

数字化智能电机驱动器的驱动方法(霍尔电流传感器

ACS712/AH91X 应用案例)

随着无人机和多电飞机的发展，更高的功率和效率成了机载电机驱动器的主要研究方向之一。现有的 Si MOSFET 开关速度虽快，但耐压和耐流能力有限，无法实现大功率输出，而 IGBT 由于存在关断拖尾电流，开关速度较慢，开关损耗较大。SiC MOSFET 的高耐压、高开关速度能有效提升电机驱动器的功率和效率，但更高的开关速度和更大的功率对驱动器的快速响应能力和故障快速保护能力提出了更高的要求。此外，舵机控制器内部兼具功率驱动电路和信息处理电路，SiC MOSFET 功率驱动电路高速开关带来的电磁干扰问题会影响信息处理电路部分工作，有甚者会影响到上级系统工作。这对舵机控制器信息处理电路及上级系统抗干扰设计提出了较高要求。如何突破舵机控制器设计瓶颈，解决 SiC MOSFET 驱动设计难题，提高舵系统可靠性和抗干扰性能成为业内探索的一个热门方向。

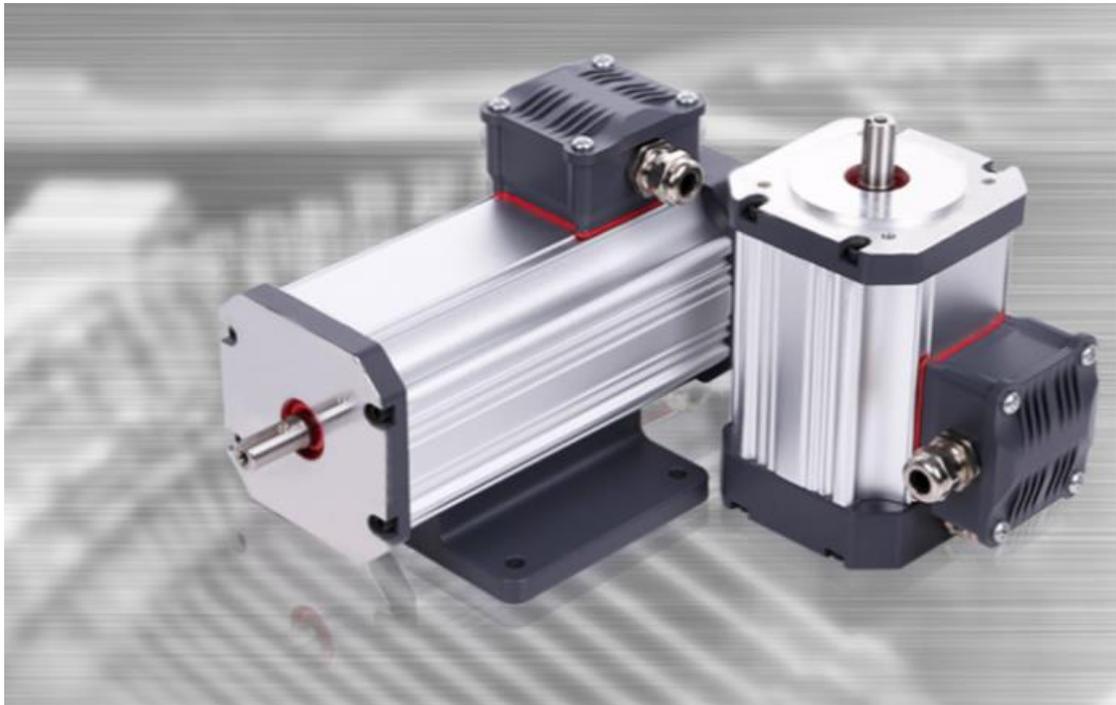


随着电子技术的发展，数字信号处理电路数字化、智能化、集成化设计以成为一种发展趋势，也为解决上述难题提供了一个新思路。通过将 Si 基功率器件替换为 SiC MOSFET，可以有效提高功率电路的电压、电流等级，同时其较高的开关速度也能降低开关损耗，提高驱动器动态控制性能。然而，由于 SiCMOSFET 的高速开关行为，会给驱动电路引入桥臂串扰和高频电磁干扰，且开关频率提升后，死区时间占整个周期的比例变大，会增加电机的电压电流波形畸变，影响电机性能，同时高速开关要求控制电路有更高的动态响应能力，因此电机驱动器需要针对 SiC MOSFET 的特点进行优化。而数字化、智能化的设计思路可以有效解决 SiC MOSFET 带来的问题，实现整个电机驱动器系统的优化设计。

