

# 以模拟微控制器为核心构成低成本高效率的功率放大器监测器

作者: Neil Zhao, Mariah Nie, Ning Jia

## 引言

考虑到日益迫近的全球能源危机和人们对环境保护的期望日益增高,节能对高效无线网络的运营至关重要。功率放大器(PA)是基站和中继器的核心,其功耗可能占基站总功耗的一半。对功率放大器进行监控不仅可以提高功效、降低运营成本、提高输出功率和线性度,而且可以使系统操作人员及时发现和解决问题,进而提高可靠性和可维护性。

ADI公司提供三种PA监测器<sup>1</sup>实现方案:一种是分立器件方案,一种是基于AD7294<sup>2</sup>的12位的集成型监测和控制系统的方案,以及一种基于ADuC7026高精度模拟微控制器<sup>3</sup>的集成型方案。分立方案需要使用的器件较多,而且PCB布局复杂,PCB面积也较大,这些因素都导致较高的成本。AD7294的优点是集成度高、成本低且可靠性高,但缺点是需要使用外部微控制器(MCU)来实现PA监控功能。ADuC7026与AD7294具有很多相同的优点,主要的区别是ADuC7026包含MCU。另外,ADuC7026支持外部同步采样,这个特性在TD-SCDMA应用中很有用。

本文介绍了一个基于ADuC7026实现功率放大器监控的参考设计,功能包括设置输出功率、监测电压驻波比(VSWR)、监测横向扩散金属氧化物半导体(LDMOS)场效应管的漏极电流和温度,并在某个参数超过预定的阈值时发出报警信号。

## 系统框图

图1给出了PA监测器的系统框图。RF信号在经由可变电压衰减器(VVA)、ADL5323预驱动器、功率放大器和双向耦合器处理后,由天线发射出去。ADuC7026的片上MCU对PA模块中两级LDMOS的温度和电流及PA模块的前向和反向功率进行采样。MCU把采样数据发送到PC以便在用户界面(UI)上显示。操作人员可通过用户界面调整系统参数。

## PA监测模块

**温度监测:** 功率放大器的功耗会影响其性能。PA某些时候工作在较高的静态工作点,但输出功率较低。大量的能量在LDMOS器件上被转换成热量,这不仅浪费了能量,而且降低了可靠性。监测PA的温度,调整其静态工作点可以使系统达到最佳性能。

图2给出了温度监测器的功能框图,该系统使用ADT75数字温度传感器来监测两个LDMOS级的温度。ADT75(有8引脚MSOP和SOIC封装形式可供选择)把温度转化成分辨率为0.0625°C的数字信号,其关断模式可将电源电流降低到3μA(典型值)。

