

解决方案

ADI人形机器人解决方案

人形机器人产业正迎来高速发展，作为智能机器人领域的典型应用，它集成了机械制造、材料科学、通信技术、传感器技术、控制技术、仿生学和人工智能等等多个交叉学科，代表了机电一体化，自动化，智能化的一个最高水准，它在智能机器人领域中拥有最高的集成度和技术挑战性。

本篇内容全面分享了ADI在人形机器人领域的技术和解决方案，涉及实时控制、感知和通信连接等多个方面：1、运动控制上，ADI Trinamic产品TMC9660是一款智能栅极驱动器IC，内置伺服(FOC)控制器和降压转换器，客户无需软件编程即可轻松实现高级电机和运动控制；2、位置检测上，ADI新型的单芯片多圈和角度位置传感器ADMT4000，其特点在于断电后能够保持位置信息，无需重新

校零，简化了系统设计；3、实时通信上，ADI提供了包括工业以太网、GMSL高速串行接口等多种选择，以满足机器人与外部设备进行高速数据传输的需求。

ADI人形机器人领域的核心产品

图1展示了ADI在人形机器人方面的解决方案，包括：1、通信连接：高速GMSL、高速的以太网、USB、无线smart mesh等；2、传感器：跟踪运动和方向的IMU；3、视觉检测：3D ToF相机及毫米波雷达；4、振动检测：振动传感器；5、关节运动控制：多圈位置编码器和TMC；6、安全加密芯片及电源管理芯片。

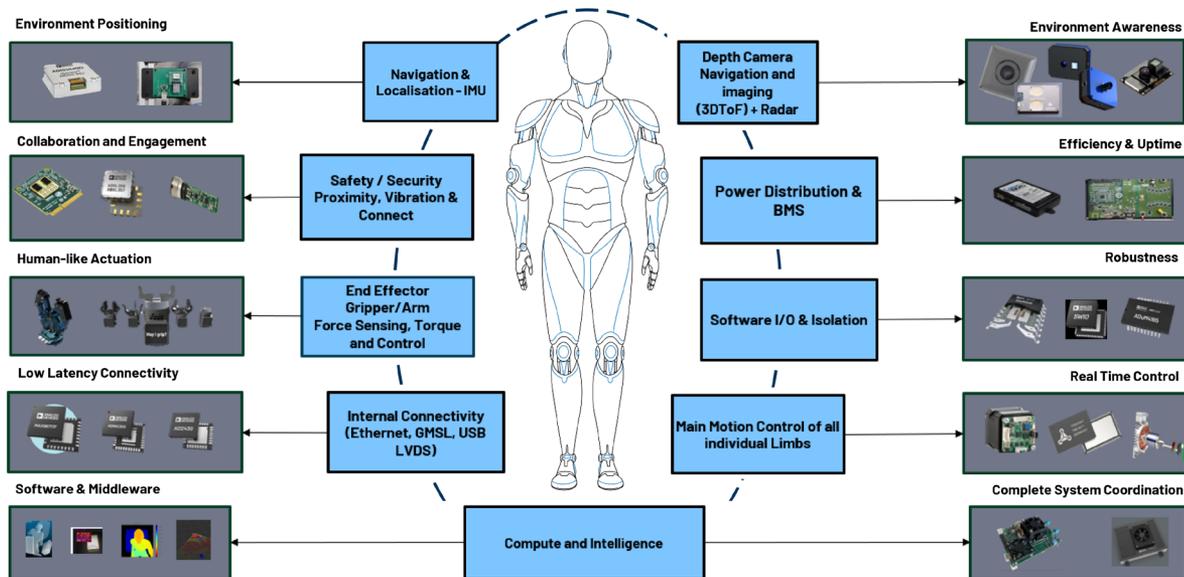


图1ADI在人形机器人方面的核心产品

电机驱动器和运动控制器

运动控制是人形机器人的核心硬件，作为关键执行组件来驱动机器人执行机构进行运动。运动组件主要安装在机器人的关节处，也就是说连杆机构的连接处，通过将电机的旋转运动转化为驱动连杆机构的运动。

驱动器或执行器由多种零部件组成，包括起传动装置作用的电机减速器、位置传感装置的编码器、控制板和控制软件等。TMC9660是应用于人形机器人的一款电机驱动器和运动控制器，这颗IC最大的特点是具有智能栅极驱动器IC，内置伺服(FOC)控制器和降压转换器以及快速模拟电流感应(ADC和CSA)。控制环路的最高频率达到100kHz，控制环路频率的提高能够降低电机的电流/扭矩

