

# ADI公司触摸屏测试 解决方案

## 应用简介

电容触摸屏在智能手机和平板电脑等消费电子产品中的应用非常普遍。传统触摸屏测试主要集中在功能测试，通过操作员的手指直接进行功能测试评估，通常不包含性能和一致性测试。本文提出的解决方案可用来解决此问题，用于提高触摸屏生产制造中的可靠性和一致性，实现高标准大规模制造中的品质控制。该方案探讨了在大规模生产中如何测量触摸屏电容值，以及如何在贴装IC驱动芯片之前发现有缺陷的触摸屏。此外，快速测试和高灵敏度测量是制造测试中的两个主要目标。在这个应用里面相对精度比起绝对精度来更加重要一些。不断提高的触摸屏产量，迫切需要能够节省大量时间和人工成本的自动化测试解决方案。

## 触摸屏技术介绍

了解触摸屏技术有助于理解下一章节中的测试方法和系统框图。电容触摸屏技术主要有两种：自容屏和互容屏，如图1所示。

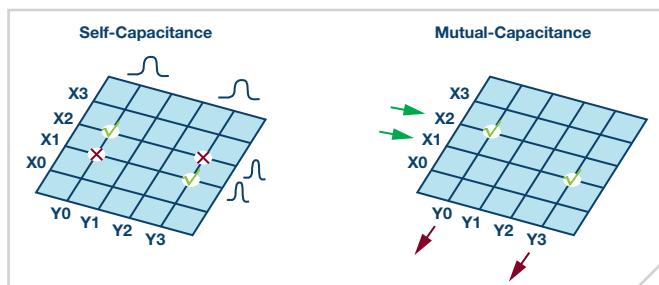


图1. 两种不同类型触摸屏

在触摸屏应用中，互容屏更受欢迎一些，原因是与自容屏相比，互容屏可以真正意义上支持多点触控。

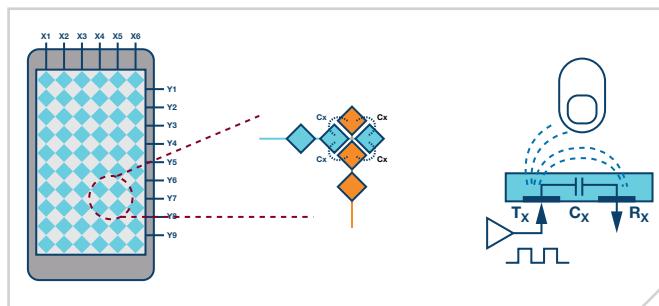


图2. 互电容屏结构

大部分消费级触摸屏使用ITO(铟锡氧化物)材料，有导电且透光的特性，透光率通常大于90%。图2是其中一种钻石型互电容物理结构。X列ITO和Y行ITO位于不同层上，它们的交叉节点产生的微弱电容就是我们想要测量的互电容 $C_x$ 。当手指靠近它时，如右图所示，由于电场的改变，等效 $C_x$ 会随之减小。

