

STM Cortex-M4 + STM 5A IPM(STGIF5CH60TS-L) 基于冰箱上的应用

随着国家能效政策的大力推广，越来越多的电机应用如洗衣机、风机、洗碗机、油烟机开始采用变频技术。在传统的电机驱动中，使用分立元件导致系统设计结构复杂，可靠性降低，意法半导体(STM)推出针对小功率电机应用开发出一种结构紧凑，可靠性高的功率模块产品，称之为 SLLIMM(Small Low-Loss Intelligent Molded Module)小型低损耗智能集成模块。在该模块中分两个系列，SLLIMM 系列和 SLLIMM-nano 系列。SLLIMM 系列为 600V 电压，10A 到 30A 电流，SLLIMM-nano 二代 为 600V 电压，5A 电流。本文将介绍使用 STM 最新推出 Cortex-M4 内核的 MCU 配合基于 SLLIMM-nano 二代系列功率模块在冰箱上的 FOC 单电阻无传感器应用。

软件

STM32F302C8T6 是 STM 最新推出基于 Cortex-M4 内核(内部有 8MHz RC 可以 16 锁相环倍频)带有 FPU(最大频率 72MHz)的产品，针对高性能电机驱动应用，其内部集成了一条专门用于电机控制的 Advanced Timer，最高工作频率可达到 128MHz，得益于 Cortex-M4 内核强大的运算能力，内部集成一个带宽可达 8.2MHz 高速运放模块。强大的处理内核，内部集成高速运放足以满足磁场定向控制(FOC)对数据实时运算的要求，性价比极具竞争力。

对于常见的内嵌永磁同步电机(I-PMSM)，如冰箱压缩机，通常需要做饱压启动，会要求压缩机在重载的情况下短时间能启动成功，诸如类似滚筒洗衣，油烟机都会有类似的工作场景，所以 ST 在基于 Cortex-M4 强大运算能力的基础上导入高频注入(HFI - High Frequency Injection) 功能，确保压缩机在大负载的环境下能在零速下顺利启动，进入正常运行模式。

HFI 功能需要基于 STM 提供的 FOC SDK 4.0 才能实现，同时 STM 也为了配合 SDK 4.0 的使用，在 PC 端提供了一个便捷易用的配置和在线实时调试软件 ST Motor Control

