

Jarrett Liner
应用工程师
ADI公司

SWaP: “翱翔高空”抑或“望空兴叹”可能取决于RF解决方案

in | 分享至LinkedIn

✉ | 电子邮件

飞行历史

航天飞机曾是美国航天计划——十分坦率的说，也是全球航天探索和卫星实施计划——的主力运载工具。航天飞机(也称轨道飞行器或OV)于1969年开始设计，并于1981年抵达低轨道。具体来说，其中对电力系统(EPS)给予了特别考虑。EPS包括电源反应物存储和分配、燃料电池发电厂(电力产生)以及电力分配和控制。EPS为OV提供28 V_{DC}和115 V_{AC}供电轨，在这上面花费了很多时间和精力。这些系统和子系统非常复杂、笨重和低效，但电力系统是整个有效载荷计算的一个重要部分。

快进到2015年，有多个无人飞行器项目正在开发阶段，它们属于一个特殊类别：高空长航时(HALE)。其中一个项目设定的目标是飞行5年而不用加注燃料。单单环境、机身和电厂系统的挑战就令人生畏，不仅如此，还要关注电力的产生、输送和回收，这对此类项目的成功至关重要。在通信系统的设计中，尺寸、重量和效率也是最重要的考虑。幸运的是，Analog Devices, Inc. (ADI)对提供此类器件非常积极。

一个很好的例子是ADI公司的收发器系列，其种类多样、覆盖全频谱并具有高集成度、低功耗和小尺寸特性。有关这些及其他器件解决方案的详细讨论将在本文中穿插进行。

本文中的许多问题和解决方案都是结合空中平台例子来说明，有些也适用船用平台。读者应明白，空基和海基平台的问题陈述和相关解决方案具有密切联系，常常是同一系统的不同版本。

什么是SWaP?

可以说，尺寸、重量和功耗(SWaP)是新产品、新项目或新平台定义中最重要的指标。几乎所有新开发任务，无论海上、空中、地面、便携还是手持式，都有一个共同要求：做得更小，使用更少的资源，为整体系统功能作出更大贡献。最近同一名雷达系统架构师有过交谈，讨论的是相控阵雷达和有源电子扫描阵列(AESA)，从50英尺到1000英尺鸟瞰，设计师提出了一些非常聪明的设想来提高系统精度、范围和数据传输速度。但是，SWaP要求使他的所有精细计算变得无用。当前的社会、经济、政治和全球环境更喜欢瘦小系统。这些年来，SWaP似乎已成为关键驱动因素，人们在系统性能改进和多功能架构方面不得不做出一些困难的取舍。

揪出祸首

讨论SWaP问题的一些解决方案之前，我们先看看几个引发问题的“祸首”。

Cu! 铜是电力传输的首选导体。1000英尺无绝缘的AWG 5号铜线重量接近100磅(50 kg)。更糟糕的是，铜线的固有电阻会导致部分电流以热的形式白白浪费。另一个“坏蛋”是传统器件的尺寸。以船用雷达本振(L0)为例，L0同时馈送至发射机和接收机。L0必须产生具有低谐波的稳定频率，最高稳定性要求必须考虑温度、电压和机械漂移。振荡器必须产生足够的输出功率以有效驱动后续电路级，比如混频器或频率倍增器。其相位噪声必须很低，因为信号时序至关重要。传统上，L0是由独立的专门设计的子系统产生和分配。空中系统也是如此，固态器件组成导致其尺寸大、功耗高且笨重。

为系统提供高功率RF的传统器件是行波管(TWT)。那好,既然还没坏,为什么要修?什么是TWT?TWT是一种专用真空管,用在电子装置中以放大微波范围的射频(RF)信号。宽带TWT的带宽可能高达一个倍频程,不过调谐(窄带)版本更常见;工作频率范围是300 MHz至50 GHz。此类TWT系统可以说是高效的,但它们是单点故障。可靠性是TWT的一个严重问题。微波管可靠性主要取决于三个因素。第一,制造过程中引入的缺陷会影响可靠性。生产问题、做工不佳、缺少过程控制是引起制造缺陷的主要原因。第二,行波管可靠性严重依赖于工作程序和处理。最后,为了实现可靠工作,工作点与管的终极设计能力之间必须存在足够大的设计裕量。以上只是SWaP的众多不利因素中的三个例子。

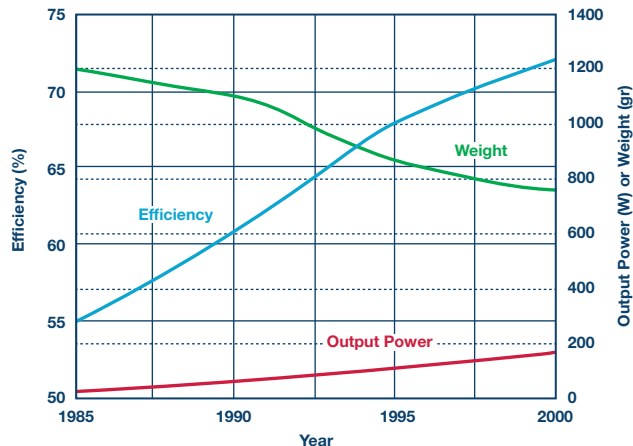


图1. TWT效率、输出功率和重量随着时间推移而改进

拯救SWaP的超级英雄

每个坏蛋都需要一位超级英雄来收拾。半导体技术和器件集成度的进步对降低SWaP发挥了重要作用。本文接下来将介绍一些直接影响SWaP的重大成就,它们使当今和可预见未来的技术大跨越成为可能。下面讨论三种技术:固态功率放大器、器件集成和无线传感器技术。

