



检波器常见问题解答

编写	CAC(Z)
时间	2013/10/7
版本	V1.0

声明

Analog Devices 公司拥有本文档及本文档中描述内容的完整知识产权 (IP)。Analog Devices 公司有权在不通知读者的情况下更改本文档中的任何描述。如果读者需要任何技术帮助, 请通过 china.support@analog.com 或免费热线电话 4006-100-006 联系亚洲技术支持中心团队。其他技术支持资料以及相关活动请访问以下技术支持中心网页 http://www.analog.com/zh/content/ADI_CIC_index/fca.html

Analog Devices, Inc.

版本历史

版本	日期	作者	描述
1.0	2013/10/7	CAC(Z)	文档建立

目录

版本历史	II
目录	III
第 1 章 简介	4
1.1 产品简介	4
1.2 参考资料	5
第 2 章 原理简介	7
2.1 原理	7
2.2 参数	8
第 3 章 常见应用问题解答	9
3.1 何为 RF 检波器?	9
3.2 为什么要测量功率, 控制功率?	9
3.3 RF 和 IF 应用中, 功率测量的单位?	9
3.4 什么是均方根值 (RMS)?	10
3.5 什么是信号的峰均比 (波峰因子 Crest Factor)?	10
3.6 RF 功率检波器是如何分类的, 各有什么优缺点?	10
3.7 有没有检波器在低频段的测试结果?	11
3.8 Log 检波器的截距 (Intercept) 是做什么用的?	11
3.9 有时候做测试时, 发现输出电压值高于手册中标定的值, 这就减小了输入小信号时的动态范围, 一般是什么原因呢?	12
3.10 LOG 检波器的输出级低通滤波器的拐角频率如何选择?	12
3.11 为什么 LOG 检波器输入不同的信号, 相同的功率输入, 输出的电压值却不同?	12

第1章 简介

1.1 产品简介

ADI 的 RF 检波器可以精确地检测和测量 RF 或 IF 信号的幅度或功率，广泛使用在无线系统中。检波器分成两个大类，包括对数放大器/检波器和均方根（RMS）检波器。Log 检波器可以测量高达 100dB 动态范围的信号，覆盖频率从低频到 10GHz，检测精度可达 0.2dB，非常合适接收信号强度指示（RSSI）和发射功率检测。RMS 检波器可测量复数波形，如 CDMA/WCDMA 信号，高阶 QAM 调制信号。

表 1-1 Log Amps/Detectors 列表

Part	Product Description	RF Frequency (MHz)	Response Time	Temperature Stability	Dynamic Range (dB)	Supply Current	Package
ADL5513	125°C Operation, Broadband	1 to 4000	20ns	0.5dB	80	31mA	16-Lead CSP
ADL5519	Dual-Channel AD8317	1 to 10000	6ns	0.5dB	62	60mA	32-Lead LFCSP
AD8317	Available in Die	1 to 10000	6ns	0.5dB	55	22mA	8-Lead CSP
AD8319	Pin-compatible with AD8317	1 to 10000	6ns	0.5dB	45	22mA	8-Lead CSP
AD8311	Low Power for Battery Operation	100 to 2500	150ns	0.5dB	50	8.5mA	WLCSOP
AD8312	Low Power for Battery Operation	50 to 3500	85ns	0.5dB	45	4.2mA	WLCSOP
AD8318	Integrated Temp Sensor	1 to 8000	10ns	0.5dB	70	68mA	16-Lead CSP
AD8302	Dual-Channel Gain and Phase Outputs	2700	60ns	1dB	60	19mA	14-Lead TSSOP
AD8315	Low Power for Battery Operation	100 to 2500	150ns	1dB	50	8.5mA	8-Lead uSOIC
AD8310	High Dynamic Range	dc to 440	15ns	1dB	100	8mA	8-Lead SOIC
AD8314	Industry Standard	100 to 2700	70ns	1dB	45	4.5mA	8-Lead uSOIC/CSP
AD8306	Military Specified Part Available	5 to 400	73ns	1dB	100	16mA	16-Lead SOIC
AD8309	Limiter Output	5 to 500	67ns	1dB	100	16mA	16-Lead TSSOP
AD8313	Industry Standard	100 to 2500	40ns	1.25dB	70	13.7mA	8-Lead uSOIC
AD8307	High Dynamic Range	dc to 500	400ns	1dB	92	8mA	8-Lead SOIC/DIP
AD641	Military Specified Part Available	-	10ns	1dB	44	44mA	20-Lead DIP, 20-Lead LCC, 20-Lead PLCC
AD640	Military Specified Part Available	-	10ns	1dB	80	44mA	20-Lead DIP, 20-Lead LCC, 20-Lead PLCC