我们来创建一个待测物(DUT)分析模型以获得精确测量结果，如图3所示。

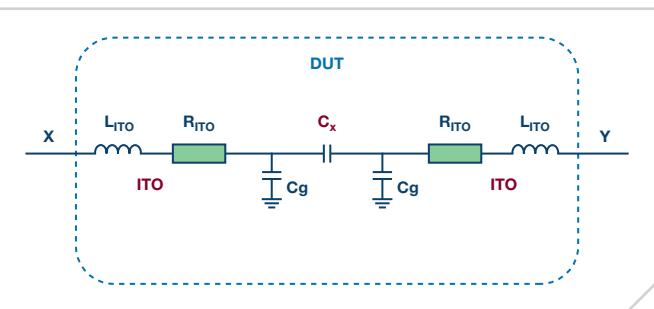


图3. DUT分析模型

$C_x$ : 每个节点大约是1 pF至10 pF，这是我们想要测量的互电容。有数百至数千个这样的互电容节点需要测量。

$L_{ITO}$ : ITO细线引起的寄生电感，1 nH至20 nH；在这个应用里面我们可以忽略它，因为在小于1 MHz时其阻抗非常低。

$R_{ITO}$ : ITO导线电阻，kΩ级别，这取决于ITO线长、线宽和材料成分。每个节点的 $R_{ITO}$ 可能都不同。

$C_g$ : 相对于参考电平GND的寄生电容，pF级别，这取决于相对参考GND平面的距离和工厂中的实际夹具环境。

## 生产测试需求

该解决方案涉及4个测试项目：

### 1) 单节点电容测试

测量所有矩阵节点，大致10 pF左右；需要fF级别的高精度。

### 2) 相邻行电容测试

对X1施加一个信号，从相邻的X2进行测量；这不是单个节点测试，所以测量结果通常为几十到数百pF级别。

### 3) 相邻ITO线的开路/短路测试

在制造过程中，ITO钻石型架构有时会引起相邻线路短路，所以需要对此进行测试。

### 4) ITO电阻(可选)

这是一个可选测试项目，用于评估ITO线是否符合标准。

每个节点的测试时间通常在ms级。矩阵节点的数量取决于屏幕尺寸，从数百到数千不等。

## ADI公司解决方案

### 阻抗测量

测试项目涉及不同类型的阻抗(电阻和电容)，所以需要一个阻抗测量设备。此类测量可通过自平衡电桥电路来完成，如图4所示。它含有一个由已知阻抗( $R_{TIA}$ )和未知阻抗 $Z_x$ 的电路组成。与传统分压法的比例测量不同，一个有源运放电路A2用于控制L\_CUR点的电压，使其保持恒定电位(本例中为地)，而VS向H\_CUR点施加一个固定频率的信号。A2输出端的相反信号与流过 $Z_x$ 的电流 $I_x$ 直接相关。为了避免受到电缆和开关寄生效应的影响，第二个放大器A1用于直接检测 $Z_x$ 上产生的电压。节点POT和CUR产生的波形分别代表被测阻抗( $Z_x$ )上的电压和电流信号，因而可通过模拟或数字方法来计算阻抗。

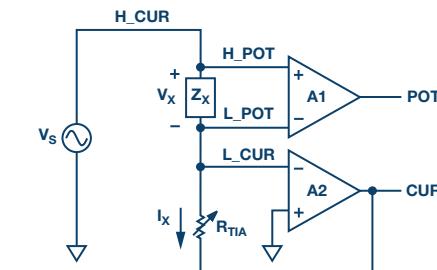


图4. 用于阻抗测量的自动平衡电桥

未知阻抗 $Z_x$ 可利用公式计算： $Z_x = V_{POT}/V_{CUR} \times Z_{PATH}$ ，其中 $V_{POT}$ 为电压矢量信号， $V_{CUR}$ 为电流矢量信号， $Z_{PATH}$ 为测量路径上的整体增益和相位偏移的总校准系数。有关阻抗测量的更多信息，请访问以下链接：[analog.com/cn/measuring-i-c-r.html](http://analog.com/cn/measuring-i-c-r.html)