纹波，增加电机控制带宽，实现更高的动态范围。可以无需软件编程即可轻松实现高级的FOC控制算法，最大程度的方便了客户使用。

TMC9660适用于不同的电机，主要支持的电机包括PMSM永磁同步电机，无刷直流电机BLDC，步进和有刷直流电机。内部集成了PI位置控制器，8点斜坡发生器，支持A/B/N编码器，霍尔传感器和SPI接口编码器。图2介绍了TMC9660子系统图，上面部分展示了对霍尔传感器的支持，左下角展示了对步进电机的支持；右下角展示了人形机器人应用中的电机驱动方面对主流双编码器解决方案的支持。

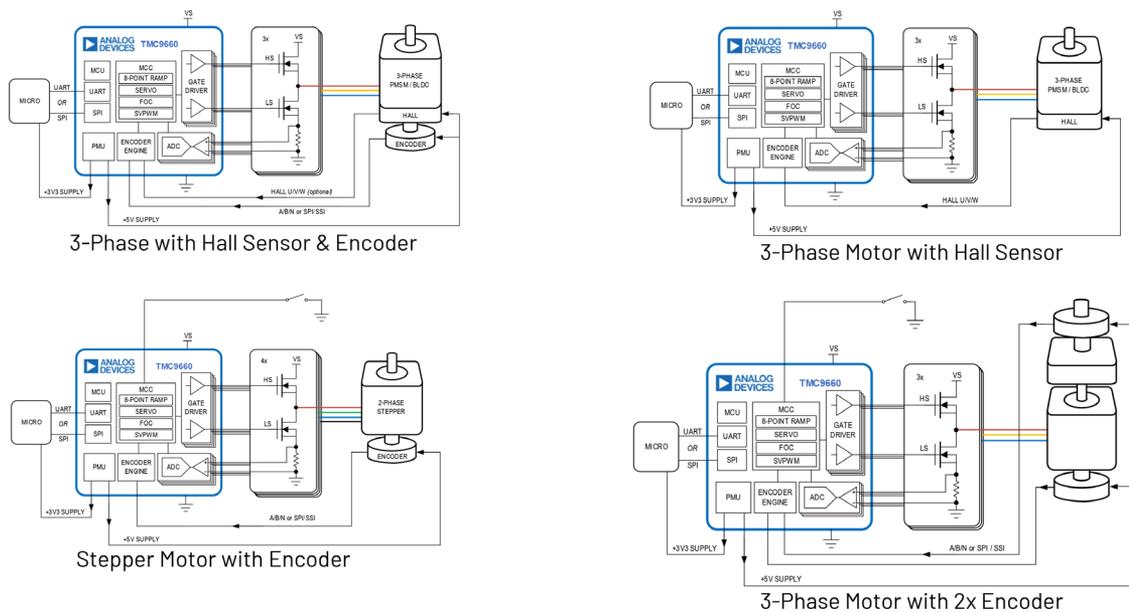


图2 TMC9660：子系统图

TMC9660功能概述

- 70V智能栅极驱动器(GDRV)是高度集成的单片栅极驱动器和电机控制器IC，最多可驱动4个半桥(NMOS)，具有12V栅极驱动的输出电压，支持高达1A的拉电流和2A的灌电流，支持可编程；
- 运动控制核心模块：FOC控制环频率最高可达100kHz，在上位机输入速度和位置等参数则可输出控制信号来直接控制电机，达到所需要的速度和位置，无需再完成FOC的一些算法；内部硬件集成了一个8点斜坡发生器，具有实时谐波计算功能；电机位置反馈接口支持A/B/N编码器，U/V/W编码器和带有SPI接口的霍尔编码器；
- 测量单元：提供了4个高带宽15MHz差分双向电流检测器CSA，用于分流测量；支持可编程增益5x、10x、20x、40x及直通。集成了4个13位ADC，主要用于同步采样；

