

脉冲雷达用GaN MMIC功率放大器的电源管理

David Bennett和Richard DiAngelo
ADI公司

脉冲雷达应用之类的系统采用高集成度、高精密度、高功率射频 (RF) GaN功率放大器 (PA), 当今数字控制与管理系统必须适应不断提高了的复杂度, 这是一个持续挑战。要在这一市场中竞争, 当今控制系统必须极其灵活、可重用且能轻松适应各种RF放大器架构, 从而满足客户的特定需求。这些复杂管理系统需要创新补偿算法、内置测试(BIT)特性、本地和远程通信接口、关键系统性能参数与环境状况监测, 以及系统故障防护。推动此类系统复杂度提高的因素是基于半导体的RF系统对更高功率的需求。

这种高功率系统会产生非常多的热量, 进而影响放大器性能和平均故障间隔时间 (MTBF)。此类系统需要的RF放大器MMIC是昂贵的高功率器件。因此, 客户希望实时监测GaN PA系统的性能和温度, 以便检测到即将发生的问题, 采取必要措施, 防患于未然。借助适当的控制电子设计, 实现方案可以非常灵活, 并且能够配合任何RF放大器架构使用。数字电子装置可以针对客户需求量身定制。数字设计可以包括内置保护逻辑, 当接近损害阈值时禁用GaN RF放大器。这些关键特性对于优化带宽和温度范围内的RF性能至关重要, 有助于实现高水平的可测试性、可维护性、系统易集成性和校准, 从而提供与众不同的技术。

当今半导体RF放大器的复杂度和输出功率持续提高。为了优化性能, 管理上电时序, 提供故障检测, 以及提供放大器系统监测与保护, 电子装置可利用能重新编程的现场可编程门阵列 (FPGA) 和/或微控制器实现。可重新编程的解决方案能提供当今高级RF放大器子系统开发所需的灵活性。重新编程能力使得设计错误导致的重新设计电路板和延误计划的风险大大降低。这些放大器系统具有相似但不同的需求, 具体取决于应用。数字控制电子架构针对应用需求而定制, 通常包括以下部分:

- ▶ 数字控制器
- ▶ 非易失性存储器
- ▶ 模数转换器 (ADC)
- ▶ 数模转换器 (DAC)
- ▶ 数字输入/输出 (I/O)
- ▶ 直流电源调理
- ▶ 通信接口
- ▶ 各种模拟传感器