### 触摸屏测试系统框图

对自平衡电桥做一些电路上的补充就可以实现触摸屏测试需求。如图5所示。

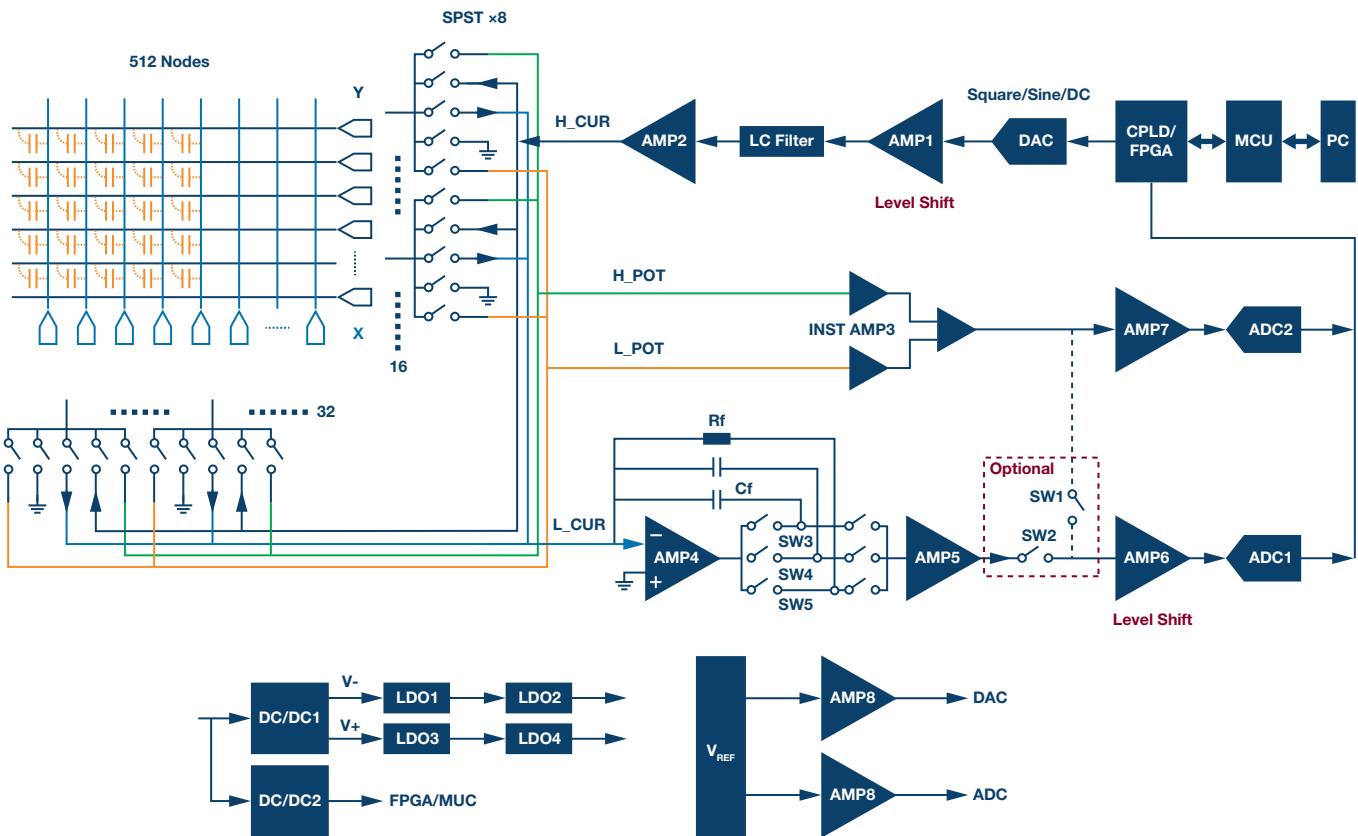


图5. 触摸屏测试系统框图

DAC/DDS	ADC1/ADC2	开关	MCU	V <sub>REF</sub>	AMP1/AMP6/AMP7	AMP2/AMP8
AD9834/AD9837/ LTC1667	AD4003/LTC2385-18/ LTC2378-20	ADG1212/ADG1414/ ADG5404	ADSP-BF70x	ADR4540/LTC6655	ADA4807-2/ ADA4896-2/AD8132	AD8066/AD8656/ LT1397
AMP3	AMP4	AMP5	DC/DC1	DC/DC2	LD01/LD02	LD03/LD04
AD8251/AD8421	ADA4817-1/ ADA4610-1/ADA4350	ADA4350/LTC6912-2	LTM8049/ADP5071	LTM4644	LT3091	LT3080-1

信号激励源是一个高速DAC或DDS，产生50 kHz至200 kHz波形用于电容测试和ITO电阻测试。它还能产生可编程直流电压信号用于相邻线路的开路/短路测试。AMP1在该电路中有两个作用：差分到单端转换和电平搬到双电源信号模式。幅度调整可以放在该放大器、DAC数字域或DDS满量程控制端口处完成。

电压测量路径利用一个差分输入放大器AMP3来实现，并且由一个SAR ADC数字化采样。电流测量路径由一个可编程增益阻抗放大器(用于将电流转换为电压)和一个附加放大器AMP5(用于调整增益)组成。注意，务必慎重考虑用以实现可编程增益阻抗放大器的开关配置，以使其寄生效应的影响最小化<sup>2</sup>。两个测量路径中的信号均需要通过AMP6和AMP7进行电平转换和单端到差分转换，以满足ADC输入的需要。

就ITO开路/短路测试而言，由于全部测量路径都是直流耦合，所以只需将一个直流信号施加于一条线路，然后从相邻线路测量回路电流。如果此电流大于预设阈值，则意味着这两条线短路。ITO电阻只能通过节点间的耦合测量，因此需要施加一个正弦波，以获得其值并测量容性节点。