表 1-2 RMS Detectors 列表

Part	Voltage Supply (V)	Supply Current	RF Frequency	Dynamic Range (dB)	Output Response	Response Time	Temperature Stability	Leads	Package Type
ADL5906	4.75 to 5.25	69mA	10GHz	67	Linear in dB	200ns	-	16	LFCSP
ADL5511	4.75 to 5.25	21.5mA	6GHz	47	Linear in Voltage	10μs	0.1dB	16	LFCSP
ADL5505	2.5 to 3.3	1.8mA	6GHz	35	Linear in Voltage	3μs	0.1dB	4	WLCSP
ADL5902	4.5 to 5.5	73mA	9GHz	65	Linear in dB	3μs	0.5dB	16	LFCSP
ADL5504	2.5 to 3.3	1.8mA	6GHz	35	Linear in Voltage	3μs	0.1dB	6	WLCSP
AD8363	4.5 to 5.5	60mA	6GHz	50	Linear in dB	3μs	0.5dB	16	LFCSP
ADL5502	2.5 to 3.3	3mA	6GHz	35	Linear in Voltage	15μs	0.1dB	8	WLCSP
ADL5501	2.7 to 5.5	1.1mA	6GHz	30	Linear in Voltage	6μs	0.1dB	6	SC70
ADL5500	2.7 to 5.5	1mA	6GHz	30	Linear in Voltage	10μs	0.25dB	4	WLCSP
AD8364	4.5 to 5.5	70mA	2.7GHz	60	Linear in dB	45ns	0.5dB	32	LFCSP
AD8362	4.5 to 5.5	20mA	3.8GHz	65	Linear in dB	45ns	1dB	16	TSSOP
AD8361	2.7 to 5.5	1.1mA	2.5GHz	30	Linear in Voltage	5μs	0.25dB	6	SOT23

1.2 参考资料

AN-1040: RF Power Calibration Improves Performance of Wireless Transmitters

http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1040.pdf

AN-691: Operation of RF Detector Products at Low Frequency

http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-691.pdf

AN-653: Improving Temperature, Stability, and Linearity of High Dynamic Range

RMS RF Power Detectors

http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-653.pdf

CN-0187: Crest Factor, Peak, and RMS RF Power Measurement Circuit Optimized

for High Speed, Low Power, and Single 3.3 V Supply

http://www.analog.com/static/imported-files/circuit_notes/CN0187.pdf

CN-0050: Stable, Closed-Loop Automatic Power Control for RF Applications

http://www.analog.com/static/imported-files/circuit_notes/CN0050.pdf

CN-0178: Software-Calibrated, 50 MHz to 9 GHz, RF Power Measurement System

http://www.analog.com/static/imported-files/circuit_notes/CN0178.pdf

CN-0150: Software-Calibrated, 1 MHz to 8 GHz, 60 dB RF Power Measurement

System Using a Logarithmic Detector

http://www.analog.com/static/imported-files/circuit_notes/CN0150.pdf

CN-0082: Creating a Constant Envelope Signal Using the ADL5331 RFVGA and

AD8319 Log Detector

http://www.analog.com/static/imported-files/circuit_notes/CN0082.pdf

**CN-0072: Extending the Dynamic Range of the ADL5513 Logarithmic Detector
Using the AD8368 Variable Gain Amplifier**

http://www.analog.com/static/imported-files/circuit_notes/CN0072.pdf

第2章 原理简介

2.1 原理

RMS 响应的检波器可精确地测量具有高峰均比的波形。图 2-1 是一个平方律检波的 RMS 检波器简化功能框图，主要由一个高性能的宽带可变增益放大器 (VGA)，平方律检波器，和幅度调整电路以及输出驱动组成。