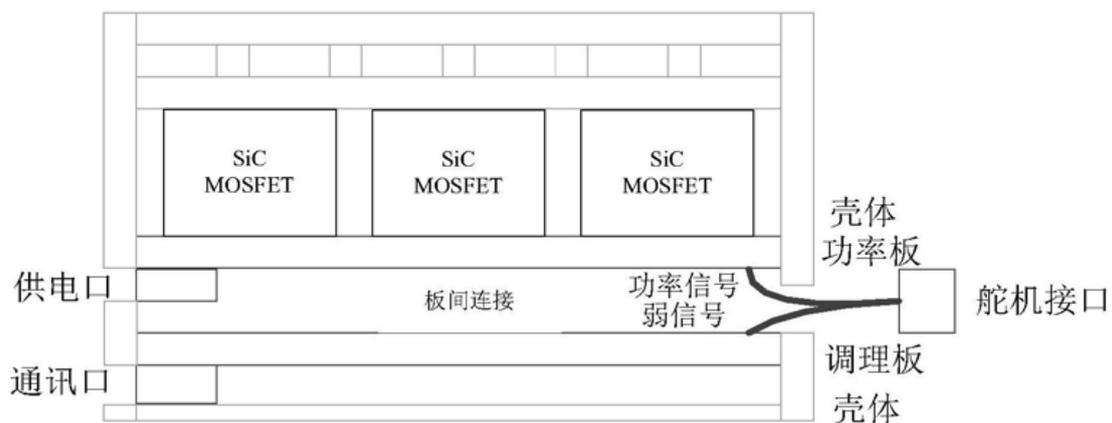
在这一设计中，功率驱动单元的优化设计是重要一环，如何实现功率驱动单元与数字信息处理单元的数据交互，如何在信息处理平台与功率驱动单元相距 5~10 米的远距离条件下实现两者长距传输通讯抗干扰，如何在不同负载条件下对驱动参数进行实时的自适应优化，如何在故障后尽快且尽量安全的对功率电路进行保护是重要的研究内容。

本文针对基于 SiC MOSFET 的三相全桥电机驱动器应用场景，提供一种数字化智能电机驱动器及驱动方法，为解决 SiC MOSFET 智能驱动问题、数字电路与功率驱动电路数据交互抗干扰问题、桥臂串扰问题、死区时间自适应优化问题、功率驱动器

过流过压保护问题、电机霍尔及位置传感器供电问题等提供一种行之有效的解决方案。



该电机驱动器具有磁耦隔离、二次电源变换、霍尔换相控制、过压泄放抑制、过流限流保护、短路软关断保护、死区时间自适应优化、驱动参数智能调节、温度采样、电流采样等功能，能够根据数字信息处理平台传来的差分式 PWM 信号及方向信号，实现一路舵机的驱动控制，能够对舵机运行过程中反电动势造成的过压浪涌进行泄放抑制，能够对舵机工作电流进行限流，能够在短路故障时及时安全的关断功率电路，能够根据功率回路电流大小自适应调节死区时间，能够根据负载条件自动调节驱动参数，能够通过差分总线实时反馈舵机驱动器内部温度、电流，能够对 CAN 接口反馈位置传感器和电机霍尔进行供电，并完成反馈位置传感器与信息处理平台信息交互的中转。



图一 基于 SiC MOSFET 的三相全桥数字化智能驱动器结构及接口
布局图

为实现上述目的，采取以下技术方案。第一方面，提供一种基于 SiCMOSFET 的三相全桥数字化智能电机驱动器，三相电机驱动器主要由功率板、调理板及结构体构成，无内置软件。包括功率板、调理板及结构体构成；