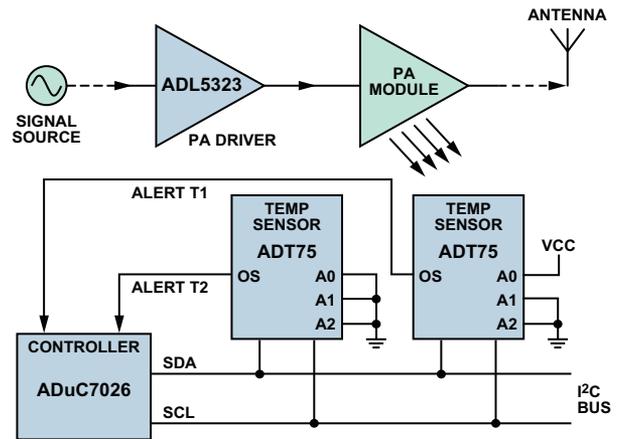


图2. 温度监测器功能框图。

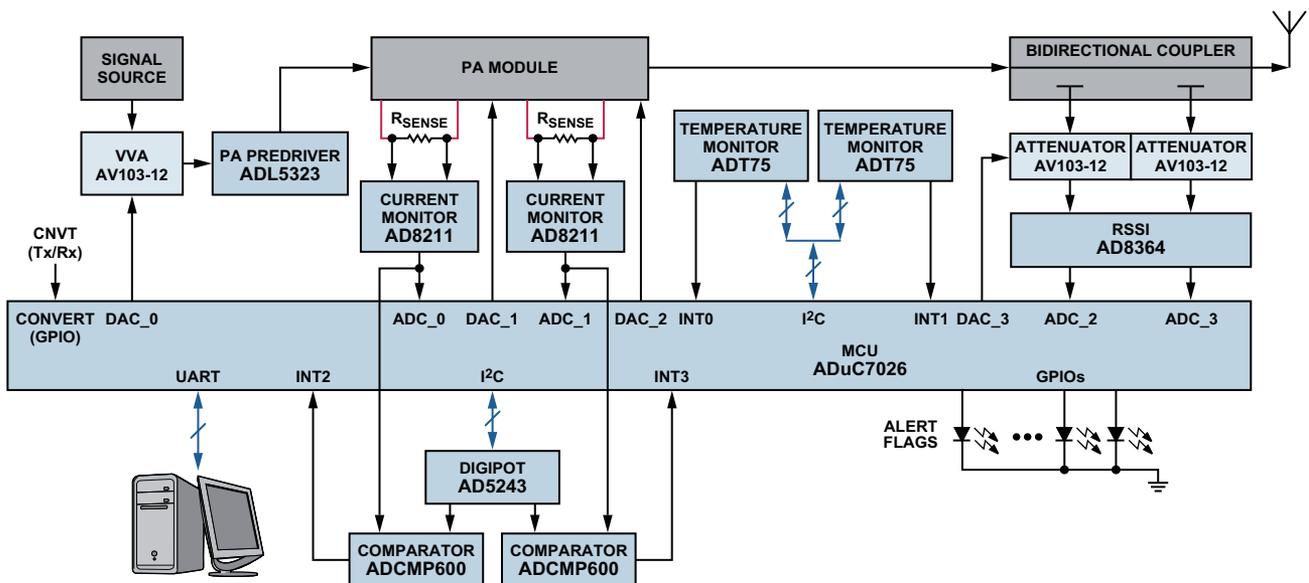


图1. 系统框图。

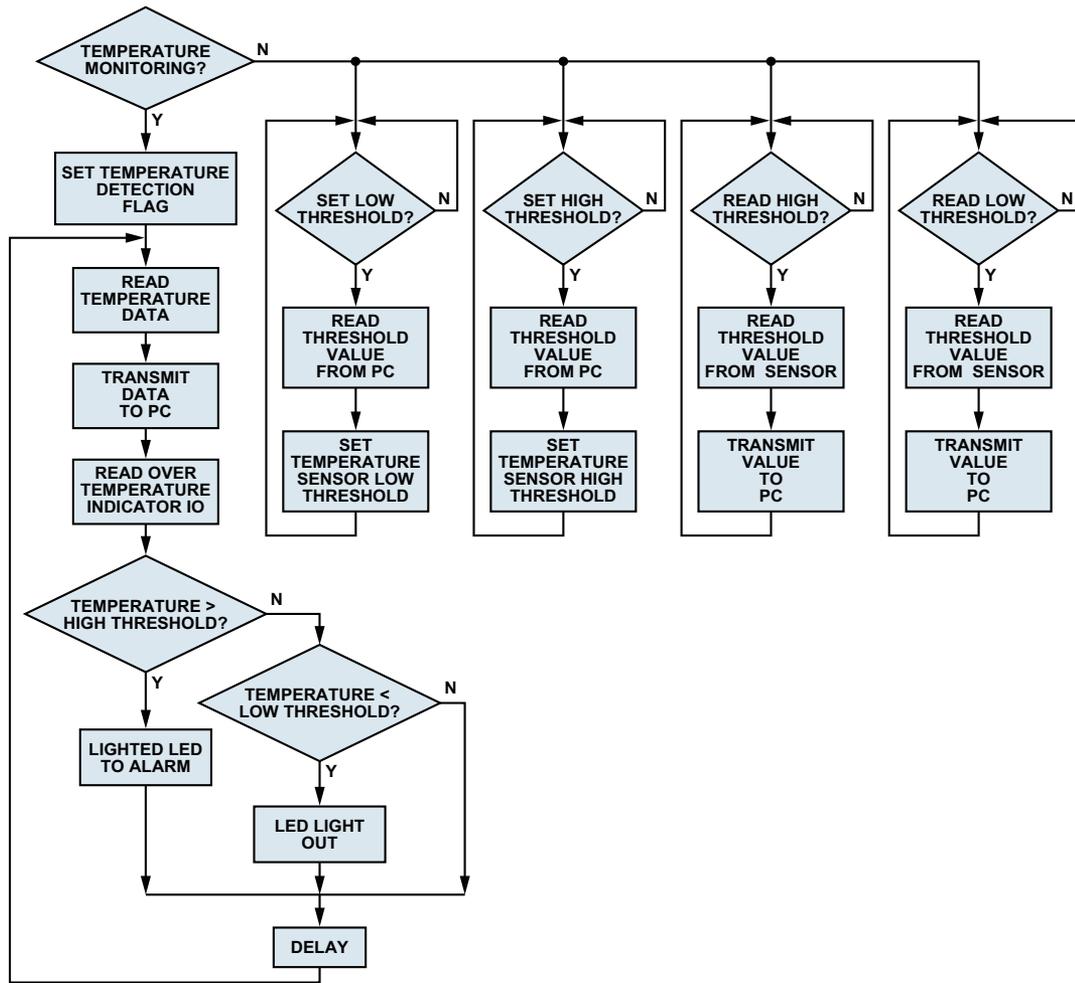


图3. 温度监测程序的流程图。

图3给出了温度监测程序的流程图。在收到温度检测指令后, ADuC7026 MCU首先设置温度检测标识, 然后通过I<sup>2</sup>C®总线从ADT75读出温度数据, 并把该数据发送到PC。接着, 程序检查ADT75的过温引脚(OS/ALERT)状态, 如果温度超过了阈值, 则点亮LED。在收到配置温度阈值的指令时, ADuC7026从PC读入配置数据并通过I<sup>2</sup>C总线把阈值温度写入到ADT75。当微控制器收到读入温度阈值的指令时, 它从ADT75读入阈值温度并把它传送到PC。

**电流监测:** 控制PA的漏极电流, 使其在温度和时间变化时保持恒定, 就可以极大地改善功放的总性能, 同时又可确保功放工作在调整的输出功率范围之内。影响PA漏极电流的两个主要因素是PA的高压供电线的变化和片上温度的变化。PA晶体管的漏极电压很容易受高压供电线变化的影响。我们可以用高电压分流监测器来测量LDMOS的漏极电流。如果连续地监测漏极电流, 当在电源上出现电压波动时, 操作人员可重新调整栅极电压使LDMOS保持在最佳工作点。

图4给出了电流监测器的功能框图。