



ADI公司 三维心脏 电生理标测系统 解决方案

电生理标测系统理论和典型架构

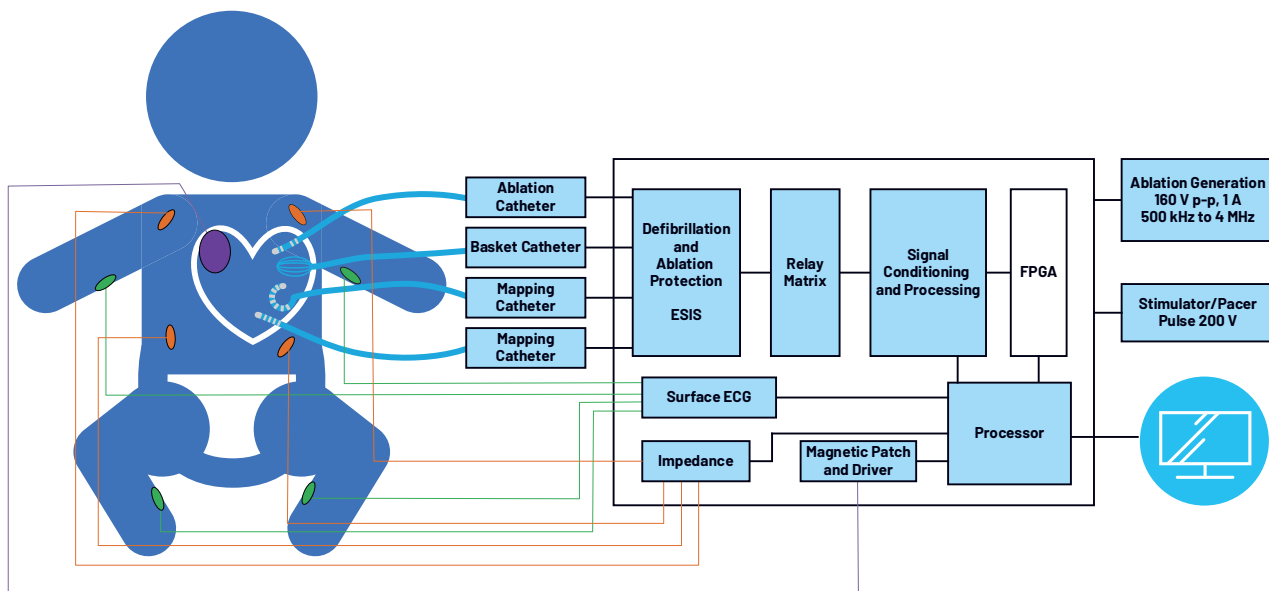
电生理标测（EP）设备是一种测试执行系统，可以评估心脏的电系统或活动，用于诊断心跳异常或心律不齐。执行测试时，将医用导管和有线电极插入血管，进入心脏，以测量心脏的电活动。导管消融术用于治疗心律不齐，这是一种由心脏电系统失调导致的心率异常。导管消融术旨在破坏或中断导致心率失常的电通路。

电生理标测和成像系统使用内含电极的标测导管来测量心脏组织的电活动。来源于不同导管的电极的电信号通过保护电路，然后进入信号调理和处理电路。处理后的数据传输至系统软件，生成心脏的三维模型，用不同颜色的叠层来显示在每次心跳期间生成的电波、对心脏组织进行标测所对应的触点，以及导管在心脏内部的位置。然后，可以使用消融导管直接消融或隔离确认存在异常电活动并导致心率失常的心脏组织，这会形成小型烧伤/疤痕组织，从而阻断电信号的传输。

