谐波抑制和低于  $-64.5\text{dBc}$  的三阶谐波抑制，无需任何外部滤波。集成式功率检测器提供与输出功率对应的模拟电压输出（如 [图 5-6](#) 所示），并在整个温度和电源电压范围内具有非常稳定的响应。

### 6.4 器件功能模式

TRF2001 具有三种功能模式：发送 (TX)、接收 (RX) 和断电模式。如 [数字模式控制逻辑](#) 中所示，使用数字控制引脚 CEN、CTR 和 CIB 设置设备的工作模式。在 TX 模式下，通过将 TR 开关连接到 TX\_FLT 引脚、ANT 开关连接到 PA 输出路径，来启用 PA 路径。在 RX 模式下，TR 开关连接到 LNA 路径，ANT 开关连接到 RX\_FLT 引脚。对于 TX 路径，在 TX\_FLT 和 PA\_IN 之间连接一个可选的 TX 滤波器，以抑制来自 SoC 的带外杂散或将 TX\_FLT 短接至 PA\_IN。在 RX\_FLT 和 LNA\_IN 引脚之间连接一个可选的 RX 滤波器，以抑制 ANT 引脚处的带外信号，或将 RX\_FLT 引脚短接至 LNA\_IN 引脚，以在接收路径中启用 LNA。

## 7 应用和实施

### 备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

### 7.1 应用信息

TRF2001 是一种通常与无线 SoC 结合使用的 FEM，可将通信范围扩展到 SoC 本身能够实现的范围，并改善链路预算。TRF2001 的主要应用在 860MHz 至 930MHz 的 ISM 频带频率范围内。

### 7.2 典型应用

#### 7.2.1 TRF2001 用作范围扩展器

图 7-1 展示了 TRF2001 用作范围扩展器，与 CC1314R10 或类似的无线 MCU 配对使用时的典型应用。

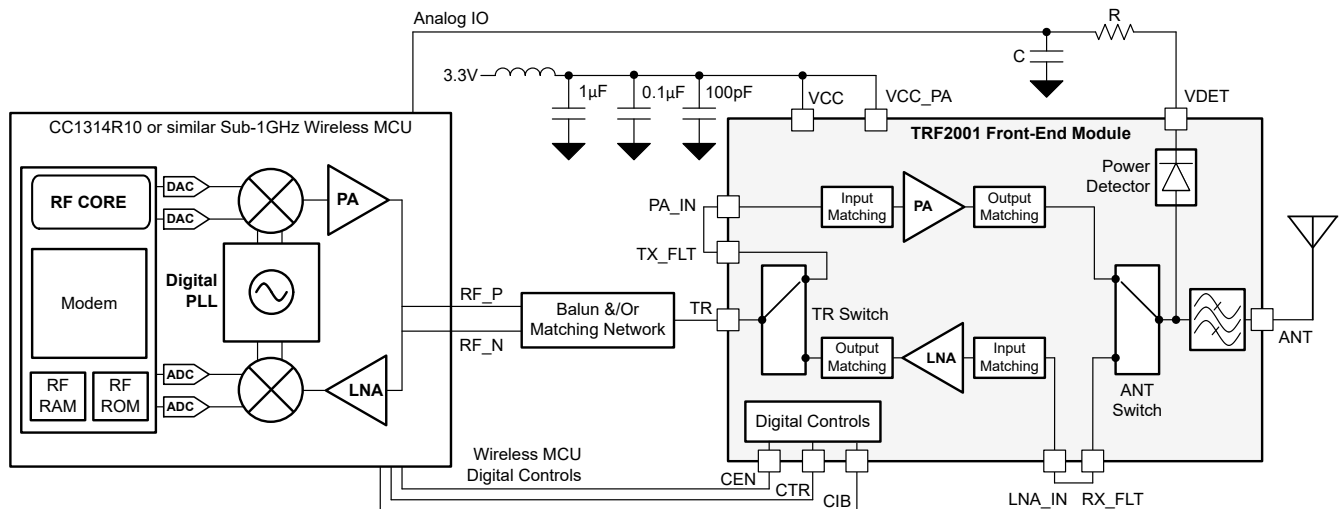


图 7-1. TRF2001 作为范围扩展器与 CC1314R10 无线 MCU 配对

### 7.2.1.1 设计要求

在使用 CC1314R10 无线 MCU 的功耗低于 1GHz 的系统中，使用 TRF2001 来扩展通信范围和 TX 输出功率。表 7-1 中的设计参数适用于以 915MHz 频率运行且具有大约 1:1 VSWR 天线系统的发送器和接收器设置。