VGA 提供一个电压增益 G_{SET} .

$$G_{SET} = G_O \exp(-V_{SET}/V_{GNS})$$

其中, G_0 是固定增益, V_{GNS} 是增益斜率。增益随 V_{SET} 增大而减小。

VGA 的输出为:

$$V_{SIG} = G_{SET} V_{IN} = G_O V_{IN} \exp(V_{SET}/V_{GNS})$$

其中 V_{IN} 是输入端的 AC 电压。

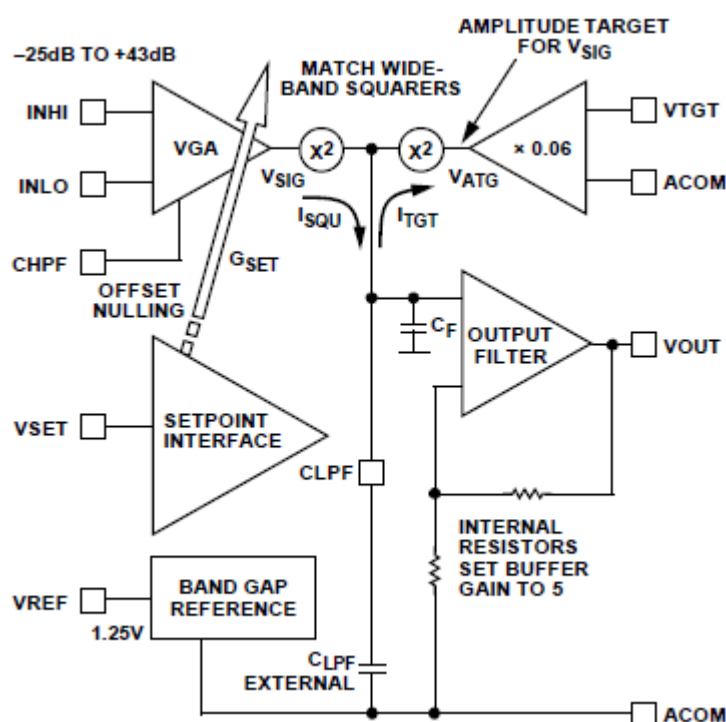


图 2-1 RMS 检波简化原理图

图 2-2 是一个典型的 LOG 检波器（放大器）的简化功能结构框图。核心就是一系列级联的放大器，这些放大器有线性增益，通常电压增益在 10dB 到 20dB 之间。为了简化，以 5 个放

大器级联为例，每个放大器的增益为 20dB，或 10X，一个微小幅度的正弦波加到第一级放大器，第一级放大器将正弦波放大 10 倍，当信号到达第二级时，已经具有了 20dB 的增益。随着信号被不断放大，在某一级将会饱和，形成被限幅的波形，如图所示，在这个例子中限幅值设置在 1V 电压上。在信号链上的所有放大器的限幅值都设置在 1V 峰值上。每一级放大器的输出都被接入到全波整流电路，整流电路的输出相加在输入到低通滤波器。滤波器的作用是去除全波整流信号的 Ripple。

如何理解将输入信号包络的对数输出呢？在 2-2 图中，加法器的输出是 4V 峰值。假定将输入信号减小 20dB，那么就相当于减少一级放大器，加法器的输出将会下降到 3V 峰值。所以，每当输入减小 20dB，输出将减小 1V，那么，Log 放大器的斜率为 50 mV/dB。

