

# ADI正电子发射断层扫描(PET)解决方案



关注ADI官方微信

## PET系统原理和典型架构

正电子发射断层扫描(PET)是一种无创成像技术,可通过检测某些放射性示踪剂注射到人体时发射的伽马射线,来生成三维医学图像。PET扫描生成数字图像,在很多情况下,这些图像能够识别出最常见的癌症,包括肺癌、乳腺癌、直肠癌、淋巴瘤和黑色素瘤。从技术上讲,PET是一种医学成像技术,可在发现解剖结构变化之前,以影像方式呈现分子水平的生理病变情况。当放射性物质发射的正电子与组织内的电子碰撞时,会产生伽马射线。这种碰撞产生一对伽马射线光子,它从碰撞位置沿相反方向发射,被安装在人体周围的伽马射线探测设备检测到。

PET系统包括信号检测和处理、一致性处理、响应线(LOR)存储器和图像重建。探测器是位于支架孔周边的圆环,它由数千个闪烁晶体和数百个光电倍增管(PMT)组成。闪烁晶体将伽马射线转换为可见光,并通过PMT进行放大。然后,PMT的电流输出信号转换为电压,并由低噪声前置放大器(LNA)进行放大,再进入可变增益放大器(VGA)以补偿PMT的差异变化。VGA的输出传送到两条路径,一条是数据路径,另一条是时间路径。在数据路径中,VGA的输出进行滤波和直流偏移补偿,然后传送到模数转换器(ADC)。通常使用现场可编程门阵列(FPGA)来处理ADC输出数据以获取能量信息。在时间路径中,来自四个或更多邻近通道的信号进行汇合,此组合信号输入到超高速比较器。使用比较器的输出信号和超高速时钟来生成数字时间戳,以便获取时间信息。一致性处理器需根据能量和时间信息,在反向探测器模块上查找匹配的单个光子事件。这个正反方向光子形成的线称为响应线。通过分析数万个LOR,后端图像信号处理器可将碰撞活动重建并显示为三维图像。

