

Arjun Prakash and Mubina Toa

Current Sensing Products

半导体行业一直在寻求技术改进，从而能够实现功率密度更高的系统。H 桥便是此种电路。如图 1 中所示，H 桥是由 4 个连接在负载之间的 FET 晶体管组成的简单电路。当需要控制和管理从电源到负载的电流方向时，通常使用 H 桥。如果是高感性负载，通过控制 H 桥，存储在负载中的能量也能安全地放电到接地。H 桥电路通常用于电机控制、DC/DC 转换器、音频子系统和 LED 照明控制，从而使系统更安全，更可靠。由硅 FET 晶体管组成的 H 桥通常可实现 95% 以上的效率，而 GaN FET 晶体管允许效率超过 99%。效率更高的 H 桥与电流检测放大器相结合，以监控、管理和控制负载电流，从而提升安全性、可靠性并全面提高终端设备的功效。

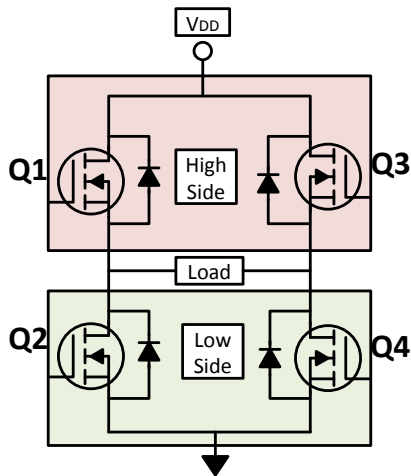


图 1. H 桥电路

### 全 H 桥电路配置和控制

可通过打开和关闭 FET 来控制 H 桥。脉宽调制 (PWM) 方案是一种用于创建不同波形以控制电流流动的有效方法。通过控制 PWM 波形的占空比，可有效地控制流入负载的电流。图 2 所示为具有不同占空比的 PWM 波形。通过调节 PWM 发生器的占空比，可精确控制流入负载的输出电流。

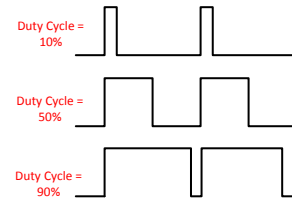


图 2. H 桥的脉宽调制方案

在使用 PWM 波形控制 H 桥时，必须进行仔细考虑，从而确保电池与接地之间不会发生直接短路。例如，在图 1 中，不要同时打开 Q1 和 Q2。这种情况会造成高电流击穿，从而可能损坏相应的电子驱动电路。表 1 介绍了全 H 桥控制的可能状态。

表 1. H 桥的工作状态

Q1	Q2	Q3	Q4	负载状态
打开	关闭	关闭	打开	电流从 H 桥流向负载
关闭	打开	打开	关闭	流入负载的电流方向相反
关闭	打开	关闭	打开	为负载向接地放电提供安全路径
打开	关闭	打开	关闭	再循环电流存储在负载中
关闭	打开	关闭	打开	再循环电流存储在负载中
打开	打开	关闭	关闭	电池对接地短路
关闭	关闭	打开	打开	电池对接地短路
打开	打开	打开	打开	电池对地短路

### 用于电机控制的 H 桥中的电流测量

全 H 桥电机控制中的双向电流检测对于监控和控制系统的可靠性和安全性至关重要。精确测量 H 桥中的电流可精确地控制电机的扭矩或在步进电机中精确地设置位置。

图 3 描述了 H 桥中常用的高侧、内嵌式和低侧电流测量位置。由于电机是高电感型电机，因此 PWM 输出从低电平到高电平切换期间趋于发生过冲，而从高电平到低电平切换期间趋于发生下冲。放大器的过冲和下冲特征对于选择正确元件非常重要。电流检测放大器能够承受过冲和下冲条件、响应速度快并且能够满足电感系统的严苛要求至关重要。通过向系统提供有价值的电流检测数据，有助于检测电机或其他电感系统特性的异常，从而防止过早出现故障。