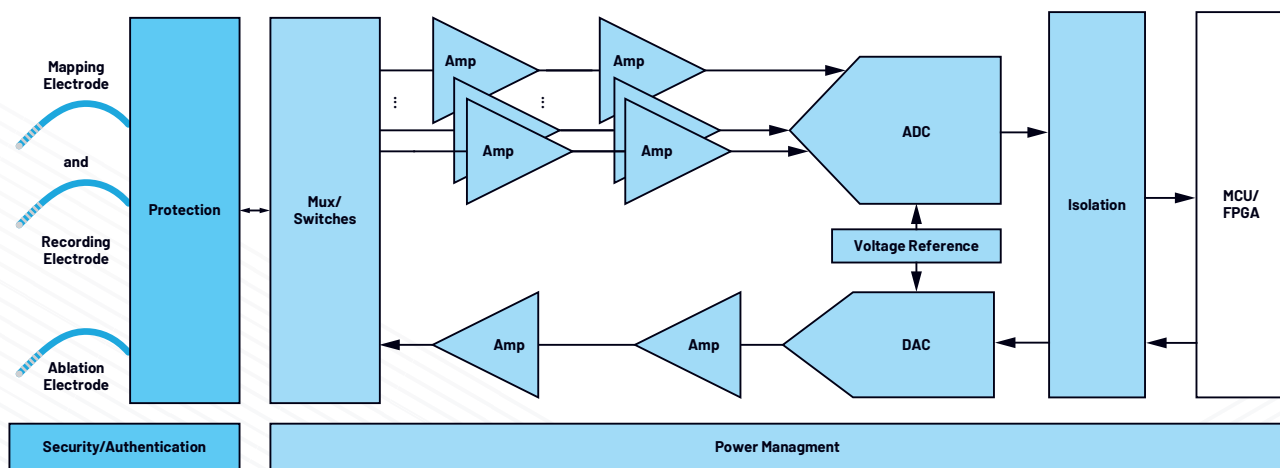
电生理标测系统设计考虑因素和主要挑战

- ▶ 安全性：数据和电源的隔离。电生理设备必须满足泄漏电流小于 $10\ \mu\text{A}$ 这项患者安全标准，所以将患者连接点与电源和数据进行电气隔离是一项强制性的安全要求。
- ▶ 小信号。典型信号为 $25\ \mu\text{V}$ （在室性心动过速标测期间，在梗塞区域测得的值）至 $5\ \text{mV}$ （从体表心电图导联获取的值），因此本底噪声需要小于 $<10\ \mu\text{V}$ 。
- ▶ 不断减小的尺寸。一个标测导管上可能包含10至256个甚至更多电极，典型的环状电极尺寸为 $1\ \text{mm}$ 或更小，每个电极之间的边距可能小于 $1\ \text{mm}$ ，而且标测导管要便于操控，甚至能够缩减到更小。
- ▶ 不断增加的干扰量。电生理操作室的环境可能非常嘈杂。患者身上会连接多台设备，包括心电图、脉搏血氧仪、体外除颤器、电解剖标测系统、消融发生器、心内导管，有时还会连接输液泵。所有这些设备的泄漏电流都流经患者身体后到地，这会在线路干扰和射频干扰的基础上增加更多干扰。

系统框图和主信号链



系统框图



主信号链

注意：上方的框图和信号链代表三维心脏电生理标测系统。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。

市场类别

放大器	仪表放大器	ADC驱动器	ADC	DAC	基准电压源	多路复用器/开关		
LTC6240/LTC6241/ LTC6242/ ADA4627-1/ LT1819/AD8656	AD8220/ AD8221 AD8420/ AD8421	ADA4940/ LTC6363	AD7768/ AD4003/ AD7124	AD5541/ AD5544/ AD5621/ AD5310R	ADR4525/ ADR4550/ LTC6655/ ADR4530	ADG1634/ ADG5212		
阻抗AFE	隔离	认证	电源模块	开关稳压器	LDO	时序控制器	保护器	接口
AD5940/ AD5933	ADuM261/ ADuM262/ ADuM415x/ MAX2244x/ ADuM2251	DS2505/ DS28E01/ DS2482/ DS18B20	LTM460x/ LTM4622/ LTM8060	LT3002/ LT1617/ LT8643S/ LTC330x	LT3045/ LT3094/ ADM715x/ ADM717x	ADM1185/ MAX16165/ MAX16166	MAX30034	ADM2490E/ ADM3101E/ ADM3075E/ MAX14789E