表 7-1. 设计参数

设置	协议	配置	设计参数	值
设置 A：无线 (OTA) 数据包错误率 (PER) 测试	SimpleLink 远距离	<ul style="list-style-type: none"> <li>34kHz 带宽</li> <li>1:4 直接序列展频 (DSSS)</li> <li>2.5kbps 有效数据速率</li> </ul>	TX 功率	$\geq 27\text{dBm}$
			PER%	$\leq 10\%$
设置 B：接收器灵敏度测试	Wi-SUN 2-GFSK	<ul style="list-style-type: none"> <li>50kbps</li> <li><math>\pm 25\text{kHz}</math> 偏差</li> <li>100kHz RX 带宽</li> </ul>	在 PER < 10% 的条件下，与独立 CC1314R10 相比，天线处的 RX 灵敏度有所提高	$\geq 5\text{dB}$
				$\geq 7\text{dB}$

### 7.2.1.2 详细设计过程

TRF2001 集成了  $50\Omega$  匹配元件，在匹配的  $50\Omega$  系统中，不需要在 TR 或 ANT 引脚上使用任何外部匹配元件。使用 CC1314R10 LaunchPad™ 设计作为参考，设计 CC1314RF10 与 TRF2001 之间的平衡-非平衡变压器和匹配网络接口，如图 7-2 所示。在图 7-2 中添加可选的 SAW 滤波器 FL4，以过滤来自 CC1314RF10 的任何杂散信号，使杂散信号不会到达 TRF2001。

