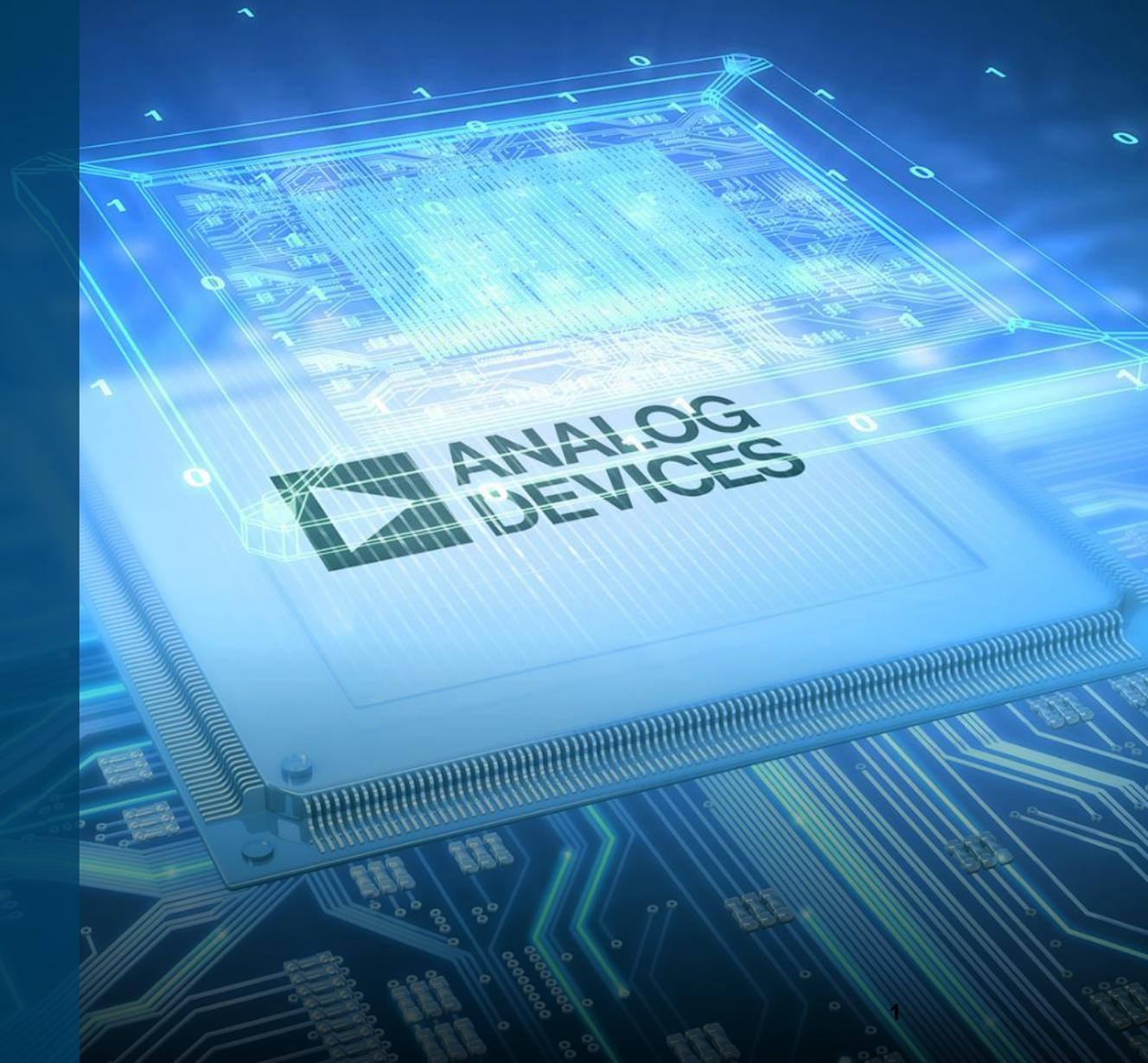




AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

RF功率和VSWR测量系统设计

EAMON NASH
RF产品应用总监



- ▶ 简介
 - RF检波器用于何处
 - RF检波器有何用途
 - 典型基本连接
 - RF检波器类型
- ▶ 精密RF电源管理
 - 校准
 - 温度稳定性
 - ADC接口
 - 未校准操作
 - 温度稳定性
 - 频率响应

议题 (续)

- ▶ 在线RF功率测量的信号耦合
 - 信号耦合技术
 - 电平规划
 - 回波损耗和VSWR测量
- ▶ 脉冲和包络检测
 - 脉冲响应和带宽
 - SDLVA
- ▶ RF输入保护



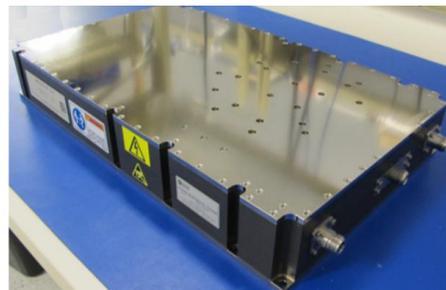
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

简介

RF功率检波器用于何处



RF功率计



RF功率放大器



医疗



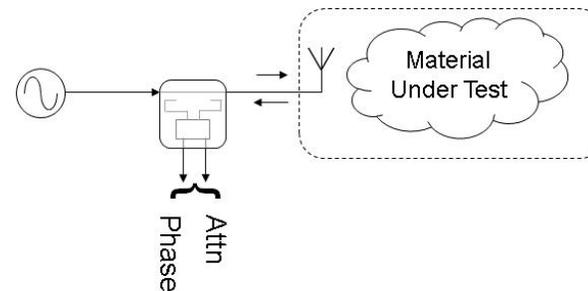
道路收费
电子支付



频谱和网络分析仪
RF信号发生器



无线
通信



基于RF的
材料分析

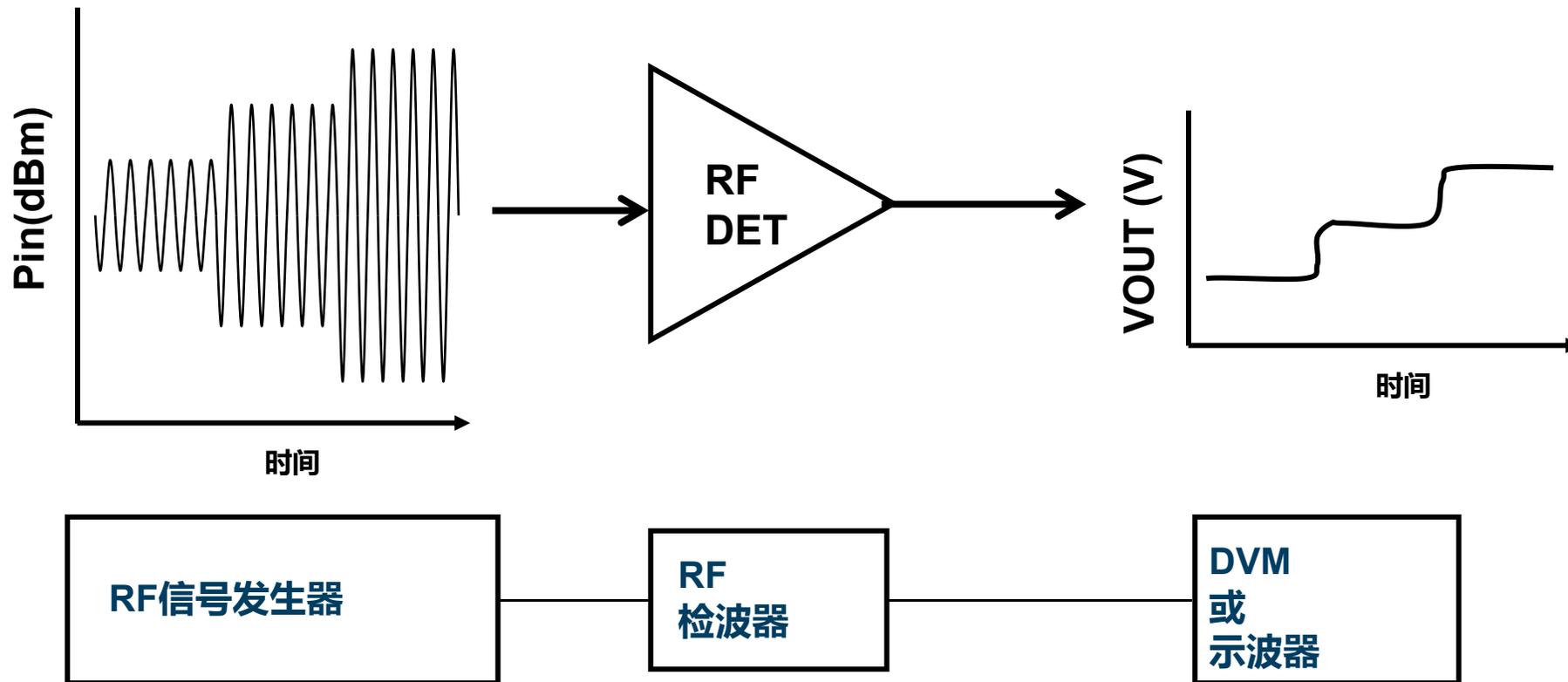


电子战



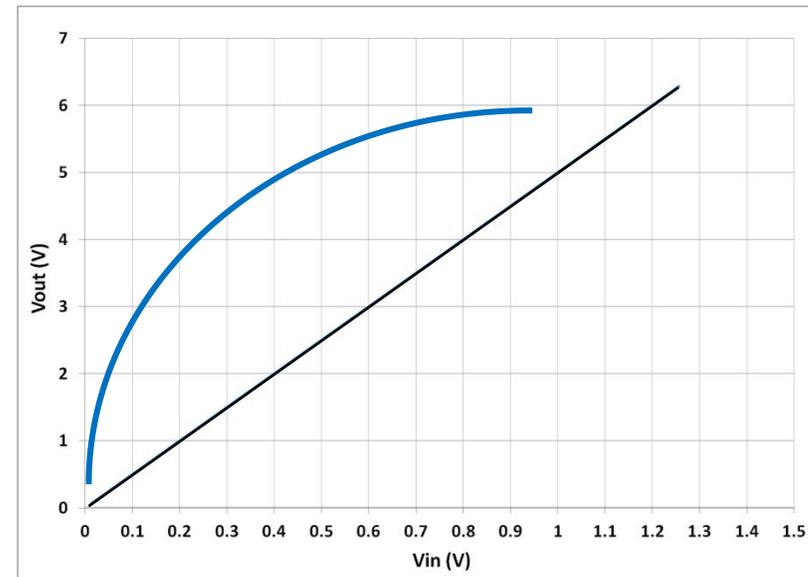
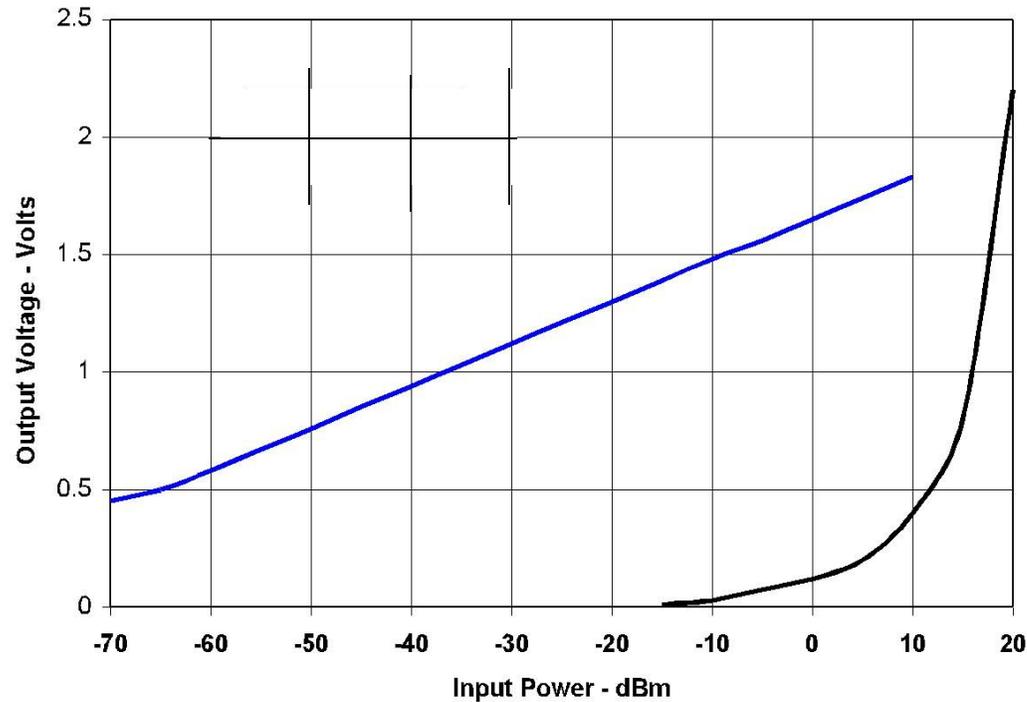
雷达

RF检波器有何用途？



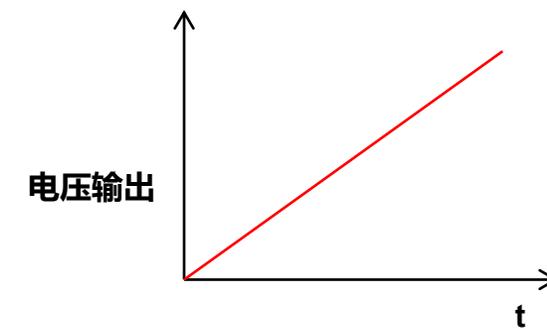
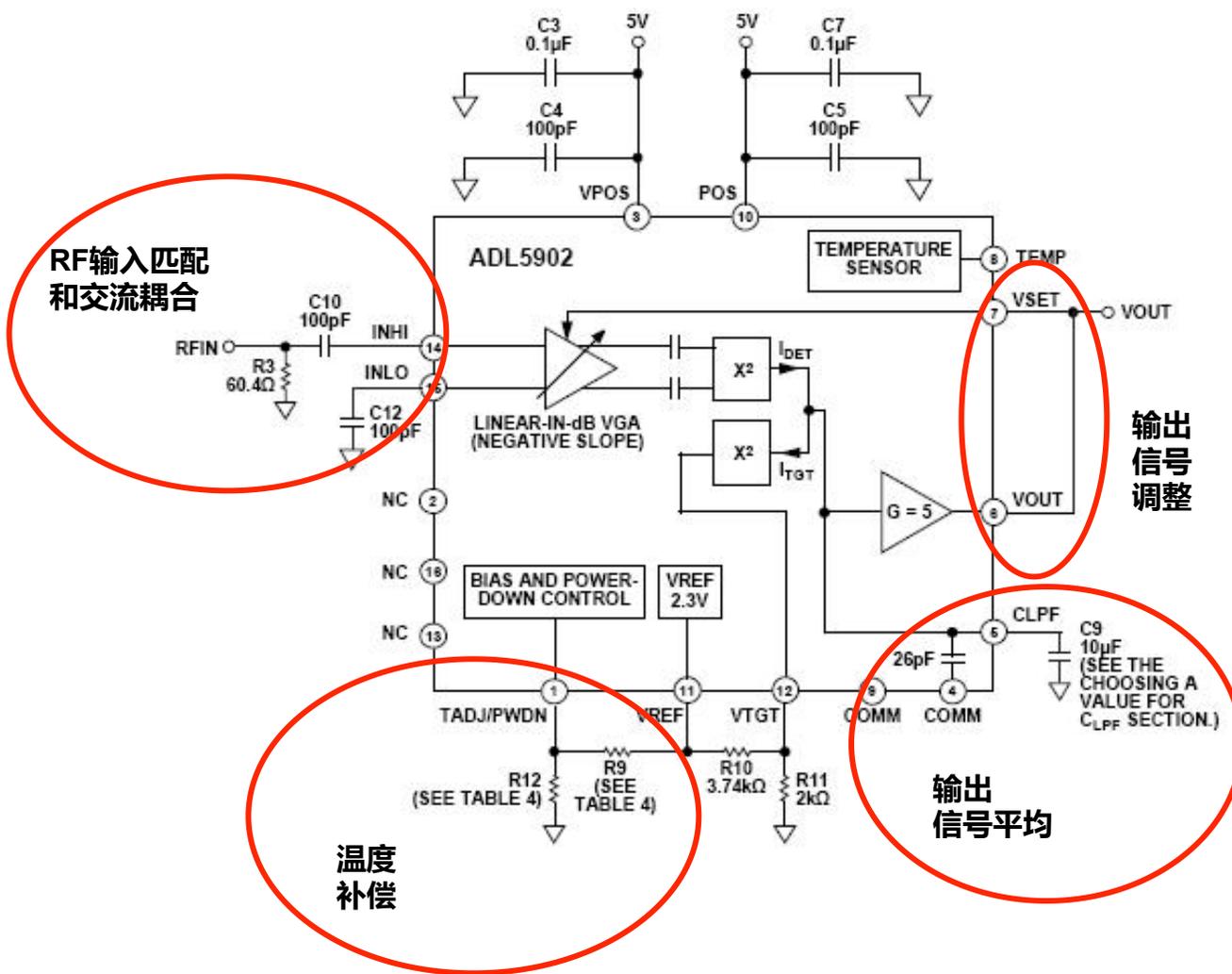
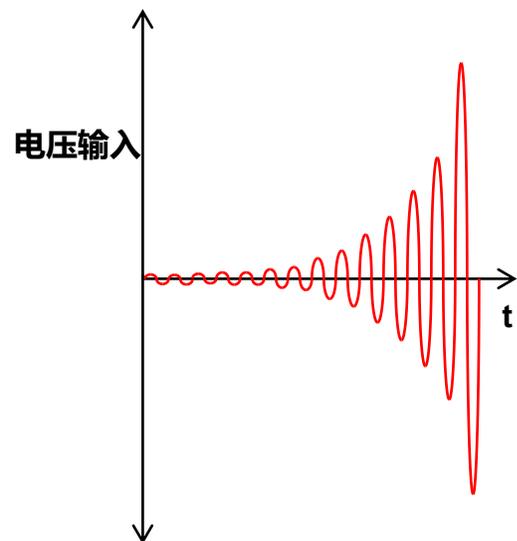
- ▶ RF检波器是一种微型RF功率计
- ▶ RF功率输入(dBm) → 电压输出