使用高分辨率SAR ADC的好处是无需模拟域的相位和幅度检测，这可以由处理器或FPGA来完成，灵活性更大，性能更好。当然，也可以只使用一个ADC，利用SW1/SW2复用测量路径，但其弊端是测试时间会增加。

## 与被测触摸屏接口

考虑成百上千的通道连接，我们还是建议在此使用模拟开关，这样可以节省很多空间并缩短信号路径长度。为了解它对测量的影响需要分析开关的寄生效应。因此，应按照图6所示增加两个开关以进行分析。

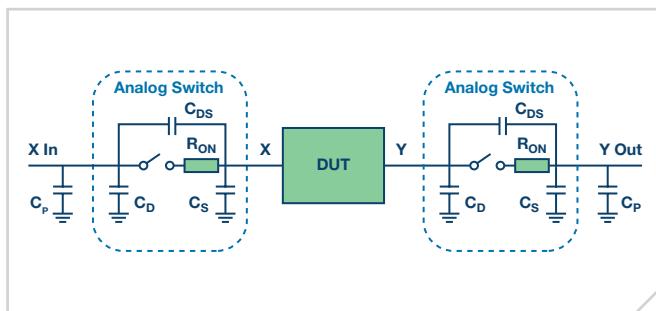


图6. 模拟开关分析模型

C<sub>D</sub>/C<sub>S</sub>: 寄生电容，8 pF至32 pF (ADG1414)，开和关两个状态下电容是不同的。矩阵节点测试会连接大量开关，所以我们必须要考虑这个寄生电容总和。

C<sub>DS</sub>: 寄生电容，1 MHz时的关断状态隔离度为-73 dB (ADG1414)，所以对此应用可予以忽略。对于导通状态，我们也可予以忽略，因为R<sub>ON</sub>远低于ZC<sub>DS</sub>。

R<sub>ON</sub>: 模拟开关的导通电阻R<sub>ON</sub>，使用ADG1414时为9.5 Ω。此电阻对测量路径的影响可利用适当的开尔文连接来消除，但它仍在信号路径上，因此需要考虑。

C<sub>P</sub>: 电路板上的其他寄生电容，pF级，不算是最大问题。

这些寄生效应需要在测试触摸屏之前予以测量，以便考虑它对测量路径上的总电容和电阻的影响。补偿程序涉及到两个测量：开路和短路补偿。开路补偿程序是在电缆和夹具连接到测量电路，但与被测物断开的情况下进行阻抗测量。短路补偿是将所有端子通过测试夹具连在一起，然后进行阻抗测量。此补偿可利用触摸屏测量中使用的模拟开关来完成。这两个补偿程序的等效电路如图7所示。

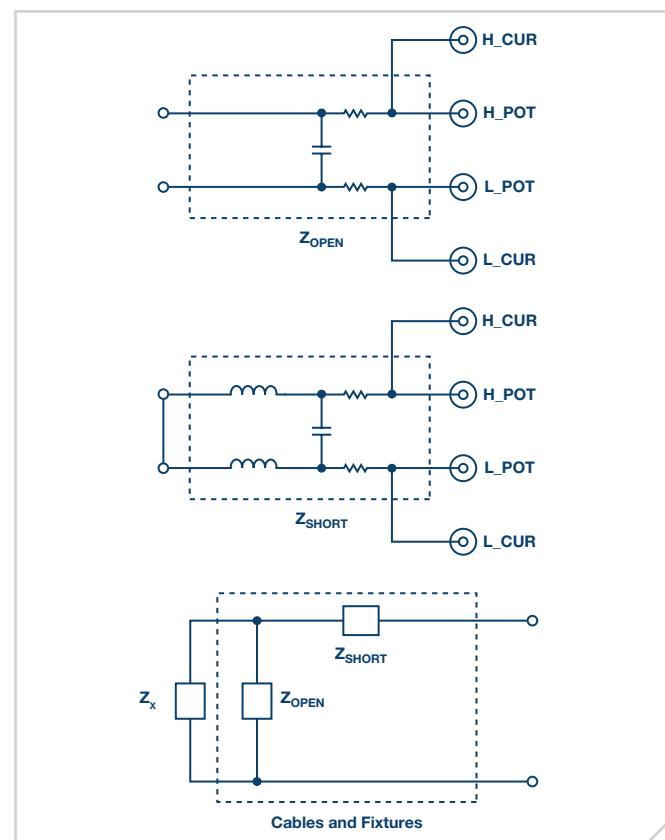


图7. 测试夹具寄生效应的补偿

右图所示为从开路和短路补偿程序得出的完整网络模型。获知开路和短路阻抗值 $Z_{OPEN}$ 和 $Z_{SHORT}$ 之后，便可利用下式求出未知阻抗 $Z_X$ 的值。

