

Kyle R. Stone

引言

协作机器人和工业机器人是推动实现工厂自动化并提高工厂效率和吞吐量的主导机器人技术。工厂通过实施这些半自动化和全自动化技术，能够以更快的速度构建终端产品，以便满足客户需求。

协作机器人

协作机器人作为人工辅助机器人，通常只能通过人机交互方式工作。这些机器人可帮助人们抬起 **6kg 至 25kg** 及更重的有效载荷，从而帮助人们减轻疲劳，同时提高生产速度。协作机器人通常在低于 **80V** 的电压下工作，由于进行直接的人机交互，大多数系统在 **48V 至 50V** 的电压范围内运行。这些系统有时是隔离的，具体要求取决于系统设计。这些系统的典型电流范围为 **10A 至 30A**，具体取决于电路节点。协作机器人中的电流检测通常用于轴内的电机控制，该电流检测是使用一个器件监测电机的同相电流，如图 1 所示。

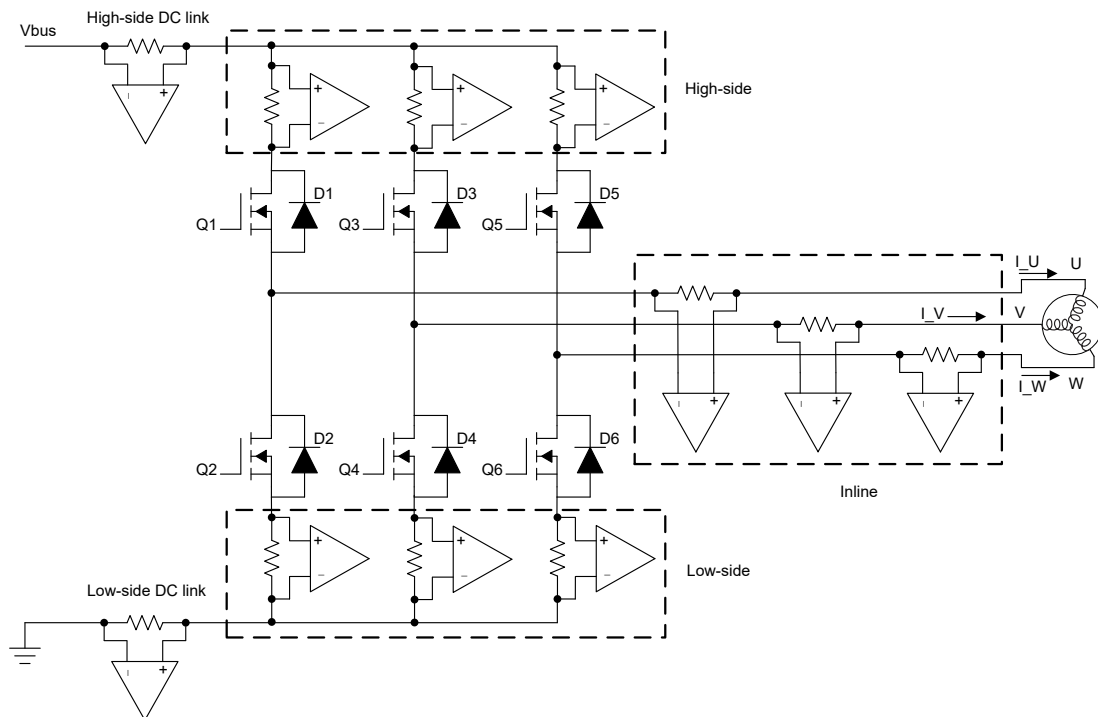


图 1. 协作机器人和工业机器人中的电机电流检测方法

精确的相电流检测在电机控制中至关重要。电流检测不精确会导致产生大的扭矩纹波和可闻噪声，并且效率低下。表 1 中介绍了三种电机电流检测方法及其各自的优势与不足。由于信号测量具有连续性并与相电流直接相关，因此测量电机电流的理想位置即为各个相位。内嵌式电流检测面临着每个电机相位都要经历共模电压转换的挑战。在转换过程中，共模电压将在极短时间内于不同的高电压电平之间进行切换。在其他位置（如每个相位的低边）测量电流需先对数据进行重新组合和处理，以便为控制算法提供有意义的的数据。

表 1. H 桥中的电流检测

电流测量	优势	劣势
高边	检测电池的短路负载以进行诊断	高压共模放大器
内嵌式	直接测量电机电流，低带宽放大器	高 dv/dt 信号。PWM 稳定时间。
低边	低成本，低共模电压	无法检测短路负载

协作机器人中的布板空间非常受限，因此需要一款小尺寸器件。鉴于通常不需要隔离，INA241A 等器件非常适合内嵌式电流检测应用。原因在于 INA241A 可提供高 CMRR 和增强型 PWM 抑制，从而更大程度地减小协作机器人开关系统中的误差。INA241A 采用带引线的小型 SOT-23 (DDF) 8 引脚封装，尺寸为 2.95mm × 2.95mm (8.70mm²)。如果应用确实需要隔离，则使用可提供高达 100V 功能隔离的 TMCS1108（霍尔效应电流传感器）等器件。

工业机器人

工业机器人是汽车工厂和其他制造工厂中拾取和放置大型产品时用于拾举重物的大型机器人。工业机器人无需人机交互即可移动非常大的物体，并且操作方式可控性高，因此可帮助制造商提高安全性。工业机器人通常在电压电平介于 400V 至 600V 之间的交流域中运行，这是大型制造工厂中常用的交流电压电平。电流电平通常介于 35A 至 250A 之间，具体取决于机器人在工厂内所移动的物体。电流检测通常在机器人附近的机柜内进行，因此在这些系统中，空间不是问题。通常，电流监测与电机控制机器人的相位相同。鉴于工业系统中存在高电压，通常需要通过隔离来分隔对低压电路系统和人类都有危险的高电压电平。如今，电流检测通常通过霍尔效应电流传感器（例如 TMCS1123）或隔离式放大器（例如 AMC1306）来完成。