线性dB与线性V/V的关系

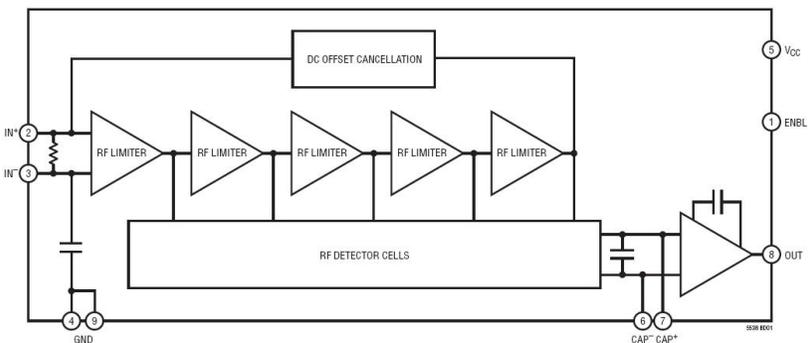


- ▶ 线性V/V器件具有较小的范围，但在最大功率下具有极高的精度和分辨率
- ▶ 对于低功率线性V/V而言，ADC分辨率可能是个问题

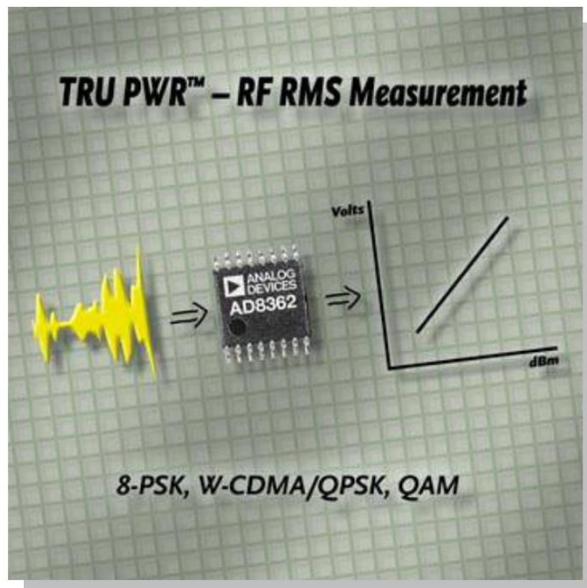
典型RF检波器的操作



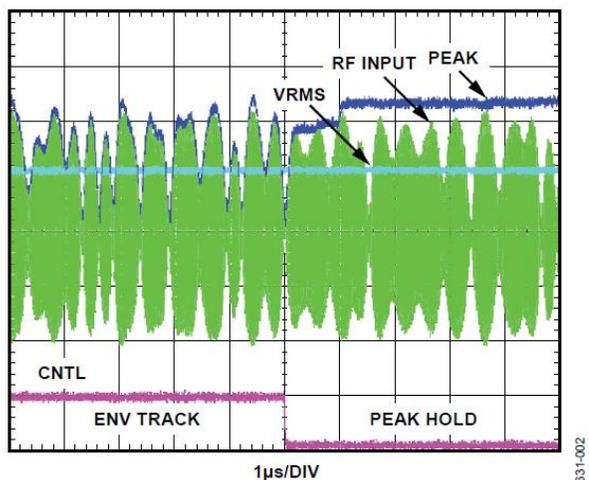
RF检波器类型



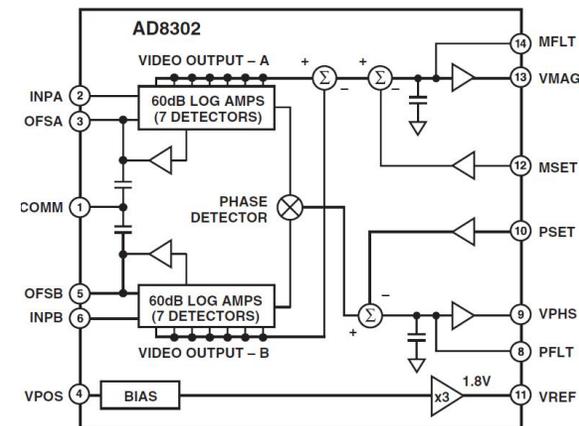
对数放大器



RMS检波器



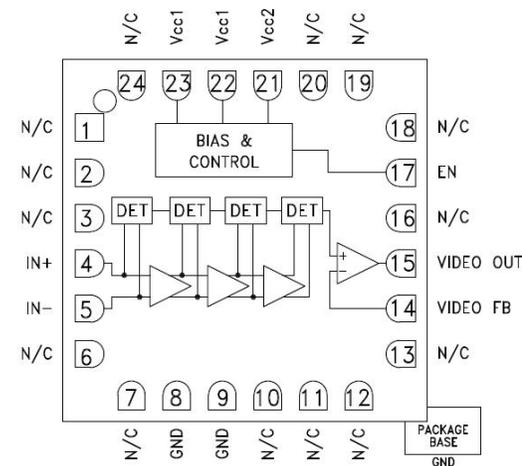
包络/峰值/阈值检波器



增益/相位检波器

幅度
输出

相位
输出



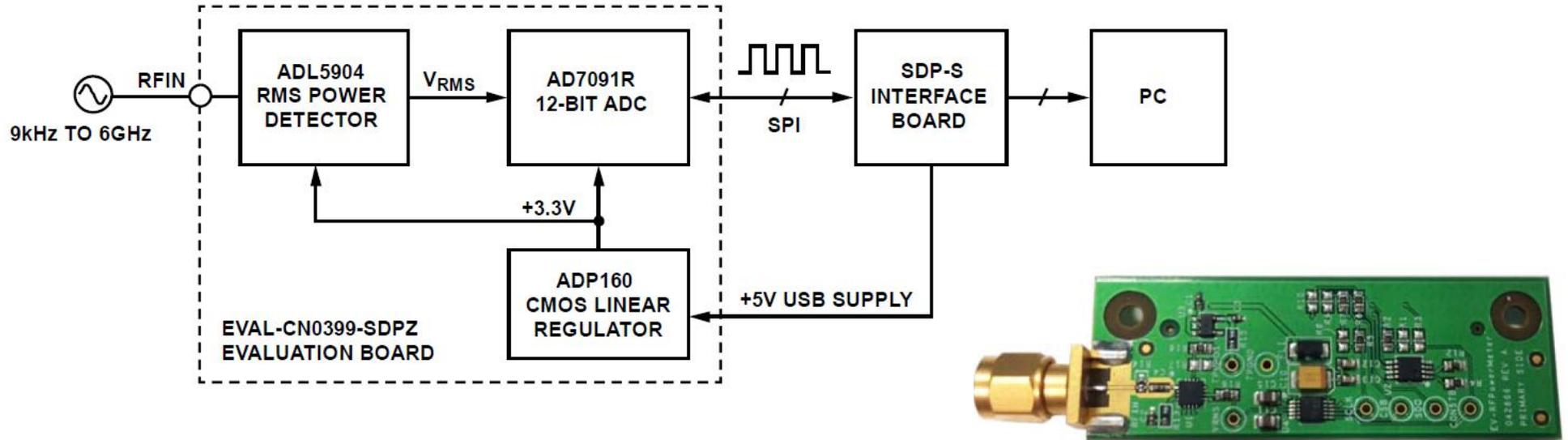
SDLVA



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

精密RF电源管理

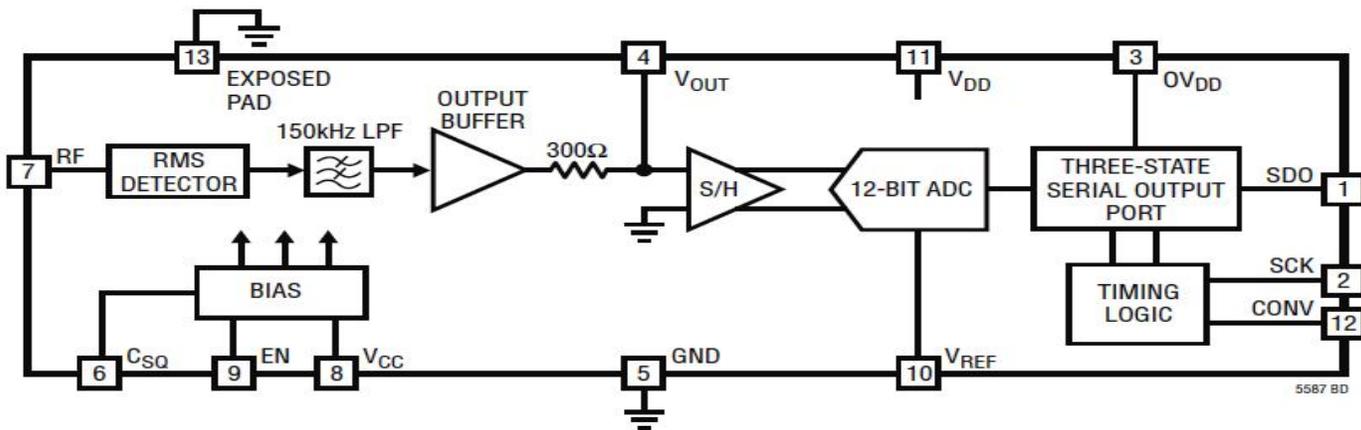
典型RF电源管理系统（电路笔记CN0399）



- ▶ ADL5904 RMS检波器（DC至6 GHz）直连到AD7091 ADC
- ▶ AD7091 12位ADC： $V_{fs} = 2.5V$ ， $LSB = 610 \mu V$
- ▶ ADL5904 V_{out} ：0至1.8 V，斜率约为35 mV/dB
- ▶ 测量分辨率 ≈ 57 个码/dB

备用集成式解决方案：LTC5587

10MHz - 6GHz RMS功率检波器集成ADC



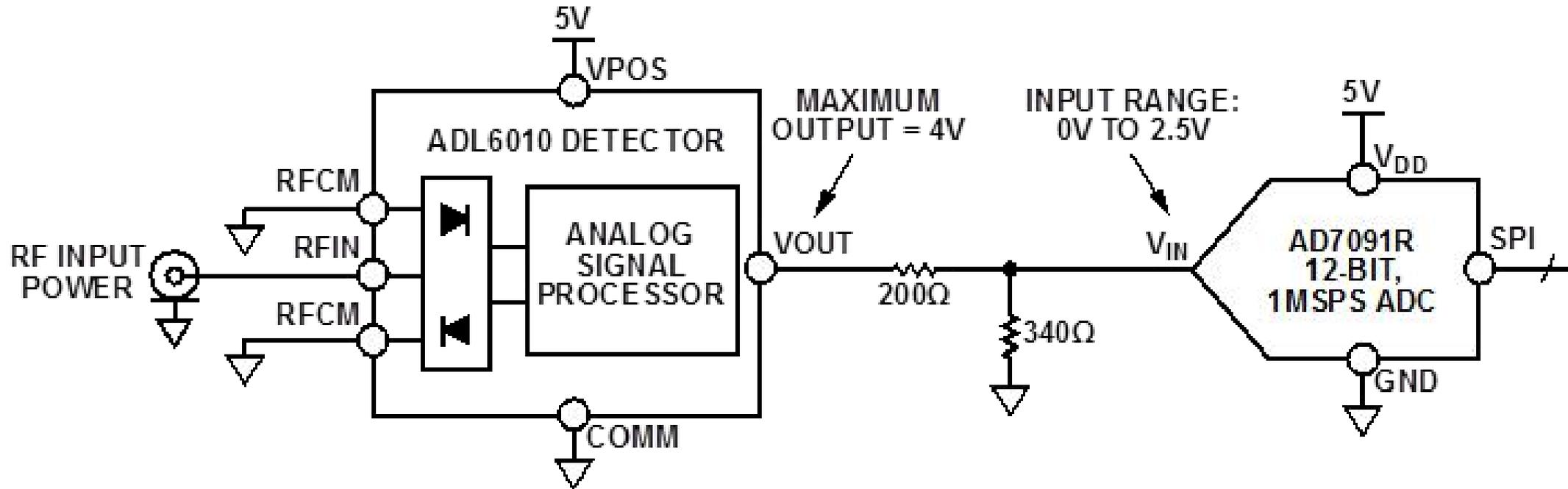
特性

- ▶ 12位串行(SPI)输出ADC
- ▶ 最大采样速率：500ksps
- ▶ 分辨率：0.014dB/位
- ▶ 线性dB响应
- ▶ 单端RF输入
- ▶ 150kHz调制带宽
- ▶ 关断
- ▶ 3x3mm 12引脚DFN封装
- ▶ 低静态功耗：3mA@3V

LTC5587性能

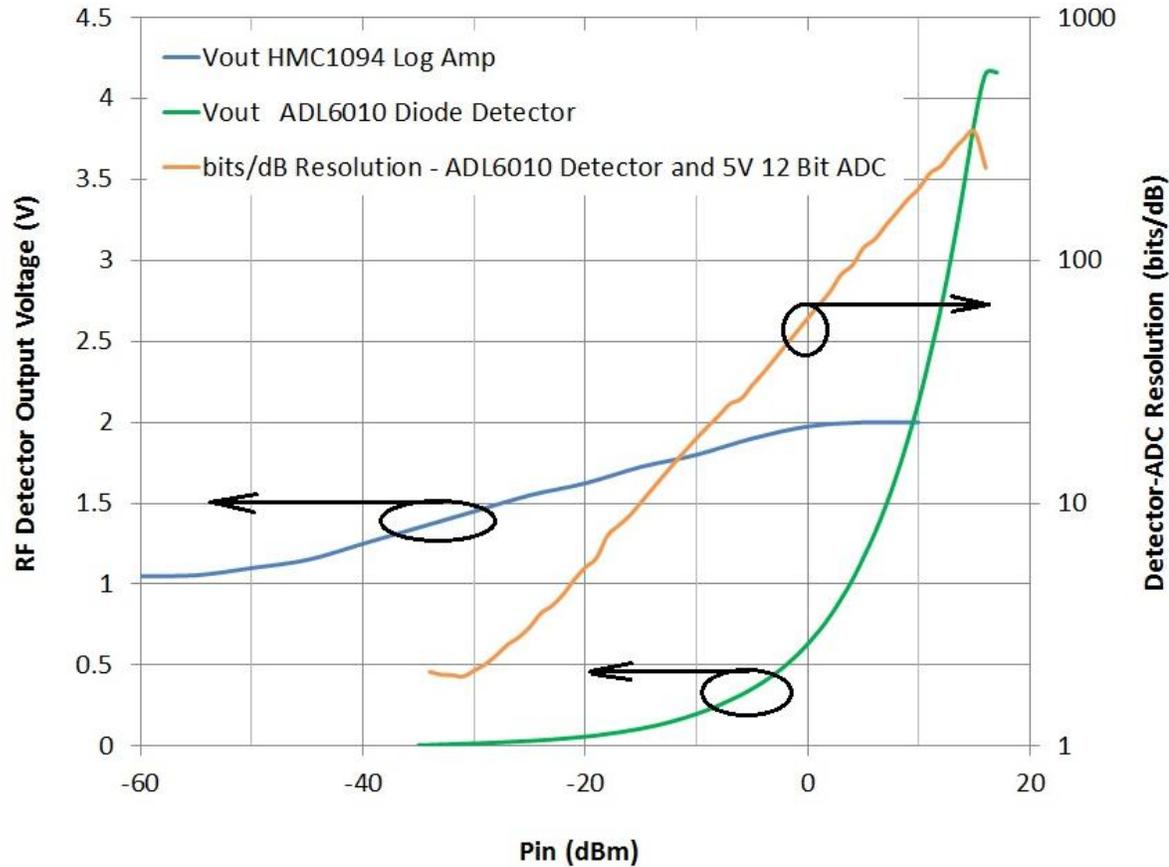
RF频率	880	2600	5800	MHz
动态范围	40	40	31	dB
对数斜率	31	31	31	mV/dB
对数截距	-42	-42	-33	dBm
最小可检测信号	-34	-34	-25	dBm
最大对数线性输入电平	6	6	6	dBm

