

Arjun Prakash and Mubina Toa; Current Sensing Products

半导体行业一直在寻求改进，希望开发出更好的技术支持功率效率更高的系统。H 桥电路便是其中的一项成果。如图 1 所示，H 桥是包含 4 个连接在负载之间的 FET 晶体管的一种简单电路。当需要控制和管理从电源到负载的电流方向时，经常会使用 H 桥。如果负载的电感较高，也可通过控制 H 桥来安全地释放存储在负载中的能量。H 桥电路通常用于电机控制、直流/直流转换器、音频子系统和 LED 照明控制。包含硅 FET 晶体管的 H 桥通常可实现 95% 以上的效率，而 GaN FET 晶体管可实现 99% 以上的效率。将更高效率的 H 桥与电流感应放大器相结合，用于监视、管理和控制负载电流，从而提升安全性并全面提高终端设备的效率。

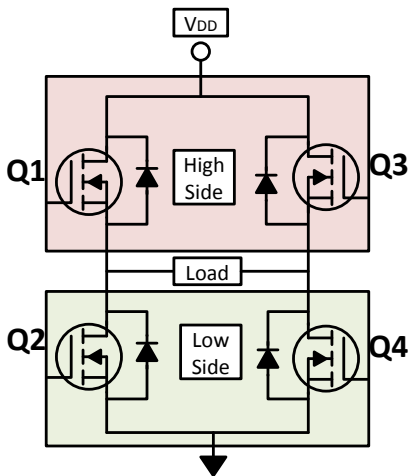


图 1. H 桥电路

全 H 桥电路配置和控制

可通过打开和关闭 FET 来控制 H 桥。脉宽调制方案 (PWM) 是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。

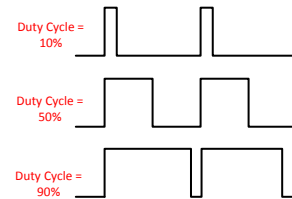


图 2. H 桥的脉宽调制方案

在使用 PWM 波形控制 H 桥时，必须考虑周详，以确保电池与接地之间不会发生直接短路。例如，在图 1 中，绝不能同时打开 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 桥的运行状态

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	为负载提供对地放电的安全路径
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	电池对地短路
关闭	关闭	打开	打开	电池对地短路
打开	打开	打开	打开	电池对地短路

为进行电机控制而测量 H 桥中的电流

全 H 桥电机控制中的双向电流感测功能对于安全、监控和反馈控制而言至关重要。精确测量 H 桥中的电流可精确地控制电机的扭矩或精确地在步进电机中设置位置。

图 3 描述了 H 桥中常用的电流测量位置：高侧、串联和低侧。电机的电感较高，因此 PWM 输出容易在从低到高的变换期间发生过冲，在从高到低的变换期间发生下冲。在选择放大器时，一定要注意它的过冲和下冲特性。可承受过冲和下冲的电流感应放大器将能够满足电感系统的严苛要求，并且可提供有价值的电流信息，用

以检测出会导致早期故障的电机异常。表 2 描述了在 H 桥中的多个位置测量电流的优点和缺点。

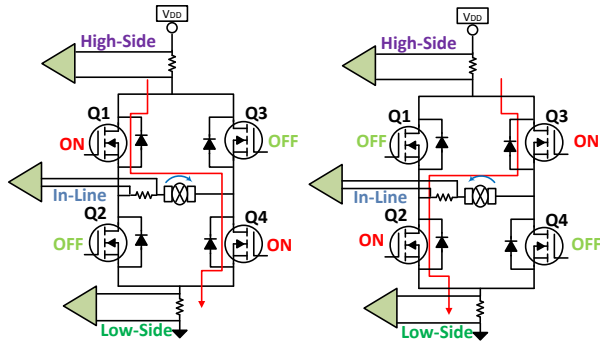


图 3. H 桥控制系统中的电流感测位置

表 2. H 桥中的电流感测

电流测量	优点	缺点
高侧	检测与电池发生短路的负载以进行诊断	高电压共模放大器
串联	直接测量电机电流、低带宽放大器	高 dv/dt 信号。PWM 稳定时间
低侧	低成本、低共模电压	无法检测短路负载。

INA240 电流感应放大器可通过 -4V 至 80V 的共模电压运行。在 H 桥应用中，无论测量位置是高侧、串联还是低侧，都可使用 **INA240**。低偏移 ($25\mu\text{V}$) 和低电压偏移漂移 ($0.25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) 以及低增益误差 (0.2%) 和增益漂移 ($2.5\text{ppm}/^\circ\text{C}$) 使其适用于精确测量，无论系统温度如何。除了高性能直流规格之外，**INA240** 还能够运行并抑制 dv/dt 瞬态，从而支持在串联测量位置进行实时负载电流测量。串联感应的系统级优势可降低闭环控制系统对处理能力的要求，从而实现更高的效率。

备选器件建议

INA253 是超精确电流感应放大器，具有集成式低电感、精密 $2\text{m}\Omega$ 分流器，精度为 0.1% ，温度漂移小于 $15\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。**INA253** 仅限于在 T_A 为 85°C 时需要 $\pm 15\text{A}$ 连续电流的应用。**INA253** 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** 包含精密分流器，具有 **INA240** 放大器的性能优势，可提供小于 0.2% 的总未校准系统增益精度。

INA281 可用于高电压应用，例如电机中的高侧电流感应。**INA281** 可在 -4V 至 110V 的共模电压下测量电流并承受 -20V 至 120V 的电压，因此适用于电压具有负摆幅的各种应用。

低侧检测可选择 **INA381**，这是一个带有集成比较器的成本优化型电流感应放大器，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
INA281	V_{CM} 范围： -4V 至 110V	单向
INA381	集成比较器	V_{CM} 限为 26V
INA253	$2\text{m}\Omega$ 集成式分流器、 V_{CM} 范围： -4V 至 80V	$\pm 15\text{A}$ 连续电流最大值

表 4. 相关 TI 技术手册

SBOA160	《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》
SBOA176	《开关电源电流测量》
SBOA163	《高侧电流过流保护监控》
SBOA187	《开关电源中的电流模式控制》

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

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 © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司