

Arjun Prakash

Current Sensing Products

螺线管是一种机电设备，由线圈围绕可移动铁芯材料（也称电枢或柱塞）制成。电流流经线圈时会产生磁场，促使电枢在固定范围内移动。图 1 示出了一种机电螺线管。螺线管通常设计用于简单的开/关应用，例如只需要两种操作状态的继电器。这些螺线管也可设计用于电流与电枢位置成正比的线性操作。线性螺线管用于需要精确调节压力、流体或空气的多种应用中。在汽车应用中，线性螺线管用于燃油喷射器、变速器、液压悬架以及实现触觉效果。在需要精确气流控制的关键医疗应用以及需要重定向和控制流体流动的工业应用中，都可以看到线性螺线管。

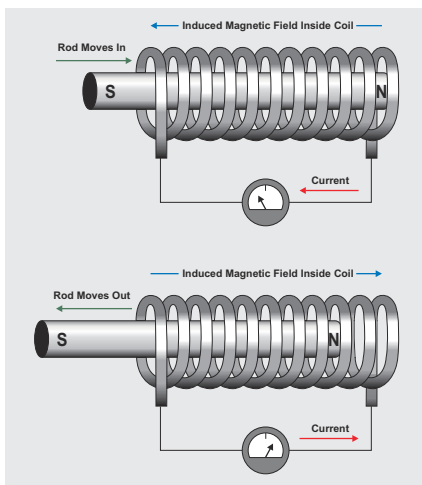


图 1. 机电螺线管结构

有多种配置用于连接和驱动螺线管。一种常见的螺线管驱动方法是采用高侧驱动器配置。在该配置中，电流检测放大器连接高侧开关与螺线管之间，如图 2 所示。该配置的一项优势是，当高侧开关断开时，螺线管与电池电压是隔离的。取消螺线管与电池电压的连续连接，可减缓螺线管老化和早期寿命故障，从而使系统更安全可靠。

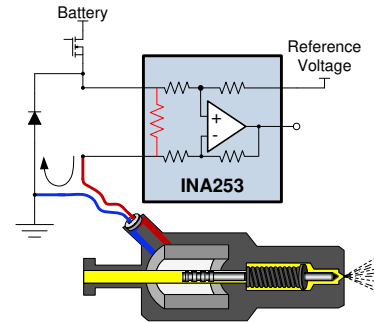


图 2. 具有高侧电流检测功能的高侧驱动

图 2 所示的电流检测放大器必须能够抑制高共模 dv/dt 信号，并支持低于接地电压的共模电压。在上述配置中，当高侧开关闭合时，螺线管由电池流出的电流进行供电。高侧开关的占空比决定了流经螺线管的电流，螺线管反过来控制柱塞的行程范围。当高侧开关断开后，电流流经反激二极管，强制共模电压将一个二极管的电压降至接地电压以下。

螺线管和阀门本质上是高度感应的。螺线管的有效阻抗可简化为电阻和电感。线圈采用铜 ($4000\text{ppm}/^\circ\text{C}$) 型材料绕制而成，有效电阻随螺线管的类型而异，范围为 $1\ \Omega$ （用于触觉应用）至 $10\ \Omega$ （用于线性或位置阀系统）。所有螺线管的电感均介于 1mH 至 10mH 之间。图 3 显示了 25°C 和 125°C 时开环模式下的螺线管驱动器的电流曲线示例。在不补偿铜电阻的情况下，环境温度升高幅度超过 100°C 时，柱塞行程精度约为 40%。螺线管电流直接控制柱塞的行程距离。如果环境温度发生变化，则柱塞的行程距离随之改变，这将影响压力、流体或空气调节等输出控制。

