

ADI的核磁共振成像(MRI)解决方案

MRI系统原理和典型架构

核磁共振成像是一种无创成像技术,用于生成人体解剖和功能性图像,且无电离辐射。MRI生成的图像具有出色的软组织对比度,对于神经病学、肌肉骨骼、心血管和肿瘤学成像尤其有用。从水分子或脂肪分子中的氢原子核中检测信号,信号的采集以核磁共振现象为基础,核磁共振指核自旋与磁场之间的交互作用。信号定位通过应用磁场的线性梯度来实现。

磁体、梯度系统和射频(RF)系统通过与计算机系统连接,在不同的电子元件之间实现通信,进行复杂的交互,生成MR图像。梯度线圈用于对MR信号进行三维定位(x、y和z)。这些线圈通过一个由梯度控制模块控制的高功率放大器进行操作。射频系统主要起两个作用。其一是将射频能量发射到需要成像的组织上,另一作用是接收组织受能量影响后产生的射频信号。射频发射器含有四个主要元件:频率合成器(DAC或DDS)、可选的射频数字包络(混频器)、高功率放大器和射频线圈。射频接收器含有射频线圈、前置放大器(LNA)、可选的解调器(混频器)、带通滤波器、进一步放大(VGA)和模数转换器(ADC)。

MRI系统设计考虑和主要挑战

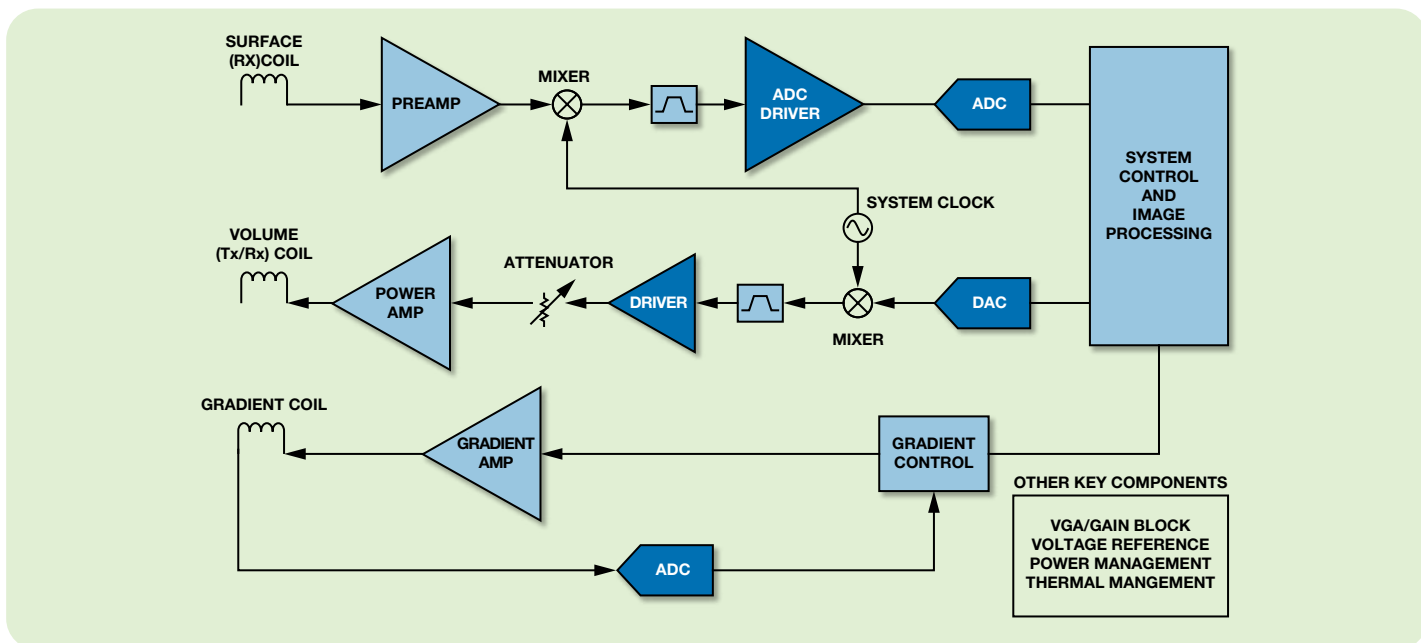
- 在MRI系统设计中,低噪声性能始终是首要考虑因素。射频发射路径(Tx)、射频接收路径(Rx)和梯度控制路径都需要超低的本底噪声,因此,在MRI系统的所有信号链中,必须选择低噪声放大器、较高分辨率的DAC和ADC以及低相位噪声时钟源。从系统角度来看,动态范围应大于90 dB,失真应优于-40 dBc,接收器的总噪声系数应低于1 dB或者接近0.5 dB。为了获得这样的系统性能,LNA的典型噪声系数应低于0.5 dB,Rx需要使用16位ADC,Tx需要使用16位Tx-DAC。
- 快速响应时间(数毫秒)和超精准控制对梯度控制至关重要。由于梯度放大器电流可能高达1000 A,而且必须达到1 mA的控制精度(其数量级为1 ppm),因此,模拟梯度控制需要精密型DAC,而数字梯度控制则需要精度超高的ADC(21 ENOB左右)。
- 磁体质量方面的首要考虑因素是一致性或均匀性。典型的MRI系统在成像区域的变化必须小于10 ppm。为了防止不一致导致图像失真,许多MRI系统采用匀场线圈进行校正。