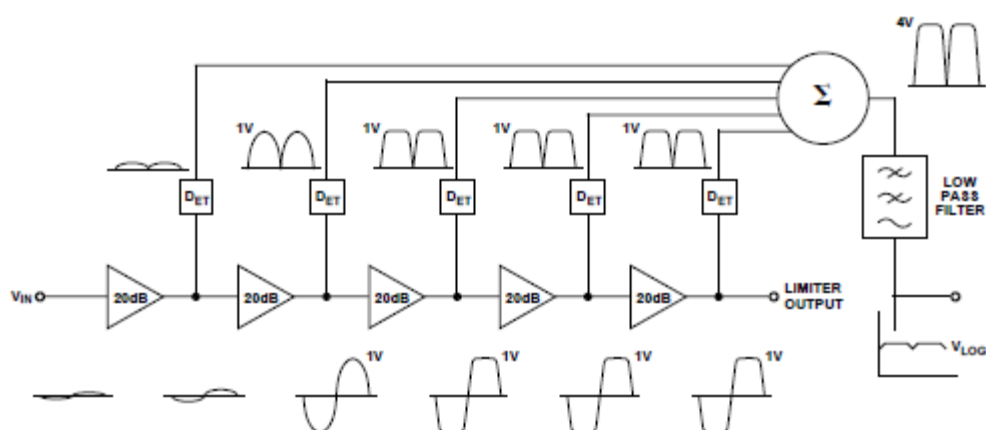


图 2-2 Log 检波简化原理图

2.2 参数

下面介绍有关检波器的重要参数。

带宽：指的是检波器可检测的信号频率范围。

动态范围：单位是dB，可检测最大信号的功率与最小功率的范围。

脉冲响应时间：使用一个脉冲调制信号，例如载波频率1GHz，脉冲宽度100ns输入到检波器的输入端口，测量检波器输入的上升沿，下降沿时间。这个参数反映的是检波器响应功率变化的快慢。一般来说，Log检波器响应时间快，几十ns级，RMS检波器响应时间慢，为us级。

温度稳定度：温度稳定性表达的是测量结果相对于温度的变化，通常单位用dB表示。检波器输入功率，单位dBm，输出电压，将输出的电压相对于温度的变化转换成dB。

第3章 常见应用问题解答

下面按顺序对 FAQ 进行详细的叙述。其中标题为问题的叙述，标题以下的正文为问题的详细解答。

3.1 何为 RF 检波器？

射频检波器检测射频输入信号，输出一个电压值，这个电压值正比于输入信号的功率。根据这个输出的电压值，可以对应到输入的功率值。

射频检波器的主要功能就是在无线收发系统中测量和控制 RF 或 IF 功率。

3.2 为什么要测量功率，控制功率？

RF 和 IF 的功率，关系到无线信号传输距离的远近，功率放大器的线性度。在接收机中，信号强度对于维持通信的稳定性是一个关键的因素，而在发射端，发射功率的重要性毋庸置疑。总之，RF 和 IF 的功率无论在通信链路的哪个环节都是需要关注的参数。

3.3 RF 和 IF 应用中，功率测量的单位？

功率的单位是 Watt，但是在无线应用中，通常将功率的单位表示成 dBm。

如果一个正弦波的峰峰值为 V_{p-p} （单位是 V）

那么，在阻抗 R 下的功率为

$$\text{Power(W)} = \frac{(V_{p-p})^2}{2R}$$

$$\text{dBm} = 10 \log [\text{power(mW)} / 1 \text{ mW}]$$

表 3-1 功率幅度转换列表

Power	dBm	Vp-p (50 欧姆阻抗)
1W	+30	20V
100mw	+20	6.32V
10mW	+10	2V
1mW	0	632mV
100uW	-10	200mV
10uw	-20	63.2mV
1uW	-30	20mV
100nW	-40	6.32mV

10nw	-50	2mV
1nW	-60	632uV
100pW	-70	200uV
10pw	-80	63.2uV
1pW	-90	20uV

3.4 什么是均方根值（RMS）？

均方根值是测量 AC 信号幅度的基础。信号的 RMS 值等效于一个 DC 信号在相同的负载上产生相同的热量。在数学上正弦波的 RMS 可以用下式表达。

$$e_{rms} = V_m \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (\sin t)^2 dt}$$