$$Z_X = Z_{OPEN} \times (Z_M - Z_{SHORT}) / (Z_{SHORT} + Z_{OPEN} - Z_M)$$

其中 $Z_M$ 为此系统测得的阻抗。

换和其他设置时间。如果考虑更多测试项目和通信，一个DUT大概需要500 ms至2000 ms，具体时间取决于实际环境以及需要对多少次测量结果求均值以获得稳定结果。

**高灵敏度：**使用18位的ADC时，分辨率小于10 fF，1 pF DUT对应的精度为约为1%至5%；精度取决于实际环境和设计。

## 两个主要指标

**高测量速度：**如果使用100 kHz信号，完整一个触摸屏单节点电容测试项目(假设总共512个节点)约5 ms至10 ms。这不包括路径切

## 主要芯片

产品型号	描述	优势
<b>DAC/DDS</b>		
<a href="#">AD9834</a>	DDS，75 MSPS，10位，SFDR >72 dB，带片上比较器，SNR 60 dB, INL $\pm 1$ LSB, DNL $\pm 0.5$ LSB	高速，可生成方波/正弦波形并提供足够高的采样速率；开发时间少于FPGA+DAC方案
<a href="#">AD9837</a>	DDS，16 MSPS，10位，SFDR >64 dB，片上比较器，SNR 64 dB, INL $\pm 1$ LSB, DNL $\pm 0.5$ LSB	极少的引脚，小尺寸，易于操作，简单的周围电路，开发时间少于FPGA+DAC方案
<a href="#">LTC1667</a>	DAC，50 MSPS，14位，1 mA到10 mA差分电流输出，INL $\pm 2$ LSB, DNL $\pm 1$ LSB，增益误差 $\pm 1\%$ ，5 MHz时SFDR 79 dBc	高速，可生成方波/正弦波形并提供足够高的采样速率，具有边沿调整功能；可灵活生成任意波形
<b>ADC</b>		
<a href="#">AD4003</a>	SAR ADC，2 MSPS，18位，SFDR 122 dB, SNR 100.5 dB, THD -123 dB, INL $\pm 0.4$ LSB, DNL $\pm 0.3$ LSB，差分输入范围 $\pm 5$ V	高速、高分辨率、大动态范围
<a href="#">LTC2385-18</a>	SAR ADC，5 MSPS，18位，SFDR 101 dB @ 1 MHz, SNR 95.7 dB @ 1 MHz, THD -100 dB, INL $\pm 0.6$ LSB, DNL $\pm 0.2$ LSB，差分输入范围 $\pm 5$ V	高速、高分辨率、大动态范围
<a href="#">LTC2378-20</a>	SAR ADC，1 MSPS，20位，SFDR 128 dB @ 2 kHz, SNR 104 dB @ 2 kHz, THD -125 dB, INL $\pm 0.5$ LSB, DNL $\pm 0.2$ LSB，差分输入范围 $\pm 5.1$ V	高速、超高分辨率、超大动态范围
<b>开关</b>		
<a href="#">ADG1212</a>	SPST $\times 4$ , TTL CTRL, 120 $\Omega$ $R_{ON}$ , 20 $\Omega$ 平坦度, 25 mA电流, $\pm 15$ V, 关断隔离-80 dB, 通道串扰-90 dB, $C_d/C_s$ (on) 2.6 pF和 $C_d/C_s$ (off) 1 pF @ 1 MHz	超低 $C_d/C_s$ 电容、高密度、高通道隔离度
<a href="#">ADG1414</a>	SPST $\times 8$ , SPI CTRL, 9.5 $\Omega$ $R_{ON}$ , 1.6 $\Omega$ 平坦度, 295 mA电流, $\pm 15$ V, 关断隔离-73 dB, 通道串扰-75 dB, 256 MHz带宽, $C_d/C_s$ (on) 32 pF和 $C_d/C_s$ (off) 8 pF @ 1 MHz	高密度，菊花链控制，低 $R_{ON}$ ，高隔离度，高带宽适合方波应用，支持大电流
<a href="#">ADG5404</a>	4:1, 9.8 $\Omega$ $R_{ON}$ , 1.2 $\Omega$ 平坦度, 290 mA电流, $\pm 22$ V, 关断隔离-78 dB, 通道串扰-58 dB, 53 MHz带宽, $C_d/C_s$ (on) 132 pF, $C_s$ (off) 19 pF、 $C_d$ (off) 92 pF @ 1 MHz	高密度，低 $R_{ON}$ ，高隔离度，支持大电流
<b>MCU</b>		
<a href="#">ADSP-BF70x</a>	400 MHz Blackfin®+内核, 16/32位, 136 kB L1 SRAM, 256 kB至1 MB L2 SRAM, 片上ROM 512 kB, USB 2.0 $\times 1$	高频内核适合DFT应用，I/O控制，FPGA通信，支持USB 2.0连接PC
<b><math>V_{REF}</math></b>		
<a href="#">ADR4540</a>	4.096 V, 2 ppm/ $^{\circ}$ C, 初始电压误差 $\pm 0.02\%$ , 噪声2.7 $\mu$ V p-p	高精度，低温漂，适合用作精密ADC/DAC基准电压源
<a href="#">LTC6655</a>	4.096 V, 2 ppm/ $^{\circ}$ C, 初始电压误差 $\pm 0.025\%$ , 噪声0.625 $\mu$ V p-p	低噪声，高精度，低温漂，适合用作精密ADC/DAC基准电压源