工业机器人中需要进行电流检测的另一个常见位置是线圈驱动器制动器释放单元。线圈驱动器用于在移动接头的电机停止后释放制动摩擦片，或在发生紧急事件的情况下提供动态停止。线圈驱动器中的磁场使两个由弹簧承载的摩擦片彼此远离，以便转子可以自由转动。当电流停止流动时，在承载弹簧的作用下，两个制动摩擦片相互挤压，使转子停止转动。图 2 展示了制动器释放单元线圈驱动器中使用的低侧电流检测。低边电流检测可选择的电流检测器件较多，但由于线圈的电感特性，电流检测放大器的输入在开关期间可能会受到负电压的影响。在这种情况下，电流检测器件需要能够承受负输入电压。

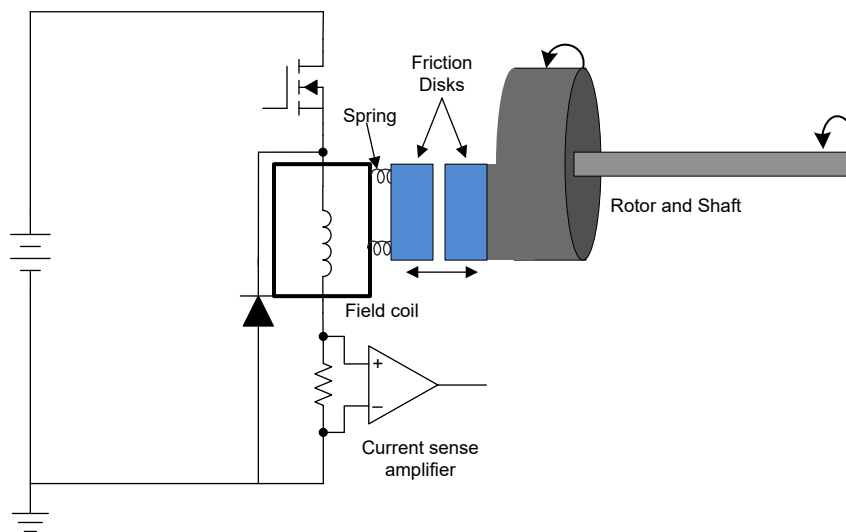


图 2. 制动器释放单元线圈驱动器中的低边电流检测

结论

总之，协作机器人和工业机器人通常都使用电流检测来监测各种机器人中电机的同相电流。主要区别在于隔离需求、功率级别和机器人的抬举重量，因此对电流检测器件的要求有所不同。工业机器人需要在线圈驱动器中进行电流检测，以便制动和停止电机。协作机器人通常不需要隔离，功率级别不超过 2.0kW，通常抬举的有效载荷为 6kg 到 25kg。虽然工业机器人通常需要隔离，但其功率级别可低至 3kW，也可高达并超过 125kW，并且可以抬举 20kg 至几千千克的重物。

备选器件建议

INA241B 是一款高精度模拟电流检测放大器。**INA241B** 可用于高压双向应用，配置有 1.1MHz 带宽，从而在 H 桥应用内提供快速响应时间和精密的内嵌式控制。**INA241B** 可在 -5V 至 110V 的共模电压下测量电流，并可承受 -20V 至 120V 的电压，因此 **INA241B** 适用于很多系统。

INA253 或 **INA254** 器件是超精密电流检测放大器，具有集成式低电感、小于 15ppm/°C 的温漂，并分别具有 2mΩ 或 400μΩ 精密分流电阻以及 0.1% 或 0.5% 的精度。**INA253** 限于在 $T_A = 85^\circ\text{C}$ 时需要小于 ±15A 连续电流的应用，而 **INA254** 限于在 $T_A = 85^\circ\text{C}$ 时需要小于 ±50A 连续电流的应用。**INA253** 和 **INA254** 集成式分流电阻在内部通过开尔文连接方式连接到 **INA240** 放大器。**INA253** 或 **INA254** 提供了 **INA240** 放大器的性能优势，并具有精密分流电阻，可实现小于 0.2% 或小于 0.5% 的未校准总系统增益精度。

INA281 可用于高电压应用，例如电机中的高边电流检测。**INA281** 可在 -4V 至 110V 的共模电压下测量电流并承受 -20V 至 120V 的电压，因此适用于电压具有负摆幅的各种应用。

可选择使用 **INA381** 进行低边检测。该器件是一款成本优化型电流检测放大器，具有集成比较器，可减小 PCB 尺寸并简化设计。

表 2. 备选器件建议

器件	优化参数	性能权衡
INA241B	V_{CM} 范围：-5V 至 110V 双向	与 INA241A 相比，精度略低
INA281	V_{CM} 范围：-4V 至 110V	单向
INA381	集成比较器	V_{CM} 限制为 26V
INA253	2m Ω 集成式分流电阻， V_{CM} 范围：-4V 至 80V	最大连续电流为 $\pm 15A$
INA254	400 $\mu\Omega$ 集成式分流电阻， V_{CM} 范围：-4V 至 80V	最大连续电流为 $\pm 50A$

表 3. 相关的 TI 应用简报

文献编号	说明
SBOA160	具有 PWM 抑制功能的低漂移、内嵌式电机电流精密测量
SBOA176	开关电源电流测量
SBOA163	高边电流过流保护监测
SBOA554	移动机器人中的电流检测

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司