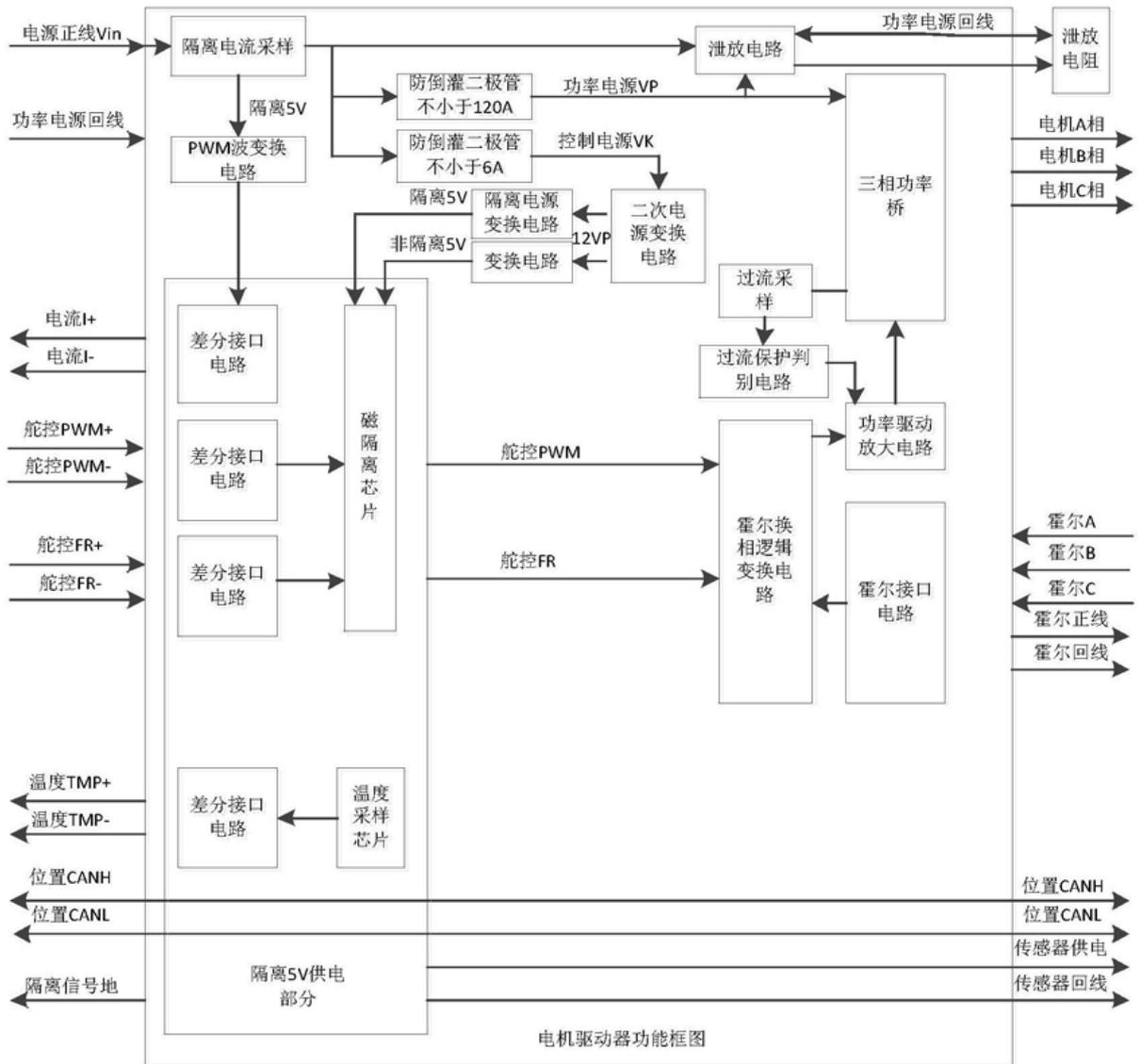


图 2 基于 SiC MOSFET 的三相全桥数字化智能驱动器功能框图。

功率板采用铝基电路板，主要用于实现电能转换、功率驱动、能量泄放及电流采样等功能，包含防倒灌电路、泄放电路、功率驱动电路、功率桥式电路、过流保护电路、电流隔离采样电路部分，利用铝基电路板散热良好的优势，将铝基电路板与散热结构体固联，实现功率驱动器的良好散热。调理板采用 FR4 环氧树脂板，用于实现接口信号处理、数字信号转换、状态监控、故障保护等功能，主要包含信号处理电路、差分接口电路、磁隔离

接口电路、隔离电源变换电路、二次电源变换电路、霍尔接口电路、霍尔换相逻辑变换电路、电流采样转换电路、温度采样电路。所述结构体主要用于固联功率板和调理板，并为功率器件提供良好的散热载体。

