

# 开创性的5 kV ESD MEMS开关技术

作者: Eric Carty和Padraig McDaid  
ADI公司

## 简介

解决大问题需要开创性的技术。机电继电器早在电报问世之初就已存在,但没有其他替代的开关技术可满足所有市场需求——特别是对于测试和测量、通信、防务、医疗保健和消费类市场中智能性和互联性更强的应用需求。作为不断增长的市场需求的一个例子,测试和测量终端用户要求多标准测试解决方案的尺寸尽可能最小,在0 Hz/dc至数百GHz的频率范围内需要实现最高并行测试。机电继电器的带宽窄、动作寿命有限、通道数有限以及封装尺寸较大,因此对系统设计人员的限制日益增大。

微机电系统(MEMS)开关具有创新性,可以替代继电器并将行业推向更高水平。凭借内部先进的MEMS开关制造设备,ADI公司目前可以批量生产高性能的快速小型MEMS开关,此类开关的特点是机械耐用、功耗低且具有静电放电(ESD)保护功能。

## MEMS开关技术

ADI MEMS开关技术的关键是静电驱动的微机械加工黄金悬臂梁开关元件概念。可以将MEMS开关视作微米尺度的机械继电器,其金属对金属触点通过高压直流静电驱动。图1显示了单个MEMS开关悬臂的特写图。其中可看到并联的五个触点和具有下面有空隙的铰链结构。这一开关设计用于ADGM1304单刀四掷(SP4T) MEMS开关和具有增强型ESD保护性能的ADGM1004 SP4T开关。

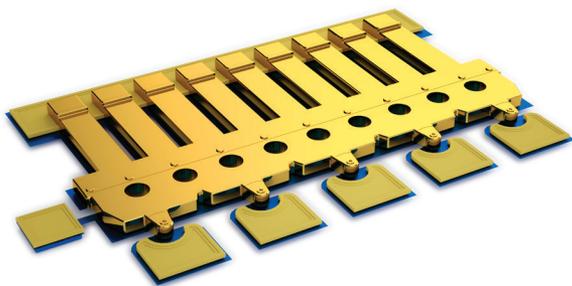


图1. 特写图显示了一个MEMS悬臂开关梁。

ADI设计了一个配套驱动器集成电路(IC),以产生驱动开关所需的高直流电压,保证快速可靠的驱动和长使用寿命,并使器件易于使用。图2显示了采用超小型SMD QFN封装的MEMS芯片和驱动器IC。被封装在一起的驱动器功耗非常低——典型值为10 mW,比RF继电器的典型驱动器要求低10倍。

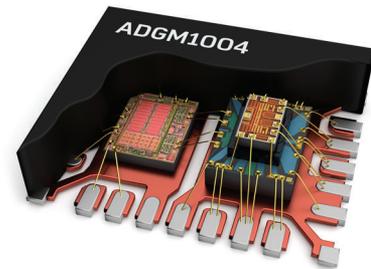


图2. ADGM1004增强型ESD保护MEMS开关。

## 集成ESD保护

借助ADGM1304 MEMS开关产品,ADI开发了ADGM1004 MEMS开关,通过集成固态ESD保护技术来增强RF端口ESD性能。ADGM1004开关的RF端口人体模型(HBM) ESD额定值已增加到5 kV。这个级别的ESD保护可谓MEMS开关行业首创。

集成式固态ESD保护是专有的ADI技术,可实现非常高的ESD保护同时对MEMS开关RF性能影响最小。图3显示了采用SMD QFN封装的ESD保护元件。其中,芯片安放在MEMS芯片上,通过焊线连接至封装的RF引脚。这些都是针对RF和ESD性能进行了优化。

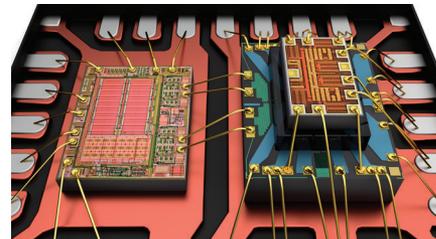


图3. ADGM1004驱动器IC(左)和MEMS开关芯片(右),带RF端口ESD保护芯片安放在MEMS管芯之上并线焊至金属引线框架。

为了实现ADGM1004产品, ADI将三种专有光刻技术与组装和MEMS封装技术相结合, 以实现这一性能突破。

## RF和0 Hz/DC性能

MEMS开关的优势是它在一个非常小的表贴封装中实现了0 Hz/dc精密性和宽带RF性能。图4显示了ADGM1004单刀四掷 (SP4T) MEMS开关的实测插入损耗和关断隔离性能。插入损耗在2.5 GHz时仅为0.45 dB, 在带宽高达13 GHz时为-3 dB。RF功率处理额定值为32 dBm (无压缩), 三阶交调截点 (IP3) 线性度在频率范围内恒定为67 dBm (典型值), 频率极低时无性能降低。