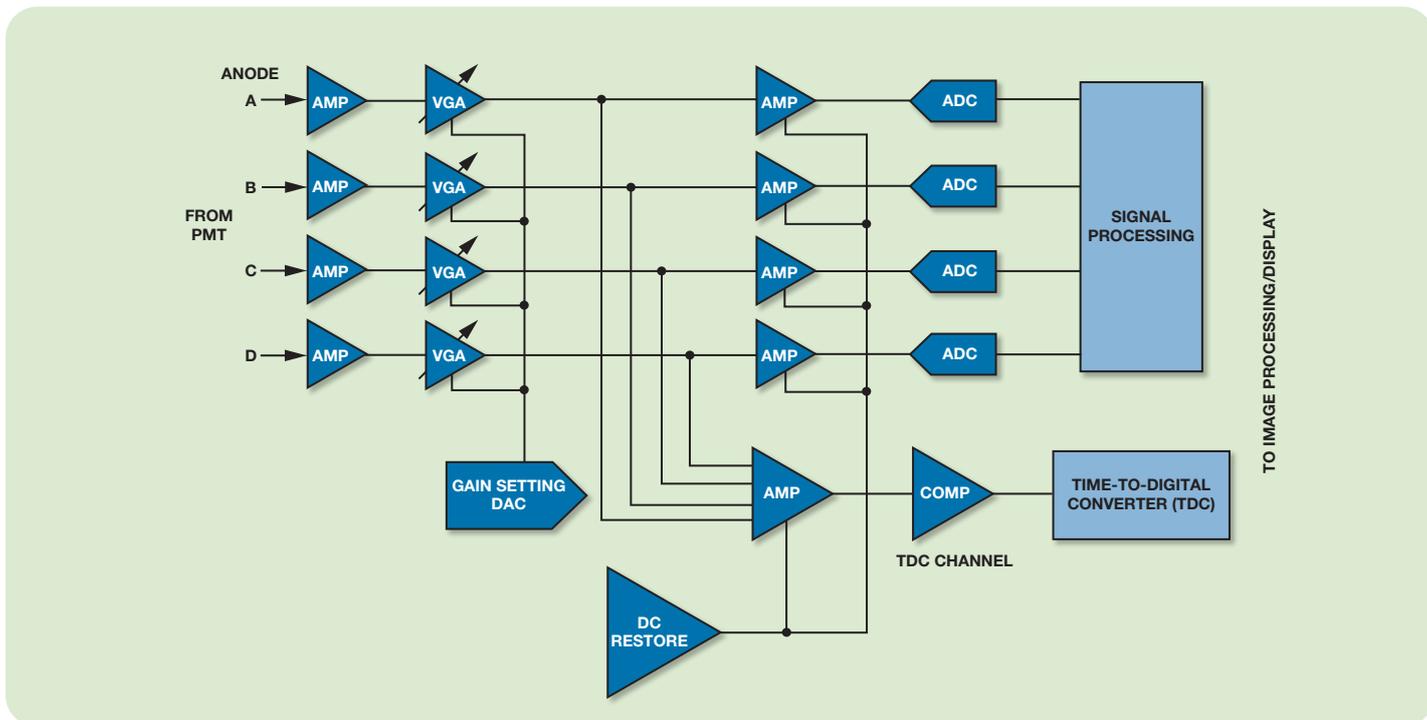
## PET系统设计考虑因素和主要挑战

- 时序在PET系统中决定一切;速度和噪声在时间路径中也极其重要。必须最大程度地减少导致时序抖动的一切因素。
- 由于在时间路径中,速度、噪声、驱动能力、过载恢复时间是前置放大器的重要规格,因此需要具有较小输入参考噪声,几个 $nV/\sqrt{Hz}$ 以内的LNA。由于每个PMT的阳极需要自身的增益控制,所以速度、增益范围和增益分辨率是VGA的重要规格。LNA和VGA组合增益约需要40 dB,具有大约20 dB的可调增益范围。如果选择模拟VGA,则使用10位到12位分辨率数模转换器(DAC)的可调精度来控制VGA增益。
- 时间通道的求和放大器的上升时间和噪声至关重要。上升时间、传播延迟、压摆率和孔径抖动对于比较器非常重要。由于时间戳取决于在所有通道上的恒定直流电平,因此直流恢复在这个阶段通常是必需的。具有1 mV直流偏移的精密运算放大器通常是合适的。
- 与时间路径不同,对于ADC前的缓冲/滤波放大器的速度要求并不是非常严格。但是,由于它必须对持续时间相对较短的信号进行滤波,因此它仍然要求高速、低噪声。
- ADC的选择取决于架构。由于大多数PET系统使用数字积分器,目前它们需要较高的采样速率,所以主要使用高速转换方案。采样速率高于40 MSPS的10位到12位ADC能够达到要求。

## ADI公司的整体解决方案

ADI提供大量的放大器、数据转换、信号处理和电源管理解决方案供用户选择,使PET设备达到最佳图像质量,并降低功耗和成本。此外,ADI公司还提供评估板、仿真工具和应用专业技术,为客户的设计和开发工作提供支持。

## 主信号链



注：上述信号链代表PET系统。在具体设计中，模块的技术要求可能不同，但下表列出的产品代表了满足部分要求的ADI解决方案。

前置放大器	VGA	增益设置DAC	ADC驱动器	ADC	时间路径求和放大器	
AD8000/ADA4817-2/ ADA4857-2/ADA4897-2	AD8337/AD8331/ AD8335/AD8264	AD5381/AD5314/ AD5629R/AD5672R	ADA4927-2/ADA4937-2/ ADA4938-2/AD8138	AD9637/AD9228/ AD9212/AD9219	AD8099/ADA4899-1/ AD8045/ADA4857-1	
比较器	直流恢复放大器	直流恢复开关	基准电压源	时钟	温度传感器	电源管理
ADCMP58x/ADCMP57x/ ADCMP56x/ADCMP55x	AD8608/ADA4077-4/ OP4177	ADG16xx/ADG14xx/ ADG12xx	ADR43x/ADR42x/ ADR45xx/ADR34xx	AD952x/AD951x/ ADCLK8xx/ADCLK9xx	ADT7310/ADT7410/ ADT7320/ADT7420	ADP2386/ADP2384/ ADP5052/ADP7102/ ADP7104/ADM7170/ ADM7171/ADM7172