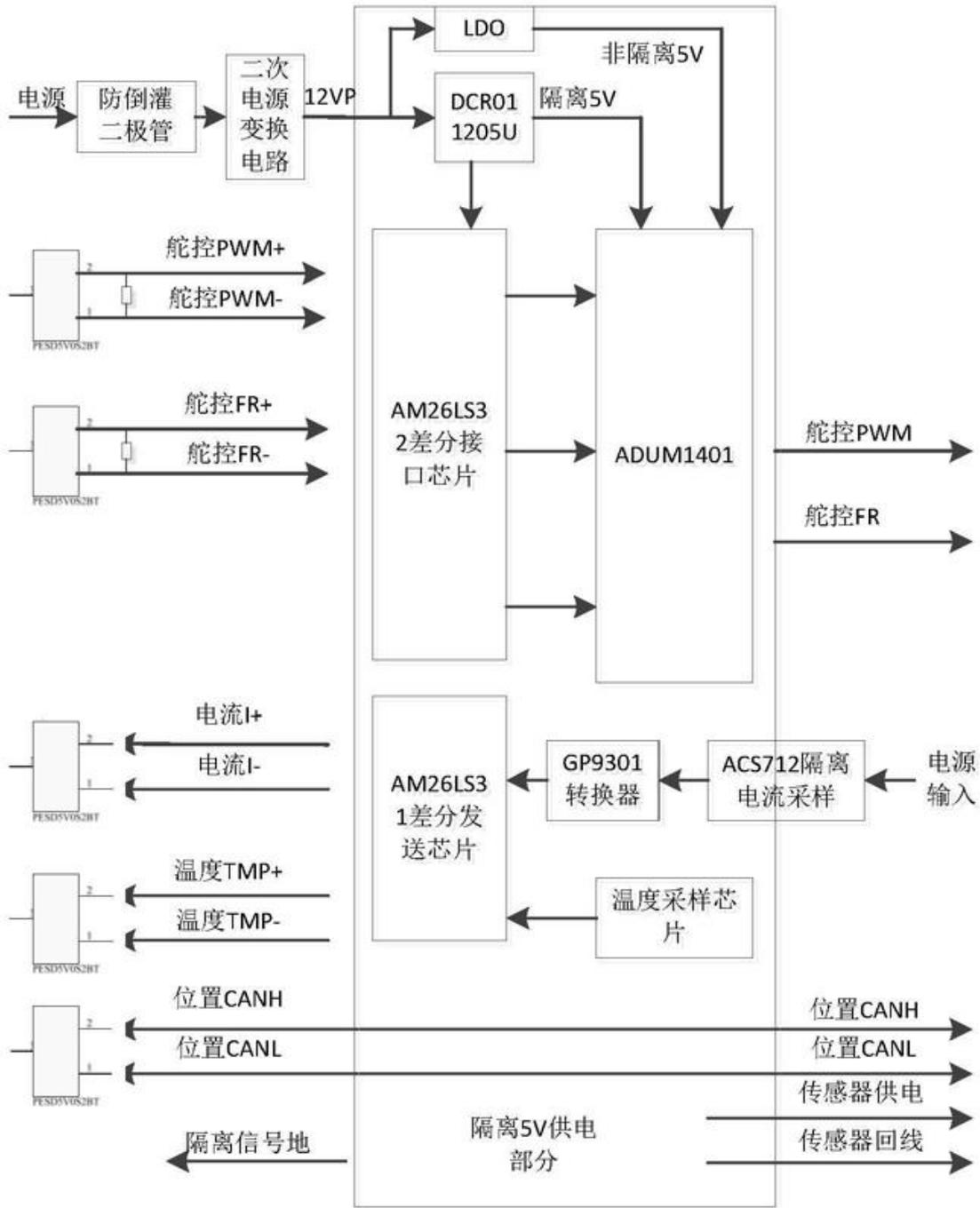


图 3 隔离差分转换、温度和电流采样以及电源变换电路原理框图。

防倒灌电路，针对功率电路和控制电路单独设计，功率电路部分选用 1200V 耐压，120A 额定过电流能力的功率二极管，串入功率驱动器电源正线中，用于防止电机制动时功率母线 VP 的电流倒流至供电电源输入端；控制电路部分选用耐压 250V，额定过电流能力 6A 的功率二极管，串入功率驱动器电源正线中用于防止控制母线 VK 的电流倒流至供电输入端；泄放电路，采用 PMOS 作为功率控制器件，采用功率电阻作为耗散负载，当防倒灌功率二极管后级电压大于二极管前级电压 3V 以上时，PMOS 器件导通，功率母线 VP 上的电流经电阻进行泄放，从而避免母线电压进一步上升，其中泄放电阻采用外置方式。

