

Eamon Nash
RF检波器
应用总监
ADI公司

理解、操作并实现基于二极管的集成式RF检波器接口

in 分享至LinkedIn | 电子邮件

摘要

二极管因为具有整流特性而用来产生直流电压，并且只要存在二极管，其所产生的直流电压便与交流或RF信号电平成比例。本文将把基于二极管的RF和微波产品与集成电路替代产品相对比。本文讨论的话题包括传递函数线性度、温度稳定性和ADC接口。

基于二极管的分立式RF检波器

图1显示的是一个广泛使用的、基于二极管的RF检波电路原理图。可以把它看成一个带有输出滤波的简易半波整流器。输入信号的正半周期正向偏置肖特基二极管，进而对电容充电。在负半周期时，二极管反向偏置，导致电容上的电压处于保持状态，产生与输入信号成比例的直流输出。为了在输入信号下降或关断时让此电压下降，采用电阻与电容的并联组合来提供放电路径。

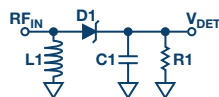


图1. 基于二极管的肖特基RF检波器

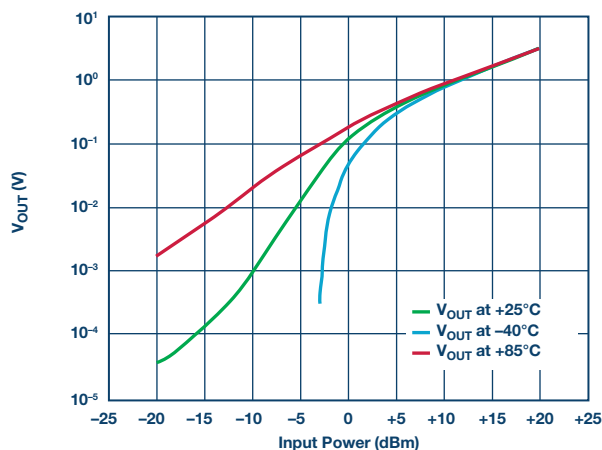


图2. 基于二极管的肖特基RF检波器传递函数

图2显示了此电路的传递函数。输入功率以dB为单位调整，输出电压以对数垂直刻度表示。观察25°C传递函数，发现曲线上有两个不同的工作区间。称为线性区间的区域为输入范围的顶端（约15 dBm）到大约0 dBm。术语“线性区间”是由于该区域内的输出电压与输入电压大致成比例而得名。

0 dBm以下是所谓的平方律区域。在此区域内，输出电压大致与输入电压的平方成比例。这导致曲线的斜率较高。

图2还显示了-40°C和+85°C温度下的电路输出电压与输入功率传递函数的关系。它表明0 dBm以下的功率电平偏差较大。这使得器件在温度变化稍大的应用中变得不稳定。

有一些技术可在某种程度上缓解温度漂移。这些技术包括引入第二个参考二极管作为电路的一部分，或者作为独立电路，具有独立的输出。参考二极管的温度漂移与主二极管匹配。通过减法处理（模拟域或数字域，具体根据电路结构决定），可在一定程度上消除漂移。