该系统使用AD8211高压高精度分流放大器来采集PA模块中两个LDMOS级的漏极电流。AD8211的增益为固定的20V/V, 在整个工作温度范围内的增益误差为±0.5% (典型值)。AD8211缓存的输出电压直接输出到模数转换器, 由ADuC7026的片上ADC进行采样。漏极电流阈值由AD5243数字电位计设定,

ADuC7026通过I<sup>2</sup>C总线对AD5243进行控制。系统根据ADCMP600比较器的输出来判定漏极电流是否超过或低于阈值。如果漏极电流超过阈值, 系统点亮相应的LED向操作人员报警。

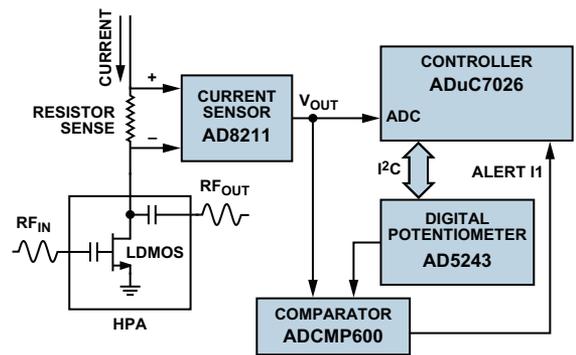


图4. 电流监测器功能框图。

**电压驻波比(VSWR)监测:** VSWR是天线系统的一个关键参数, 它反映天线系统中元件之间的匹配程度。反向功率影响PA的输出功率, 反向功率过大会导致发射出去的信号产生失真。因而, 有必要监测VSWR使基站具有最优性能。

图5给出了VSWR监测器的功能框图。该系统使用双向耦合器和AD8364双通道TruPwr™检测器来测量前向和反向功率。AD8364双通道有效值RF功率测量子系统可精确地测量和控制信号的功率。AD8364灵敏性强,可方便地对RF功率放大器、无线电收发器AGC电路和其它通讯系统实施监测和控制,其输出可用于计算VSWR和监测传输线的匹配度。较大的VSWR值表明天线出现故障,操作人员应通过调整PA增益或电源电压对系统进行保护。