固态功率放大器(SSPA)并非新技术。GaAs(砷化镓)和LDMOS(横向扩散金属氧化物半导体)用于高功率放大器已有许多年。硅基LDMOS FET广泛用于基站RF功率放大器,因为其要求高输出功率,相应的漏源击穿电压通常高于60 V。与GaAs FET等其他器件相比,它们的最大功率增益频率较低。LDMOS FET在5 GHz以下工作时效率最高。砷化镓场效应晶体管(GaAsFET)是一种特殊类型的FET,用于微波射频固态放大器电路。其频谱是从大约30 MHz到毫米波频段。

GaAsFET出名的原因是具有优异的灵敏度,尤其是产生的内部噪声非常低。功率密度受击穿电压限制。天气好时, GaAs MESFET的击穿电压可以达到20 V。回顾一下, TWT具有高频率和高功率特性,但可靠性、重量和所需的支持子系统使其不受欢迎。LDMOS可提供高功率,但工作频率低于5 GHz。GaAs MESFET的工作频率非常高,但低击穿电压将其功率范围限制在10 W左

右。“英雄”在哪里?是否有跨越式SSPA技术来挽救危局?SWaP喜欢碳化硅衬底氮化镓(SiC衬底GaN)。GaN和SiC均为宽带隙材料,其组合击穿电压高达150 V。这样就能实现更高的功率密度和更低的线路负载,阻抗匹配也更容易。SiC衬底GaN支持毫米波段的功率增益频率($F_t \sim 90$ GHz, $F_{max} \sim 200$ GHz)。

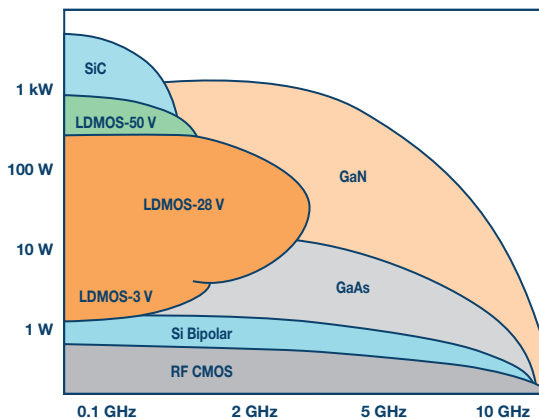


图2. 不同工艺的功率与频率的关系

市场对SiC衬底GaN LED的欢迎帮助晶圆厂建立了信心并降低了晶圆成本。RF晶体管的器件结构支持实现5 W/mm的功率密度。SiC衬底GaN的MSL等级接近或达到了业界认可的额定值。SiC衬底GaN作为突破性技术已获得广泛的认可,市场趋之若鹜。限制SiC衬底GaN性能的最大因素是传热,将热量从器件导出是最后待解决的问题。在硅衬底GaN上获得了一些成功,但较低的热导率会将输出功率限制在10 W左右。钻石衬底GaN性能最佳。科学计算得出的功率密度要比当今可用的SiC衬底GaN高出10倍。



图3. KHPA-0811 8 kW HPA

虽然已展示过在单晶钻石上直接生长GaN,但目前可用的单晶钻石衬底的最大尺寸限制了此项技术的采用。政府和国防承包商是钻石衬底GaN的唯一早期采用者。类似于1980年代的GaAs, 钻石衬底GaN将由这些政府机构审查,随着可靠性提高和相关成本降低, 商用市场就会跟进。TWT有一个集成SSPA替代品。ADI公司提供一款最高8 kW的高功率放大器(HPA), 其将许多SiC衬底GaN SSPA合并并在单个单元中。KHPA-0811采用小型十二面体封装,旨在兼顾大功率和小尺寸特性,同时覆盖宽带宽。

通过集成消除无用的“船锚”

这里所说的“船锚”是美国海军用语,当某种大型电子(或其他)设备因为过时而成为系统资源的负担时,便称之为“船锚”。无论有人还是自动驾驶,空中平台都有许多形式的机载通信。语音、导航、数据、机载传感器、雷达等都有自己的通信链路,随着天空越来越拥挤,链路名单变得越来越长。过去,任何一个系统都需要相当多的面积、电源和支持子系统。空中平台能够升空真是了不起。每一盎司、每一耗瓦都要精打细算,物理系统设计必须与为其分配的空间相适应。一定有更好的办法。