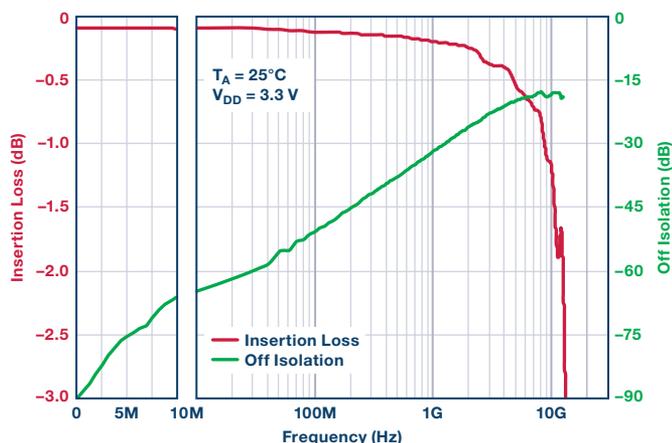


图4. ADGM1004 MEMS开关RF性能线性标度<10 MHz。

ADGM1004 MEMS开关设计为0 Hz/dc精密应用提供极高的性能。表1列出了这些重要规格。

表1. ADGM1004精度规格I

ESD (HBM)	ESD (FICDM)	导通电阻	关断泄漏	0 Hz/DC V, I级
5 kV RF端口 2.5 kV非RF端口	1.25 kV 所有端口	1.8 $\Omega$ (典型值)	0.5 nA (最大值)	$\pm 6$ V, 220 mA

表1列出了HBM ESD额定值, RF端口的额定值为5 kV HBM, 相比ADGM1304器件的100V HBM有大幅提升。这提高了人工处理ESD敏感型应用的易用性。

表2. ADGM1004精度规格II

开关速度	电源电压	封装尺寸	循环寿命
30 $\mu$ s	3.1V至3.3V, 10 mW (典型值)	5 mm $\times$ 4 mm $\times$ 1.45 mm	10亿 (最小值)

无论什么市场, 小尺寸解决方案都是一项关键要求。图5利用实物照片比较了ADGM1004 SP4T MEMS开关的封装设计与典型DPDT机电继电器电器的尺寸, ADGM100体积缩小了高达95%。



图5. ADGM1004 MEMS开关 (四开关) 与典型机电式RF继电器 (四开关) 的比较。

最后, 为了帮助系统设计人员, 我们对ADGM1004开关的热切换寿命 (进行RF功率传输时对通道进行切换) 进行了特性化测试。图6显示了进行2 GHz、10 dBm RF信号热切换时的寿命概率。样本测试的故障前平均循环次数 (T50) 为34亿次。更高的功率测试结果, 请参见ADGM1004数据手册。

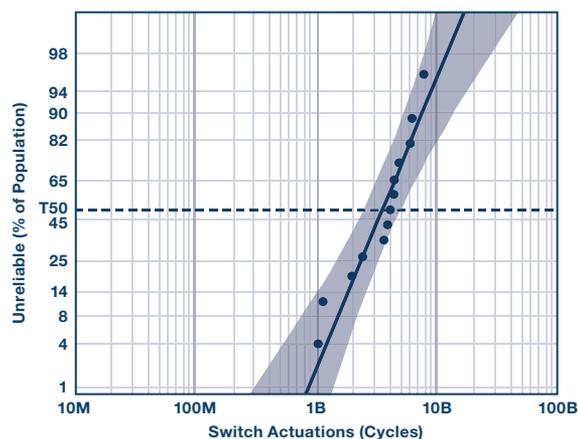


图6. 10 dBm RF信号热切换时95%置信区间(CI)下的对数正态故障概率。

## 结语

具有开创性的增强型ESD保护性能的ADGM1004 MEMS开关可以大幅提高易用性, 同时在RF应用和0 Hz/dc应用中都能保持卓越的开关性能。ADI的MEMS开关技术具有从0 Hz/dc开始的带宽性能, 相比RF继电器, MEMS开关的体积缩小多达95%, 可靠性提升10倍, 速度提升30倍, 功耗降低10倍。ADGM1004 MEMS开关为ADI公司性能优异的开关产品阵营又添异彩。

## 作者简介

Eric Carty于1998年获得爱尔兰国立梅努斯大学实验物理硕士学位。加入ADI公司之前,他担任了10年的RF无源器件设计工程师。2009年,他成为ADI公司的高级应用工程师,主要从事RF开关和MEMS技术的研发工作。他目前负责管理ADI公司的开关与多路复用器应用部门。联系方式: [eric.carty@analog.com](mailto:eric.carty@analog.com)。

Padraig McDaid 1998年毕业于爱尔兰利默里克大学,获得电子工程学士学位。Padraig负责管理ADI公司的开关与多路复用器市场营销部门,重点关注MEMS技术研发。2009年加入ADI公司之前,Padraig曾在多家跨国公司和中小型企业从事过RF设计、应用和营销工作。联系方式: [padraig.mcdaid@analog.com](mailto:padraig.mcdaid@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](http://ezchina.analog.com)

**全球总部**

One Technology Way  
P.O. Box 9106, Norwood, MA  
02062-9106 U.S.A.  
Tel: (1781) 329 4700  
Fax: (1781) 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 2403-2408 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. TA16004sc-0-6/17

[analog.com/cn](http://analog.com/cn)