硬件和软件重用是快速高效开发设计变体的关键。这些特性可减少工厂测试和校准时间, 并提供重要诊断工具, 帮助调试系统问题。

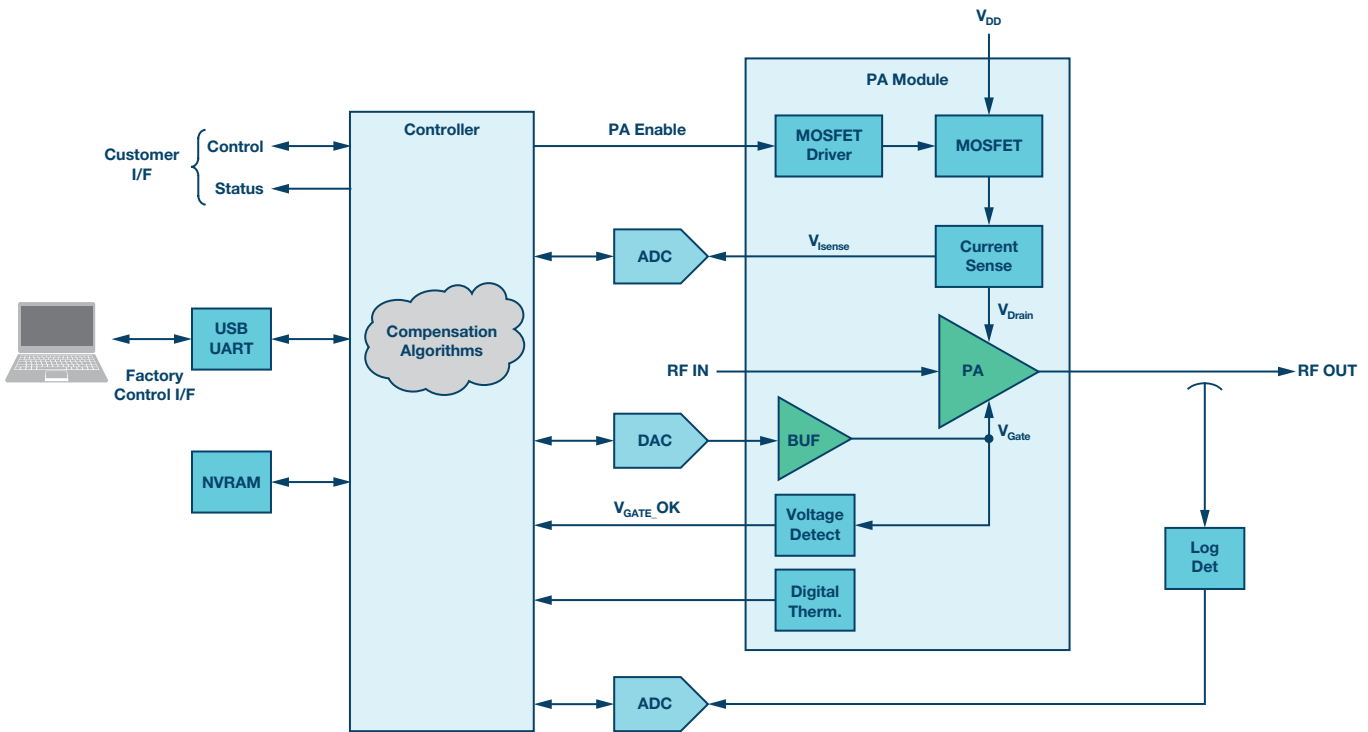


图1. 典型GaN PA控制系统

ADI RF放大器所用的大部分控制系统采用FPGA。这些器件高度灵活，功能丰富，可包含内部软核心或嵌入式处理器。FPGA可实现多种并行功能，这些功能同时但独立地运作。因此，FPGA有能力迅速对命令和关键电路状况作出反应，以保护RF电子器件。逻辑功能和算法通常用硬件描述语言（HDL，例如Verilog或VHDL）实现。逻辑功能的执行由FPGA内的状态机逻辑控制。状态机根据输入和输出条件控制操作的执行顺序。

- ▶ **放大器性能优化：**为了优化放大器性能，必须设置适当的栅极电压以实现数据手册中的放大器额定电源电流。栅极电压利用一个DAC进行调整，同时利用一个ADC监测功率放大器的电源电流。通过这些特性，用户可以迅速校准RF放大器栅极电压，而无需探针或修改RF电子元件。
- ▶ **增强的上电时序控制、电源管理和监测：**FPGA设计可用来控制稳压器和RF放大器的上电时序，使上电电流最小，并监控和检测放大器与电源故障。FPGA可以采取保护措施，根据故障状况检测结果关断系统器件，或通过控制接口报告给计算机。FPGA可以管理系统整体功耗，关断未被使用（处于待机模式）的电路。