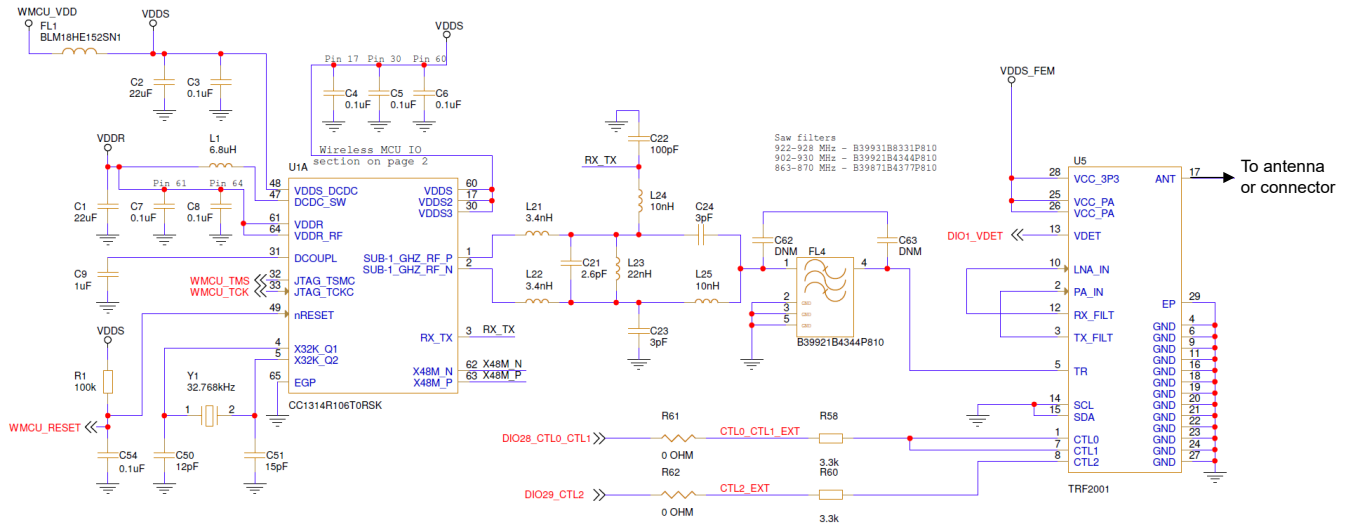
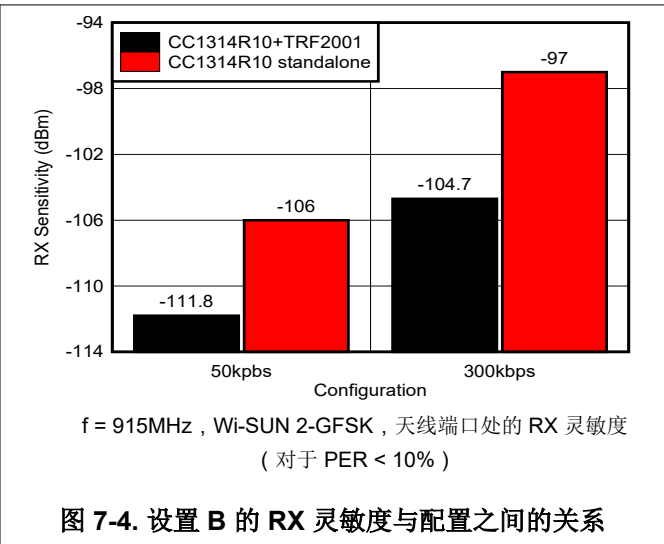
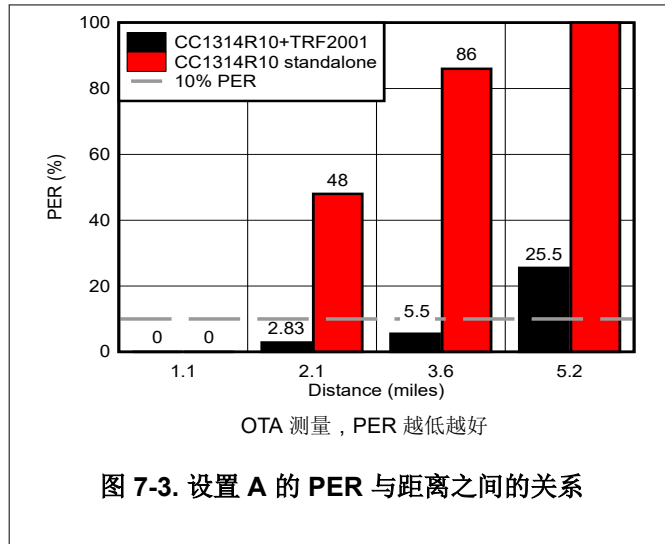


图 7-2. TRF2001 CC1314R10 无线 MCU 的接口设计

7.2.1.3 应用曲线

图 7-3 展示了设置 A 的 OTA PER 结果，在发射机与接收机之间相对较直的传输距离下，分别测试了采用 TRF2001 作为范围扩展功能 ( CC1314R10+TRF2001 ) 和不使用 TRF2001 ( CC1314R10 独立工作 ) 的情况。使用 TRF2001 时，在 3.6 英里距离上实现了约 5.5% 的 PER，远低于 10% 的目标；而未使用 TRF2001 时，PER 几乎恶化至目标值的 5 倍。

图 7-4 展示了设置 B 在有无使用 TRF2001 作为范围扩展器时的 RX 灵敏度对比。测量结果显示，与独立 CC1314R10 设置相比，TRF2001 将 RX 灵敏度提高了约 6dB 至 8dB。



## 7.3 电源相关建议

### 7.4 布局

#### 7.4.1 布局指南

图 7-5 显示了 TRF2001 的示例布局。仅显示顶部信号层 (第 1 层) 和第二个接地层 (第 2 层)。使用多层板来保持信号完整性和电源完整性。

- 将射频信号布线为接地共面波导 (GCPW) 布线。
- 保持顶部的接地平面和任何内部层均用过孔缝合良好, 并且 PCB 的第二层具有连续的接地层, 器件附近没有任何开孔。
- 避免在射频信号线路附近对时钟及数字控制线路进行布线。
- 请勿将射频或者直流信号线布置在有噪声的电源平面上。
- 将电源去耦盖放在器件附近。
- 尽可能使用小尺寸无源器件。