三维心脏电生理标测系统主要产品介绍

器件	说明	优势
放大器		
LTC6240	LTC6240/LTC241/LTC6242分别是单通道、双通道和四通道低噪声、低失调、轨到轨输出、单位增益稳定的CMOS运算放大器，最大输入偏置电流为1 pA；0.1 Hz至10 Hz噪声仅550 nV p-p，失调电压：125 μ V，电压输入参考噪声：10 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ （1 kHz）；18 MHz增益带宽和10 V/ μ s压摆率	低偏置电流和低噪声、宽电源范围
AD8656	AD8655/AD8656为低压应用提供低噪声（10 kHz时为2.7 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ）、低THD + N（0.0007%）及高精度性能（VCM上最大为250 μ V）	在低压应用中，可以改善分辨率和动态范围
ADA4627-1	ADA4627-1/ADA4637-1是宽带精密放大器，具有低噪声和非常低的失调电压和漂移（最大200 μ V，典型值为1 μ V/ $^{\circ}\text{C}$ ），以及最大5 pA的偏置电流；采用 ± 5 V至 ± 15 V双电源供电	低噪声、低偏置电流、JFET运算放大器
仪表放大器		
AD8220	AD8220是一款单电源、JFET输入仪表放大器，采用MSOP封装；AD8220针对高性能、便携式仪器而设计，DC时的最小共模抑制比（CMRR）为86 dB，在5 kHz、G = 1时的最小CMRR为80 dB；最大输入偏置电流为10 pA，在整个工业温度范围内通常保持在300 pA以下；虽然采用JFET输入，但AD8220的噪声转折频率典型值仅为10 Hz	具有轨到轨输出的JFET输入仪表放大器
AD8221	AD8221是一款增益可编程高性能仪表放大器，具有出色的频率共模抑制比（CMRR）；目前市场上的仪表放大器，其共模抑制比在200 Hz处下降；相比之下，在G = 1、频率最高为10 kHz时，AD8221所有等级产品的共模抑制比均保持最低80 dB；相对于频率的高共模抑制比使得AD8221可以抑制宽带干扰和线性谐波，大大简化了滤波要求	精密仪表放大器
AD8420	AD8420是一款低成本、低功耗、宽电源电压范围仪表放大器，采用轨到轨输出；最小共模抑制比（CMRR）：100 dB，双电源供电： ± 2.7 V至 ± 18 V；带宽（G = 100）：2.5 kHz	宽电源电压范围、轨到轨输出仪表放大器
AD8421	AD8421是一款低成本、低功耗、低噪声、低偏置电流、高速仪表放大器；1 kHz时最大输入电压噪声为3.2 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，1 kHz时电流噪声为200 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，94 dB CMRR（最小值，G = 1）500 pA最大输入偏置电流，2 MHz带宽（G = 100）	针对医疗仪器应用提供低噪声、低偏置电流、高CMRR
ADC驱动器		
ADA4940-1	全差分ADC驱动器，电压输入参考噪声： $V_n = 3.9$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 和 $I_n = 0.81$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ；260MHz信号带宽	适用于ADC驱动器，低噪声适合小信号调理
LTC6363	LTC6363一款全差分、低功耗、低噪声放大器，具有轨到轨输出；电压输入参考噪声： $V_n = 2.9$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 和 $I_n = 0.55$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ；500 MHz信号带宽	20位、18位和16位SAR ADC驱动器
ADC		
AD7768	8通道、24位同步采样ADC，具备功耗调节功能、110.8 kHz带宽、每通道最大ADC输出数据速率256 kSPS、108 dB动态范围、-120 dB THD（典型值）	高SNR、低失真
AD4003	AD4003/AD4007均为低噪声、低功耗、高速18位、2 MSPS/1 MSPS SAR ADC；SNR：100.5 dB（典型值，1 kHz），THD：-123 dB（典型值，1 kHz）	低功耗、高SNR、低失真
AD7124-8/ AD7124-4	集成PGA和基准电压源的8通道/4通道、低噪声、低功耗24位 Σ - Δ ADC；在所有功率模式下，无噪声分辨率高达22位（增益=1），全功率下的输出数据速率：9.38 SPS至19.2 kSPS	高精度和低噪声，适用于低频测量