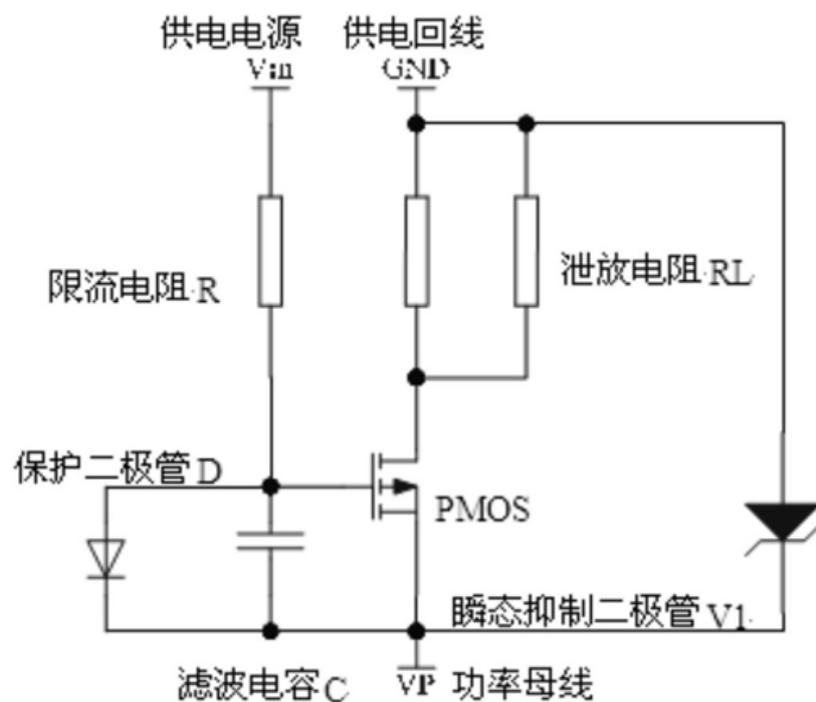


图 4 泄放电路原理图。

功率驱动电路，采用 BM6104-FV 作为驱动芯片，该芯片根据霍尔换相逻辑电路计算输出的 PWM 信号，将控制信号放大，输出用于三相桥式电路门极驱动信号。BM6104-FV 内部集成了短路保护功能及有源箝位输出功能。短路保护功能可以检测 SiC MOSFET 漏源电流大小，在过流时会通过大电阻回路 PROOUT 进行软关断，在缓冲时间内若电流恢复正常，则后续驱动芯片会恢复正常工作，若缓冲时间过后仍检测到过电流，则判定为短路，进行强制关断。软关断电路一方面可以及时限制过流，另一方面也留出缓冲，避免瞬间关断过电流功率回路导致瞬态电流变化率过高产生的极限尖峰电压将功率器件甚至整个驱动器击穿。有源箝位输出功能可以在驱动电路的正常工作中依时序在功率器件关断后将有源米勒箝位 MOSFET 打开，通过米勒电容吸收高频开关及桥臂串扰对驱动回路产生的干扰电压，同时在功率器件开通前将有源米勒箝位 MOSFET 关断，切断米勒电容与栅源极的连接，避免影响 SiC MOSFET 的高速开关。三相功率桥式电路，由 3 个耐压不小于 1200V，过电流能力不小于 400A 的 SiC MOSFET 半桥功率模块通过桥式连接方式构成，桥式电路母线上并联容值不小于 100 μ F，耐压不小于 1200V 的无极性电容器。过流保护电路，利用 SiC MOSFET 的输出特性，结合功率驱动芯片 BM6104-FV 内置的去饱和检测电路，通过调节分压电阻的值来确定过流电流对应的漏源电压，由于去饱和电压与功率电流存在对应关系，因此可以通过 SiC MOSFET 的负载特性确定限流电流的大小，例案中的设计值为 120A。电流隔

离采样电路，采用 ACS712 (或 AH91X) 隔离电流采样芯片，对电源输入的电流进行采样，并经过 PWM 调制电路，调制成 PWM 波，经差分接口电路输出，用于数字处理平台对电流进行实时监控。