在传统的MRI系统中,接收(Rx)电子元件位于房间外面,低电平模拟信号从线圈组通过很长的同轴电缆发送至接收电子元件,易受到干扰。近来,高速和高分辨率ADC的发展(小尺寸、低功耗、非磁性封装),使系统设计师们可以通过光纤链路将接收电子元件的更多通道移到房间内部,结果减少了系统受到的干扰,提高了系统扫描速度,而且提升了系统成像质量。

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MRI设备达到最佳图像质量,并降低功耗和成本。此外,ADI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 MRI 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。

混频器	VGA	增益模块	ADC驱动器	ADC (Rx)	ADC (梯度)	放大器	
ADL5801/ADL5350/ AD8342/AD8343	AD8367/AD8366/ ADL5201/ADL5202	ADL5535/ADL5536	ADL5562/ADA4937-1/ ADA4938-1/AD8352	AD9653/AD9650/ AD9446/AD6655/ AD6649/AD9461	AD7760	AD8675/ AD8676	
DAC (Tx)	DAC (梯度)	时钟	PLL	温度传感器	开关	基准电压源	电源
AD9142/AD9122/ AD9957/AD9788	AD5791/AD5781	AD952x/AD951x/ ADCLK8xx/ADCLK9xx	ADF4002/ADF4351/ ADF4350/ADF4360-8	ADT7310/ADT7410/ ADT7320/ADT7420	ADG9xx	ADR44x/ADR43x/ ADR42x	ADP2116/ADP2114/ ADP2386/ADP2384/ ADP7102/ADP7104/ ADP150/ADP151

主要MRI产品简介

器件	说明	优势
混频器		
ADL5801	高IP3有源混频器，+27 dBm输入IP3，+12.5 dBm输入P1 dB，+1.5 dB功率增益和9.75 dB SSB噪声系数	宽带RF、LO和中频端口、单通道上/下变频器
AD8342	LF至3 GHz有源混频器，+22.7 dBm输入IP3，+8.3 dBm输入P1 dB，3.7 dB转换增益和12.2 dB噪声系数，0 dBm LO驱动。	宽带宽及低交调失真和噪声系数
VGA		
ADL5201	31.5 dB范围可编程中频VGA。-11.5 dB至20 dB增益范围，0.5 dB步长，7.5 dB噪声系数(最大增益)，OIP3 > 50 dBm (200 MHz时)，-3 dB带宽700 MHz，双通道版本：ADL5202	宽输入动态范围，高性能功率模式，带关断控制
AD8367	500 MHz、线性dB VGA，内置AGC检波器。模拟可变增益：-2.5 dB至+42.5 dB，缩放比例为20 mV/dB	增益上/下模式，内置片内、平方律检波器
AD8366	直流至600 MHz，双通道数字VGA。增益范围：4.5 dB至20.25 dB，步长为0.25 dB。11.4 dB @ 10 MHz (最大增益)，18 dB (最小增益)，HD2/HD3 >90 dBc(针对2 V p-p输出，10 MHz，最大增益)，OIP3：45 dBm@10 MHz	低噪声和低失真。出色的无杂散动态范围，适用于驱动高分辨率ADC

主要MRI产品简介 (续)