三维心脏电生理标测系统主要产品介绍 (续)

器件	说明	优势
DAC		
AD5541	AD5541/AD5542均为单通道、16位、串行输入、电压输出数模转换器，具有1 μs建立时间和11.8 nV/√Hz	高分辨率和低毛刺
AD5621	AD5601/AD5611/AD5621分别是单通道8位/10位/12位、缓冲电压输出DAC，内置片内输出缓冲放大器，采用轨到轨操作；建立时间：1 μs	低功耗
AD5310R	AD5310R/AD5311R是低功耗、单通道、10位缓冲电压输出DAC；偏置误差：±1.5 mV（最大值）；增益误差：±0.05% FSR（最大值）	低毛刺：0.1 nV，高驱动能力和低功耗
基准电压源		
LTC6655	低漂移精密基准电压源；低噪声：0.25 ppm (0.1 Hz至10 Hz) 625 nV p-p；低漂移：2 ppm/°C（最大值），高精度：±0.025%（最大值）	高精度、低漂移、低噪声
ADR4525	ADR4520/ADR4525/ADR4530/ADR4533/ADR4540/ADR4550器件均为高精度、低功耗、低噪声基准电压源，最大初始误差为±0.02%，最大温度系数（TCVOUT）：2 ppm/°C	高精度、低功率、低噪声
多路复用器/开关		
ADG1634	ADG1633和ADG1634均为单芯片工业CMOS（iCMOS®）模拟开关，分别内置三个/四个独立可选的单刀双掷（SPDT）开关；4.5 Ω导通电阻（典型值），1 Ω导通电阻平坦度	非常低的导通电阻
ADG5212	ADG5212/ADG5213内置四个独立的单刀单掷（SPST）开关；防门锁、3 pF关断源极电容、5 pF关断漏极电容、0.07 pC电荷注入	超低电容和电荷注入
阻抗AFE		
AD5940	AD5940/AD5941均为高精度、低功耗模拟前端（AFE），专为需要基于电化学测量技术的高精度便携式应用而设计，如电流、电压或阻抗测量；16位ADC，提供800 kSPS和1.6 MSPS选项；高速TIA，用于处理0.015 Hz至200 kHz的宽带宽输入信号；双通道输出电压DAC，输出电压范围为0.2 V至2.4 V	可编程输出峰峰值激励电压、阻抗测量、内部温度传感器、相位测量
AD5933	AD5933是一款高精度的阻抗转换器系统解决方案，片上集成频率发生器与12位、1 MSPS ADC；频率发生器允许用已知的信号来激励外部复阻抗；外部阻抗的响应信号由片上ADC进行采样，然后由片上DSP进行DFT处理	可编程输出峰峰值激励电压、阻抗测量、内部温度传感器、相位测量
隔离		
ADuM261N	ADuM260N/ADuM261N/ADuM262N/ADuM263N1均为5 kV rms 6通道数字隔离器，提供故障保护和—个反向通道；最大保证数据速率：150 Mbps	安全和法规认证：UL/CSA/VDE/CQC
ADuM4151	ADuM4151/ADuM4152/ADuM4153均为5 kV rms 7通道SPI数字隔离器；支持最高17 MHz的SPI时钟速度	安全和法规认证：UL/CSA/VDE
MAX22444	MAX22444/MAX22445/MAX22446均为5 kV rms、快速、低功耗、4通道增强型数字电气隔离器；最大数据速率高达200 Mbps	安全和法规认证：UL/CSA/VDE
ADuM2251	ADuM2250/ADuM2251均为5 kV rms双通道I2C热插拔数字隔离器；30 mA吸电流能力，1 MHz功率	安全和法规认证：UL/CSA
认证		
DS2505	DS2505 16 kb仅添加存储器识别和存储与之相关的产品信息；由工厂印刻并测试的唯一的64位注册编码（8位系列代码 + 48位序列号 + 8位CRC测试仪代码）	提供保证唯一的身份识别码，确保绝对可追溯
DS28E01	DS28E01-100是一款受保护的1 kb 1-Wire® EEPROM，采用SHA-1引擎；采用n芯片512位SHA-1引擎来计算160位信息认证码（MAC）	提供低成本、高度安全的认证
DS2482	DS2482-800是一款I2C至1-Wire电桥器件，可以直接连接至标准（最大值100 kHz）或快速（最大值400 kHz）I2C主机，在I2C主机和任何下游1-Wire子节点器件之间执行双向协议转换	支持为1-Wire器件进行1-Wire供电
DS18B20	DS18B20数字温度计提供9位至12位摄氏度温度测量，并具有非易失性用户可编程上下触发点报警功能；精度：±0.5°C（—10°C至+85°C）	以较少的连接提供高精度温度监测适用于多传感器系统
电源模块		
LTM4605	LTM4605是一款高效率降压-升压DC-DC μModule®（电源模块）稳压器；输入电压范围：4.5 V至20 V，输出电压为0.8 V至16 V；5 A DC典型值（在降压模式下典型值为12 A DC）	高效率，小尺寸
LTM4622A	超薄双通道2 A或单通道4 A降压型DC-DC μModule稳压器；输入电压范围：3.6 V至20 V，输出电压为1.5 V至12 V	小巧超薄、宽输入范围、快速瞬态响应、稳定
LTM8060	4通道40 V _{IN} 、V _{OUT} ：0.8 V至8 V、3 A降压型Silent Switcher® μModule稳压器，四个输出并联在一个阵列中，可高达12 A	低噪声，低EMI