## PET主要产品介绍

产品型号	描述	优势
<b>前置放大器</b>		
AD8000	1.5 GHz超高速电流反馈型放大器，具有4100 V/ $\mu$ s压摆率，0.1%建立时间：12 ns， $V_N$ RTI: 1.6 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，高输出电流：100 mA	高速，低噪声，大输出电流，适合PET PMT输出信号
ADA4817-2	低噪声，1 GHz的FastFET™运算放大器，具有870 V/ $\mu$ s压摆率，0.1%建立时间：9 ns， $V_N$ RTI: 4 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，高输出电流：40 mA	高速，低噪声，大输出电流，适合PET PMT输出信号
AD8099	低噪声，700 MHz (G = 2)，运算放大器，具有475 V/ $\mu$ s压摆率(G = 2)，0.1%建立时间：18 ns， $V_N$ RTI: 0.95 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	高速，低噪声，适合PET PMT输出信号

## PET主要产品介绍(续)

产品型号	描述	优势
<b>VGA</b>		
AD8337	280 MHz超低噪声VGA, 具有前置放大器, 0 dB到20 dB的增益范围, 提供20 dB/V增益调整; 增益精度: $\pm 0.1$ dB, $V_N$ RTI: 2.2 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	出色的直流特性, 与高速相结合, 适合PET系统
AD8331	120 MHz直流耦合VGA, 具有前置放大器, 48 dB增益范围, 具有50 dB/V增益调整; 增益精度: $\pm 0.2$ dB, $V_N$ RTI: 0.74 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ; 双通道版本: AD8332和四通道版本: AD8334	高速, 良好线性dB增益和超低噪声, 使其非常适合PET应用
AD8264	235 MHz四通道直流耦合VGA, 具有前置放大器和差分输出, 20 dB增益范围, 提供20 dB/V增益调整; 增益精度: $\pm 0.2$ dB, $V_N$ RTI: 2.3 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	出色的直流特性, 高速, 低噪声, 良好线性dB增益
<b>增益设置DAC</b>		
AD5381	40通道, 12位, 输出电压建立时间: 3 $\mu\text{s}$ (典型值); 并行/串行/I <sup>2</sup> C接口, 可编程1.25 V/2.5 V, 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 内部基准电压源	可编程增益, 直流失调以及所有通道同步更新
AD5314	四通道, 10位, 输出电压建立时间: 7 $\mu\text{s}$ (典型值); 串行接口; 与12位版本AD5324引脚兼容	较小的直流失调和增益误差, 低功耗以及所有通道同步更新
AD5629R	八通道, 12位, 输出电压建立时间: 2.5 $\mu\text{s}$ (典型值); I <sup>2</sup> C接口; 可编程1.25 V/2.5 V, 5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 内部基准电压源	较小的直流失调和增益误差, 低功耗以及所有通道同步更新
AD5672R	八通道, 12位, 输出电压建立时间: 5 $\mu\text{s}$ (典型值); SPI接口; 内部2.5 V, 2 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 基准电压源; AD5671R为I <sup>2</sup> C版本	较小的直流失调和增益误差, 低功耗以及所有通道同步更新
<b>ADC驱动器</b>		
ADA4937-2	1.9 GHz超低失真差分ADC驱动器; $V_N$ RTI: 2.2 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ; HD2/HD3: -112 dBc/-102 dBc (10 MHz), -84 dBc/-91 dBc (70 MHz), -77 dBc/-84 dBc (100 MHz)	驱动最高性能的高速ADC, 带CM调节功能