3.5 什么是信号的峰均比（波峰因子 Crest Factor）？

Crest Factor 指的是一个波形的峰值与 RMS 的比值。在通信应用中，调制信号的峰均比很重要，使用功率放大器时，需要注意信号的峰均比。直流信号的峰均比为 1，正弦波的峰均比为 $\sqrt{2}$ ，一个 RMS 值为 1 的正弦波，峰峰值为 2.8284。

3.6 RF 功率检波器是如何分类的，各有什么优缺点？

RF 功率检波器一般分为 RMS 检波器和 log 检波器。RMS 响应的检波器输出独立于输入信号的峰均比，即不受峰均比变化影响，而 Log 检波器却受到输入信号峰均比的影响。RMS 检波器的建立时间相对于 Log 检波器较长，因为 RMS 检波器需要取时间平均。RMS 检波器的平均时间与信号包络的低频内容相关，与载波频率无关。Log 检波器动态范围更高。

表 3-2 Log 检波器和 RMS 检波器比较和应用范围

Specification	Log Detector	RMS Detector
Temp Stability	Excellent ↑	Excellent ↑
Crest Factor Immunity	Poor ↓	Excellent (0 dB error) ↑
Operating Frequency	DC-10 GHz ↑	50Hz to 6 GHz ↑
Dynamic Range	40 dB to 100 dB ↑	30 dB to 65 dB ↑
Response Time	Fast (≥5 ns) ↑	Slow (≥10 uS) ↓

Ideal for Systems with	Fixed Modulation	Changing Modulation
	Pulsed RF (e.g.Radar)	Multiple Carriers

3.7 有没有检波器在低频段的测试结果？

一般 RF 检波器用中频和射频频段，在低频 20Hz~100kHz 的连接图和相关的测试结果可以参考 AN-691。

3.8 Log 检波器的截距（Intercept）是做什么用的？

LOG 检波器的斜率（Slope）和截距是定义传输函数的两个参数。所谓传输函数，就是输出电压与输入信号之间的关系。图 3-1 显示了 AD8313 在 900MHz 各温度下的传输函数。可以看出，输入信号每改变 10dB，输出电压改变 180mV，可以推断斜率为 18mV/dB。当输入信号下降到 -65dBm 后，传输曲线开始变得平坦。延长线性部分的曲线，与横轴有一个交接点，这就是截距，输入功率从 -65 dBm to 0 dBm 范围内，可以用下面的等式衡量这一线性部分：

