

具有增强型 PWM 抑制功能的低漂移、精密直列式电机电流测量

Scott Hill, 电流感测产品



随着提升系统效率的需求持续增长, 我们面临改善电机工作效率和控制功能的挑战。几乎所有电机类别均面临这种需求, 包括家电、工业驱动和汽车应用使用的电机同样包括其中。反馈回控制算法的电机运行特性至关重要, 能够确保电机以最高效率运行。相电流是系统控制器使用的重要诊断反馈元素之一, 支持电机实现最佳性能。

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数据。

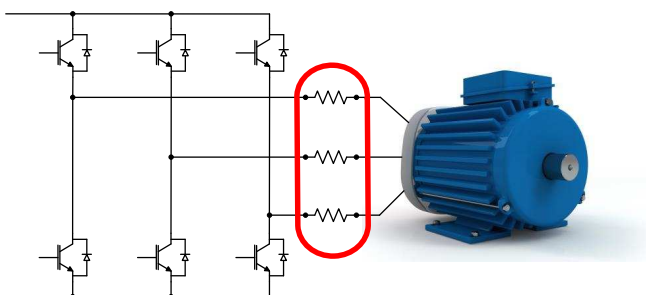


图 1. 直列式电流感测

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。

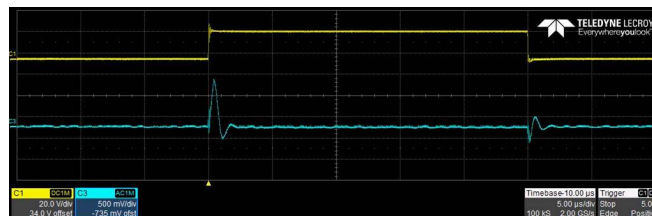


图 2. 大输入 V_{CM} 阶跃产生的典型输出毛刺

此类测量的常用方法是选择带宽较高的电流感测放大器。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。选择在这些 PWM 驱动应用中进行直列式电流测量所使用的放大器时, 主要考虑信号带宽介于 200kHz 至 500kHz 之间的放大器。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 是专为此类 PWM 驱动应用设计的高共模、双向电流感测放大器。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。标准电流感测放大器依靠高信号带宽使输出在阶跃后快速恢复, 而 INA240 采用的快速电流感测放大器使用内部 PWM 抑制电路, 在改善输出响应的同时降低输出干扰。图 3 演示了 INA240 输出响应在此内部增强型 PWM 抑制功能作用下的改进。

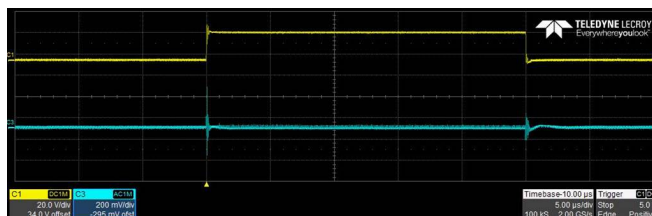


图 3. 通过增强型 PWM 抑制减少输出毛刺

众多三相应用对于这种直列式电流测量的精度几乎没有任何要求。为了确保充分控制补偿回路，除了要求输出快速响应外，还需限制输出毛刺，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 在室温下的最高输入偏移电压为 25 μ V，最大增益误差规范为 0.20%。对于需要进行温度稳定型测量的应用，更为重要的是该器件的输入偏移电压漂移为 250nV/ $^{\circ}$ C，放大器增益漂移为 2.5ppm/ $^{\circ}$ 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。

INA240 将测量温度稳定性、高动态输入范围、最为重要的增强型 PWM 输入抑制相结合，非常适用于需要通过准确可靠的测量精确控制性能的 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。如果应用要求的直列式电流感测性能水平低于 INA240 提供的性能，可使用 LMP8601 系列器件。INA282 能够精确测量高共模电压，此类电压不会出现 PWM 驱动应用常见的快速变化的情况，因此适用于高压直流应用。LMP8481 是一款双向电流感测放大器，适用于不要求放大器输入电压包含接地电压的高共模电压。

表 1. 备选器件建议

器件	优化参数	性能平衡
LMP8601	共模输入范围: -22V 至 +60V	带宽较低、精度较差
INA282	共模输入范围: -14V 至 +80V; MSOP-8 封装	低带宽, 适用于直流应用
LMP8481	低功耗: 155 μ A; MSOP-8 封装	共模输入范围: 4.5V 至 76V; 精度较低

表 2. 相关 TI 技术报告

SBOA161	《适用于三相系统的低漂移低侧电流测量》
SBOA162	《测量电流以检测超限条件》
SBOA163	《实现过流保护的高侧电机电流监测》
SBOA165	《高压电源轨的精密电流测量》

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等许可包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无屡发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司