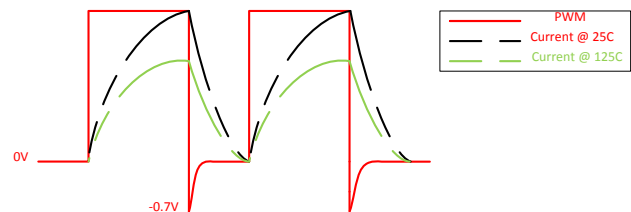


图 3. 整个温度范围内的螺线管电流曲线

通过测量螺线管和阀门应用中的电流，可以检测螺线管工作特征的变化。电流测量可以识别老化螺线管中磁场衰减的影响，从而检测故障元件以防失效。在开环螺线管控制系统中，当铜绕组温度上升 100°C 时，有效阻

抗的变化会漂移 40%。在电流控制反馈环路中进行电流测量，可通过 INA253 电流检测放大器将螺线管在整个温度范围内的阻抗变化从 40% 降低至 0.2%，从而使系统更加高效、可靠和安全。

INA253 是一款高侧双向电流检测放大器，集成了 $2\text{m}\Omega$ 低电感分流器，可支持 -4V 至 $+80\text{V}$ 的大共模电压。该集成分流器经过工厂校准，提供的总系统精度小于 0.1% 增益误差温漂小于 $15\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。INA253 专门设计用于在需要抑制高 dv/dt 瞬态的 PWM 应用中工作。INA253 设计有抑制 dv/dt 信号的电路。这一特性缩短了消隐时间，使得在低占空比条件下能够精确地测量 PWM 电流。该器件的低失调电压、漂移、增益和 400kHz 高带宽有助于精确地测量 PWM 应用中的线内电流。通过使用 INA253，电流测量中的准确性和温度稳定性有助于所有需要精准控制流体、空气和压力的阀门应用。INA253 的集成精密分流器在整个温度范围内可提供的高精度位置控制小于 0.2%，因此无需在整个温度范围内进行电流测量校准。

备选器件建议

INA241 是一款超精密的模拟电流检测放大器。INA241 可用于高压双向应用，配置有 1MHz 带宽、 $12\mu\text{V}$ (最大值) 的低失调电压、 $250\text{nV}/^\circ\text{C}$ (最大值) 的漂移和 0.05% 的增益，从而为螺线管应用内的线内测量提供快速响应时间和精密控制。INA241 可以在 -5V 至 110V 的共模电压下测量电流，并能承受 -20V 至 120V 之间的电压。

INA293 是另一款推荐用于此种应用的器件。INA293 是一款单向电流检测放大器，可支持 -4V 至 110V 的共模电压，并承受 -20V 至 120V 的电压。由于在连接螺线管时会出现电感反冲，故这种承受高负共模电压的能力非常重要。INA293 还具有 1MHz 的高带宽，能够在过流情况下实现快速响应。此外，INA293 是一款高精度电流检测放大器，具有 $15\mu\text{V}$ 的低失调电压和 0.15% 的增益误差。

INA281 单向电流检测放大器是另一款推荐的器件。INA281 支持 -4V 至 110V 的共模电压，还可以承受 -20V 至 120V 的电压。INA281 具有 1MHz 的高带宽，用于对线内测量实现快速响应。

表 1. 备选器件建议

器件	经优化的参数	性能权衡
INA241	V_{cm} : -5V 至 110V , 双向, 带宽 : 1MHz , V_{os} : $12\mu\text{V}$	更高 I_{Q}
INA293	V_{cm} : -4V 至 110V , 带宽 : 1.3MHz , V_{os} : $15\mu\text{V}$	无增强型 PWM 抑制功能
INA281	V_{CM} 范围 : -4V 至 110V , 带宽 : 1.3MHz	无增强型 PWM 抑制功能, 失调电压 : $50\mu\text{V}$

表 2. 相关的 TI 应用简报

文档	标题
SBOA189	使用分立式电流检测放大器在 LED 照明中实现精细的亮度和色彩混合
SBOA161	用于三相系统的低漂移低侧电流测量
SBOA163	用于过流保护的高侧电机电流监测
SBOA193	在 PLC 系统中使用电流检测放大器为分立式数字输出提供安全和保护

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司