

Scott Hill

Current Sensing Products

随着提升系统效率的需求不断增长，我们面临着改善电机工作效率和控制功能的直接压力。几乎所有类型的电机均面临着这种需求压力，包括白色家电、工业驱动器和汽车应用中使用的电机。反馈回控制算法的电机运行特性至关重要，能够确保电机高效运行。相电流是系统控制器使用的重要诊断反馈元素之一，支持电机实现出色性能。

由于测量信号具有连续性并与相电流直接相关，因此如图 1 所示，测量电机电流的理想位置与各相一致。在其他位置（如每个相位的低侧）测量电流需要首先针对数据进行重新组合和处理，以便控制算法使用有意义的的数据。

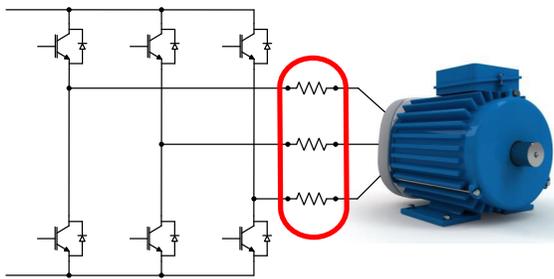
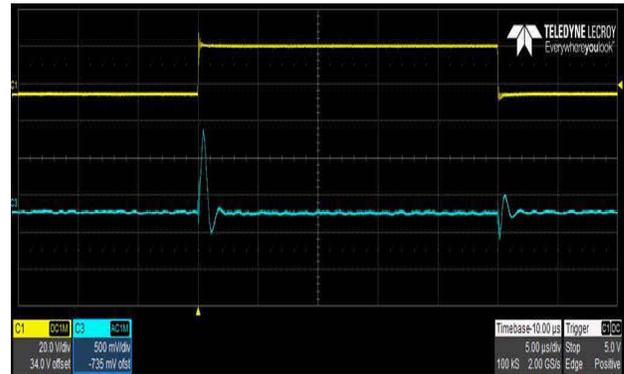


图 1. 直列式电流检测

电机的驱动电路通过生成脉宽调制 (PWM) 信号控制电机运行。这些调制信号使得位置与各电机相位一致的测量电路进行共模电压转换。在转换过程中，电压将在极短时间内于不同高电压水平之间进行切换。理想放大器能够完全抑制测量值的共模电压分量，同时仅对流经分流电阻器的电流对应的差分电压进行放大。不幸的是，实际使用的放大器并非理想放大器，大 PWM 驱动输入电压阶跃将对其产生影响。由于实际使用的放大器无法无限抑制共模电压分量，因此放大器输出将出现与每次输入电压阶跃相对应的大幅度意外干扰，如图 2 所示。这些输出干扰（或毛刺）可能极大，输入转换后需要很长时间方可趋于稳定，具体时间取决于放大器特性。

图 2. 大输入 V_{CM} 阶跃产生的典型输出毛刺

此类测量的常用方法是选择带宽较高的电流检测放大器。为了将频率保持在可闻范围之上，选择的调制频率通常介于 20kHz 至 30kHz 之间。在这些 PWM 驱动应用中进行直列式电流测量的放大器选择目标是信号带宽在 200kHz 至 500kHz 范围内的放大器。以往选择放大器时并不基于明显低于 PWM 信号带宽的实际信号带宽。选择较高放大器带宽的目的是使得输出毛刺在输入电压转换后快速趋于稳定。

INA240 是一款高共模双向电流检测放大器，专为这些类型的 PWM 驱动应用而设计。该器件利用集成增强型 PWM 抑制电路解决了在高共模电压阶跃过程中测量较低差分电压的问题，从而显著减弱输出干扰并快速实现稳定。标准电流检测放大器依赖高信号带宽使输出在阶跃后快速恢复，而 INA240 电流检测放大器具有内部 PWM 抑制电路，可以在改进输出响应的同时降低输出干扰。图 3 说明了 INA240 输出响应在此内部增强型 PWM 抑制功能作用下的改进。