ADA4927-2	2.3 GHz超低失真电流反馈型差分放大器; $V_N$ RTI: 1.4 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ; HD2/HD3: -105 dBc/-103 dBc (10 MHz), -91 dBc/-98 dBc (70 MHz), -87 dBc/-89 dBc (100 MHz)	宽带、低噪声、低失真及可调CM特性适合差分ADC驱动器
ADA4938-2	1.0 GHz超低失真差分ADC驱动器; $V_N$ RTI: 2.6 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ; HD2/HD3: -106 dBc/-109 dBc (10 MHz), -82 dBc/-82 dBc (50 MHz)	驱动最高性能的高速ADC, 带CM调节功能
ADA4940-2	260 MHz超低失真差分ADC驱动器; $V_N$ RTI: 3.9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ; HD2/HD3: -102 dBc/-96 dBc (1 MHz)	驱动最高性能的高速ADC
<b>ADC</b>		
AD9637	八通道12位、40 MSPS/80 MSPS串行LVDS 1.8 V ADC; SNR = 72 dB @ 19.7 MHz (2 V p-p输入), SFDR = 92 dBc(至奈奎斯特频率), 650 MHz全功率模拟带宽	高性能结合低成本、小尺寸和易用性
AD9228	四通道、12位、40 MSPS/65 MSPS串行LVDS 1.8 V ADC; SNR = 70.2 dB @ 19.7 MHz (2 V p-p输入)和40 MSPS采样速率; SFDR = 82 dBc(至奈奎斯特频率); 与10位版本AD9219引脚兼容	高性能结合低成本、小尺寸、引脚兼容分辨率系列和易用性
AD9212	八通道、10位、40 MSPS/65 MSPS串行LVDS 1.8 V ADC; SNR = 61.2 dB @ 19.7 MHz (2 V p-p输入)和40 MSPS采样速率; SFDR = 80 dBc(至奈奎斯特频率); 与12位版本AD9222引脚兼容	高性能结合低成本、小尺寸、引脚兼容分辨率系列和易用性
<b>时间路径求和放大器</b>		
AD8099	超低失真、高速、低噪声运算放大器, 具有1350 V/ $\mu\text{s}$ 压摆率; 700 MHz至450 MHz ( $G = 2$ 至 $G = 10$ ); $V_N$ RTI: 0.95 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , HD2/HD3: -84 dBc/-92 dBc (10 MHz, $G = 10$ ), 失调电压: 100 $\mu\text{V}$ (典型值), 低输入偏置电流: 6 $\mu\text{A}$ (典型值)	高速、低噪声、低失真, 适合PET时序路径
ADA4899-1	单位增益稳定的超低失真、高速、低噪声运算放大器, 具有310 V/ $\mu\text{s}$ 的压摆率; 带宽: 600 MHz ( $G = 1$ ); $V_N$ RTI: 1 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , HD2/HD3: -80 dBc/-86 dBc @ 10 MHz, 失调电压: 35 $\mu\text{V}$ (典型值), 低输入偏置电流: 6 $\mu\text{A}$ (典型值)	高速、低噪声、低失真, 低输入偏置电流消除功能
ADA4857-1	低功耗、超低失真、高速、低噪声运算放大器, 具有2,800 V/ $\mu\text{s}$ 的压摆率; 带宽: 850 MHz ( $G = 1$ ); $V_N$ RTI: 4.4 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , HD2/HD3: -88 dBc/-93 dBc @ 10 MHz, 低输入偏置电流: 2 $\mu\text{A}$ (典型值)	高速、低噪声、低失真和低功耗
<b>比较器</b>		
ADCMP58x	超快型SiGe电压比较器, 具有180 ps传播延迟; 输出上升/下降时间为37 ps (典型值), 确定性抖动(DJ)为10 ps, 随机抖动(RJ)为200 fs	较小的传播延迟, 快速上升时间, 低抖动, 适合PET系统
ADCMP57x	超快型SiGe电压比较器, 具有150 ps传播延迟; 输出上升/下降时间为35 ps (典型值), 确定性抖动(DJ)为10 ps, 随机抖动(RJ)为200 fs	较小的传播延迟, 快速上升时间, 低抖动, 适合PET系统