器件	说明	优势
增益模块		
ADL5535	20 MHz至1.0 GHz中频增益模块, 固定增益为16 dB, OIP3: 45.5 dBm @ 190 MHz 45.5 dBm @ 380 MHz, 噪声系数: 3.2 dB @ 190 MHz, 3.3 dB @ 380 MHz, P1 dB为18.9 dBm @ 190 MHz。与20 dB增益版本引脚兼容: ADL5536	宽带、输入/输出, 内部匹配至50 Ω, 集成偏置控制电路
ADC驱动器		
ADL5562	3.3 GHz超低失真射频/中频差分放大器。Vn RTI: 2.1 nV/√Hz @ 12 dB增益。HD2/HD3: -91 dBc/-98 dBc @ 10 MHz, -102 dBc/-90 dBc @ 70 MHz, -104 dBc/-87 dBc @ 140 MHz, -80 dBc/-94 dBc @ 250 MHz, IMD3s为-94dBc @ 250 MHz (中央)	宽带、低噪声、低失真特性适合差分ADC驱动器
ADA4937-1	1.9 GHz超低失真差分ADC驱动器。Vn RTI: 2.2 nV/√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
ADC		
AD9653	四通道、16位、125 MSPS、串行LVDS 1.8 V ADC。SNR = 77.5 dBFS @ 70 MHz (2.6 V p-p 输入范围), SFDR = 90 dBc (奈奎斯特), 650 MHz全功率模拟带宽	低功耗、小尺寸、无磁封装, 适合MRI应用
AD9650	双通道16位、25 MSPS/65 MSPS/80 MSPS/105 MSPS、1.8 V ADC。SNR = 80 dBFS (70 MHz输入, 105 MSPS数据速率)。SFDR = 92 dBc (70 MHz输入, 105 MSPS数据速率)	片内扰动选项, 可以改善SFDR, 差分输入则可维持出色的SNR
AD9446	16位、80 MSPS/100 MSPS ADC。SNR = 83.6 dBFS @ 30 MHz输入(3.8 Vp-p输入, 80 MSPS) SNR = 82.6 dBFS @ 30 MHz输入(3.2 p-p输入, 80 MSPS) SFDR = 89 dBc @ 30 MHz输入(3.2 V p-p输入, 80 MSPS)	出色的SNR、片内基准电压源和高输入阻抗TH, 可调模拟输入范围, 适合MRI应用
AD9258	双通道、14位80 MSPS/105 MSPS/125 MSPS、1.8V ADC。SNR = 77.6 dBFS (70 MHz输入, 125 MSPS数据速率)。SFDR = 88 dBc (70 MHz输入, 105 MSPS数据速率)	高性能, 加上低成本、小尺寸, 优势明显, 可用于低端MRI系统
AD7760	24位2.5 MSPS Σ-Δ型ADC。信噪比(SNR): 120 dB (78 kHz输出数据速率), 100 dB (2.5 MHz输出数据速率)。	片内缓冲器/放大器简化了设计, 可用于MRI梯度控制
放大器		
AD8676	精密运算放大器。低电压噪声: 2.8 nV/√Hz, 低失调: 12 μV (典型值), 低输入偏置电流: 2 nA (最大值), 电压失调漂移: 0.6 μV/°C (最大值)。	适用于直流精密和基准缓冲器的输出缓冲器
DAC		
AD9142	双通道、16位、1.6 GSPS DAC。灵活的LVDS接口, 集成2×4×8×插值器。极小的固有延迟差异: <2个DAC时钟周期	先进的低杂散和低失真特性带来高质量、低功耗
AD9122	双通道、16位、1.2 GSPS DAC。灵活的LVDS接口, 集成2×4×8×插值器。可调模拟输出范围为8.7 mA至31.7 mA	增益、直流失调与相位调整支持带抑制
AD9957	内置18位I/Q数据路径和14位DAC的1 GSPS四通道数字上变频器。250 MSPS输入数据速率, 相位噪声≤ -125 dBc/Hz (400 MHz载波, 1 kHz失调)	出色的动态范围, 高度集成降低了复杂程度
AD5791	1 ppm 20位、±1 LSB INL、电压输出DAC。7.5 nV/√Hz低噪声频谱密度, 0.05 ppm/°C超低温度漂移。1 μs建立时间。	简化设计、降低成本、减少MRI梯度控制的风险
开关		
ADG901	4.5 GHz带宽, 40 dB隔离 (1 GHz), 1.65 V至2.75 V CMOS SPST开关。低插入损耗: 0.8 dB @ 1 GHz	宽带, 全系列标配SPST, SPDT, 4:1和2个SPDT
基准电压源		
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/°C	低漂移和高精度有利于提高ADC采样性能
时钟		
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。附加宽带抖动小于500 fs。	非常适合低抖动MRI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MRI时钟分配和分配
PLL		
ADF4002	相位检波器/频率合成器, 带宽为5 MHz至400 MHz, 104 MHz相位检波器。归一化相位噪声: -222 dBc/Hz	可编程电荷泵电流极佳的相位噪声性能
ADF4351	集成VCO的宽带频率合成器。输出频率范围: 35 MHz至4.4 GHz; 典型抖动: 0.3 ps rms; 2.1 GHz下典型EVM: 0.4%	低相位噪声VCO, 可编程双模预分频器
温度传感器		
ADT7420	集成数字 I ² C 温度传感器(±0.25°C精度范围: -20°C至105°C), 具备16位分辨率(0.0078°C), ADT7320为SPI接口版本	无需校准, 过温/欠温中断
ADT7410	集成数字 I ² C 温度传感器(±0.5°C精度范围: -20°C至105°C), 具备16位分辨率(0.0078°C), ADT7310为SPI接口版本	无需校准, 过温/欠温中断