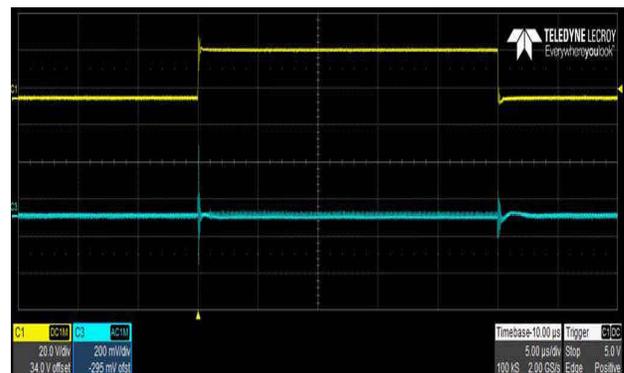


图 3. 通过增强型 PWM 抑制减少输出毛刺

对于许多三相应用，有少量与该直列式电流测量精度相关的要求。为了确保充分控制补偿回路，除了要求输出快速响应外，还需限制输出干扰，以免出现虚假过流指示。对于电动助力转向 (EPS) 等其他系统，需要通过精密电流测量为转矩辅助系统提供必要的反馈控制。EPS 系统的主要目标是通过附加转矩辅助驾驶员施加于方向盘的转矩，同时在转向响应中提供与驾驶条件相对应的典型感受。在这种严格受控的系统中，相间电流测量误差可能变得非常明显。各相位之间所有未加考虑的变化均将直接导致转矩纹波增大，驾驶员可通过方向盘察觉这种变化。减少测量误差，尤其是温度引发的误差对于保持精确反馈控制并提供无缝用户体验至关重要。

常用系统级校准能够不断降低室温下对于放大器性能的依赖性，从而提升测量精度。然而，随着运行温度的不断变化，考虑参数漂移（如输入偏移电压和增益误差）更具挑战性。良好的温度补偿机制基于放大器性能随温度变化的特性，同时依赖于各系统针对外部条件作出的一致且可重复响应。如果放大器在温度引起的移位最低时保持稳定的能力得到提升，对于复杂补偿方法的依赖程度将随之降低。

INA240 在室温下具有 $25\ \mu\text{V}$ 的最大输入失调电压和 0.20% 的最大增益误差规格。更重要的是，对于要求温度稳定测量的应用，该器件的输入失调电压温漂为 $250\text{nV}/^\circ\text{C}$ ，放大器增益温漂为 $2.5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。即使工作温度在系统的完整温度范围内发生变化，测量精度依然恒定不变。

INA253 和 **INA254** 包含集成式分流器，具有 **INA240** 放大器的所有性能优势。集成式分流器是一款具有 0.1% 容差 (**INA253**) 或 0.5% 容差 (**INA254**) 的低电感、精密 $2\text{m}\Omega$ 或 $400\mu\Omega$ 分流器，两者的温漂都小于 $15\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。**INA253** 是精度超高的电流检测放大器，可消除由于布局而引入的分流和寄生误差。

INA240 将测量温度稳定性、宽动态输入范围和增强型 PWM 输入抑制（这一点最重要）集于一体，适合需要精确可靠的测量来实现精确控制性能的 PWM 驱动应用。

备选器件建议

根据必要的系统要求，其他器件可提供所需的性能和功能。**INA282** 能够非常精确地测量大共模电压，这些电压的变化速度不会像 PWM 驱动应用的典型变化速度那样快，因此该器件适合高电压直流应用。**INA241B** 是一款双向电流检测放大器，用于采用 PWM 抑制技术的高共模电压。

表 1. 备选器件建议

器件	优化参数	性能权衡
INA282	共模输入范围：-14 V 至 +80 V； MSOP-8 封装	低带宽，适合直流应用

表 1. 备选器件建议 (continued)

器件	优化参数	性能权衡
INA241B	具有增强型 PWM 抑制功能的 -5V 至 110V、双向、高精度电流检测放大器	更高的 I_Q

表 2. 相关的 TI 应用简报

SBOA202	在 PWM 应用中使用低电感分流电阻进行电流检测的优势
SBOA163	用于提供过流保护的高侧电机电流监控

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