线性V/V测量系统（电路笔记CN0366）



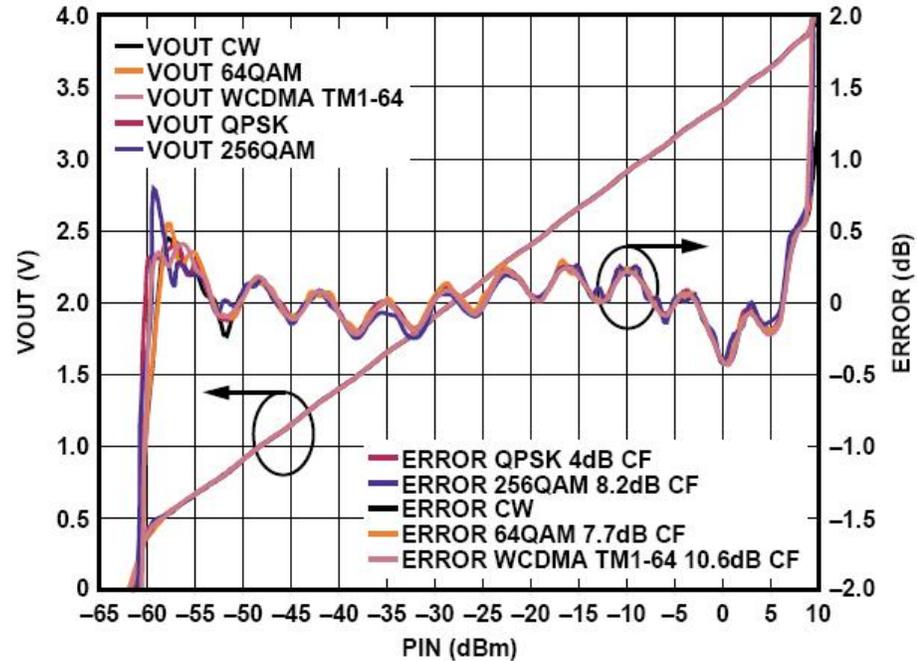
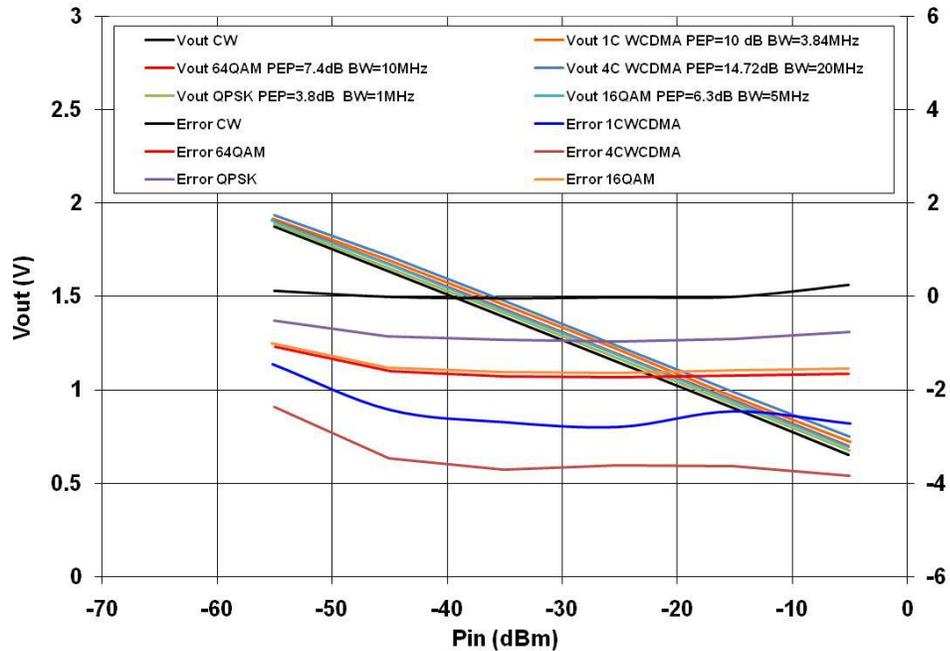
- ▶ ADL6010线性V/V检波器（500 MHz至43.5 GHz）通过电阻分压器连接到AD7091 ADC。
- ▶ AD7091 12位ADC： $V_{fs} = 2.5V$ ， $LSB = 610 \mu V$

线性V/V测量系统（电路笔记CN0366）



- ▶ 递增的位/dB分辨率随着输入功率增大而降低

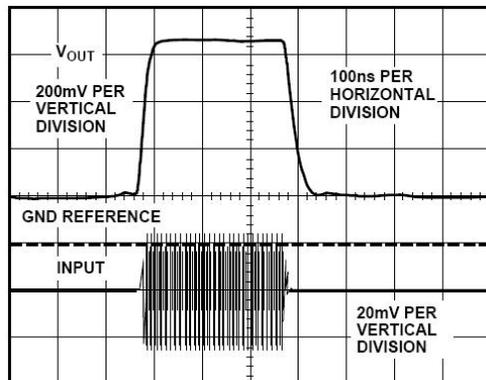
RMS检波器与对数放大器的关系



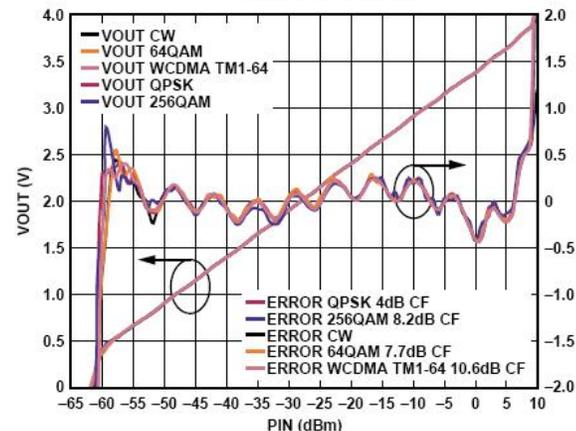
- ▶ 非RMS响应RF检波器的电压随信号类型的变化而改变
- ▶ 由于发射机知道它正在发送什么信息，这种变化通常可以校正，但查找表会变大。
- ▶ WCDMA、LTE和QAM等通信和调制标准允许波峰因数具有很大的变化（可能超出LUT的处理范围）
- ▶ 术语“对数放大器”或“对数检波器”一般指代非RMS响应的线性dB输出响应RF检波器

RMS检波器与对数检波器的关系

对数检波器



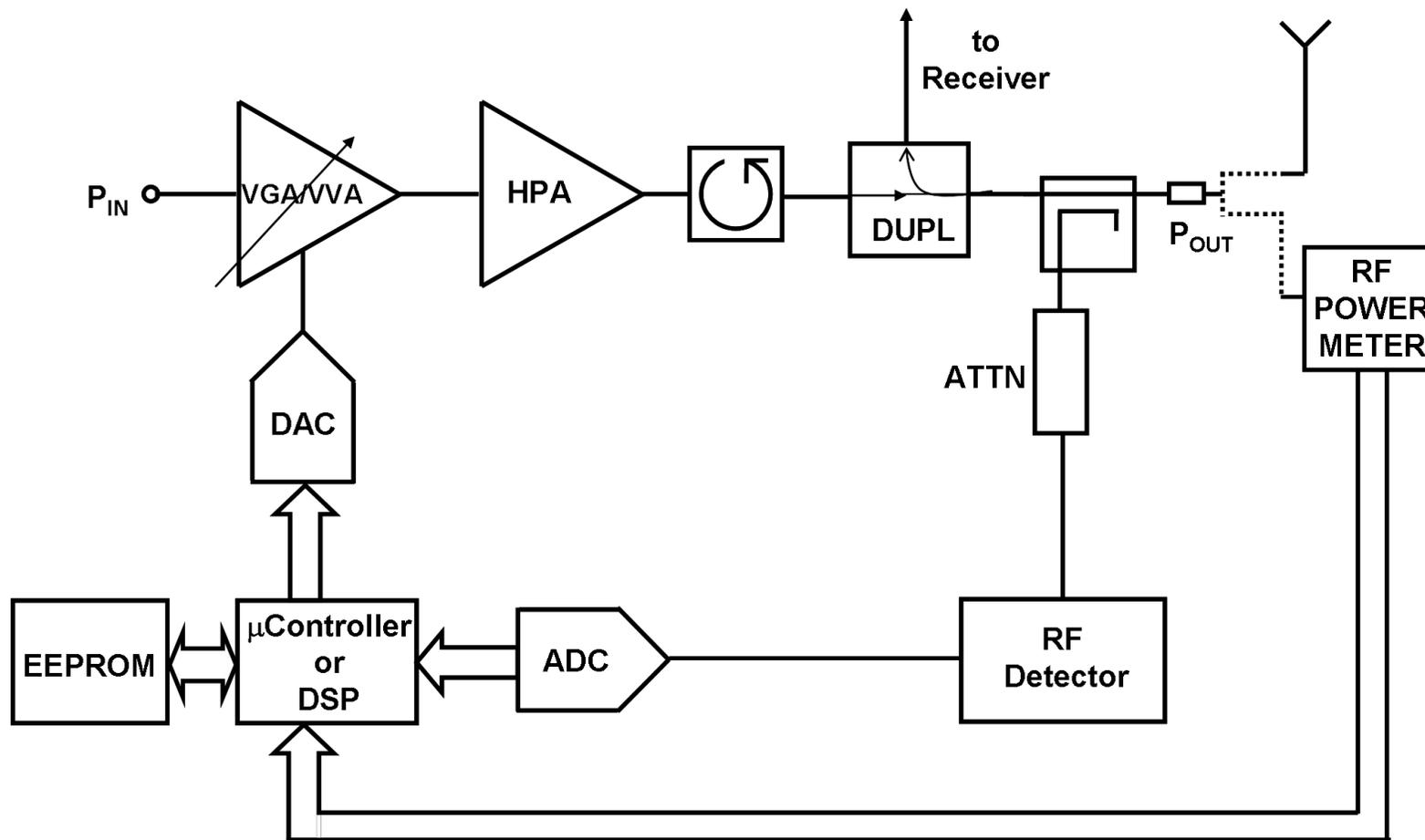
RMS检波器



规格	对数检波器	RMS检波器
传递函数	线性dB	线性dB或线性V/V
温度稳定性	出色↑	出色↑
波峰因数抗扰度	差↓	极佳(0 dB误差)↑
工作频率	直流-10 GHz↑	50Hz至6 GHz↑
动态范围	40 dB至100 dB↑	30 dB至65 dB↑
响应时间	快速(≥5 ns)↑	慢速(≥10 uS)↓
适用系统	固定调制	变化调制
	脉冲RF (如雷达)	多载波

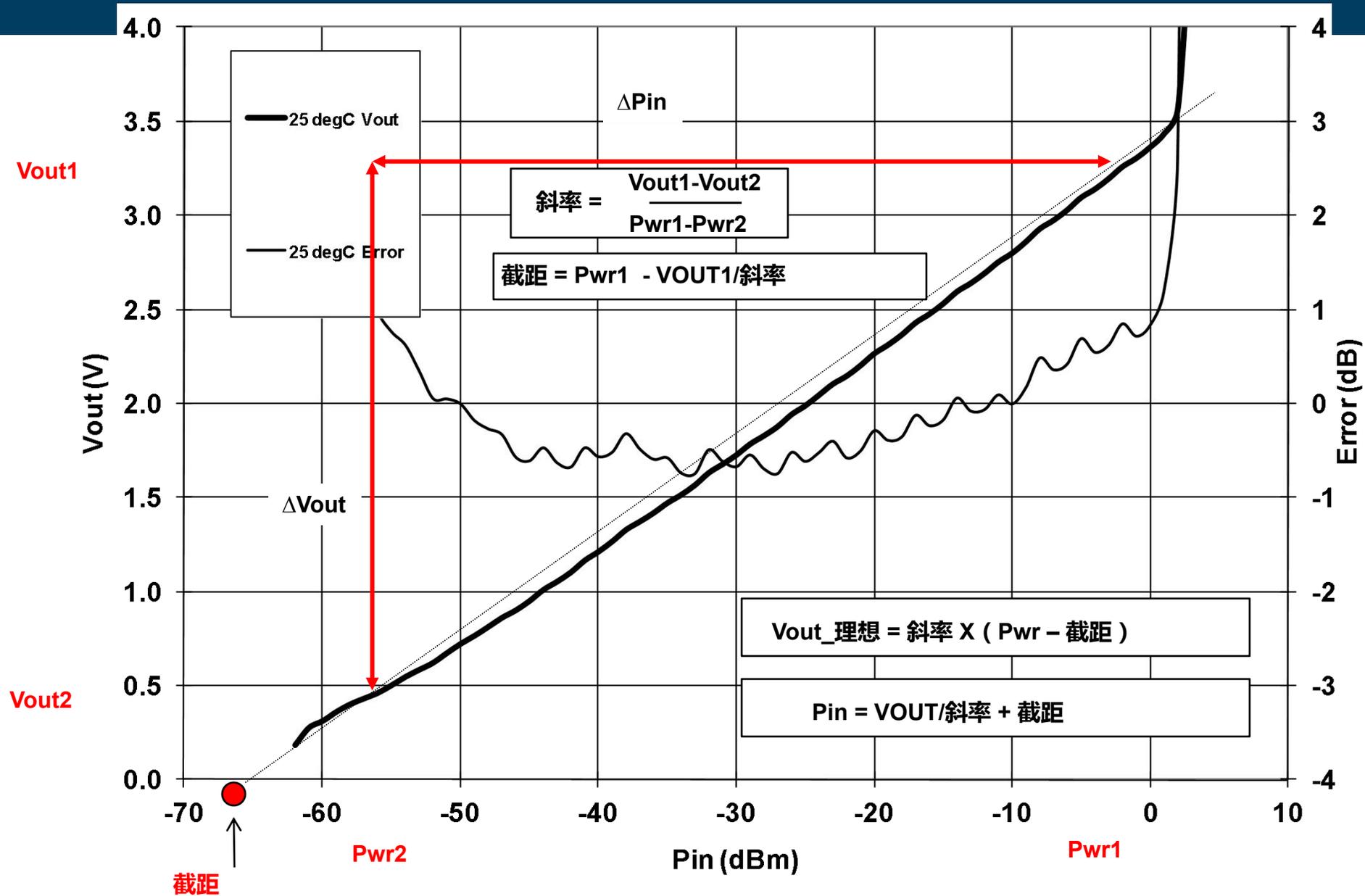
对数和RMS检波器有大量重复功能！

设备校准



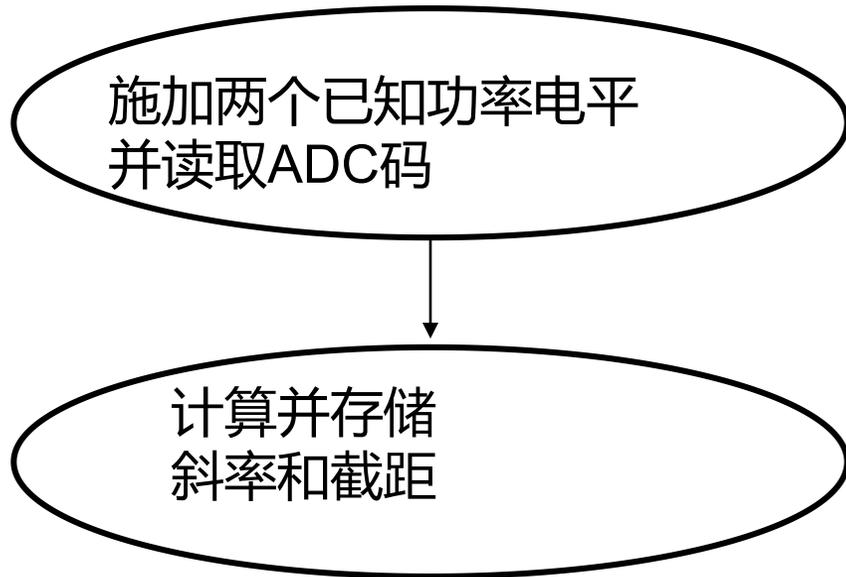
- ▶ 校准涉及将一个已知外部参考的精度传递给另一个系统
- ▶ 利用外部功率计精确测定天线功率
- ▶ 收集与两个或更多已知功率电平相对应的两个或更多ADC码