- ▶ **温度监测、热管理：**在高功率放大器系统中，温度是影响RF性能的一个关键因素。通过监测温度，FPGA可以实现补偿放大器温度漂移的算法。另外，温度监测使得FPGA可用来控制散热系统，例如风扇转速，以将性能降幅减至最小。该逻辑可以检测潜在的破坏性热状况，并采取适当措施。
- ▶ **数字和模拟I/O：**FPGA可以控制RF开关、移相器、数字衰减器和电压可变衰减器（模拟衰减器）。几乎任何模拟传感器信号都可以通过ADC与FPGA接口。只要目标信息可以变成数字格式并连接到FPGA，便可监控目标信息或信号，以及（或者）运用算法对其加以处理。
- ▶ **控制、计算机接口、图形用户界面（GUI）：**这些可能是管理系统最重要的方面，用来让用户轻松访问放大器系统提供的所有控制、传感器和诊断数据。可以开发一个GUI，将所有控制和状态信息格式化到易于使用的人机界面中。可以开发软件脚本，以为整个系统集成和最终测试过程中的超高生产测试覆盖率、校准和故障分析提供便利。测试数据可以写入计算机文件或从计算机文件读取，校准数据可以存入NVRAM以在运行时用作补偿算法的变量。除工厂使用外，这一强大的接口工具还可在现场使用，以监控系统健康状况，确定系统故障的根源，以及在现场轻松升级控制软件。此接口的变体可轻松支持物联网（IoT）应用，帮助实现智能边缘计算。

连续波 (CW) 模式和脉冲模式应用均会使用 GaN RF 功率放大器。从控制角度看, 脉冲操作更具挑战性, 因此是本文讨论的重点。举例来说, 脉冲 RF 可用于通信、医疗和雷达等应用。脉冲操作具有发热量低的优点 (因此可降低对散热方案的要求), 并能最大程度减少系统外部直流电源需求。然而, 更高的脉冲重复频率 (PRF)、较低占空比和更快建立时间要求, 持续推动技术发展。我们应对这些严苛要求的方法是利用数字控制系统向 RF MMIC 发送脉冲。通常使用现场可编程门阵列以及栅极或漏极脉冲技术 (取决于系统要求) 来使能/禁用 RF MMIC。FPGA 与 RF MMIC 的控制接口通常包括 MMIC 漏极电源切换电路, 或某种形式的模拟或数模切换电路 (其与栅极接口)。当向 MMIC 发送脉冲时, 根据切换速度和建立时间要求, 可能需要使用电容库来将能量存储在本地, 以实现最有效的直流偏置。

图2和图3显示了可用于脉冲RF应用的一般典型电路。FPGA控制脉冲信号时序, 并为RF MMIC提供同步状态监控和保护。FPGA可以接收单脉冲信号并将其分配给一个或多个RF MMIC器件, 同时维持紧密的时序关系。

在高功率脉冲应用中, 栅极发送脉冲的好处是不需要高直流切换。但是, 栅极电压必须精确并受到良好控制以优化RF性能的要求, 可能会使栅极脉冲复杂化。MMIC特性数据通常是在单静态栅极偏置条件下测得, 此时MMIC性能最佳。MMIC通常不是针对脉冲操作来表征。当栅极电压使MMIC在夹断状态和导通状态之间切换时, 某些MMIC会表现出不稳定现象。漏极发送脉冲可能更宽松, 需要的MMIC特性数据可能更少。每个脉冲应用的需求都必须仔细审查, 以确定最优脉冲发送方法和电路。任何MMIC脉冲应用, 无论栅极还是漏极发送脉冲, 都应结合设计实际要使用的MMIC进行评估。