AD9361是一款高性能、高度集成的射频(RF) Agile Transceiver™ 捷变收发器。AD9671同样出自ADI公司,具有低成本、低功耗、小尺寸等特性。集成电路(IC)设计、系统级封装(SiP)和系统化芯片(SoC)的进步,使得这些臃肿系统的“船锚”成为过去。我们来看一个有关系统集成的好例子。ADI公司已发布一款业界领先的收发器,其将大量高功耗的通信链路全部放入一个10 mm × 10 mm 封装中。原始设计本来是用于8通道超声方案,但许多系统设计师希望使用COTS器件,因为其集成度高、成本低且容易获得。超宽带、低功耗、低成本收发器ADF7242是集成设计的又一个例子,原始设计范围之外的系统也在考虑使用它。丢掉“船锚”,用上SiP和SoC。

剪掉铜“脐带”

无论有人还是无人,航空器都有成百上千的传感器,许多还有冗余和备用支持系统。传感器种类五花八门,襟翼和副翼位置

传感器、发动机振动传感器、制动温度传感器等等不一而足,而且在不断增多。每个传感器及其相关冗余都通过又大又重的铜缆和不锈钢/铝制连接器连接到中央处理器。问题是,相当多的平台资源被用来支撑这些电缆和互连。RF技术进步同样能拯救SWaP,因为它可降低对此类电缆的依赖性。许多主要机身制造商正在展开合作,对商用成品(COTS)技术进行认证,以求用低成本、可靠的方式取代铜互连。

ADuCRF101是一款针对低功耗无线应用而设计的完全集成式数据采集解决方案,例如,采用输出数据带宽要求低于数十kHz的惯性测量单元(IMU)传感器,并结合来自ADI公司的集成RF收发器的精密模拟微控制器ARM® Cortex®-M3。其设计注重灵活性、稳定性、易用性和低功耗特性。这种结合纯属假设,但会是航空电子传感器技术与COTS RF器件搭配使用的一个例子。相信此类RF方案很快就会用来拯救SWaP。

结论

当今的社会、政治和经济环境要求空中平台设计者更加注重节约尺寸、重量和功耗。降低系统资源负担可以延长航行时间,减少燃料要求,提高有效载荷效率。节约SWaP的最重要且最有趣的进步直接来源于RF领域的技术进步。最有利的进展得益于从TWT转向SSPA所带来的尺寸缩小、器件集成以及对铜缆互连依赖程度的降低。RF技术有望使航空行业在未来许多年继续翱翔高空。RF解决方案对降低SWaP功不可没。

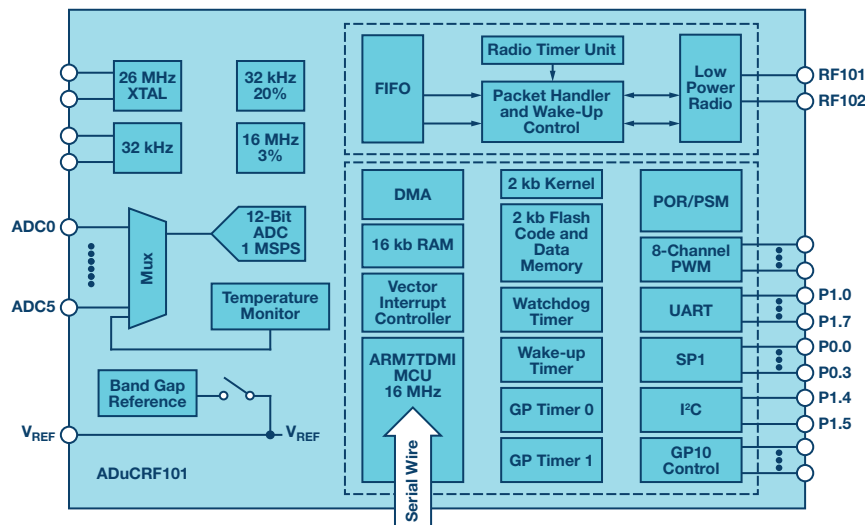


图4. ADuCRF101

作者简介

Jarrett Liner是ADI公司航空航天与防务部门(位于美国北卡罗来纳州格林斯博罗)的RF系统应用工程师,他在射频系统和器件设计方面有着丰富的经验。此前,他是防务和航空航天领域碳化硅衬底氮化镓放大器应用工程师。其先前的经历还包括从事13年的RF IC WLAN功率放大器和前端模块的设计与测试工作。他曾作为电子技师在美国海军服役6年。Jarrett于2004年获得美国北卡罗来纳州农业技术州立大学(位于北卡罗来纳州格林斯博罗)电气工程学士学位。当Jarrett不在实验室仿真电路或测量数据时,他可能在山地上骑自行车、在健身房教授自行车课程、跑步或者在庭院与他的四个孩子追逐嬉戏。联系方式: jarrett.liner@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。

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
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

©2015 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. TA13843sc-0-6/16

analog.com/cn