- 电源管理模块：支持高达70V输入，5.8V输出，600mA的同步降压，提供两个外部LDO，可以配置为2.5V / 3.3V / 5V，150mA输出。关于TMC9660的在线资源可通过如下渠道获取：
产品主页：TMC9660 Datasheet and Product Info | Analog Devices
评估板：
TMC9660-3PH-EVKIT Evaluation Board | Analog Devices
TMC9660-STP-EVKIT Evaluation Board | Analog Devices
配套产品：TMC8100 Datasheet and Product Info | Analog Devices
评估软件：TMCL-IDE | Analog Devices

多圈位置编码器

ADMT4000多圈位置编码器，无需电源及接触即可计算圈数，主要用于工业和汽车中的位置检测。在工业应用中，人形机器人是其应用方向之一。

磁设备系统可能经常会面临设备意外断电，重新上电后造成位置信息的丢失。图3示例了4种解决方案，其中前3种是传统解决方案。最左边的是多圈检测方案，利用齿轮减速器和单圈传感器进行检测，最大缺点就是可能造成齿轮磨损及机械滞回。另外，也

有采用备用电池加单圈位置传感器和存储器这样的解决方案，最大缺点是尺寸稍微偏大，需要对电池进行维护和更换，同时还需要外带一个存储器。也有厂商采取韦根导线Wiegand能量收集这样的传感器与单圈传感器及FRAM芯片的结合使用，但是这种方案在圈数多了之后也有可能出现丢圈的现象。

除了上述三个解决方案，ADI提出了一个新的解决方案，利用单芯片解决多圈的位置检测，最主要的优点是小巧、紧凑，具有高的稳定性、鲁棒性，提供较高的位置精度检测。

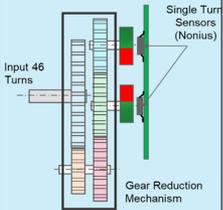
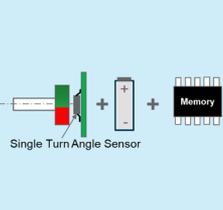
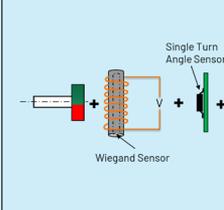
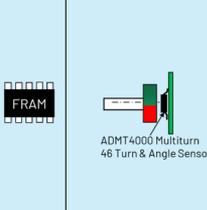
	齿轮减速器+单圈传感器	备用电池+单圈传感器+存储器	能量收集Wiegand传感器+单圈传感器+FRAM	ADMT4000多圈+角度
				
缺点	尺寸大、笨重 机械齿轮磨损 机械滞回 单圈传感器 低精度	尺寸中等 备用电池 电池维护 单圈传感器 存储器	尺寸中等 Wiegand传感器 单圈传感器 存储器(FRAM) 稳健性	
优点	2个单圈传感器带来固有冗余	高精度	高精度	小巧紧凑 高稳健性 高精度

图3 多圈编码器解决方案（非接触式）

ADMT4000的主要应用场景除了人形机器人还包括线性执行器，如常见的XY工作平台，旋转执行器，人形机器人的关节执行器等；传统的一些领域应用包括起重机、吊车、升降机，拉线编码器等；汽车领域的应用如安全带，方向盘上线控转向的功能。

ADMT4000参数概述

ADMT4000在工业领域使用的是46圈，车规领域是44圈。ADMT4000内部集成了温度传感器，3.3V供电，数字输出提供SPI接口，支持-40~125°环境温度。提供TSSOP封装，后续还会提供5mm×5mm的更小封装。

ADMT4000磁屏蔽设计参考

图4主要介绍的是ADMT4000的杂散场干扰度测试，分别在带屏蔽和不带屏蔽的情况下进行测试。

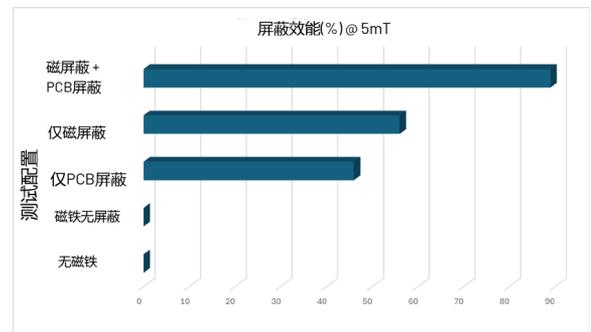


图4 ADMT4000杂散场干扰测试

ADMT4000若在恶劣环境下使用时建议使用屏蔽措施。ADI开发了具有高杂散场抗扰度的磁铁参考设计，如图5所示。除了提供磁铁屏蔽方案以及PCB的屏蔽方案外，还提供设计图纸。内测发现，磁铁屏蔽加PCB屏蔽能够提供更好的屏蔽效果。