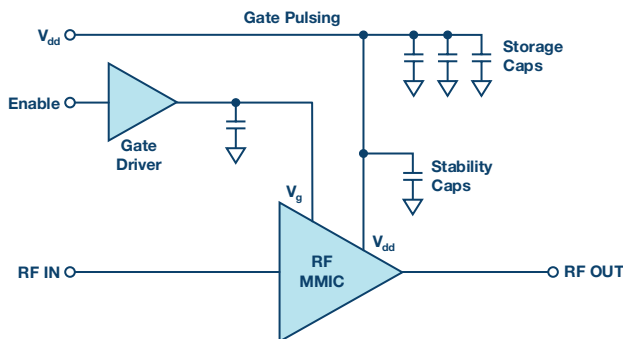


图2. 典型栅极控制方案

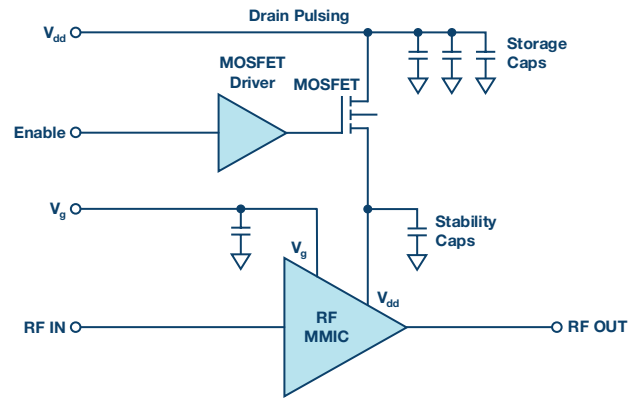


图3. 典型漏极开关方案

结语

ADI公司持续为客户开发并部署复杂RF功率放大器系统。

要在这一市场中竞争, 当今控制系统必须极其灵活、可重用且能轻松适应各种RF放大器架构, 从而满足客户的特定需求。此类系统可包含内置保护逻辑以在接近损害阈值时禁用RF放大器, 并在优化带宽和工作温度范围内的RF性能时发挥关键作用。此类系统有助于实现高水平的可测试性、可维护性、系统易集成性和校准, 从而提供区别于竞争对手的技术, 利用当今高功率放大器管理系统实现有影响力的创新。

这些系统中实现的MMIC电源管理系统已使ADI公司上升到新层次——同客户合作, 为其提供能与其内部系统无缝集成的系统。业界对此类半导体RF放大器系统的需求持续增长。随着这些系统的复杂度不断提高, 保护和控制这些系统的数字控制电子装置的复杂度也会持续提高, 因而我们将不断创新, 不断突破当今的高功率GaN放大器管理系统。

鸣谢

本文所述的RF放大器电源管理设计能力, 是ADI公司航空航天集成解决方案与设计部门——一个由电气和软件工程师组成并致力于超越一切可能的创新团队——努力的直接成果。

作者简介

David Bennett于1979年获得美国罗彻斯特理工学院（位于纽约罗彻斯特）学士学位。1979至2004年，David受雇于莱克星顿的Itek Optical Systems，以及位于马萨诸塞州阿克顿的初创公司Terapulse。

2004年10月，David加入ADI公司（前身为Hittite Microwave），从事关键频率合成器程序的数字控制工作。他协助开发了LTCC基板上实现的基于FPGA的密封数字控制器混合产品。他为多个FPGA系统设计并构建了硬件和Verilog代码。他已晋升为顾问工程师，负责ADI公司仪器仪表与防务部集成解决方案的数字和电源控制系统的架构与设计。联系方式：david.bennett@analog.com。

Richard DiAngelo于1975至1979年在美国空军服役4年。随后，他作为非现役储备人员又服役2年，于1981年从美国空军光荣退役。

Richard于1984年获得温沃斯理工学院电子工程技术学士学位。1984至2005年，他先后受雇于Raytheon Company、Analogic Corporation、Lucent Technologies和Freescale Semiconductor。2005年，Richard加入ADI公司（前身为Hittite Microwave Corporation），开发了用于商业和航空航天应用的RF频率合成器控制和直流电源系统，并领导了2007年T2xxx系列商用合成信号发生器产品线的成功推出。2013年，Richard晋升为工程经理，负责ADI公司仪器仪表航空航天和防务部集成解决方案的复杂数字控制和配电子系统的开发。联系方式：richard.diangelo@analog.com。

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。

请访问ezchina.analog.com

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

北京市海淀区西小口路66号
中关村东升科技园
B-6号楼A座一层
邮编: 100191
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

©2017 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. TA16368sc-0-10/17

analog.com/cn