主要MRI产品简介 (续)

器件	说明	优势
电源管理		
ADP2114	2.75 V至5.5 V输入、双通道2 A/单通道4 A、可配置同步降压dc-to-dc稳压器。与双通道3 A版本引脚兼容: ADP2116	经优化的同步栅极驱动压摆率, 支持噪声敏感型ADC/DAC
ADP2384	4.5 V至20 V输入, 4 A输出电流, 同步降压dc-to-dc稳压器。与6A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低压差LDO, 具备低噪声性能、15 μ 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
ADP150	2.2 V至5.5 V输入, 150 mA输出电流, 105 mV低压差LDO, 具备低噪声性能、9 μ V rms独立电压输出、高PSRR 70 dB (10 kHz时)。与200mA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; channel-1、channel-2: 可编程1.2 A/2.5 A/4 A同步降压调节器, 带低端FET分频器; channel-3、channel-4: 1.2 A同步降压调节器; channel-5: 200 mA低压差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

设计资源

参考电路

- 使用ADF4002 PLL产生高速模数转换器所需的极低抖动编码采样时钟(CN0003)—www.analog.com/zh/CN0003
- 使用AD8352作为高速ADC的超低失真差分RF/IF前端(CN0046)—www.analog.com/zh/CN0046
- 双中频增益模块ADL5534与高速ADC AD9640实现接口(CN0049)—www.analog.com/zh/CN0049
- 利用低噪声LDO调节器为小数N分频电压控制振荡器(VCO)供电, 以降低相位噪声(CN0147)—www.analog.com/zh/CN0147
- I/Q调制器ADL5375与双通道、1.2 GSPS高速DAC AD9122实现接口(CN0205)—www.analog.com/zh/CN0205

应用笔记/文章

- 如何用ADIsimADC完成ADC建模(AN-737)—www.analog.com/zh/AN-737
- 采样系统以及时钟相位噪声和抖动的影响(AN-756)—www.analog.com/zh/AN-756

设计工具/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/fifo
 - VisualAnalog™软件—www.analog.com/VisualAnalog
 - ADC SPI接口软件(SPI控制器)
 - ADIsimADC建模工具—www.analog.com/zh/ADIsimADC
- 时钟和PLL
 - ADIsimCLK建模工具—www.analog.com/zh/ADIsimCLK
 - ADIsimPLL™: PLL设计和仿真—www.analog.com/zh/ADIsimPLL
 - 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
 - DiffAmpCalc™: 差分放大器计算器—www.analog.com/zh/diffampcalc
- 电源管理产品
 - ADIsimPower™: 电源设计工具—www.analog.com/zh/ADIsimPower
 - 评估板

欲查看其他核磁共振成像资源、工具和产品信息,

请访问: www.analog.com/zh/healthcare

如需申请样片, 请访问:

www.analog.com/zh/sample

亚洲技术支持中心 4006-100-006

模拟与其他线性产品 china.support@analog.com
嵌入式处理与DSP产品 processor.china@analog.com
免费样片申请 www.analog.com/zh/sample
ADI在线技术论坛 ezchina.analog.com
网址 www.analog.com/zh/CIC