## PET主要产品介绍(续)

产品型号	描述	优势
<b>直流恢复放大器</b>		
ADA4077-4	低失调和低漂移的高精度放大器; 失调电压: 15 $\mu\text{V}$ 和0.4 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (典型值), $V_N$ RTI: 7 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	低直流失调电压和低漂移, 适合直流复位电路
AD8608	精密、低噪声、轨到轨输入/输出CMOS运算放大器; 失调电压: 20 $\mu\text{V}$ 和1.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (典型值), $V_N$ RTI: 8 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	低直流失调电压和低漂移, 适合直流复位电路
OP4177	精密、低噪声、低输入偏置电流运算放大器; 失调电压: 25 $\mu\text{V}$ 和0.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (典型值), $V_N$ RTI: 7.9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	低直流失调电压和低漂移, 适合直流复位电路
<b>直流恢复开关</b>		
ADG1608	8通道多路复用器; 导通电阻: 4.5 $\Omega$ (典型值), 1 $\Omega$ 平坦度; 最高470 mA的连续电流, 在1 MHz时具有-64 dB典型关断隔离	低导通电阻, 高连续电流, 强大的电源序列支持能力
ADG1411	四通道单刀单掷开关; 导通电阻: 1.5 $\Omega$ (典型值), 0.3 $\Omega$ 平坦度; 最高250 mA的连续电流, 在100 KHz时具有-80 dB典型关断隔离	低导通电阻, 高连续电流, 强大的电源序列支持能力
<b>基准电压源</b>		
ADR43x	超低噪声基准电压源, 具有吸电流和源电流能力; A级: 0.15%精度和10 ppm/ $^\circ\text{C}$	低漂移和高精度, 有利于提高ADC和DAC SNR性能
ADR34xx	低功耗、高精度基准电压源; 0.1%精度和8 ppm/ $^\circ\text{C}$	低漂移和高精度
<b>时钟</b>		
ADCLK8xx/ ADCLK9xx	多输出扇出缓冲器, 针对低抖动、低功耗工作进行了优化; 加性宽带抖动低于500 fs	非常适合低抖动PET时钟分配
AD951x/ AD952x	多路输出时钟分配功能, 具有亚皮秒级抖动性能, 并且集成片内PLL和VCO	非常适合低抖动PET时钟分频和分配
<b>温度传感器</b>		
ADT7420	数字 $^\circ\text{C}$ 温度传感器, 精度为 $\pm 0.25^\circ\text{C}$ , 工作温度范围为 $-20^\circ\text{C}$ 至 $+105^\circ\text{C}$ , 16位分辨率(0.0078 $^\circ\text{C}$ ), ADT7320为SPI接口版本	无需校准, 过温/欠温中断
ADT7410	数字 $^\circ\text{C}$ 温度传感器, 精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , 工作温度范围为 $-20^\circ\text{C}$ 至 $+105^\circ\text{C}$ , 16位分辨率(0.0078 $^\circ\text{C}$ ), ADT7310为SPI接口版本	无需校准, 过温/欠温中断
<b>电源管理</b>		
ADP2384	4.5 V至20 V输入, 4 A输出电流, 同步降压DC-DC稳压器; 与6 A版本引脚兼容: ADP2386	高效、精确限流, 可使用更小的电感
ADP7102	3.3 V至20 V输入, 300 mA输出电流, 200 mV压差LDO, 具有低噪声性能, 15 $\mu\text{V}$ rms (固定电压输出), 高PSRR 60 dB (10 kHz时), 反向电流保护; 与500 mA版本引脚兼容: ADP7104	改善噪声敏感负载和低压差的性能
ADP7112	2.7 V至20 V输入, 200 mA输出电流, 200 mV压差LDO, 具备低噪声性能, 11 $\mu\text{V}$ rms (固定电压输出), 高PSRR 88 dB (10 kHz时)	改善噪声敏感负载和低压差的性能
ADP150	2.2 V至5.5 V输入, 150 mA输出电流, 105 mV压差LDO, 具有低噪声性能, 9 $\mu\text{V}$ rms的独立电压输出, 高PSRR 60 dB (100 kHz时); 与200 mA版本引脚兼容: ADP151	改善噪声敏感负载和低压差的性能
ADP5052	4.5 V至15 V输入, 单通道, 双通道, 可编程1.2 A/2.5 A/4 A同步降压调节器, 集成低端FET驱动; 3通道和4通道: 1.2 A同步降压调节器; 通道5: 200 mA压差LDO	5通道集成功率解决方案, 可以降低设计难度, 减小电路板尺寸
ADM7170	2.3 V至6.5 V输入, 500 mA输出电流, 105 mV压差LDO, 具有低噪声性能, 6 $\mu\text{V}$ rms的独立电压输出, 高PSRR 70 dB (10 kHz时); 与1 A版本引脚兼容: ADM7171, 2 A版本: ADM7172	改善噪声敏感负载和低压差的性能