校准策略和算法

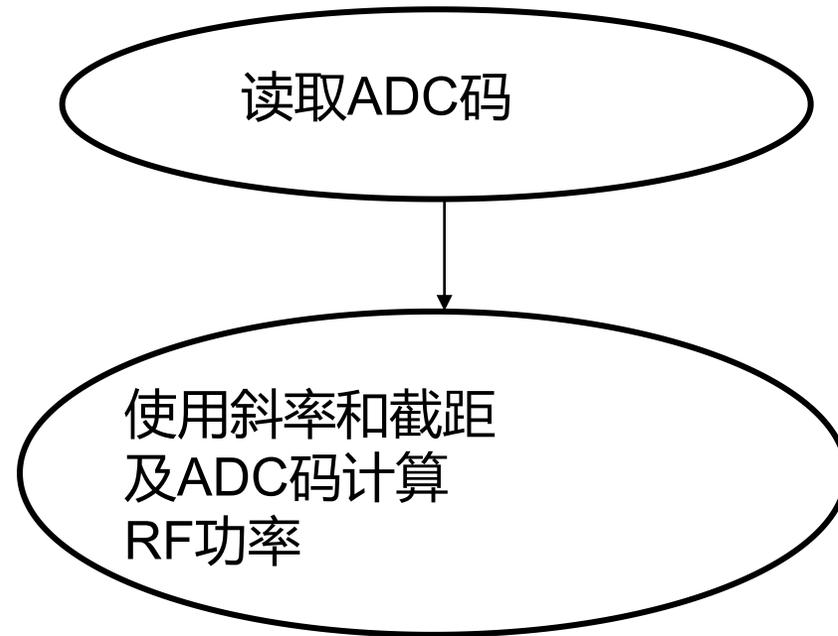


校准和操作系统

校准程序

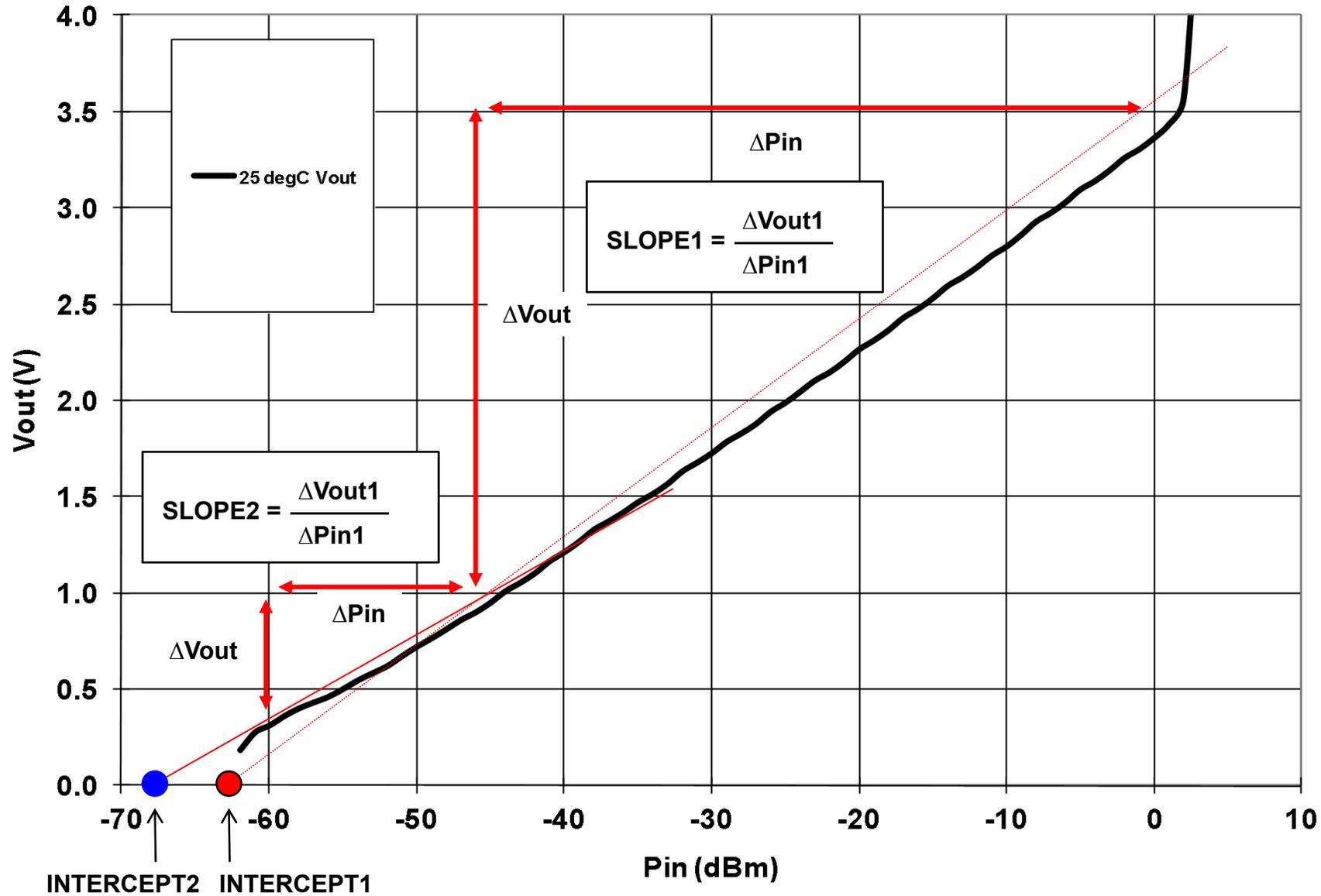


操作系统

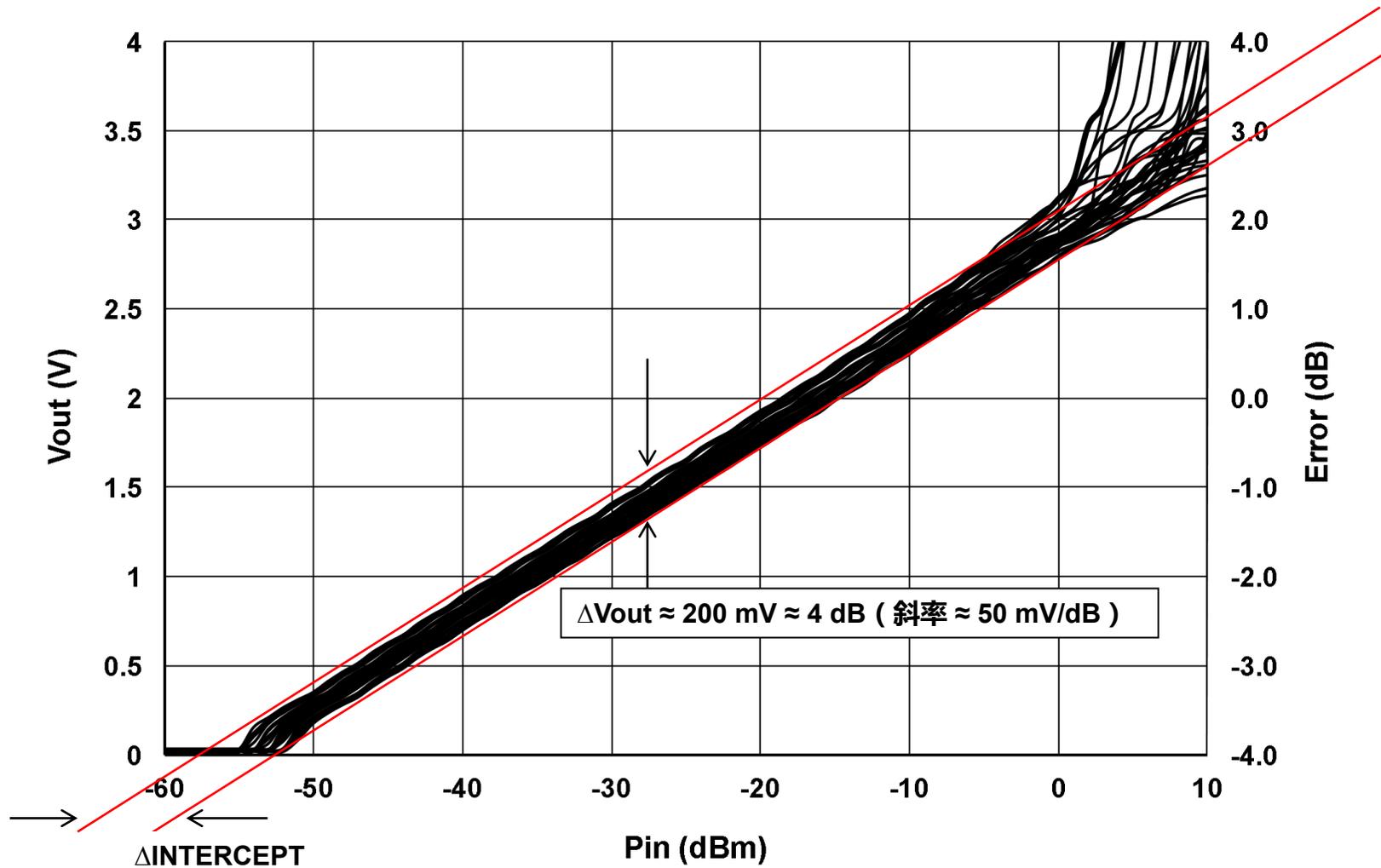


$$\text{RF功率} = \text{码/斜率} + \text{截距}$$

多点校准



无校准操作



- ▶ RF检波器提供出色的线性度和低温漂，但不提供绝对精度

温度稳定性 – 线性V/V与线性dB检波器

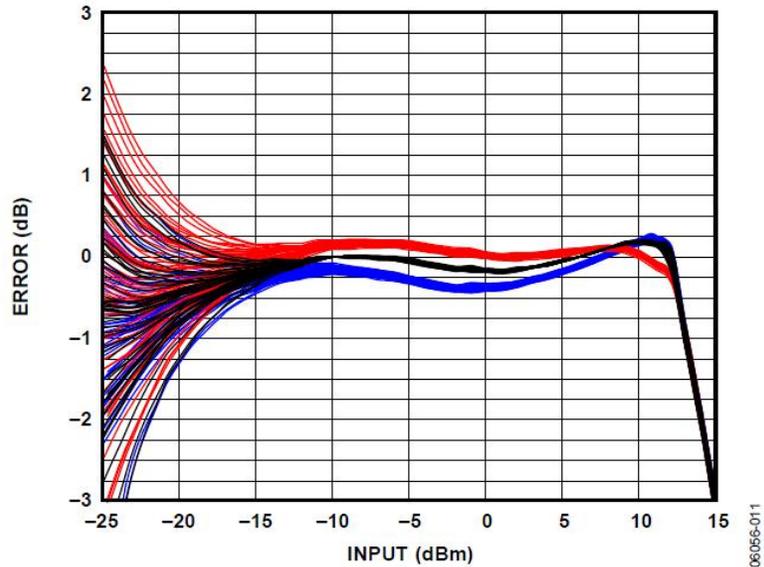


Figure 11. Temperature Drift Distributions for 50 Devices at -40°C , $+25^{\circ}\text{C}$, and $+85^{\circ}\text{C}$ vs. $+25^{\circ}\text{C}$ Linear Reference; Frequency = 1900 MHz; Supply = 5.0 V

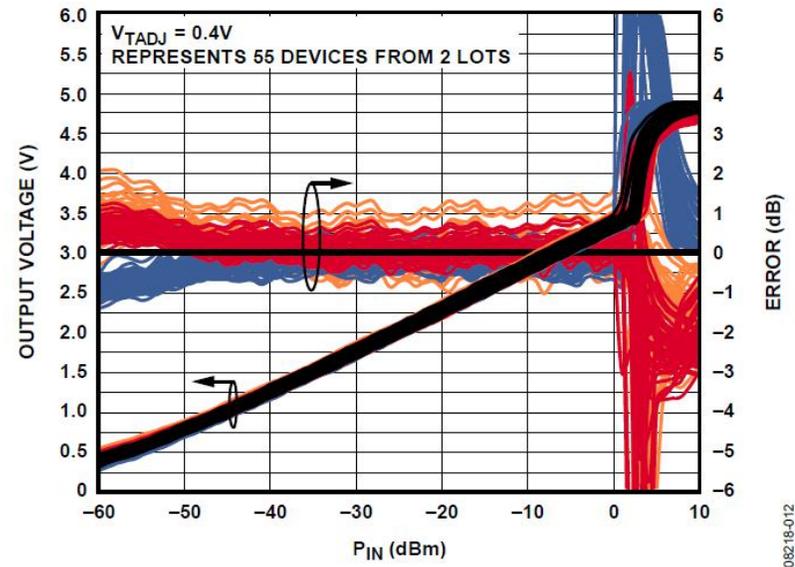


Figure 12. Distribution of Error with Respect to 25°C over Temperature vs. Input Amplitude, CW, Frequency = 1.9 GHz

- ▶ 线性V/V通常在较低功率电平时具有较高温漂，而在接近最大输入功率时具有出色温度稳定性。
- ▶ 线性dB RF检波器通常在整個输入范围内都具有更稳定的温度稳定性。
- ▶ 多器件图可指示额外的温度补偿是否可行。