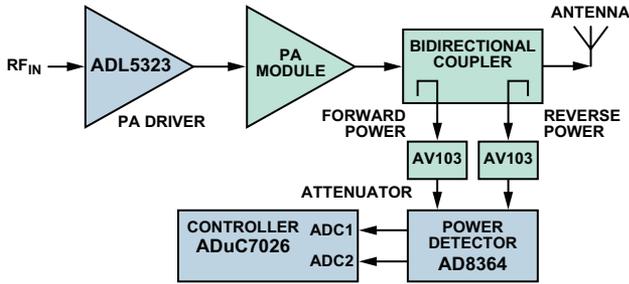


图5. VSWR监测器功能框图。

**自动功率控制:** 根据通信系统的要求,发射机必须确保功率放大器能满足发射的需要,调整基站发射功率保持在精准值,控制输出功率在覆盖允许范围内,不至过小无法满足网络规划时的覆盖距离要求,而减少小区覆盖范围,又不会产生过强的输出信号对相邻基站造成干扰。由于过功率会引起功率放大器饱和并使信号发生非线性失真,系统应提供过功率保护功能,保证功率放大器不工作在过功率条件下。基于上述原因,必须对输出功率进行测量和控制以使之保持稳定。

图6给出了自动功率控制回路的功能框图,该回路包含双向耦合器、TruPwr检测器、微控制器和可变电压衰减器。双向耦合器把前向功率传送到TruPwr检测器,检测器跟踪信号幅度的变化。ADuC7026的片上ADC对检测器的输出采样。微控制器比较输出功率的实际值与期望值,并使用PID算法来调整控制电压偏差,使功率放大器工作在性能最佳的工作点上。

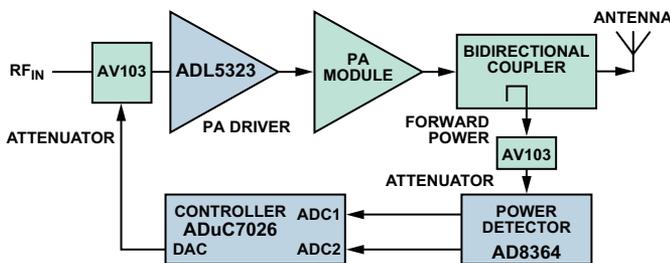


图6. 自动功率控制回路的功能框图。

图7给出了PID算法的流程图。首先,该程序设定初始控制参数 $K_p$ 、 $K_i$ 和 $K_d$ 并设定输出功率的期望值。然后,ADC对AD8364的输出采样,采样得到的数据经滤波后转换成功率。程序根据系统的传递函数计算出输出功率的期望值与实际值之差,以及下一个期望采样值和控制电压,并对DAC寄存器进行配置。这样就完成了一个采样和控制过程周期,这个过程不断循环。