## 设计资源

### 参考电路

- 高频AD8331 VGA与10位、65 MSPS/80 MSPS/105 MSPS ADC AD9215实现接口(CN0096)—[www.analog.com/zh/CN0096](http://www.analog.com/zh/CN0096)

### 应用笔记和文章

- AN-737应用笔记, 如何用ADIsimADC™完成ADC建模—[www.analog.com/cn/an-737](http://www.analog.com/cn/an-737)
- AN-756应用笔记, 采样系统以及时钟相位噪声和抖动的影响—[www.analog.com/cn/an-756](http://www.analog.com/cn/an-756)
- AN-1224应用笔记, 利用AD5381 DAC实现40通道可编程电压以及出色的温度漂移性能—[www.analog.com/an-1224](http://www.analog.com/an-1224)

### 设计工具与论坛

- ADC
  - 高速ADC估板, 提供原理图和PCB布局Gerber文件
  - 高速FPGA数据采集板(HSC-ADC-EVALCZ)—[www.analog.com/cn/fifo](http://www.analog.com/cn/fifo)
  - VisualAnalog™软件—[www.analog.com/cn/visualanalog](http://www.analog.com/cn/visualanalog)
  - ADC SPI接口软件(SPI控制器)
  - ADIsimADC™建模工具—[www.analog.com/zh/ADIsimADC](http://www.analog.com/zh/ADIsimADC)
- 时钟和PLL
  - ADIsimCLK™建模工具—[www.analog.com/zh/ADIsimCLK](http://www.analog.com/zh/ADIsimCLK)
  - AD951x/952x评估软件和评估板
- 放大器
  - ADIsimOpAmp™: 放大器参数评估工具—[www.analog.com/zh/ADIsimOpAmp](http://www.analog.com/zh/ADIsimOpAmp)
  - DiffAmpCalc™: 差分放大器计算器—[www.analog.com/cn/diffampcalc](http://www.analog.com/cn/diffampcalc)
- 电源管理产品
  - ADIsimPower™: 电源设计工具—[www.analog.com/cn/adisimpower](http://www.analog.com/cn/adisimpower)
  - 评估板

欲查看其他医学资源、工具和产品信息, 请访问:

[www.analog.com/zh/healthcare](http://www.analog.com/zh/healthcare)

欲申请样片, 请访问:

[www.analog.com/zh/content/samples\\_purchase/fca.html](http://www.analog.com/zh/content/samples_purchase/fca.html)

## 亚洲技术支持中心 4006-100-006

模拟与其他线性产品	<a href="mailto:china.support@analog.com">china.support@analog.com</a>
嵌入式处理与DSP产品	<a href="mailto:processor.china@analog.com">processor.china@analog.com</a>
免费样片申请	<a href="http://www.analog.com/zh/sample">www.analog.com/zh/sample</a>
在线购买	<a href="http://www.analog.com/zh/BOL">www.analog.com/zh/BOL</a>
ADI在线技术论坛	<a href="http://ezchina.analog.com">ezchina.analog.com</a>
网址	<a href="http://www.analog.com/zh/CIC">www.analog.com/zh/CIC</a>

**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

**亚洲技术支持中心**

免费热线电话: 4006 100 006  
电子邮箱:  
china.support@analog.com  
技术专栏:  
www.analog.com/zh/CIC  
样品申请:  
www.analog.com/zh/sample  
在线购买:  
www.analog.com/zh/BOL  
在线技术论坛:  
ezchina.analog.com