AN129 - 提高RMS功率检波器全温度范围内的输出精度

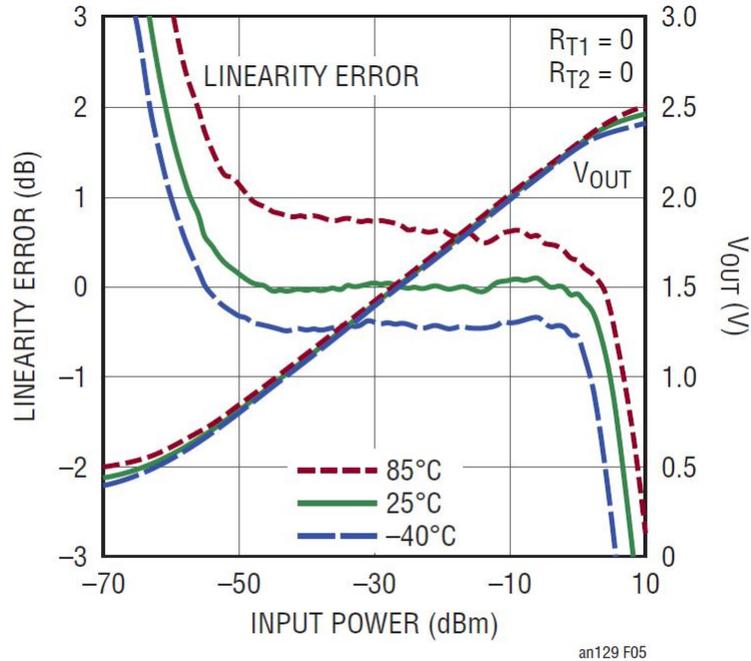


Figure 5. Uncompensated LTC5583 at 900MHz

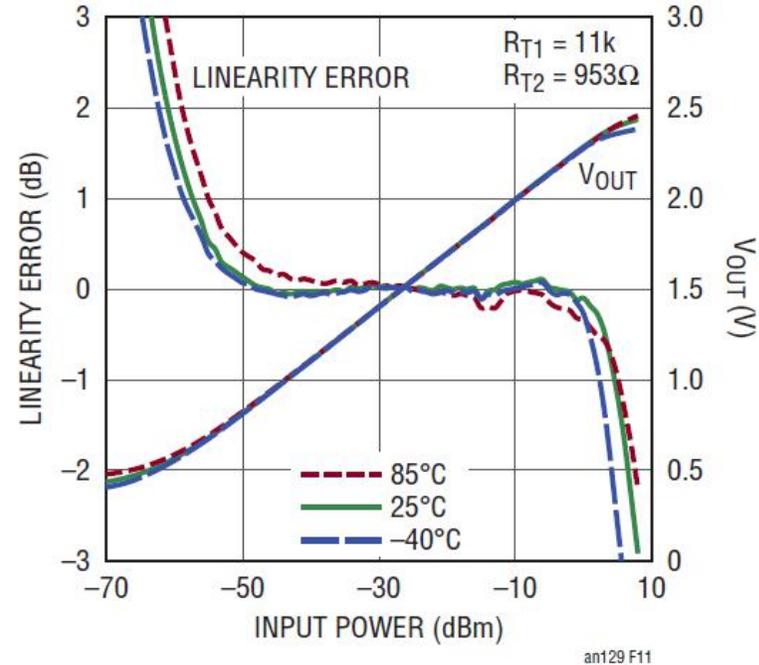
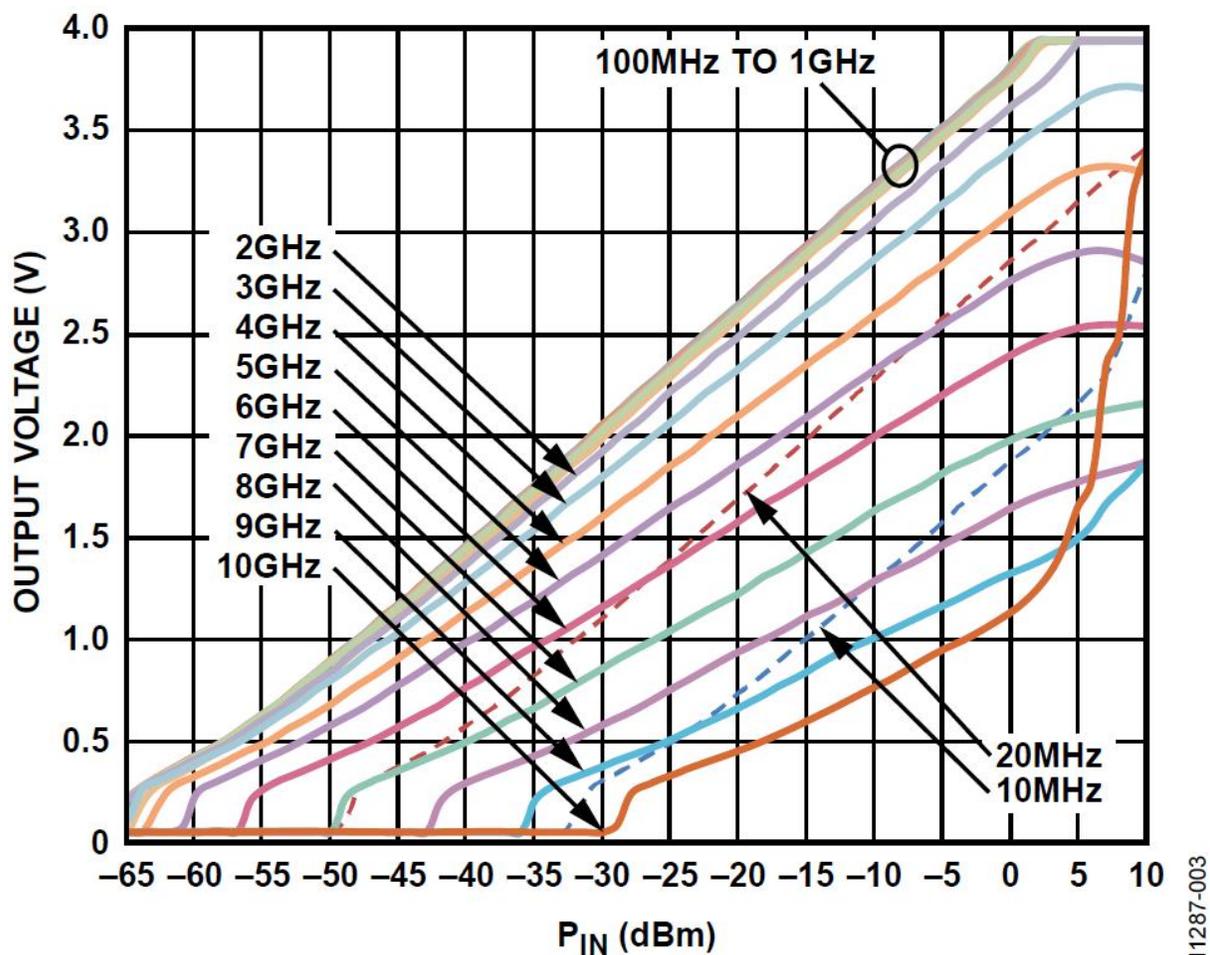


Figure 11. Temperature Compensated LTC5583 Output After 2 Iterations.

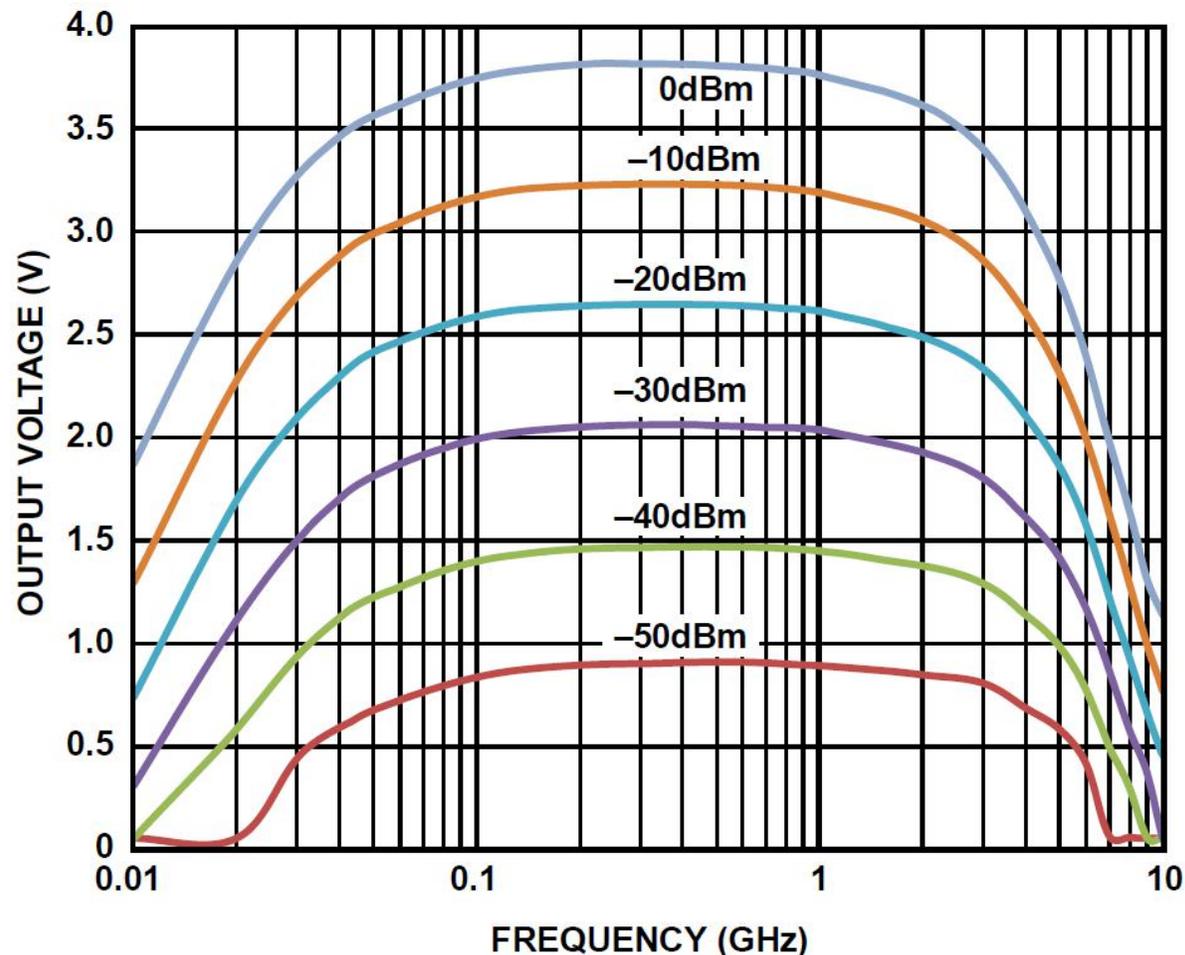
- ▶ 利用两个片外电阻优化温度稳定性

RF检波器 – 输入频率响应(ADL5906)



11287-003

Figure 3. Typical V_{RMS} vs. Input Power (dBm) vs. Frequency (10 MHz to 10 GHz) at 25°C

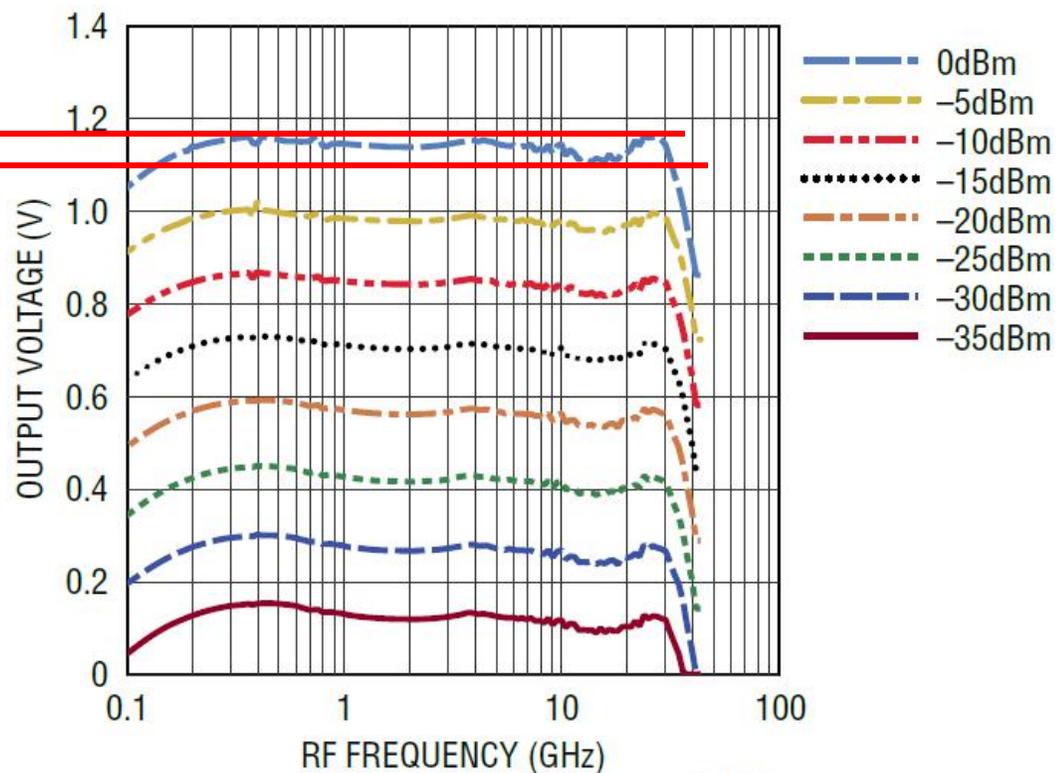


11287-006

Figure 6. Typical V_{RMS} vs. Frequency for Six RF Input Levels

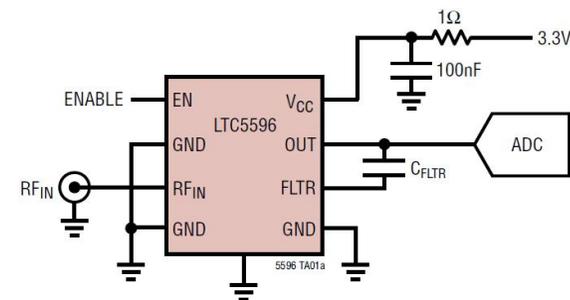
LTC5596 – 100 MHz至40 GHz RMS检波器 - 频率响应

Output Voltage vs Frequency



60 mV
≈2 dB平坦度 (相对于频率)

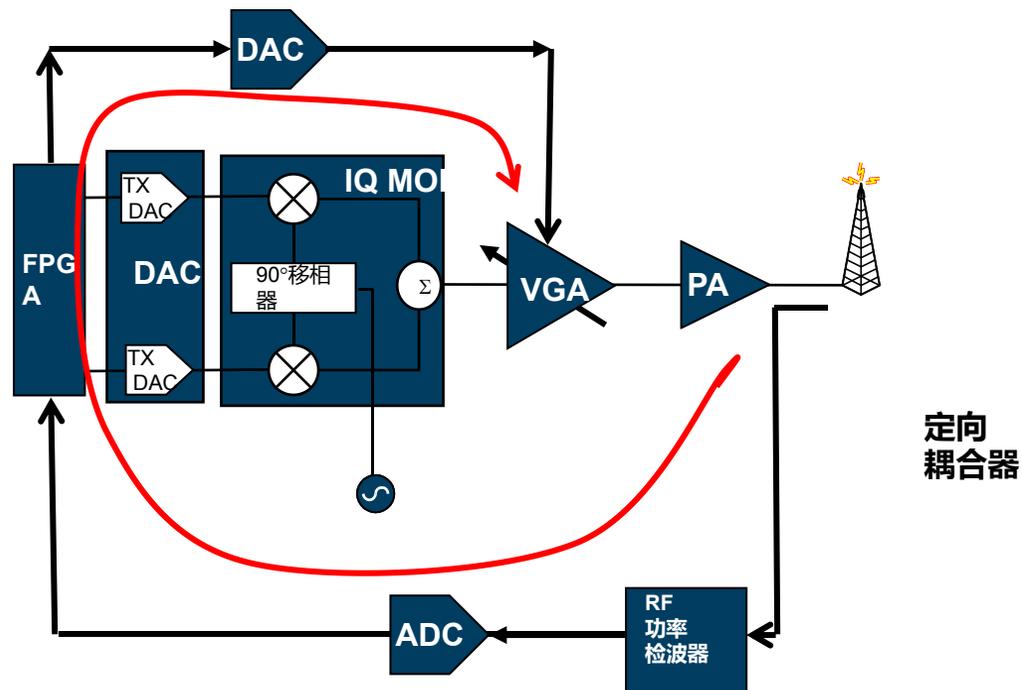
100MHz to 40GHz RMS Power Detector



▶ 良好的频率平坦度减少校准开销

在线RF功率测量的信号耦合

在线RF功率测量的信号耦合



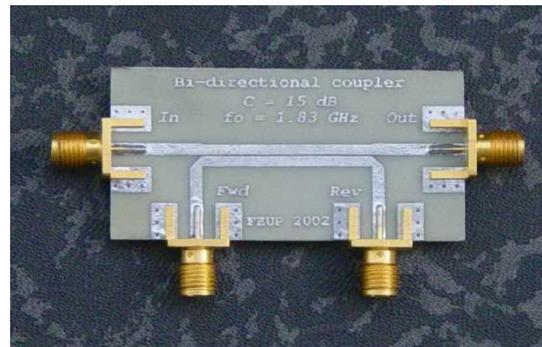
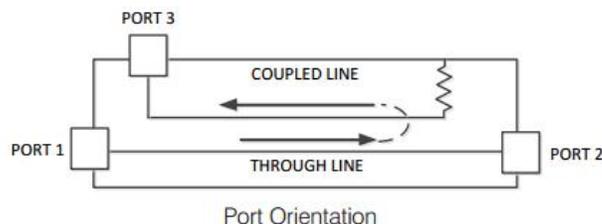
在通信和功率监测应用中，将发射信号的样本耦合接出并施加于RF检波器

信号耦合 - 定向耦合器

▶ RF耦合器用于将部分入射和反射信号耦合到功率检波器。

▶ 传输线路耦合器类型：

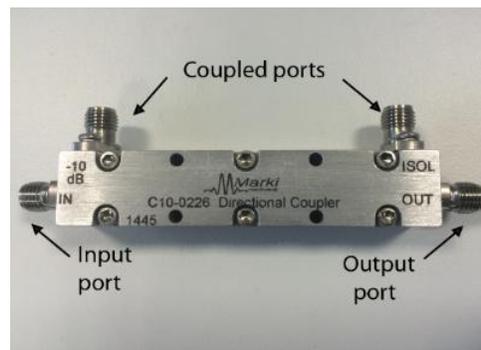
- 连接式
- 表贴
- PCB走线



PCB走线耦合器



表贴



连接式

耦合器类型	功率范围	频率范围	特性
PCB走线	较低	较低	<ul style="list-style-type: none"> • 有限频率范围 • 设计在PCB上实现
表贴	较低	较低	<ul style="list-style-type: none"> • 尺寸较小 • 功率和频率范围有限
连接式	较高	较高	<ul style="list-style-type: none"> • 更高带宽 • 提供设计灵活性