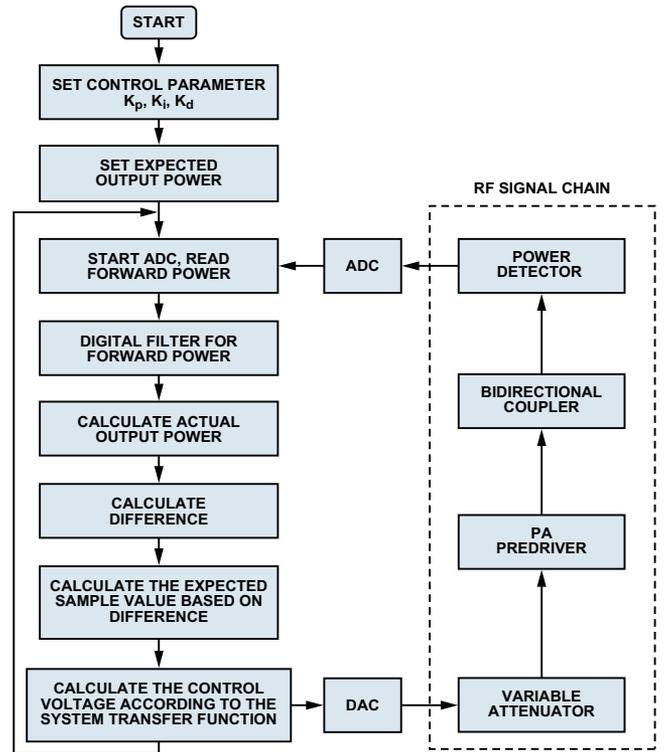


图7. PID算法的流程图。

## 用户界面

UI主要用来提供人机交互界面,实时显示检测数据,并响应操作员的输入命令。图8给出了用户界面程序的流程图。程序运行后,首先要打开串行端口并启动通讯链接。然后,可以选择各功能模块进行监测和控制。

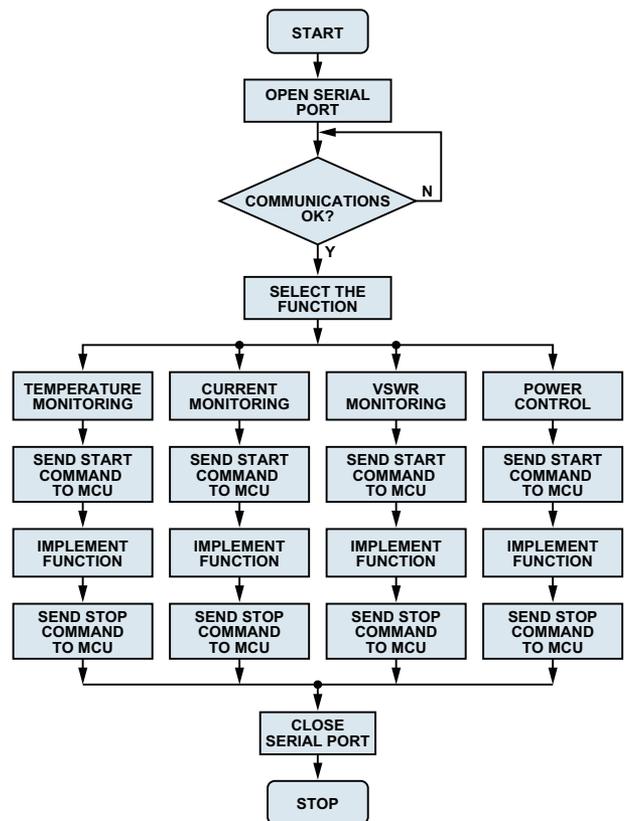


图8. UI控制的流程图。

图9给出了一个温度测试结果。用户可以随时改变高温和低温阈值。在本例中，高温阈值从35°C改到31°C。当环境温度上升到新阈值之上时，过温警报灯变红，PC发出连续的警铃声。