产品型号	描述	优势
<b>放大器</b>		
ADA4807-2	±5 V, 电压反馈, 160 MHz带宽, 轨到轨, THD -72 dB @ 5 MHz, 输入失调电压2 mV, 16 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	高带宽, 低失真, 适合高速DAC差分到单端转换应用和电平转换
ADA4896-2	±6 V, 电压反馈, 250 MHz带宽, 轨到轨, THD -60 dB @ 20 MHz, 输入失调电压1 mV, 5.2 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	高带宽, 低失真, 低噪声, 适合高速DAC差分到单端转换应用和电平转换
AD8132	差分, ±5.5 V, 350 MHz BW, HD2 -97 dB @ 1 MHz, 输入失调电压1 mV, 8 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , 支持 $V_{\text{OCM}}$ 调整	高带宽, 低失真, 适合ADC单端转差分驱动器应用和通过 $V_{\text{OCM}}$ 端口进行电平转换
AD8656	双通道, 5.5 V, 电压反馈, 28 MHz带宽, 轨到轨, THD 0.0007% @ 1 kHz, 输入失调电压50 $\mu\text{V}$ , 失调漂移0.4 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , 2.7 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , 输出电流±220 mA	高电流输出精密放大器, 低失真, 低噪声。适合扩展信号驱动能力
AD8066	双通道, ±12 V, 电压反馈, 145 MHz带宽, 轨到轨, SFDR -88 dBc @ 1 MHz, 输入失调电压0.4 mV, 失调漂移1 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , 7 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , 输出电流±35 mA	高带宽、低失真、宽电压
LT1397	四通道, ±6 V, 电流反馈, 400 MHz带宽, 输入失调电压1 mV, 失调漂移15 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , 4.5 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , 输出电流±80 mA	四通道分配模拟开关, 可降低 $C_o/C_s$ 影响; 超高带宽可改善波形边沿性能
AD8421	±18 V, 仪表放大器, 10 MHz带宽, CMRR 100 dB @ 20 kHz G = 10, 输入失调电压25 $\mu\text{V}$ , 失调漂移0.2 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , 3 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	高共模抑制性能, 足够大的增益, 适合大动态范围应用
AD8251	±15 V, 仪表放大器, 增益 = 1/2/4/8, 10 MHz带宽, CMRR 86 dB @ 50 kHz G = 4, 输入失调电压120 $\mu\text{V}$ , 失调漂移1 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , 22 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	高共模抑制性能, 可编程增益, 适合大动态范围应用
ADA4817-1	±5 V, 电压反馈, 1 GHz带宽, 低失真, -90 dBc @ 10 MHz, 输入失调电压0.4 mV, 失调漂移7 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , 输入偏置电流2 pA, 4 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	超高带宽, 低失真, 低偏置电流, 适合探针测量和TIA
ADA4610-1	±15 V, JEFT输入, 电压反馈, 10.6 MHz带宽, 轨到轨, THD 0.00025% @ 1 kHz, 输入失调电压0.2 mV, 失调漂移0.5 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , 输入偏置电流5 pA, 7.3 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	高阻抗输入能力, 低偏置电流, 适合探头式测量
ADA4350	±6 V, JEFT输入AFE, 175 MHz带宽, 6个反馈网用于VGA应用, HD2 -95 dBc @ 100 kHz, 输入失调电压15 $\mu\text{V}$ , 失调漂移0.1 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , 输入偏置电流0.25 pA, 5 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	高带宽精密放大器, 支持VGA功能, 集成开关网络
LTC6912-2	10.5 V, PGA, 增益0/1/2/4/8/16/32/64, 33 MHz GBW, 输入失调电压0.14 mV, 失调漂移6 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , THD -84 dB, 输入噪声12.6 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	低噪声、易于控制的PGA
<b>电源</b>		
LTM8049	DC/DC, 输入2.6 V至20 V, 双通道输出2.5 V至24 V和-2.5 V至-24 V, 12 V <sub>IN</sub> 下1 A @ 5 V输出, 200 kHz至2.5 MHz	双电源输出, 支持负电源输出, 宽输入/输出电压范围
ADP5071	DC/DC, 输入2.85 V至15 V, 双通道输出最大39 V 2 A和最小V <sub>IN</sub> -39 V 1.2 A, 1 M至2.6 MHz	双电源输出, 支持负电源输出, 宽输入/输出电压范围
LTM4644	DC/DC, 四通道输出模块, 输入4 V至14 V, 输出0.6 V至5.5 V, 4 A/通道	四通道输出DC/DC模块, 适合FPGA/MCU应用, 无需外部电感, 易于实现
LT3091	LDO, 负电源, 输入-1.5 V至-36 V, 输出0 V至-32 V, 300 mV压降, 1.5 A, 噪声18 $\mu\text{V}$ rms	低噪声, 宽电压范围, 足够大电流输出, 适合模拟电路
LT3080-1	LDO, 正电源, 输入1.2 V至36 V, 输出0 V至36 V, 300 mV压降, 1.1 A, 噪声40 $\mu\text{V}$ rms	低噪声, 宽电压范围, 足够大电流输出, 适合模拟电路