$$V_{OUT} = \text{Slope} * (P_{IN} - \text{Intercept})$$

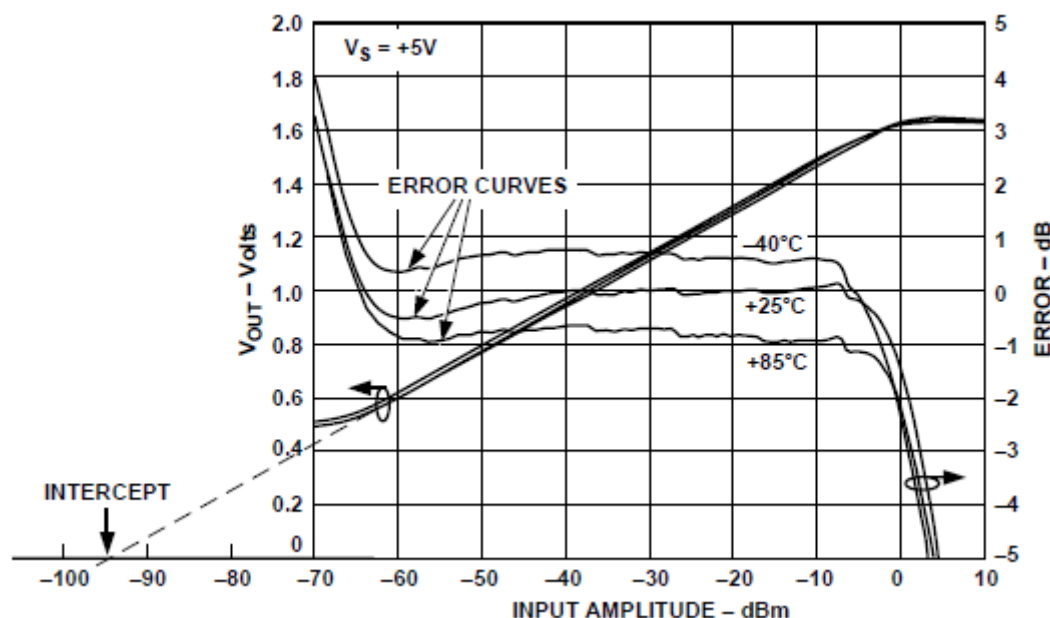


图 3-1 Log 检波器传输函数图

在这个例子中， $18 \text{ mV/dB} * (P_{IN} - (-93 \text{ dBm}))$

3.9 有时候做测试时，发现输出电压值高于手册中标定的值， 这就减小了输入小信号时的动态范围，一般是什么原因呢？

这样的现象通常是因为检波器计入了外部的噪声和杂谱功率。我们的 Log 检波器通常有几个 GHz 的输入信号带宽，如果测试环境中存在噪声或杂谱，检波器并不知道区分哪些是有用的信号，哪些是干扰信号或噪声，多个信号功率叠加使得检波器输出的电压偏高。比较好的测试方法是将输入差分端都接到地上，输入端都是 AC 耦合。

解决噪声或杂谱干扰的问题，可以在前端使用匹配电路或窄带滤波器。匹配网络在 AD8307、AD8309 和 AD8313 的数据手册中做了详细的讨论。

3.10 LOG 检波器的输出级低通滤波器的拐角频率如何选择？

输出滤波器的带宽设置是一个需要根据应用系统的要求做权衡考虑的参数。检波器片上输出级滤波器的拐角频率需设置的足够低，以便去除全波整形和求和的信号上的 Ripple。这一 Ripple 频率大约是 2 倍的输入信号频率。然而，低通滤波器 RC 时间常数决定了输出的最大上升时间。将拐角频率设置的太低将导致 LOG 检波器对快速变化的输入信号的包络反应迟钝。

例如，窄脉宽的调制信号检测需要快速响应的检波器，这样的应用中对 LOG 检波器快速响应改变包络的能力有很高的要求。通常 LOG 放大器响应时间（response time）是用脉冲上升的 10% 到 90% 的时间衡量。

3.11 为什么 LOG 检波器输入不同的信号，相同的功率输入， 输出的电压值却不同？

Log 放大器的参数通常是以正弦波输入来标定的。不同的输入信号波形可能会将传输曲线的截距变大或变小，但是斜率不变，在曲线上看就是将曲线整体上移或下移。图 3-2 显示的是有相同 RMS 功率的正弦波，CDMA 信号输入到 AD8307 的传输函数。输出电压在整个动态范围上差 3.55dB。

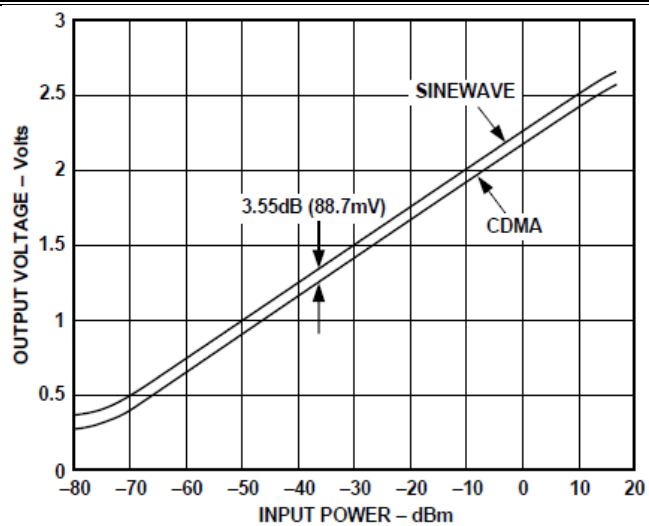


图 3-2 正弦波和 CDMA 信号的不同响应