

# 适用于三相系统的低漂移低侧电流测量

Scott Hill, 电流感测产品



电机驱动电路中存在多个测量电机相电流的位置。系统控制器使用电流信息的方式对于确定最佳测量位置发挥着重要作用。三相电机中存在四个最为常用的电流测量位置，如图 1 所示。每个测量位置均需在多个方面权衡，例如测量精度、高压电路要求以及信号响应时间。对于在各位置充分提供系统控制的测量电路，其复杂程度各有不同。

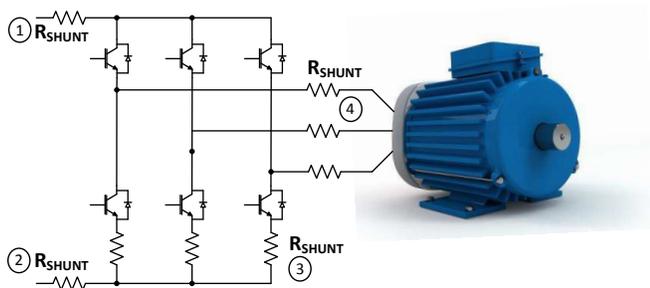


图 1. 三相系统中的测量位置

图 1 中的测量位置 1 和 2 是需要检测故障时的有效位置，无需向系统控制器提供实际电流信息。在这两个位置分别提取相电流信息极具挑战性，但这种方式更适合通过比较系统总电流检测接地短路、泄漏或其他超限问题。

由于共模电压水平受限，因此三相系统中电流控制的常用电流感测位置是每条相桥臂的低侧（图 1 中的测量位置 3）。低侧配置需要注意以下问题：当相位的低侧晶体管处于导通状态时，电流仅流经每条相桥臂。低侧相位测量中的电流脉冲特性与串联位置（图 1 中的测量位置 4）的连续电流不同。在位置 4 测量通过电流感测电阻的差分信号时，允许连续信号直接与电机相电流成正比。然而，由于 PWM 电机驱动电路导致该串联位置的共模电压大幅变化，因此需要使用特定电流感测放大器处理并抑制较高的  $dv/dt$  转换。

在低侧相桥臂配置中，电流仅在特殊低侧晶体管处于导通状态时流经分流电阻，此时需要放大器根据电流脉冲开关情况快速变换输出水平。当该晶体管导通并开始传导电流后，随即传输一路步进输入信号。放大器必须进行快速响应，通过放大信号允许输出跟随输入信号。处理器随后从该放大器获取开关输出波形并重组相电流信息，以提取后续应用于电机控制算法的电流信号。

电流感测放大器测量低侧相桥臂电流的一项核心要求是以足够快的速度适应根据 PWM 驱动电路开关频率及占空比确定的小幅测量时窗。放大器输出在针对测量进行采样前必须经过转换并处于稳定状态，从而为控制算法中所用处理器提供实际相电流的精确比例波形。

带宽、输出驱动和稳定要求取决于应用的开关频率和占空比范围。PWM 开关频率通常介于 20kHz 至 30kHz 之间，确保超出可闻频带。例如，如果以 25kHz 开关频率和 50% 占空比，在每半个周期的中间点进行采样，需要电流感测放大器输出在  $10\mu s$  内处于稳定状态，以确保精确测量顺利进行。如果放大器输出无法在有效时间内达到一定输出水平并充分稳定，则处理器无法为有效控制电机的控制算法生成比例波形。

稳定时间将随电机控制所需占空比的不同而发生变化，如图 2 所示。电机低速运行需要较小占空比来实现，这对于电流感测放大器在短时间内完成精确测量提出了挑战。电机控制算法中提供必要控制功能所需的占空比将决定电流感测放大器的必要带宽和稳定时间特性。

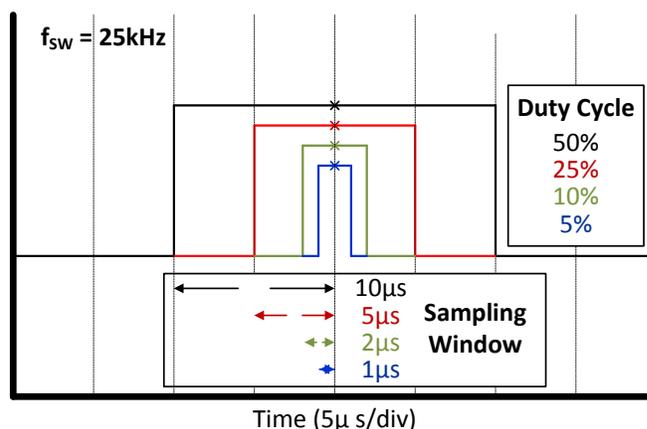


图 2. 占空比对稳定时间的影响

如果放大器未能在采样时窗内达到稳定状态，则处理的波形与相电流不成比例，电机控制算法的有效性随之下降。图 3 所示为带宽和输出驱动性能欠佳的放大器输出特性。随着输入电流信号不断开关，放大器的输出无法达到成比例的输出电压水平并处于稳定状态，因而形成三角波。

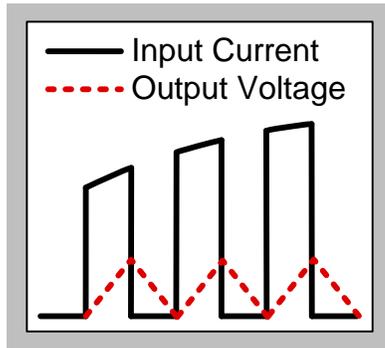


图 3. 转换率受限的输出

转换率和小信号带宽是确定放大器性能是否符合特定稳定时间要求的两大参数。转换率规范指示放大器输出电压响应输入信号快速变化的变化速度。理想放大器输出与低侧相桥臂的步进输入电流信号相匹配。转换率指示放大器响应步进输入信号的预期延迟。

放大器的小信号带宽同时在确定输出响应步进输入情况中发挥了重要作用。对于采用高增益配置的放大器，其开环带宽由相应闭环增益进行分频，从而形成更小的闭环小信号带宽。如果所选放大器带宽不足，稳定时间将会延长，导致输出响应速度进一步下降。

**INA301** 高速电流感测放大器将高输出级驱动能力与  $4\text{V}/\mu\text{s}$  转换率和  $550\text{kHz}$  信号带宽（增益为  $20\text{V/V}$ ）相结合。这种转换率与高速信号带宽的组合与板载过流比较器相结合，使得 **INA301** 成为测量低侧相电流的理想选择。

#### 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。对于测量精度要求较低，PWM 开关占空比接近 50% 的应用，使用 **INA199**。对于要求电流测量与电机各相保持一致的应用，使用 **INA240**。

表 1. 备选器件建议

器件	优化参数	性能平衡
<b>INA199</b>	封装：SC70-6，四方扁平无引线 (QFN)-10 封装	低带宽和占空比
<b>INA240</b>	增强型串联 PWM 抑制	封装：8 引脚薄型小尺寸 (TSSOP) 封装

表 2. 相关 TI 技术报告

<b>SBOA160</b>	《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》
<b>SBOA162</b>	《测量电流以检测超限条件》
<b>SBOA163</b>	《实现过流保护的高侧电机电流监测》
<b>SBOA165</b>	《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。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