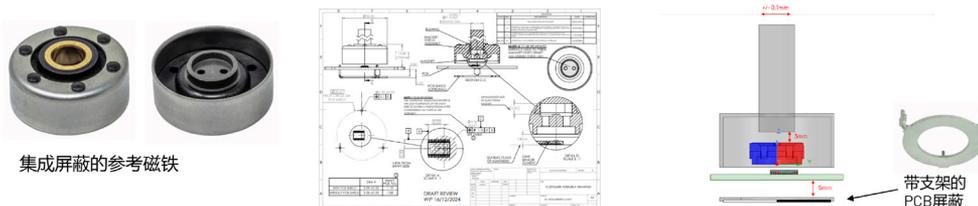


图5 ADMT4000磁屏蔽参考设计

ADMT4000磁复位

复位是使用这颗芯片最常关心的一个问题。目前，ADI提供了两种复位方法：第一种方法是翻转复位，也就是说需要顺时针旋转46圈以上进行复位；第二种方法是通过强磁复位，一般建议在PCB板上放置一个线圈，激励线圈产生大于55mT的强磁场便会使ADMT4000复位。ADI的复位电路为设计者提供参考。

为了帮助设计者更好的了解和使用ADMT4000，ADI网站提供了数据手册、评估板链接、订购信息、软件驱动程序、视频链接及有关这项技术的技术文章，大概如下：

- 数据手册：[ADMT4000](#)：专业上电型多圈传感器数据手册(Rev.A)
- 评估板：[EVAL-ADMT4000](#) (图6所示)
- 软件驱动程序：[软件下载](#) | ADI公司
- 视频：[利用磁位置检测技术实现高效运动控制](#)
- 文章：[具有真正上电能力与零功耗的多圈位置传感器\(TPO\)](#)
- 产品主页：[analog.com/cn/ADMT4000](#)



图6 ADMT4000评估板

连接通信

人形机器人系统需要各种通信连接，比如头部容纳的多个传感器节点需要GMSL提供高速通信，关节和关节的连接需要以太网/EtherCAT连接，图7示例了不同的通信产品。

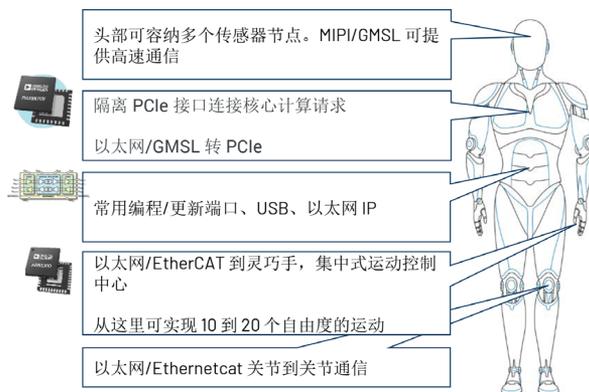


图7 人形机器人的通信连接

ADINT300是一款低功耗、单端口千兆以太网PHY收发器，具有低延迟和低功耗特性；GMSL (MAX96717/MAX96724)是一款高度可配置的高速SERDES (串行器和解串器) 互连解决方案，可通过单线传输实时未压缩视频和传感器数据、控制数据和电源。

ADI的SPE方案，对于IOBASE-T1L方案提供PHY ADINT100，MACPHY ADINT110，2端口交换机ADIN211；对于IOBASE-T1S方案提供MACPHY和E2B AD330x。

小结

人形机器人的大规模生产和应用逐渐成为现实，ADI提供了具有竞争力的方案，包括集成FOC算法的电机控制方案，精准感知的磁编码器关节方案和低延迟、高可靠的通信网络连接产品。ADI在感知、驱动和通信连接等维度进行产品赋能。

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。

ez.analog.com/cn

 **ADI EngineerZone™**
中文技术论坛

 **ANALOG
DEVICES**
超越一切可能™

analog.com/cn

有关地区总部、销售和代理商的信息，或客户服务和技术支持的联系信息，请访问analog.com/cn/contact。
©2025 Analog Devices, Inc.保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。