有关电路板布局和设计的更多详细信息, 请参阅 [TRF2001 评估模块用户指南](#)。TRF2001 可以使用 EVM 板进行评估, EVM 板可从 [TRF2001 评估模块](#) 网页订购。

#### 7.4.1.1 散热注意事项

TRF2001 采用 WQFN-FCRLF 封装, 具有出色的热属性。将器件下方的散热焊盘连接到电路板上的散热接地平面。为了实现良好的散热设计, 请使用散热过孔将 PCB 顶层的散热焊盘平面连接到内层的接地平面。

#### 7.4.2 布局示例

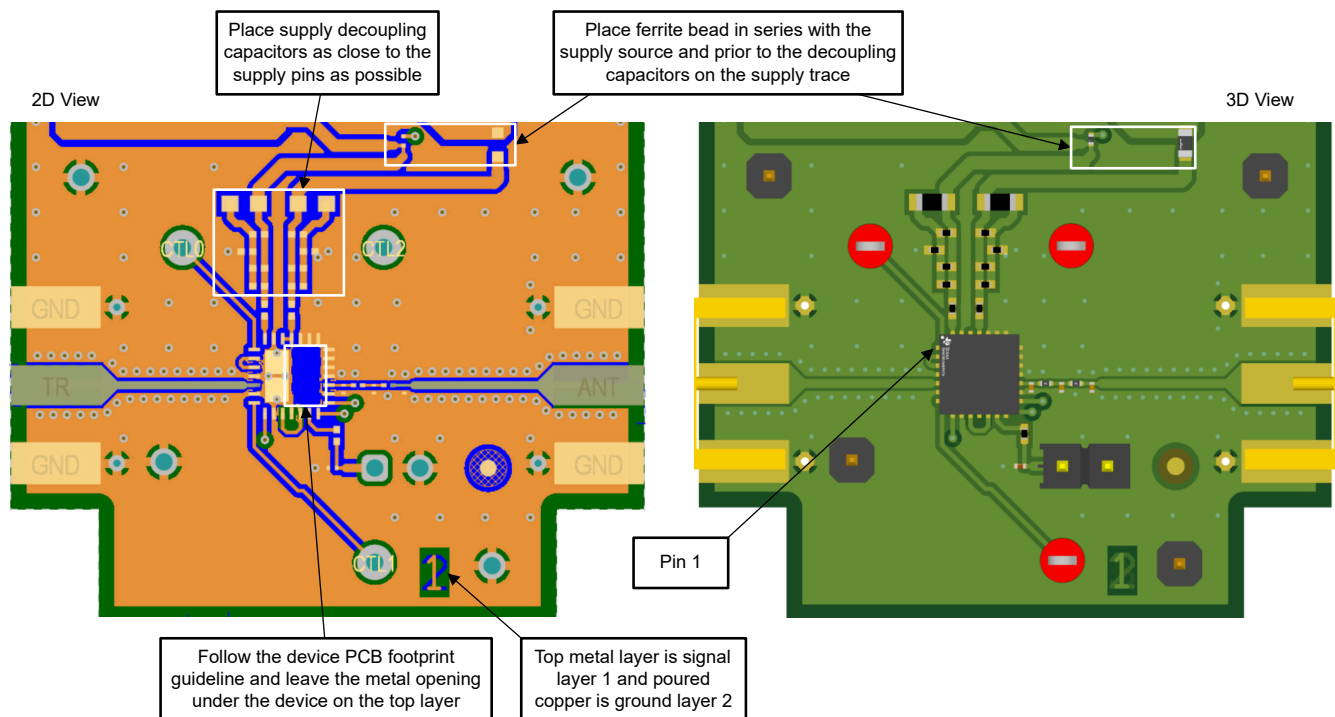


图 7-5. 布局示例

## 8 器件和文档支持

### 8.1 第三方产品免责声明

TI 发布的与第三方产品或服务有关的信息，不能构成与此类产品或服务或保修的适用性有关的认可，不能构成此类产品或服务单独或与任何 TI 产品或服务一起的表示或认可。

### 8.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](https://www.ti.com) 上的器件产品文件夹。点击 [通知](#) 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