三维心脏电生理标测系统主要产品介绍 (续)

器件	说明	优势
开关稳压器		
LT8643S	LT8640S/LT8643S均为具有2.5 μ A静态电流的42 V、6 A同步降压型Silent Switcher 2器件；宽输入电压范围：3.4 V至42 V，6 A最大连续输出电流，7 A峰值输出	Silent Switcher 2技术，低EMI，低噪声
LTC3307	LTC3307是一款5 V、3 A、10 MHz同步降压型Silent Switcher器件； V_{IN} 范围：2.25 V至5.5 V， V_{OUT} 范围：0.5 V至 V_{IN} ，与LTC3308 (4 A) 和LTC3309 (6 A) 引脚兼容	Silent Switcher技术，低EMI，高效率，低噪声
LT1617	LT1617/LT1617-1均为低功耗反相DC-DC转换器； V_{IN} 范围：1 V至15 V， V_{OUT} 高达-34 V的低V _{CESAT} 开关：250 mV (300 mA)	低静态电流，小尺寸
LDO		
LT3045	LT3045是一款高性能低压差线性稳压器，具有超低噪声和超高PSRR；在典型的260 mV压差下提供500 mA电流，具有非常低的rms噪声：0.8 μ V rms (10 Hz至100 kHz)；超低散粒噪声：2 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (10 kHz)，超高PSRR：76 dB (1 MHz)， V_{IN} ：1.8 V至20 V	超低噪声、超高PSRR
LT3094	LT3094是一款高性能低压差负电源线性稳压器，具有超低噪声和超高PSRR；在典型的235 mV压差下提供500 mA电流，具有超低的rms噪声：0.8 μ V rms (10 Hz至100 kHz)；超低散粒噪声：2.2 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (10 kHz)，超高PSRR：74 dB (1 MHz)， V_{IN} ：-1.8至-20 V	超低噪声、超高PSRR负电源LDO
ADM7151	800 mA、超低噪声/高PSRR可调 V_{OUT} LDO；输入：4.5V至16V，输出：1.5 V至5.1 V，低噪声：1.0 μ V rms (100 Hz至100 kHz)，PSRR：>90 dB (1 kHz至100 kHz)	低噪声和高PSRR
ADM7171	6.5 V_{IN} 、1 A、42 mV压差LDO， V_{OUT} ：1.2 V至 $V_{IN} - V_{DO}$ ；低输出噪声：5 μ V rms (10 Hz至100 kHz)，ADM7172为2 A版本	低噪声和高PSRR
时序控制器		
ADM1185	ADM1185是一款集成式四通道电压监控和时序控制器件；通过精度为0.8%的比较器监控四个电源，提供三路开漏使能输出和开漏电源良好输出	具有系统监控和报警功能，以及电源时序控制
MAX16165	MAX16165/MAX16166监控最多5个电压，控制最多4个电压的时序；这些器件在每个电源接通时提供可调延迟，并且监控每个电源电压，电源电压范围为2.7 V至16 V	具有系统监控和报警功能，以及电源时序控制
保护器		
MAX30034	MAX30034是一款除颤/浪涌/ESD保护器，用于吸收重复性的除颤和其他高能脉冲，以保护ECG和其他医疗/工业设备中的敏感电子电路	该器件能连续承受超过100k除颤脉冲，期间不会发生任何故障
接口		
ADM2490E	ADM2490E是一款5 kV信号隔离、高速 (16 Mbps)、ESD保护、全双工RS-485收发器； \pm 8 kV ESD保护	安全和法规认证，符合ANSI TIA/EIA-485-A-1998和ISO 8482:1987 (E) 标准
ADM3101E	ADM3101E是一款 \pm 15 kV ESD保护、3.3 V单通道RS-232线路驱动器/接收器，数据速率为460 kbps	符合EIA/TIA-232E规范
ADM3075E	ADM3075E是一款3.3 V、负载、 \pm 15 kV ESD保护、RS-485/RS-422收发器 (半双工、500 kbps、DE/RE)、500 kbps数据速率	符合TIA/EIA RS-485/RS-422标准
MAX14789E	MAX14784E/MAX14786E/MAX14787E/MAX14789E均为全双工、 \pm 35 kV ESD保护、RS-485收发器，提供500 kbps和25 Mbps速度选项	在恶劣工业环境中能够实现稳健的通信