无定向性的耦合

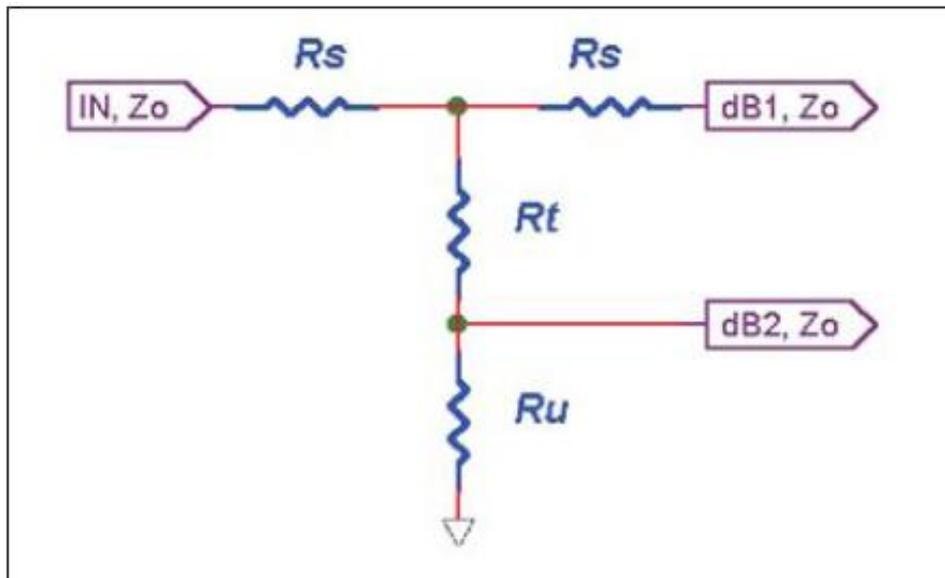


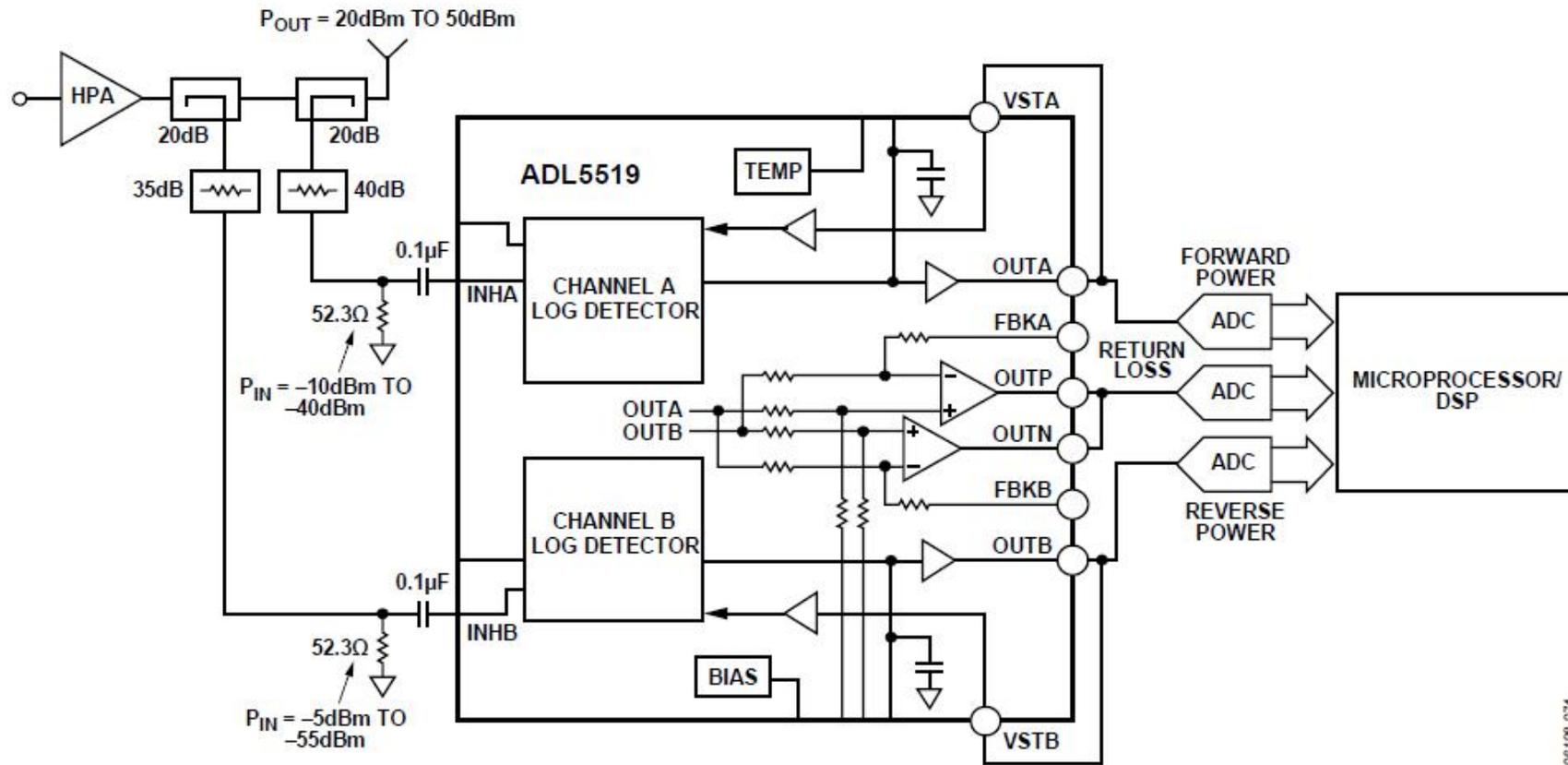
Figure 2 · Unequal resistive power divider.

$dB1$	$dB2$	R_s (ohms)	R_t (ohms)	R_u (ohms)
0.1	44.80	0.287	4317.704	50.582
0.5	30.81	1.438	842.368	53.055
0.55	30.00	1.582	763.280	53.382
1.00	24.78	2.875	406.805	56.522
1.72	20.00	4.94505	222.527	62.499
2.00	18.68	5.731	186.947	65.168
3.00	15.01	8.549	111.529	77.531
4.00	12.25	11.813	71.755	97.698
4.92	10.00	13.794	47.159	136.037
5.00	9.80	14.006	45.288	141.601
6.00	6.45	16.613	19.254	1026.093
6.02	6.02	16.666	16.666	OPEN CKT

Table 1 · Component values for resistive dividers with various common attenuation values.

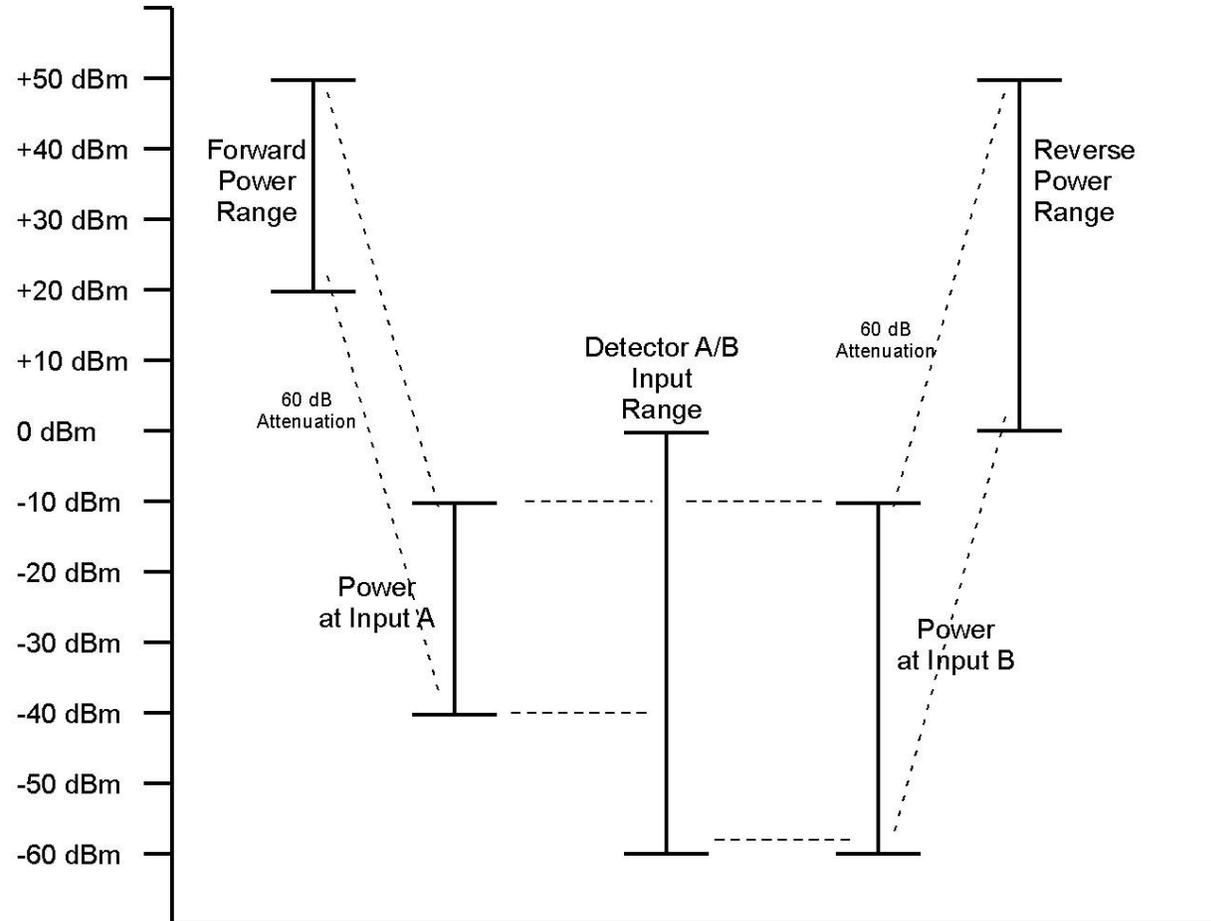
资料来源：设计阻性非均衡功率分配器，Greg Adams，Moorestown Microwave Co，高频设计，2007年3月

提供个别通道输出和比率输出的双通道检波器

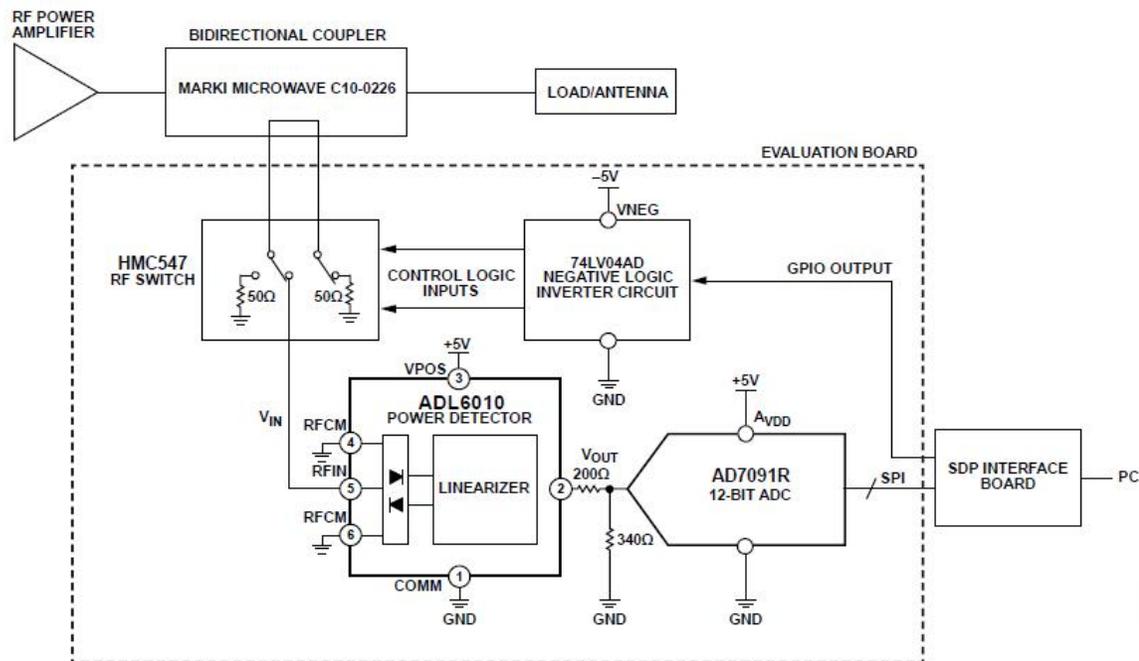


- ◆ 具有个别通道输出和差分输出的双通道检波器提供回波损耗和RF功率测量
- ◆ 利用后置耦合器衰减功能设定RF检波器的输入功率范围，并优化回波损耗测量范围。

通过电平规划优化正向和反向功率测量范围



利用单个线性检波器测量回波损耗(CN0387)



$$P_{F_{\text{dbr}}} - P_{R_{\text{dbr}}} = 10 \times \log \left(\frac{1000 \times \left(\frac{\text{CODE}_F - c'}{m'} \right)^2}{1000 \times \left(\frac{\text{CODE}_R - c'}{m'} \right)^2} \right)$$

$$\Rightarrow P_{F_{\text{dbr}}} - P_{R_{\text{dbr}}} = 10 \times \log \left(\frac{(\text{CODE}_F - c')^2}{(\text{CODE}_R - c')^2} \right)$$

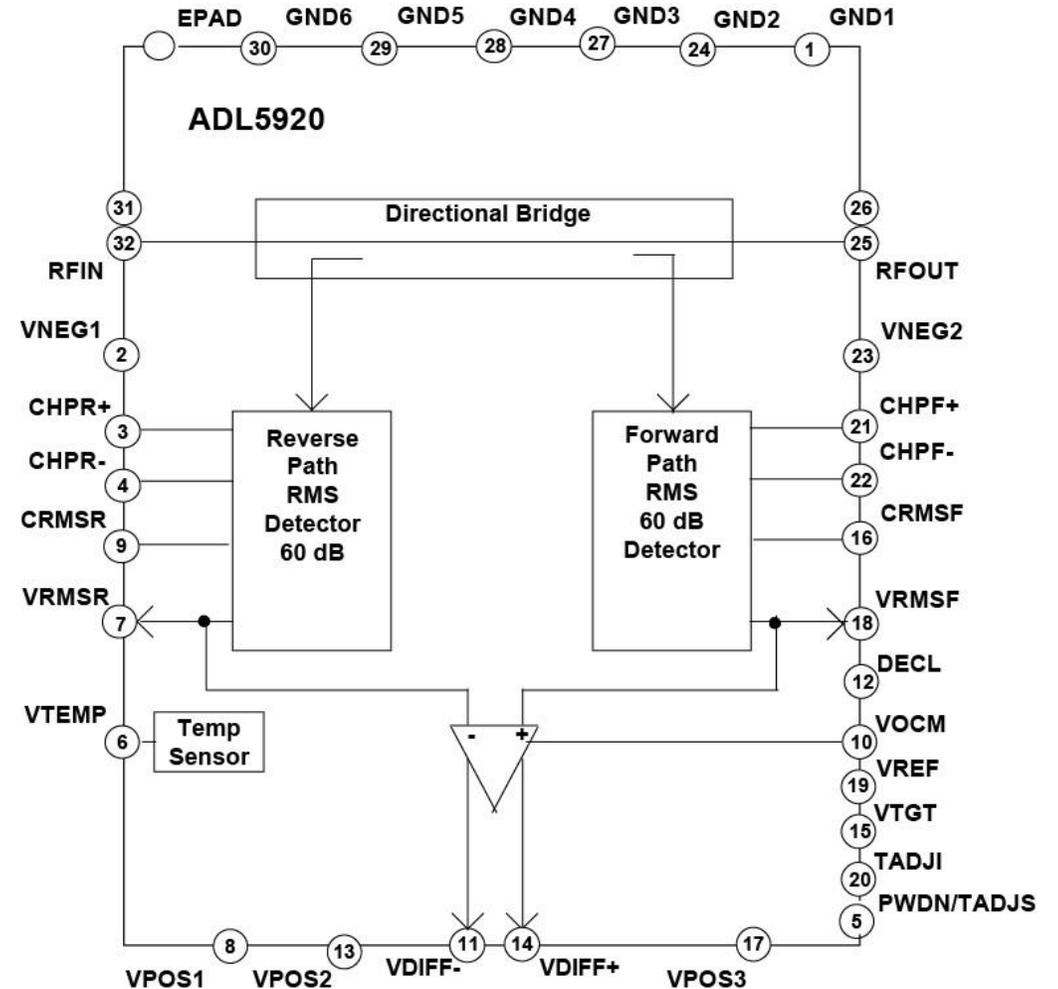
$$\text{Return Loss (dB)} = 10 \times \log \left(\frac{\text{CODE}_F^2}{\text{CODE}_R^2} \right) + \text{插入损耗}$$