### 8.3 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

### 8.4 商标

LaunchPad™ and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

### 8.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

### 8.6 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

## 9 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

日期	修订版本	注释
April 2026	*	初始发行版

## 10 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package   Pins	Package qty   Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
TRF2001VBAR	Active	Production	WQFN-FCRLF (VBA)   28	3000   LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	T201A21

(1) **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

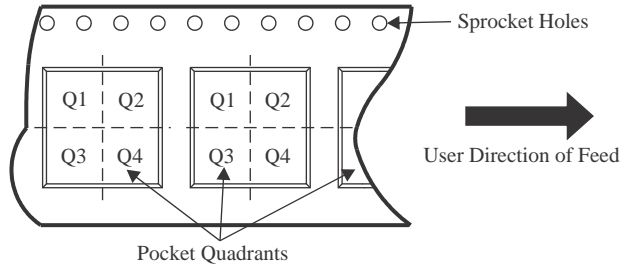
(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

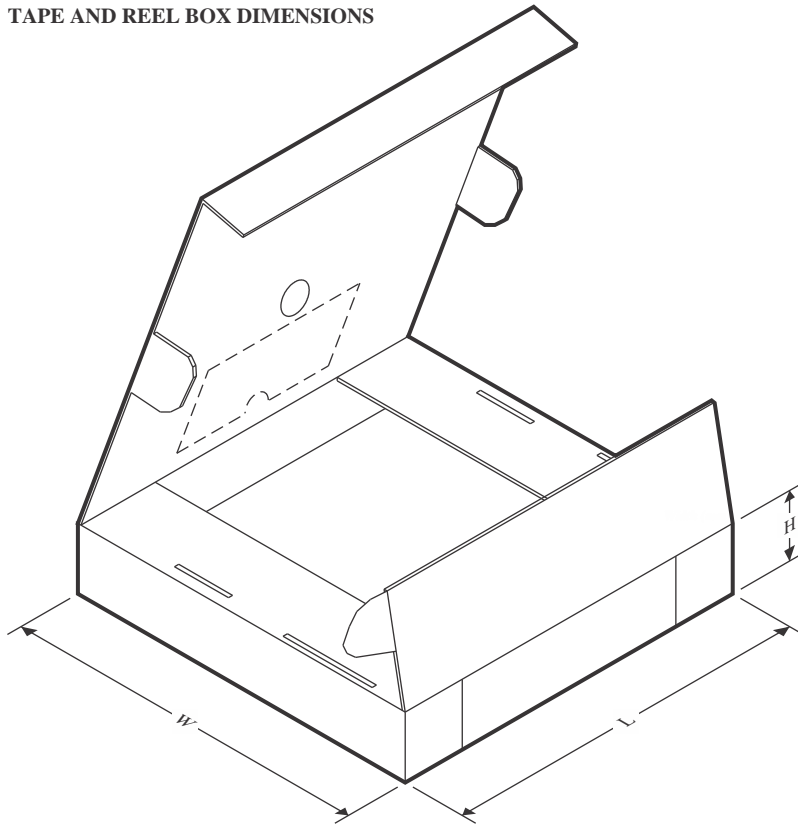
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

**TAPE AND REEL INFORMATION**

**QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE**


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TRF2001VBAR	WQFN-FCRLF	VBA	28	3000	330.0	12.4	4.75	4.75	1.6	8.0	12.0	Q1

**TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS**


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TRF2001VBAR	WQFN-FCRLF	VBA	28	3000	336.6	336.6	31.8