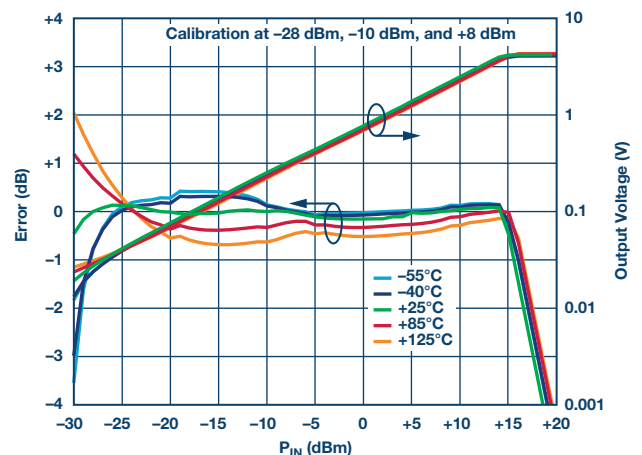


图3. 25 GHz时集成式肖特基二极管检波器的输出电压与输入功率和线性度误差的关系

图3显示了ADL6010——一款基于二极管的集成式肖特基检波器，具有大量的创新特性——在25 GHz时的传递函数。作为信号处理的一部分，输入信号通过一个仅在信号低于特定功率电平时才执行平方根操作的电路。跃迁点故意设置为等于二极管从平方律区间跃迁至线性区间的功率电平。因此，二极管的平方律效应得以消除，而两个区间的传递函数也不如图1那么明显了。

图3还显示了从 -55°C 到 $+125^{\circ}\text{C}$ 范围内各种温度的传递函数曲线。另外，还标出了传递函数随温度发生的变化。将 25°C 传递函数的线性回归作为基准，以dB为单位标出每一温度下的误差。由于集成式温度补偿电路和平方律消除电路的作用，可以看到在输入的绝大部分范围内，线性和温度漂移产生的误差大约为 $\pm 0.5\text{ dB}$ 。

ADC接口

虽然有时候会在模拟电源控制环路中使用RF和微波检波器¹，但更普遍的是构建一个数字电源控制环路，如图4所示。在这些应用中，功率检波器的输出采用模数转换器进行数字化处理。在数字域中，使用来自ADC的码来计算功率电平。一旦获得了功率电平，系统就会作出响应，按需调节传输功率。

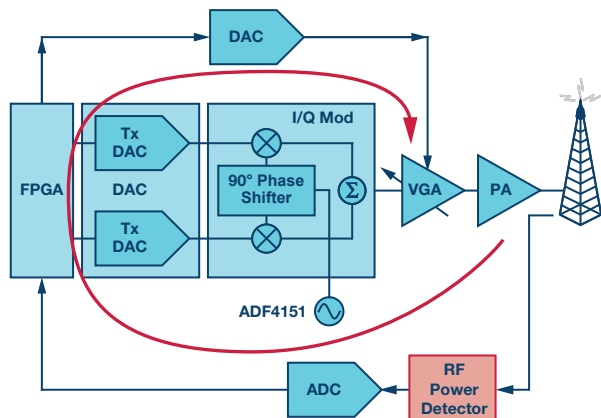


图4. 典型的数控RF功率控制环路

虽然此环路的响应时间只在较小程度上依赖于检波器响应时间，但ADC采样速率和功率控制算法速度的影响会大得多。

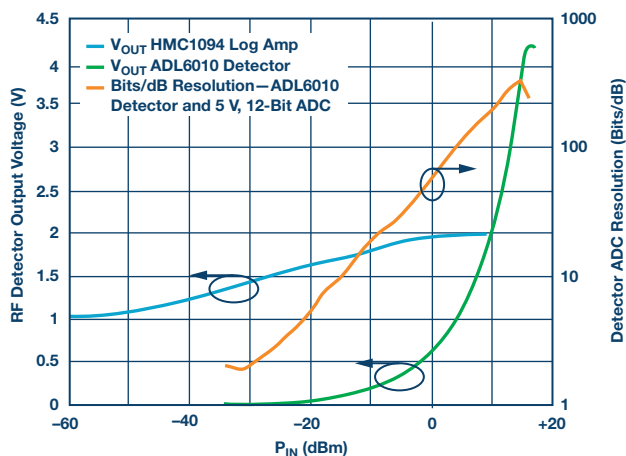


图5. 线性dB对比

环路测量以及精确设置RF功率电平的能力受一系列因素影响，包括RF检波器的传递函数和ADC分辨率。为了更好地理解这一点，让我们进一步看看检波器的响应。图5将基于二极管的检波器ADL6010在20 GHz时的响应与微波对数放大器HMC1094进行对比。对数放大器具有线性dB的传递函数，其输入功率的1 dB变化