ADL5920 : 采用双通道55 dB TruPwr™ RMS检波器的9 kHz至7 GHz方向桥

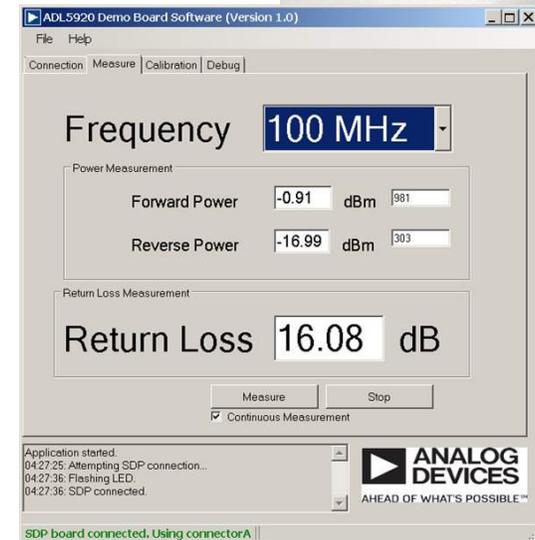
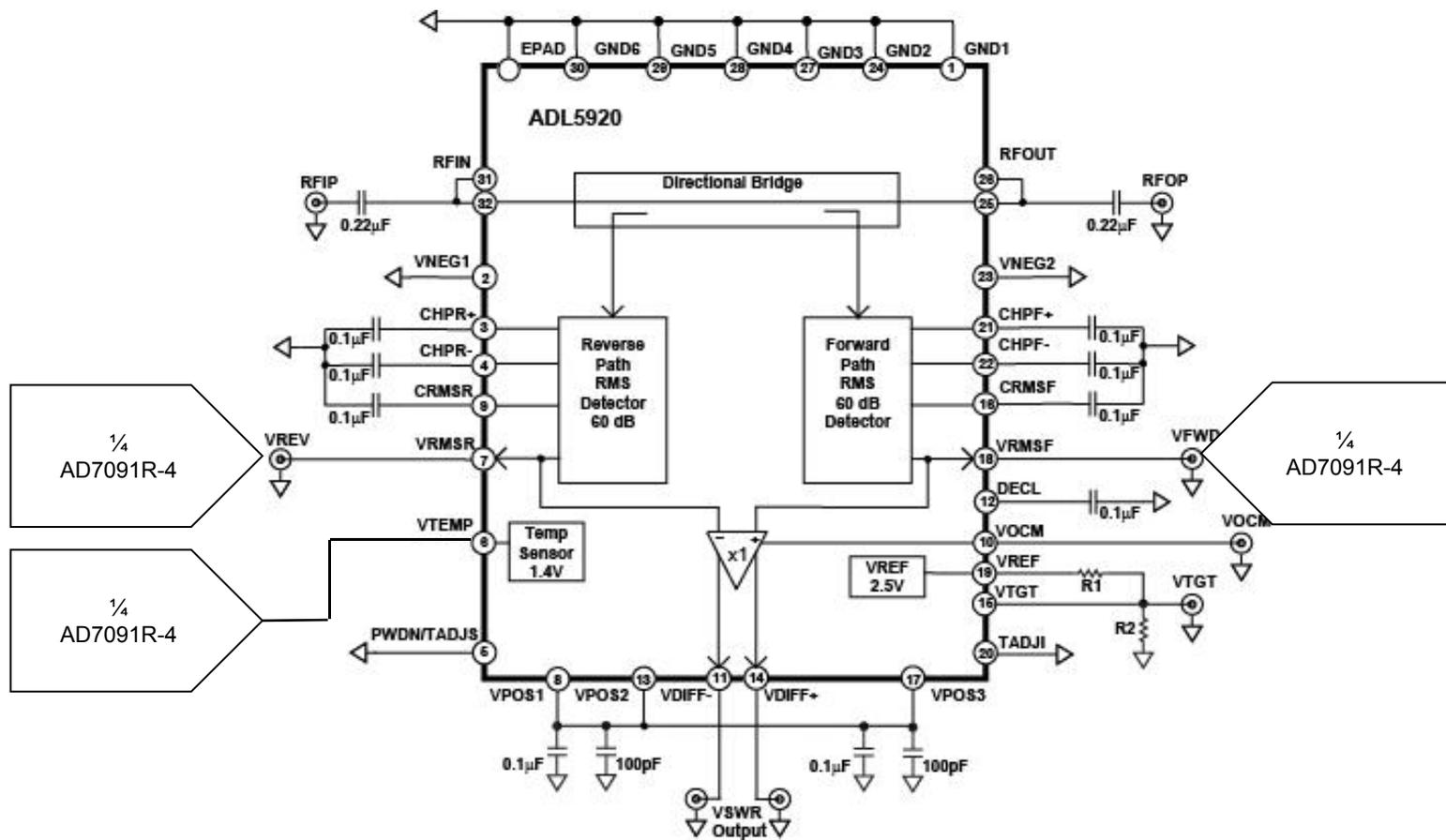
- ▶ 宽带检测和RF功率测量
- ▶ 宽带方向桥与两个60 dB RMS检波器集成
- ▶ 小尺寸5mmx5mm LFCSP-32

主要优势

- ▶ 工作电压范围：9 kHz至7 GHz
- ▶ 50 Ω单端输入和输出
- ▶ 最高可达+30 dBm的在线功率测量
- ▶ 线性dB直流电压输出
- ▶ 集成温度传感器

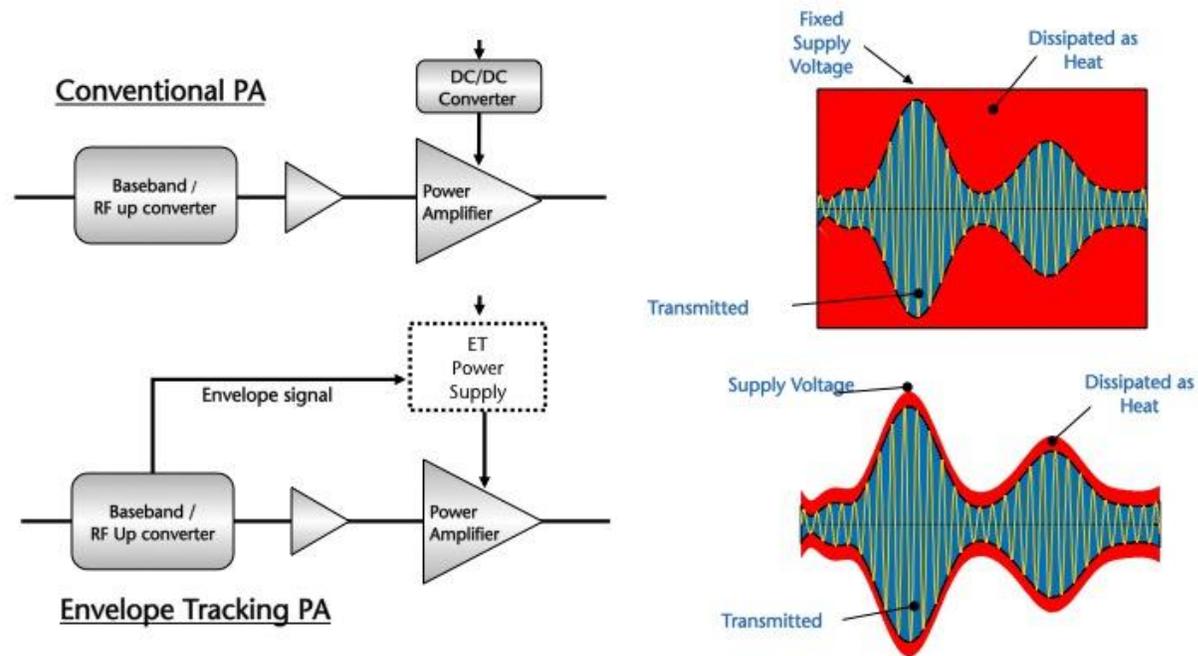


完整的在线RMS功率和回波损耗测量



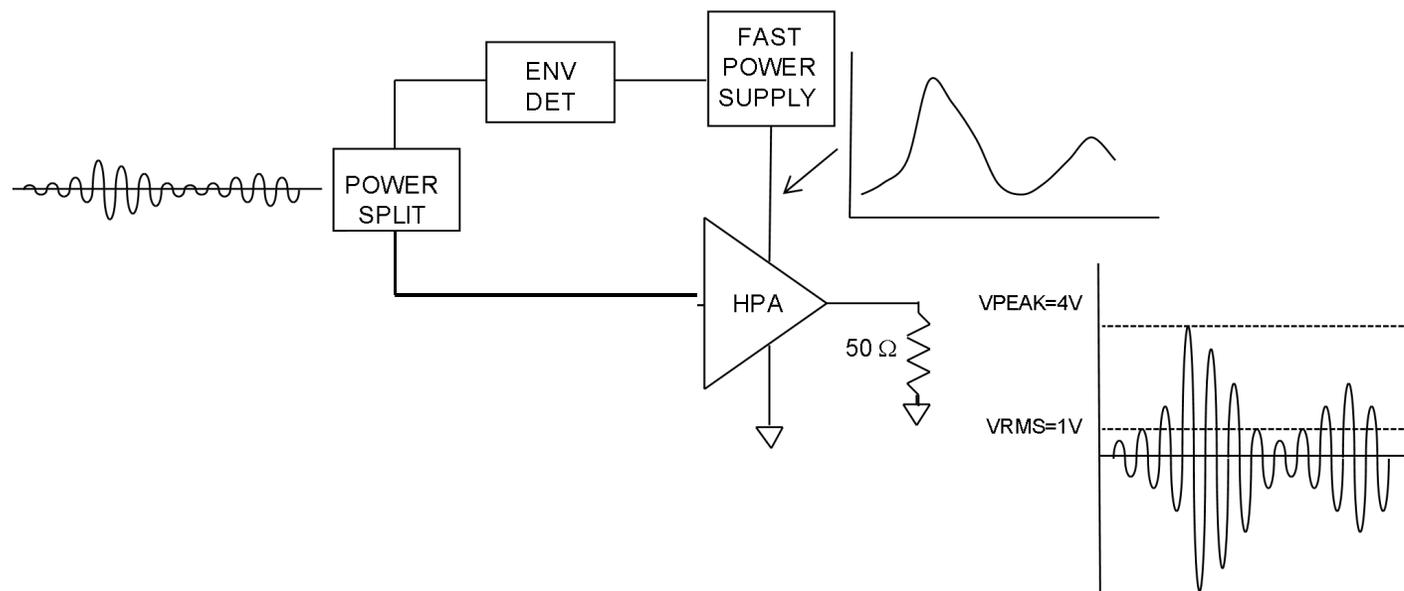
脉冲和包络检测

包络跟踪PA与固定电源PA



- ▶ 当瞬时电压电平低于直流电源电压时，PA效率会受影响
- ▶ 一种解决办法是让电源电压跟随载波包络而变化

包络跟踪实现



- ▶ 包络信号也可以来自基带（例如由DAC产生）
- ▶ 向PA提供“快速功率”是一个重大挑战。
- ▶ 系统可能需要额外的降低失真方案

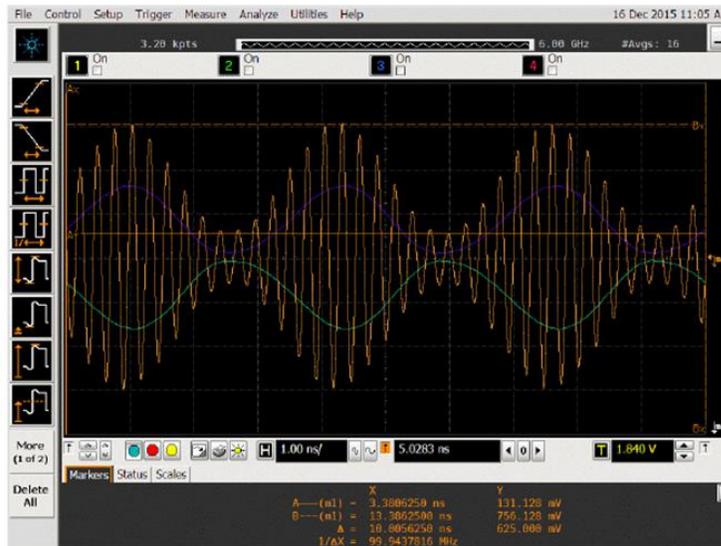
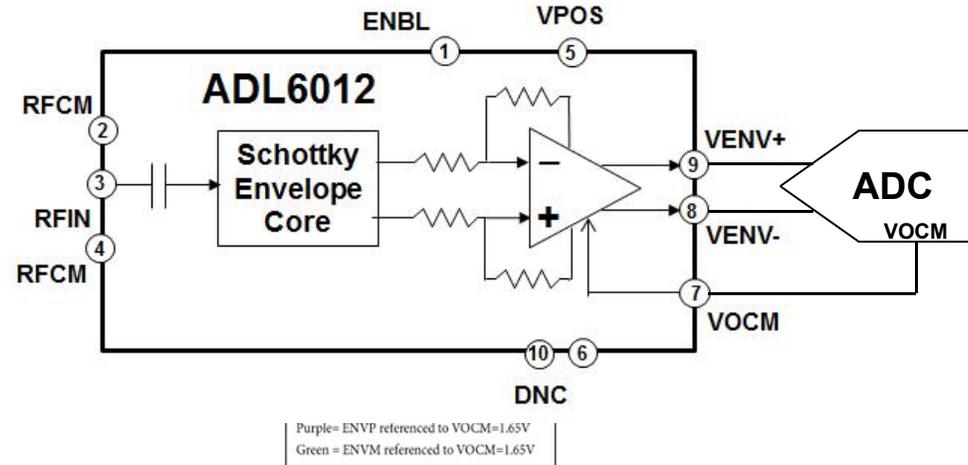
500 MHz EBW的ADL6012微波包络检波器

主要规格

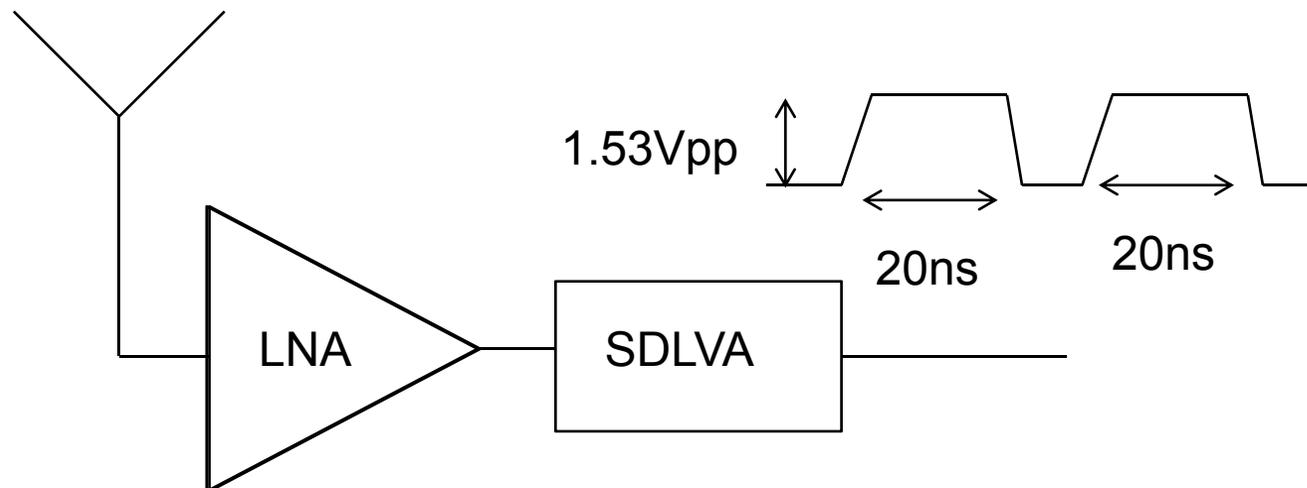
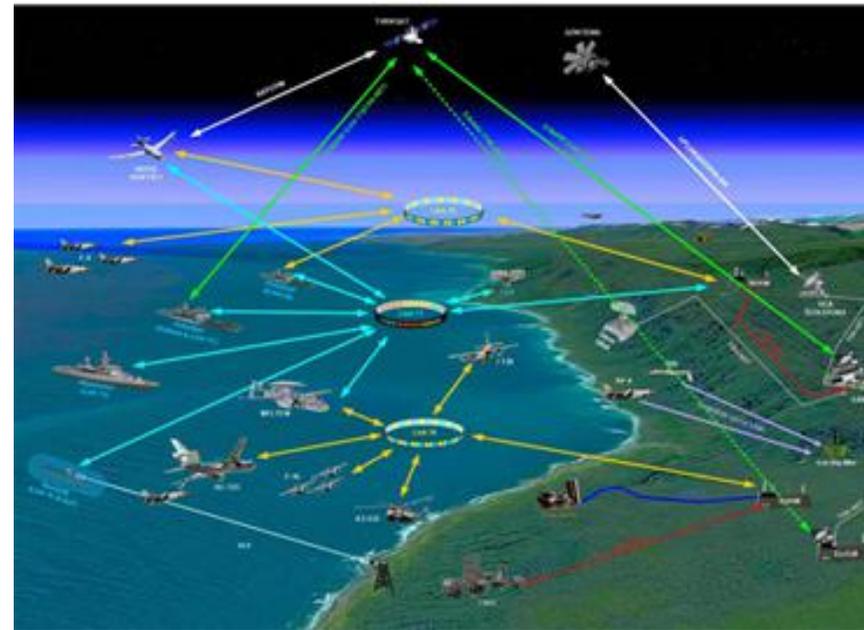
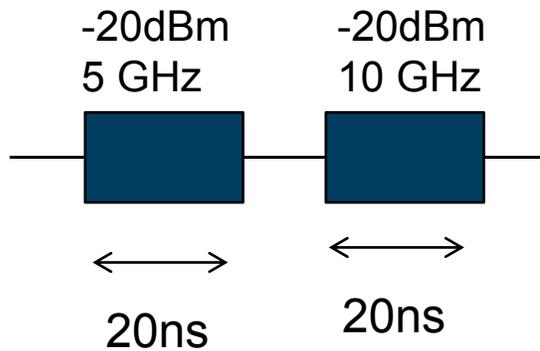
- ◆ 具有片内线性化能力的肖特基二极管前端
- ◆ 工作范围：2 GHz至43.5 GHz
- ◆ 包络带宽：500 MHz
- ◆ CW输入范围：-10 dBm至+15 dBm
- ◆ 功耗：26 mA @ 3.3/5 V (+/-5%)
- ◆ 封装：3mmx2mm、10引脚LFCSP