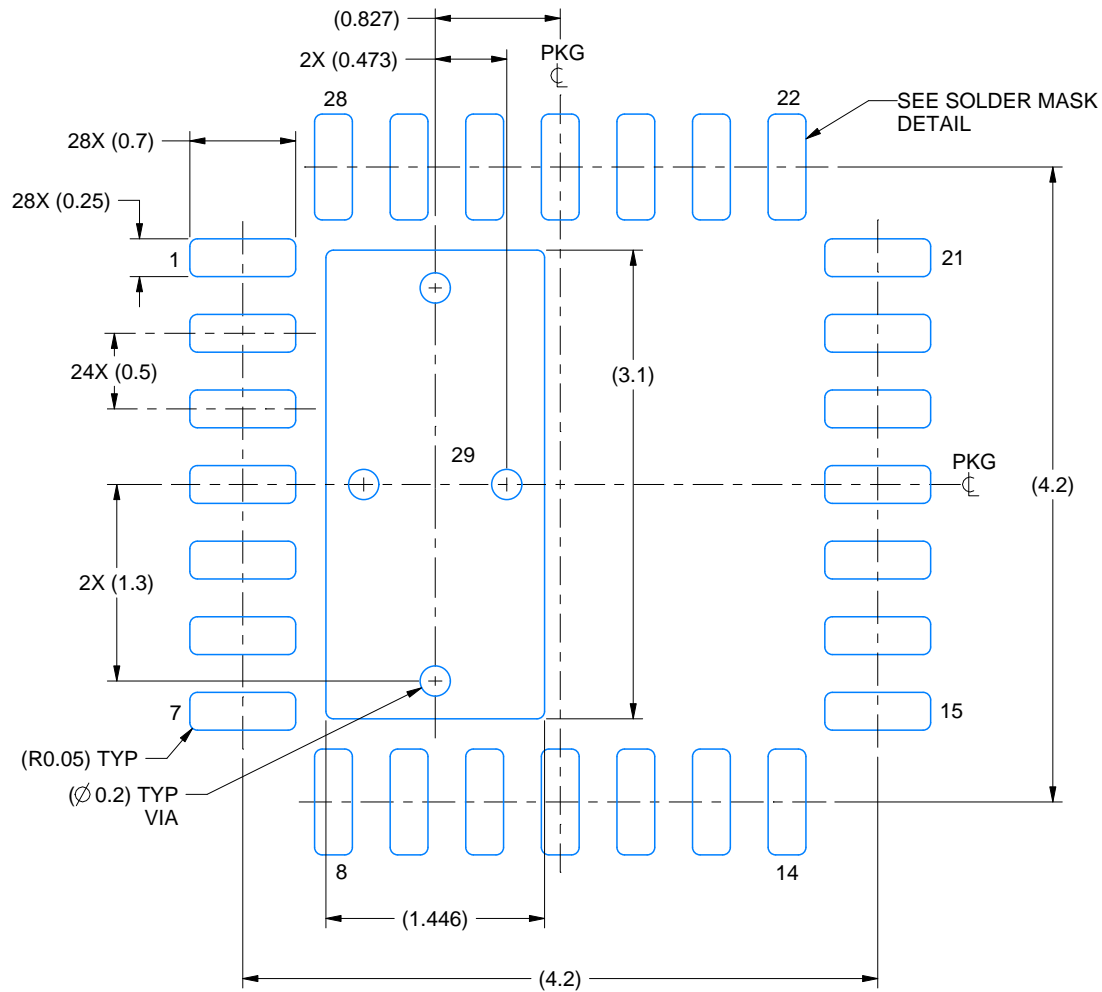


# EXAMPLE BOARD LAYOUT

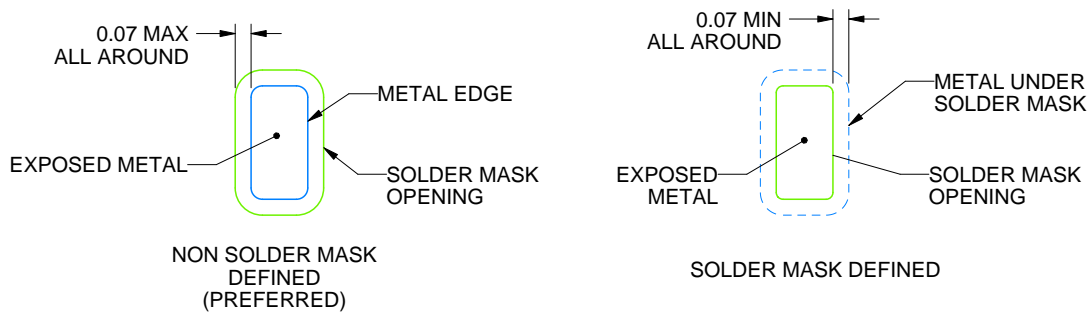
VBA0028A

WQFN-FCRLF - 0.7 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE  
EXPOSED METAL SHOWN  
SCALE: 20X