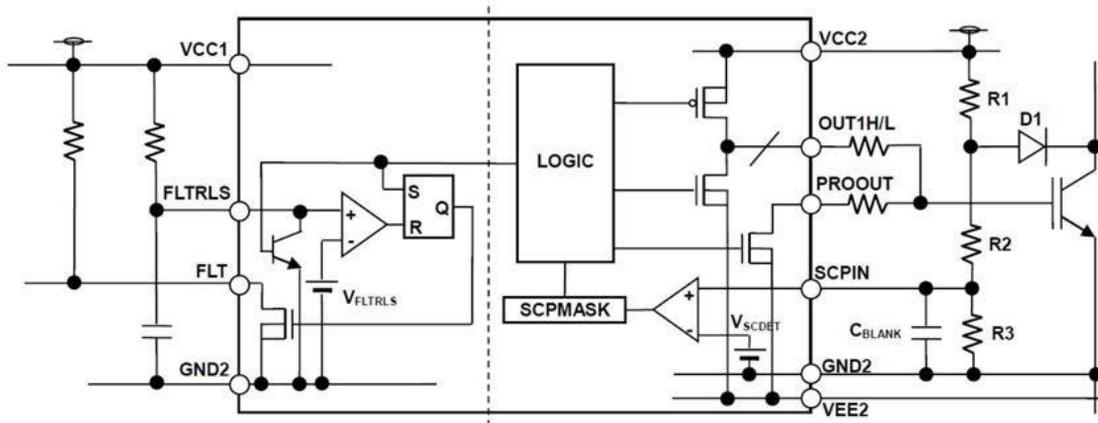
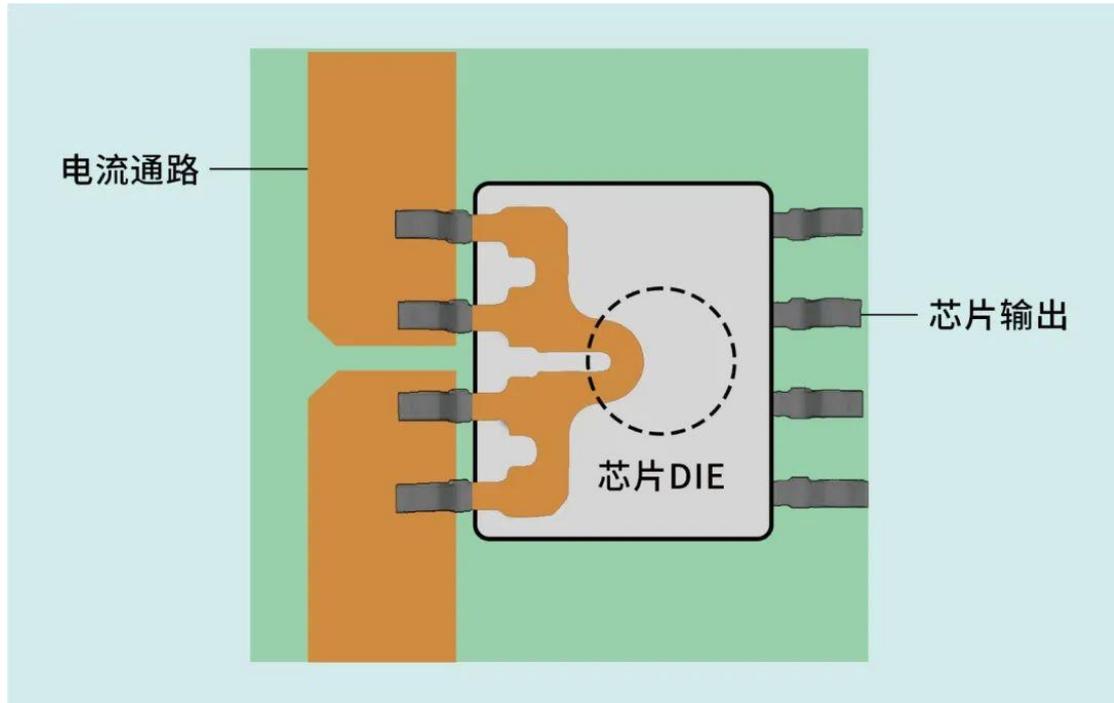


图 5 过流采样及保护电路原理图。

信号处理电路主控芯片采用 DSP 控制，接收差分电路发出的 PWM 形式的电流采样信号和温度采样信号以及指令信号，通过运算得出相应的 PWM 控制信号及 F/R 方向信号给驱动电路。差分接口电路采用 AM26LS31 和 AM26LS32 作为差分接口芯片，该器件兼

容 RS422 接口电平形式，其中 AM26LS31 用于发送 PWM 形式电流采样信号和 PWM 形式温度采样信息，将 TTL 电平信号转换成 RS422A 差分信号。AM26LS32 用于接收差分舵机控制 PWM 信号和 FR 方向控制信号，将 RS422A 差分信号转换成 TTL 信号。