设计资源

- ▶ Circuits from the Lab®
 - 集成低功耗输入驱动器和基准电压源的16位6 MSPS SAR ADC系统，针对多路复用应用优化 (CN0307)
 - 使用电化学传感器的单电源、低功耗有毒气体探测器 (CN0234)
 - 使用12位阻抗转换器实现高精度阻抗测量 (CN0217)
 - 18位、1.33 MSPS、16通道数据采集系统 (CN0269)
 - 精密24位、250 kSPS单电源 Σ - Δ ADC系统 (CN0310)
- ▶ 应用笔记/文章
 - 使用ADuCM350实现电流/稳压测量 (AN-1281)
 - 使用1-Wire产品实现印刷电路板识
 - 优化AD5940以进行电化学测量 (AN-1563)
 - AD594x用户指南
 - 快速CMOS运算放大器在所有关键规格方面挑战双极性放大器

设计工具/论坛

- ▶ ADC/DAC
 - 精密ADC驱动器工具
 - 精密DAC误差预算计算器
 - Virtual eval工具——BETA数据转换器工具
 - Σ - Δ 型ADC指南
- ▶ 放大器与线性工具
 - ADI precision studio
- ▶ 电路和电源设计仿真
 - LTspice®: 电路设计仿真工具
 - LTpowerCAD和LTpowerPlanner: 电源设计工具
 - ADI Power Studio: 时序控制器设计工具

设计资源

欲查看其他医学资源、工具和产品信息，请访问：

- ▶ analog.com/cn/applications/markets/healthcare-pavilion-home.html
- ▶ maximintegrated.com/cn/applications/healthcare.html

欲申请样片，请访问：

- ▶ analog.com/cn/content/samples_purchase/fca.html

访问我们的在线技术支持社区，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。



中文技术论坛

请访问 ez.analog.com/cn

Circuits from the Lab参考设计由ADI工程师构建并测试，提供丰富的文档和经过工厂测试的评估硬件。



请访问 analog.com/zh/ctfl



超越一切可能™

请访问 ANALOG.COM/CN

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和技术支持，请访问 analog.com/cn/contact。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。请访问 ez.analog.com/cn。

©2022 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。

BR24303-11/22