特性

- ◆ 差分包络输出，带可调 V_{OCM} (0.9 V至2.5 V)
- ◆ 直接与高速ADC接口
- ◆ 设计用于驱动400 Ω 差分负载，每引脚最多2pF接地电容



采用连续检测对数视频放大器(SDLVA)进行快速脉冲检测

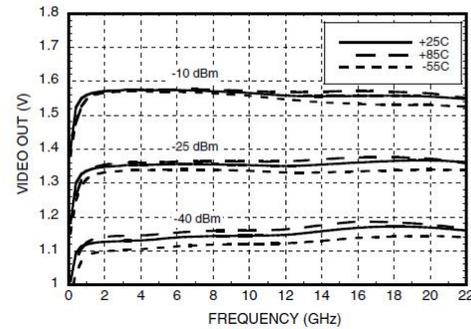


SDLVA与其他微波功率检波器的区别

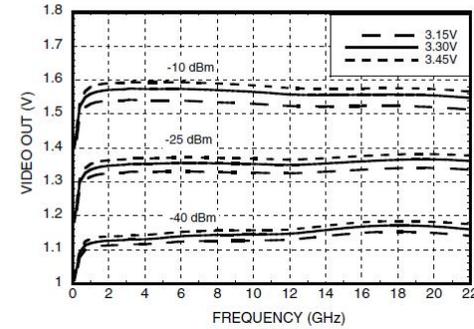
1- 在宽频率范围内具有平坦的检波响应是一个关键参数：

- ◆ 在整个电源和温度范围内，通常需要 ± 1 dB平坦度。
- ◆ HMC913频率平坦度响应示例；

VIDEO OUT vs. Frequency
Over Input Power & Temperature [1]



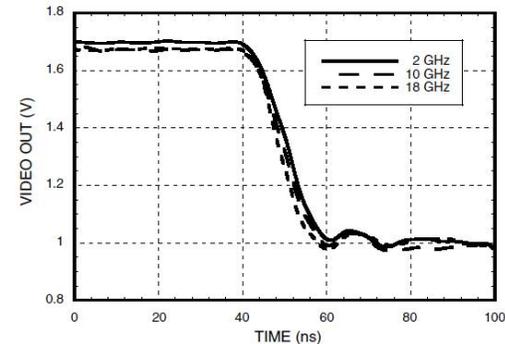
VIDEO OUT vs. Frequency
Over Input Power & Bias Voltage [1]



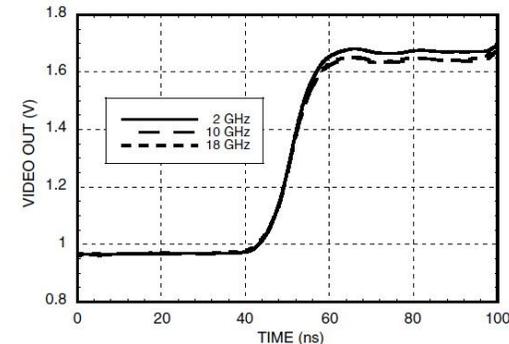
2- 超快速响应时间

- ◆ SDLVA应用需要小于10 ns的上升和下降时间。
- ◆ HMC913瞬态响应示例：

Fall Time for Various Frequencies
@ 0 dBm [1]

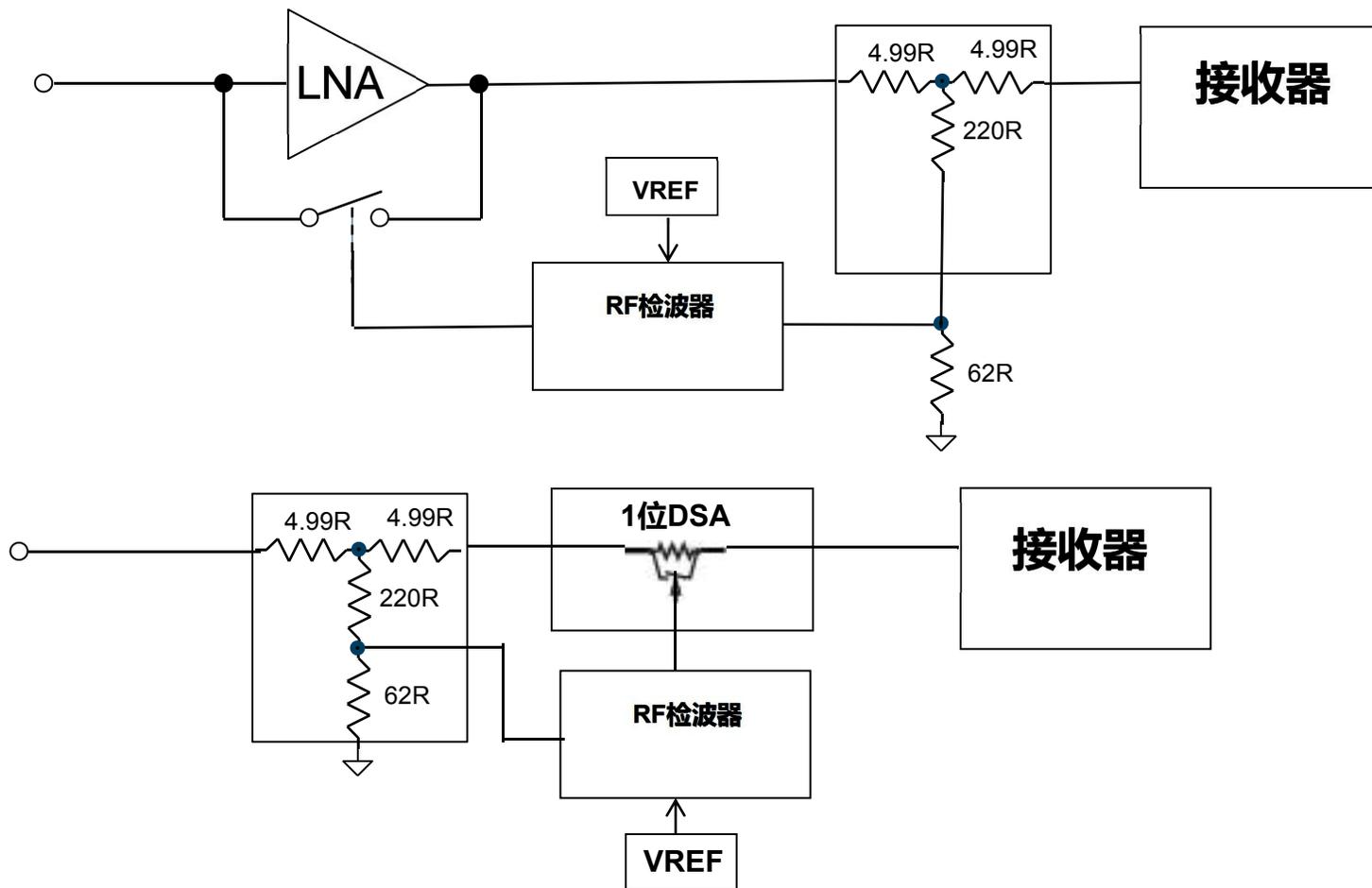


Rise Time for Various Frequencies
@ 0 dBm [1]



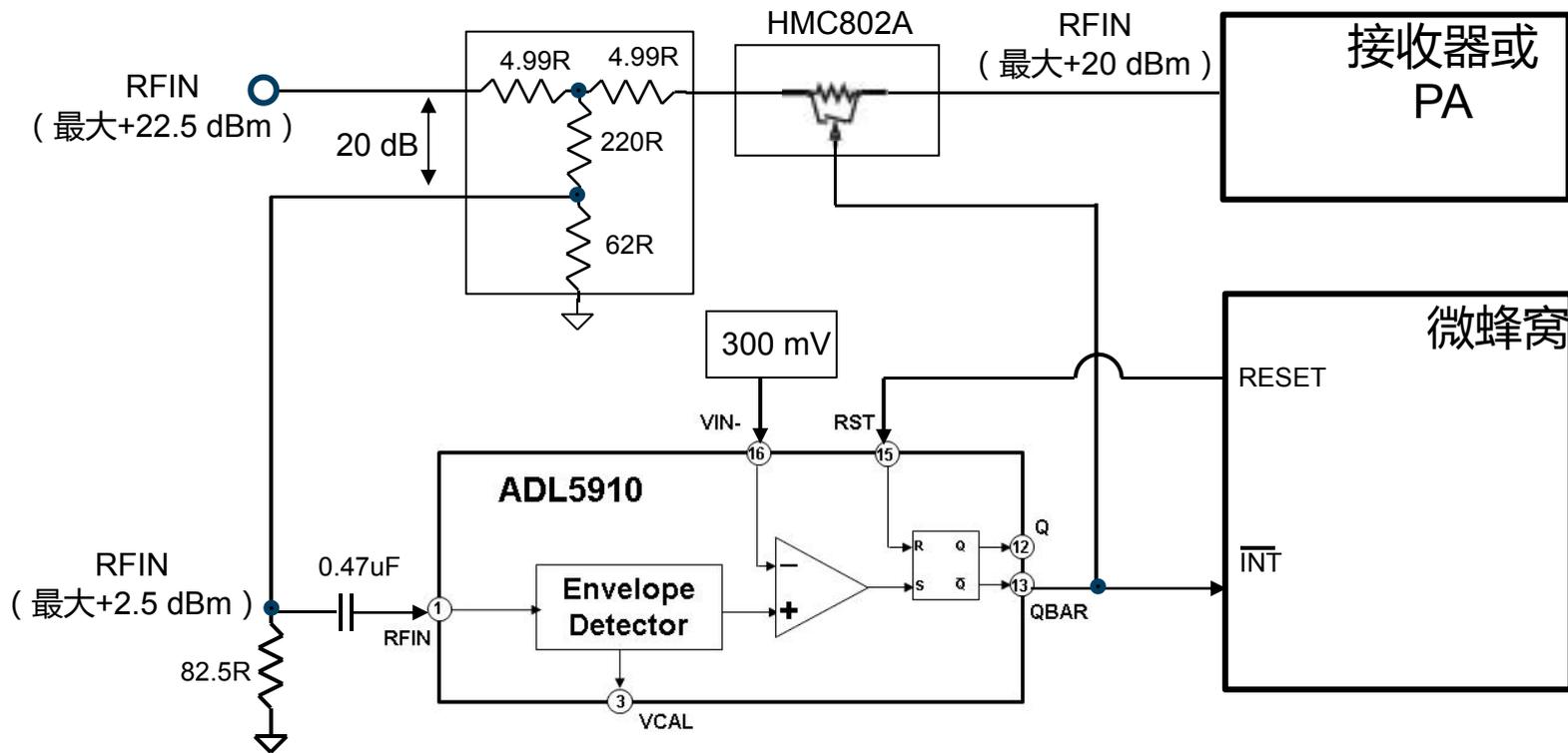
RF输入保护

接收器输入保护架构



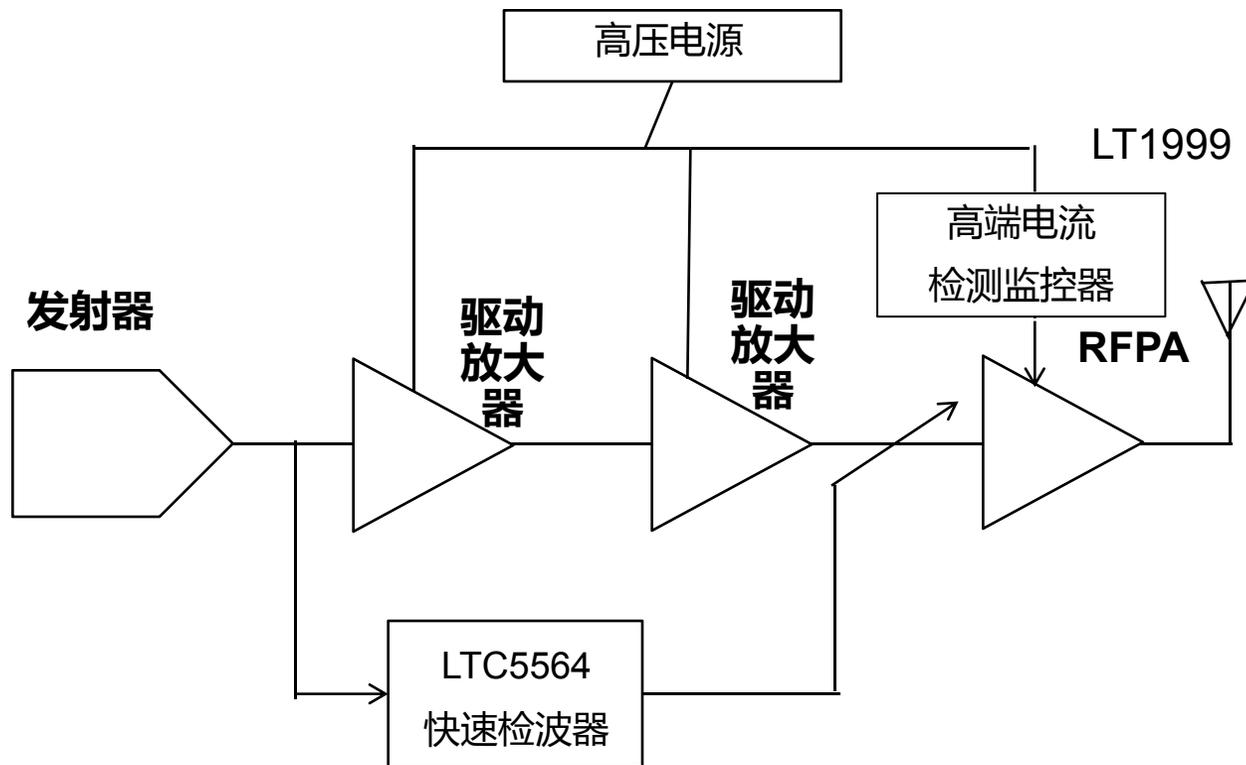
- ▶ RF检波器通过快速降低增益来防止损害和/或过驱主接收器
- ▶ 主要优势是快速响应时间
- ▶ 架构试图让信号处于范围内，而不是箝位输入信号

完整的输入保护电路

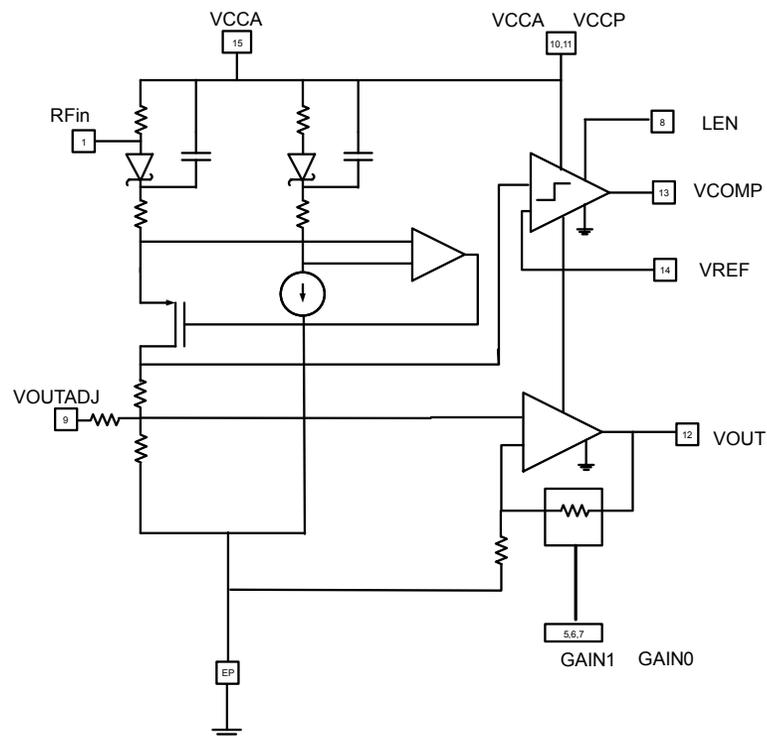


- ▶ 过驱事件锁存Q和Qbar，将输入衰减提高20 dB
- ▶ 从微控制器到RST的复位信号复位Q和Qbar

快速RF PA保护



LTC5564 超快速响应、15GHz肖特基峰值检波器



特性：

- ▶ 检波器响应时间：7ns
 - ▶ 包络和阈值检波输出
 - ▶ 工作频率范围：600MHz至15GHz
 - ▶ 集成9ns比较器，带锁存使能
 - ▶ 温度补偿检波器
 - ▶ 输入功率范围：-24dBm至16dBm
 - ▶ 解调带宽：85MHz
 - ▶ 可编程增益：1、2、4、8，提供灵活的灵敏度
 - ▶ 3x3 QFN-16封装
 - ▶ I级：-40°C至105°C壳温
 - ▶ 提供H级：-40°C至125°C壳温
- 工作温度

谢谢观看！

- ▶ **ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006**
- ▶ **ADI中国地区技术支持信箱：**
china.support@analog.com
- ▶ **ADI样片申请网址：**
<http://www.analog.com/zh/sample>