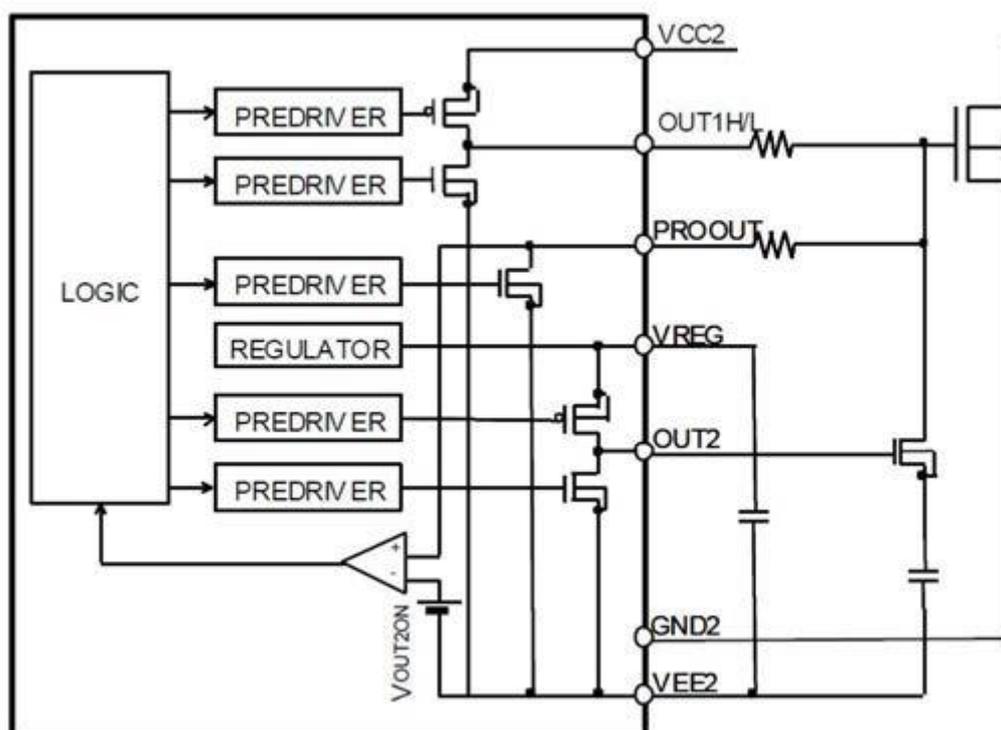


图 6 是有源钳位抗串扰电路原理图

隔离电源变换电路用于将二次电源变换电路变换出来的 12V 电压信号转换成 5V 隔离电压信号用于为磁隔离转换电路、差分接口电路及反馈位置传感器供电。二次电源变换电路用于将功率母线电压转换成 12V 控制电源，具备不小于 5W 的功率输出能力，为功率驱动器及霍尔传感器供电，并通过 LDO 转换出非隔离 5V 信号用于磁隔离芯片功率端供电。

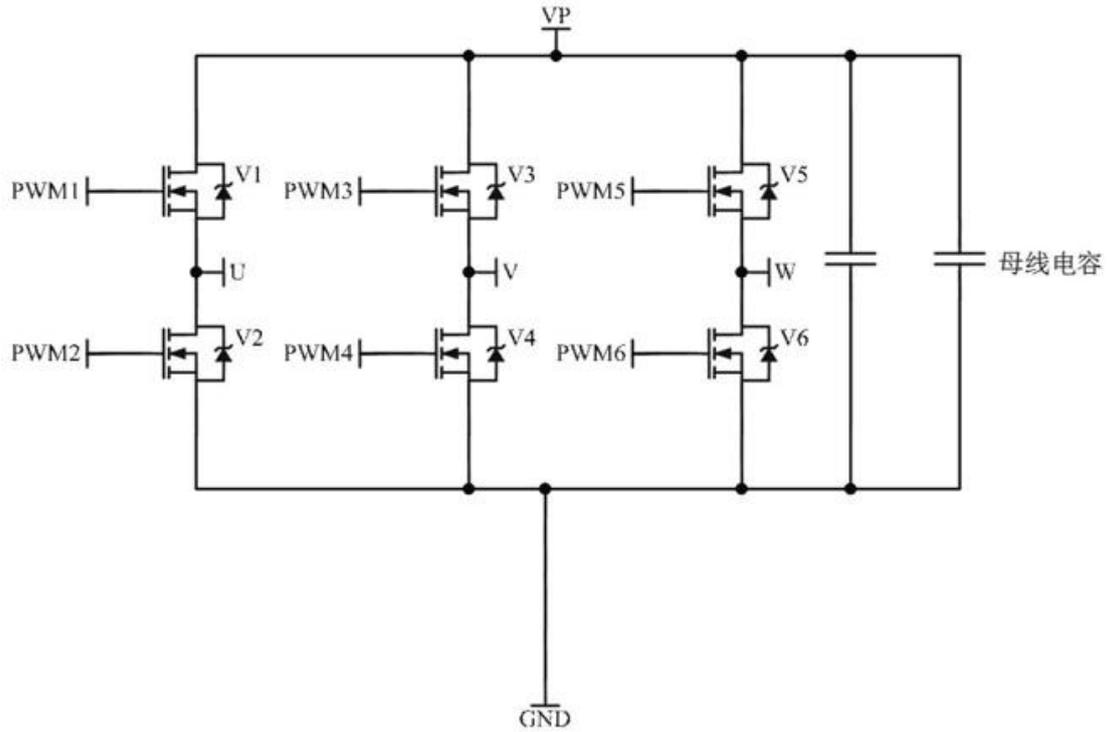


图 7 功率桥式电路框图

霍尔接口电路用于接收电机霍尔信号，采用 RC 滤波电路进行滤波，并使用齐纳二极管对端口进行保护，霍尔接口电路输入端上拉 10k 欧姆电阻至霍尔电源。霍尔换相逻辑变换电路，根据将霍尔信号、PWM 信号及方向信号，进行逻辑运算，按照受限单极性驱动方式输出 6 路 PWM 控制信号。电流采样转换电路，将电流采样电路输出的电压信号转换成 2KHz 的 PWM 波，并输出给差分接口电路。温度采样电路，采用 PWM 接口形式温度传感器，该传感器采用隔离 5V 供电，温度采样范围 $-55^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。PWM 输出的温度信号经差分转换后输出。