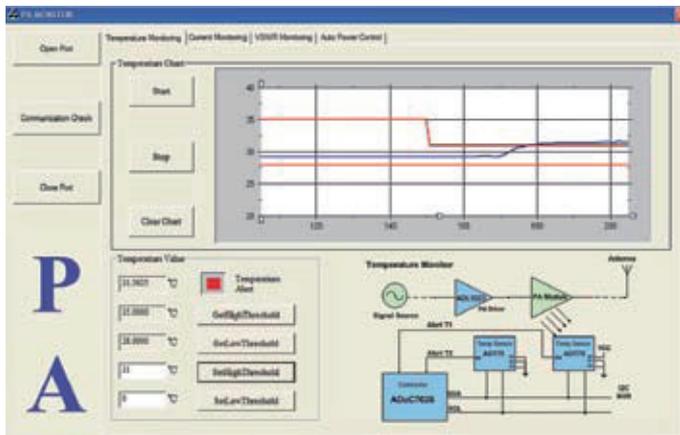


图9. 用于显示温度测试结果的界面。

## 硬件连接

图10给出了PA监测器的演示电路板的连接图。主板由6V适配器供电，它与PC机之间通过串口线相连，以便下位机ADuC7026与上位机PC通信；通过ADF4252评估板产生的RF信号，连接到主控板的RF信号输入端，而后通过如下链路输出：RF输入→可调衰减器AV103→PA前级驱动功率放大器ADL5323→双向耦合器ZABDC10-25HP→RF输出→频谱仪Agilent 4396B。其中ADF4252评估板的输出频率通过PC机控制，PC与ADF4252之间通过一根并口转串口的电缆连接。

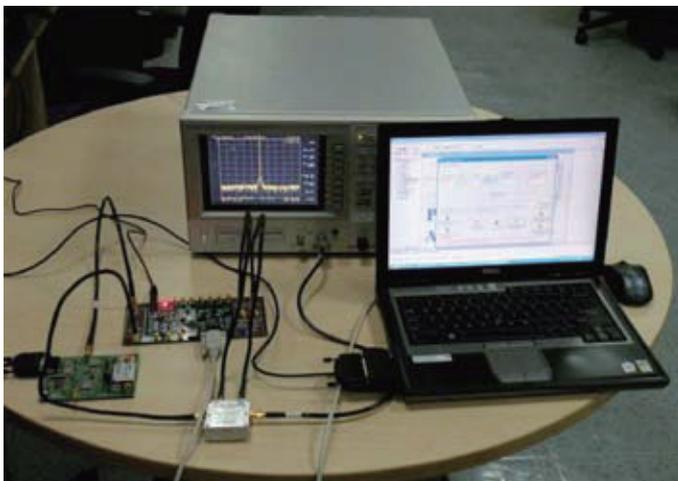


图10. PA监测器演示电路板的硬件连接。

## 结论

该参考设计为在蜂窝基站 (GSM、EDGE、UMTS、CDMA、TD-SCDMA)，点到多点和其它RF传输系统中监测和控制PA提供了一个集成的解决方案。利用ADI公司的高精度模拟微控制器ADuC7026实现PA监测器应用可以增加灵活性，因为它具有多通道高性能12位ADC和DAC，以及片上可编程逻辑阵列(PLA)。其AD转换可通过外部转换输入或PLA转换输出来启动，这个特性对需使用同步信号对前向功率进行采样的TD-SCDMA应用系统很有帮助。PLA集成到芯片上的好处非常明显：用户可以根据要求轻松、简洁地实现各种逻辑。而且各种算法，例如PID控制、VSWR监测、温度监测和电流监测等算法都可通过ADuC7026来实现，无需使用其它控制器。从系统设计的角度来看，这个集成解决方案可节省PCB面积、方便PCB布局，降低系统成本并提高系统可靠性。

## 作者简介

Neil Zhao [neil.zhao@analog.com]是ADI公司中国技术支持中心现场应用工程师，在ADI有1年的工作经历，负责向中国用户就ADI的模拟产品提供技术支持。他于2008年1月获北京航空航天大学通讯和信息系统专业硕士学位。有多篇论文发表。



Mariah Nie [mariah.nie@analog.com]是ADI公司中国技术支持中心经理，在ADI有5年的工作经历，负责向中国用户就ADI的模拟产品提供技术支持。她于2003年获北京理工大学电子工程专业硕士学位。



Ning Jia [ning.jia@analog.com]是中国技术支持中心现场应用工程师，在ADI有两年的工作经历，负责向中国用户就ADI的模拟产品提供技术支持。Ning于2007年获北京邮电大学信号和信息处理专业硕士学位。



## 参考文献

- 1 [www.analog.com/library/analogDialogue/china/archives/42-04/pa-control.html](http://www.analog.com/library/analogDialogue/china/archives/42-04/pa-control.html).
- 2 [www.analog.com](http://www.analog.com)网站提供ADI公司所有产品的说明书和进一步的产品信息。
- 3 [www.analog.com/cn/products/processors-dsp/analog-microcontrollers.html](http://www.analog.com/cn/products/processors-dsp/analog-microcontrollers.html).