SOLDER MASK DETAILS

4229740/A 06/2021

NOTES: (continued)

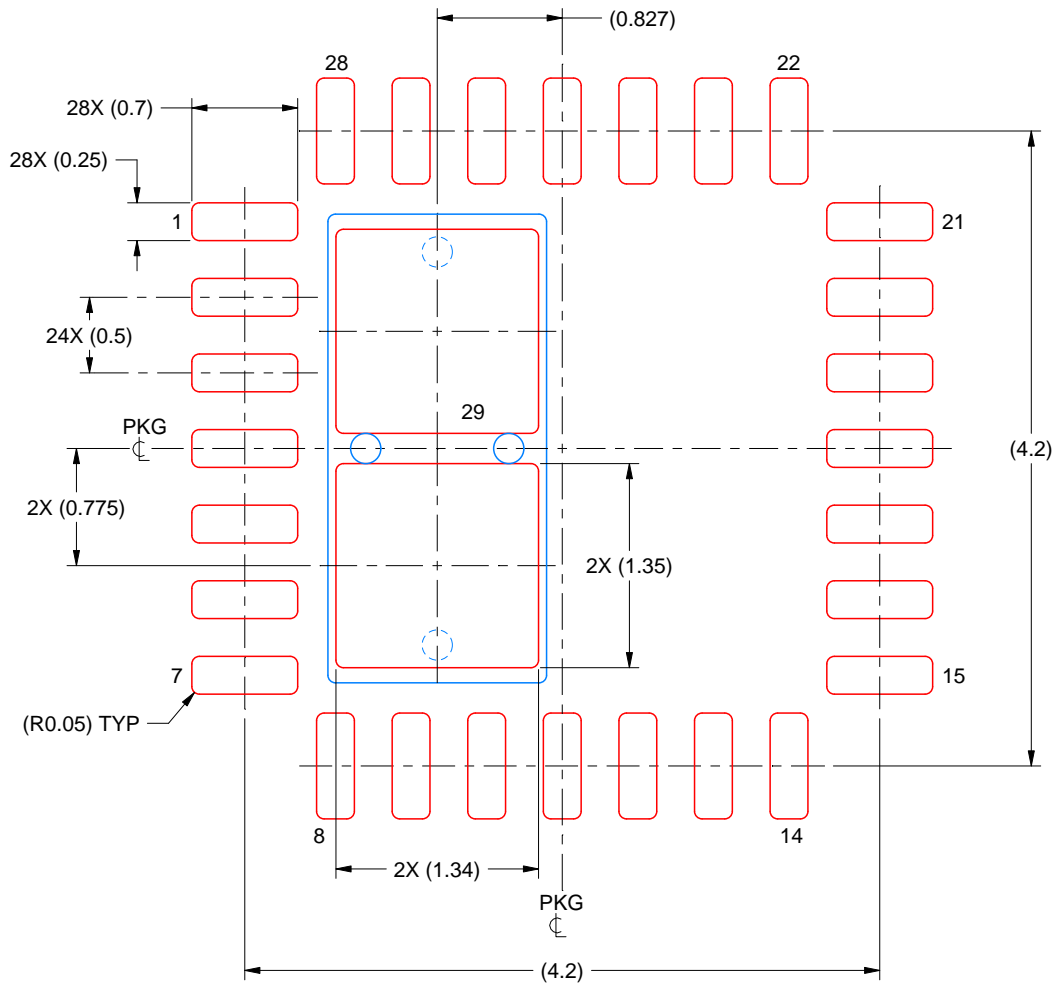
4. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 ([www.ti.com/lit/sluea271](http://www.ti.com/lit/sluea271)).
5. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

# EXAMPLE STENCIL DESIGN

VBA0028A

WQFN-FCRLF - 0.7 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



SOLDER PASTE EXAMPLE  
BASED ON 0.125 MM THICK STENCIL  
SCALE: 20X

EXPOSED PAD 29  
35% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE

4229740/A 06/2021

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

## 重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月