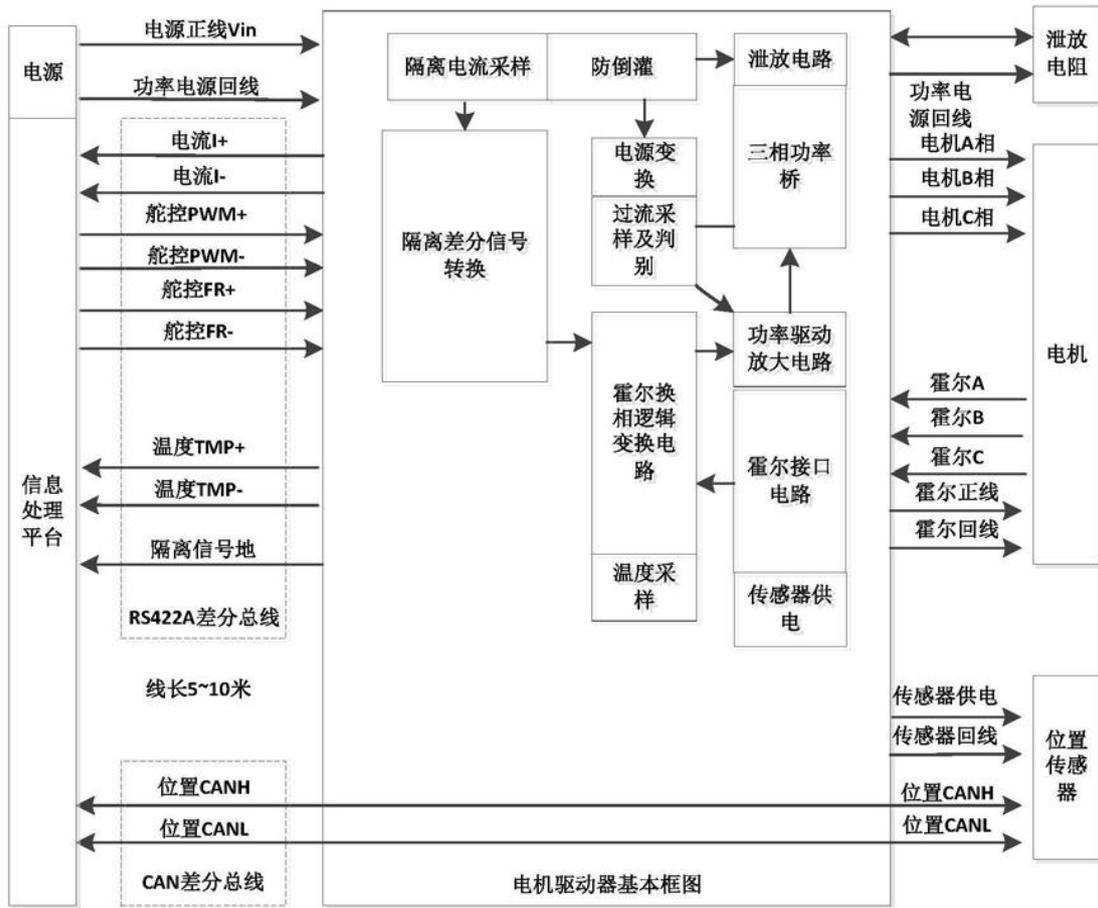


图 8 基于 SiC MOSFET 的三相全桥数字化智能电机驱动器图。

文章中提到的 AH91X 霍尔电流传感器 IC，是工业、汽车、商业和通信系统中交流或直流电流传感的经济而精确的解决方案。小封装是空间受限应用的理想选择，同时由于减少了电路板面积而节省了成本。典型应用包括电机控制、负载检测和管理、开关电源和过电流故障保护。

本例中提到的 AH91X 芯片是西安中科阿尔法电子科技有限公司推出隔离集成式电流传感器芯片。

AH91X 产品特点：

1. 1.2mohm 初级导体电阻，用于低功率损耗和高浪涌电流耐受能力；
2. 集成屏蔽实际上消除了从电流导体到芯片的电容耦合，极大地抑制了由于高 dv/dt 瞬态而产生的输出噪声；
3. 行业领先的噪声性能，通过专有的放大器和滤波器设计技术大大提高了带宽，在控制应用中响应时间更快
4. 隔离电压 1200V
5. 工作范围内稳定度：1.6%@25°C ~125°C；2.5%@-40°C ~25°C
6. 静态共模输出点为 2.5V 或者 50% VCC
7. 抗干扰能力强，抗机械应力强，磁场参数不受外界压力而偏移
8. 通过 RoHS 认证：（EU）2015/863；

产品应用：

电机控制； 负荷检测与管理； 开关电源； 过电流故障保护； 逆变器电流检测； 电机相位电流检测（电机控制）； 光伏逆变器； 蓄电池负载检测系统； 电流互感器； 开关电源； 过载保护装置；