表 2 描述了在 H 桥中的多个位置测量电流的优点和缺点。

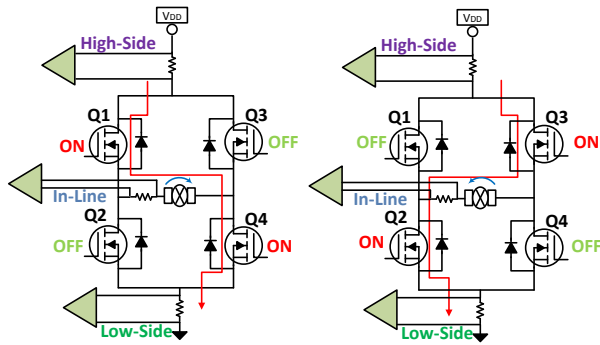


图 3. H 桥控制系统中的电流检测位置

表 2. H 桥中的电流检测

电流测量	优点	缺点
高侧	检测电池的短路负载以进行诊断	高压共模放大器
内嵌	直接测量电机电流，低带宽放大器	高 dv/dt 信号。PWM 趋稳时间
低侧	低成本，低共模电压	无法检测短路负载

**INA240** 电流检测放大器可在共模电压为  $-4\text{V}$  至  $80\text{V}$  下工作。在 H 桥应用中，无论测量位置是在高侧、线内还是低侧，都可以使用 **INA240**。低失调电压 ( $25\mu\text{V}$ ) 和低电压温漂 ( $0.25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) 以及低增益误差 ( $0.2\%$ ) 和增益漂移 ( $2.5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ) 相结合使其适用于精确测量，而不受系统温度的影响。除了高性能直流规格之外，**INA240** 还设计用于运行并抑制  $dv/dt$  瞬态，从而支持在线内测量位置上进行实时负载电流测量。线内检测的系统级优势是通过降低闭环控制系统对处理功率的要求来实现更高的功率密度。

### 备选器件建议

**INA241** 是一款超精密模拟电流检测放大器。**INA241** 可用于高压双向应用，配置有  $1\text{MHz}$  带宽，从而在 H 桥应用内提供快速响应时间和精密的线内测量。

**INA241** 可以在  $-5\text{V}$  至  $110\text{V}$  的共模电压下测量电流，并能承受  $-20\text{V}$  至  $120\text{V}$  之间的电压。

**INA253** 或 **INA254** 器件是超精密电流检测放大器，具有集成式低电感、精密  $2\text{m}\Omega$  或  $400\mu\Omega$  分流器，精度为  $0.1\%$  或  $0.5\%$ ，温漂小于  $15\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。**INA253** 限于在  $T_A = 85^\circ\text{C}$  时需要  $< \pm 15\text{A}$  连续电流的应用，而 **INA254** 限于在  $T_A = 85^\circ\text{C}$  时需要  $< \pm 50\text{A}$  连续电流的应用。**INA253** 和 **INA254** 集成式分流器在内部通过开尔文连接方式连接到 **INA240** 放大器。**INA253** 和 **INA254** 器件提供了 **INA240** 放大器的性能优势，并具有精密分流器，可实现小于  $0.2\%$  的未校准总系统增益精度。

**INA281** 可用于高电压应用，例如电机中的高侧电流检测。**INA281** 可在  $-4\text{V}$  至  $110\text{V}$  的共模电压下测量电流并承受  $-20\text{V}$  至  $120\text{V}$  的电压，因此该器件适用于电压具有负摆幅的各种应用。

低侧检测的一个选项为 **INA381**，这是一个成本经过优化的电流检测放大器，具有集成比较器，用于减小 PCB 占用空间并简化设计。

表 3. 备选器件建议

器件	优化参数	性能权衡
<b>INA241</b>	$V_{CM}$ 范围： $-5$ 至 $110\text{V}$ 双向	$I_Q$ 稍高
<b>INA281</b>	$V_{CM}$ 范围： $-4\text{V}$ 至 $110\text{V}$	单向
<b>INA381</b>	集成比较器	$V_{CM}$ 限制为 $26\text{V}$
<b>INA253</b>	$2\text{m}\Omega$ 集成分流器， $V_{CM}$ 范围： $-4\text{V}$ 至 $80\text{V}$	最大连续电流为 $\pm 15\text{A}$
<b>INA254</b>	$400\mu\Omega$ 集成式分流器， $V_{CM}$ 范围： $-4\text{V}$ 至 $80\text{V}$	最大连续电流为 $\pm 50\text{A}$

表 4. 相关的 TI 应用简报

文档	标题
<a href="#">SBOA160</a>	具有 PWM 抑制功能的低漂移、线内电机电流精密测量
<a href="#">SBOA176</a>	开关电源电流测量
<a href="#">SBOA163</a>	高侧电流过流保护监控
<a href="#">SBOA187</a>	开关电源中的电流模式控制

## 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