## 设计资源

- ▶ CN-0217：用12位阻抗转换器实现高精度阻抗测量—[analog.com/cn/CN0217](http://analog.com/cn/CN0217)
- ▶ CN-0129：扩展电容数字转换器AD7745/AD7746的容性输入范围—[analog.com/cn/CN0129](http://analog.com/cn/CN0129)
- ▶ CN-0277：针对交流性能优化的18位、5 MSPS数据采集系统—[analog.com/cn/CN0277](http://analog.com/cn/CN0277)
- ▶ CN-0385：集成PGIA、用于单端和差分工业级信号的隔离式多通道数据采集系统—[analog.com/cn/CN0385](http://analog.com/cn/CN0385)

## 设计工具/论坛

- ▶ ADIsimPE™：ADI电路仿真器工具—[www.analog.com/cn/design-center/interactive-design-tools/adisimpe.html](http://www.analog.com/cn/design-center/interactive-design-tools/adisimpe.html)
- ▶ ADI中文技术论坛：在线技术支持社区—[ezchina.analog.com](http://ezchina.analog.com)

欲查看有关仪器的其他资源、工具和产品信息，请访问：[analog.com/cn/instrumentation](http://analog.com/cn/instrumentation)

## 中国技术支持中心

**4006-100-006**

### 模拟与其他线性产品

[china.support@analog.com](mailto:china.support@analog.com)

### 嵌入式处理与DSP产品

[processor.china@analog.com](mailto:processor.china@analog.com)

### 免费样片申请

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

### 在线购买

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

### ADI在线技术论坛

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

### 网址

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



关注ADI官方微信

**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

©2018 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. BR16506sc-0-2/18

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