始终导致输出端具有相同的电压变化(大约 -50 dBm 至 0 dBm 的线性输入范围)。相比之下，在横轴采用dB刻度以及线性纵轴用于输出电压的情况下，诸如ADL6010等基于二极管的检波器具有指数形式的传递函数。

由于模数转换器的传递函数单位为位/电压，这意味着以dB/位表示的系统分辨率会随着输入功率的下降而不断下降。图5中的曲线还显示了位/dB分辨率，可由ADL6010以5 V满量程电压驱动一个12位ADC实现(为了方便查看，该曲线以对数副轴标记刻度)。在器件功率范围的低端约 -25 dBm 处，递增斜率约为每dB2位，从而使分辨率约为 0.5 dB/位 。这表示一个12位ADC足以在满量程范围内精确解析ADL6010输出。

随着RF输入功率的增加，以位/dB为单位的递增斜率将在 15 dBm 的最大输入功率下稳步上升至大约 300 位/dB 的最大值。这对于RF功率控制应用而言是有价值的；当系统达到最大功率时，这类应用的精度性能至关重要。RF检波器用来测量和控制高功率放大器(HPA)是一个非常典型的应用场景。在那些经常需要控制功率以防HPA过热的应用中，以最大功率进行高分辨率功率测量具有极大的价值。

相比之下，图5中的HMC1094对数放大器传递函数还显示出它在线性工作范围内的斜率不变。这意味着若要实现远低于 1 dB 的分辨率，则使用较低分辨率的ADC(10位甚至8位)就足够了。

在图6显示的应用电路中，ADL6010与AD7091对接，后者是一个12位精密ADC，采样速率最高为 1 MSPS 。该ADC内置 2.5 V 基准电压源，可设置满量程输入电压。由于ADL6010检波器可达到的最大电压约为 4.25 V ，使用一个简单的电阻分压器便可将该电压向下调节，从而使其永不超过 2.5 V 。这种调节可以在没有运算放大器缓冲器的情况下完成部署。输入功率范围下限处可以实现的dB/位分辨率与上文示例类似(即大约 0.5 dB/位)。²

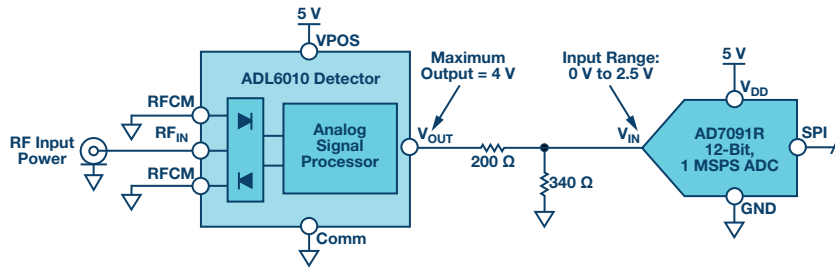


图6. 集成式微波功率检波器与精密ADC接口

结论

与分立式部署相比，集成式RF和微波检波器具有众多优势。集成式温度补偿电路提供即用型输出电压，其在宽温度范围内可以稳定在 ± 0.5 dB左右。使用内部平方根函数可以有效消除低输入功率电平时的平方律特性。这样便可具有单个线性传递函数，使器件校准更为方便。集成式检波器的缓冲输出可以直接驱动ADC，不必担心负载会影响计算精度。选择和设计ADC时必须仔细，以便在低输入功率下具有足够的位/dB。

参考文献

- ¹CN-0050电路笔记。适用于RF应用的稳定闭环自动功率控制ADI公司，2010年。
- ²CN-0366电路笔记。-30 dBm至+15 dBm范围的40 GHz微波功率计ADI公司，2014年。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

ezchina.analog.com

engineerzone[®]
中文技术论坛

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区
上地东路 5-2 号
京蒙高科大厦 5 层
邮编: 100085
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA13826sc-0-3/16

analog.com/cn