Workbench，方便用户快速入门（如图 1）。

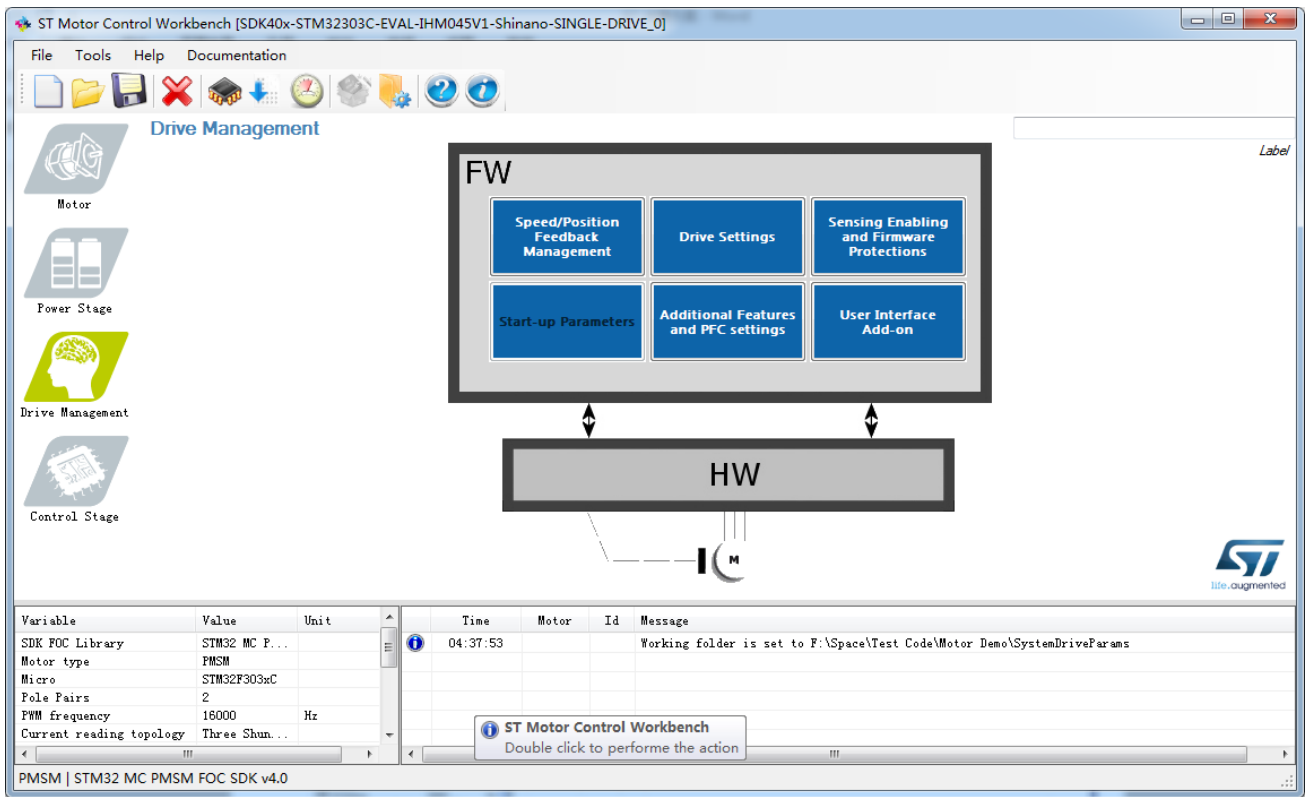


图 1 ST Motor Control Workbench GUI

使用 HFI 功能，需要打开 GUI 界面，在电机类型选择中选择“Internal PMSM”（目前 HFI 仅支持 $L_d < L_q$ 的内嵌 PMSM），同时按对话框提示，配置好电机的本体参数（如图 2）。

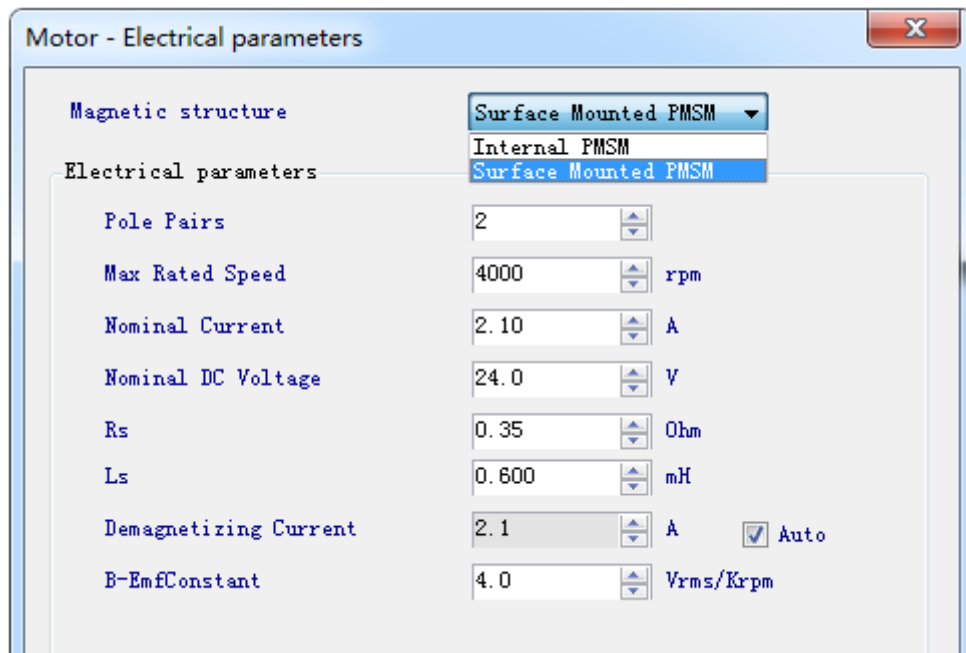


图 2 电机本体特征参数配置对话框

通过 GUI 右侧的 “Driver Management” 进入驱动管理模块页面,在出现的页面中选择 “Speed Position Feedback Management” ,在弹出的对话框中选择 “Main sensor” 标签,通过 “Sensor Selection” 下拉选择框,选中 “Sensor-less (HFI + Observer)” (图 3)。

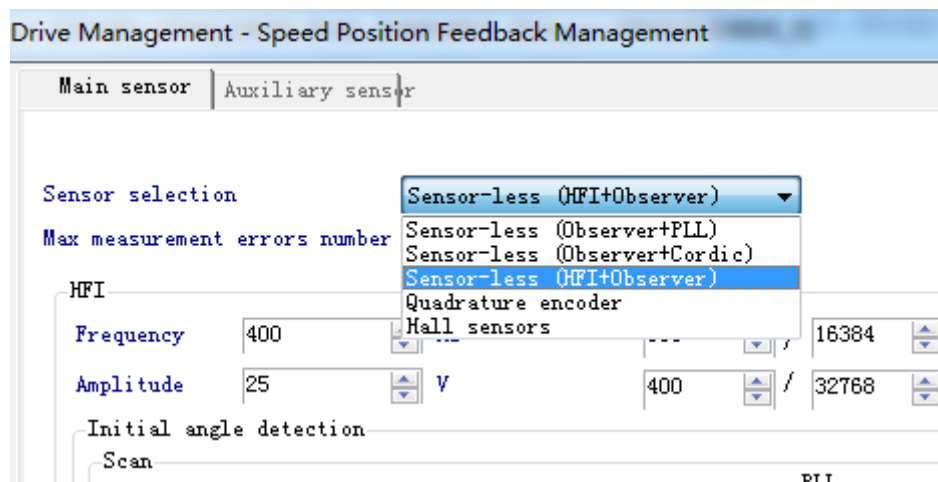


图 3

同时为了满足 HFI 的调试要求,我们还需要进入通过 GUI 右侧的 “Control Stage” 进入 “DAC Functionality” 对话框,配合 MCU 自带的两个 DAC 模块输出调试需要的电流和电

角度信号 (图 4)。

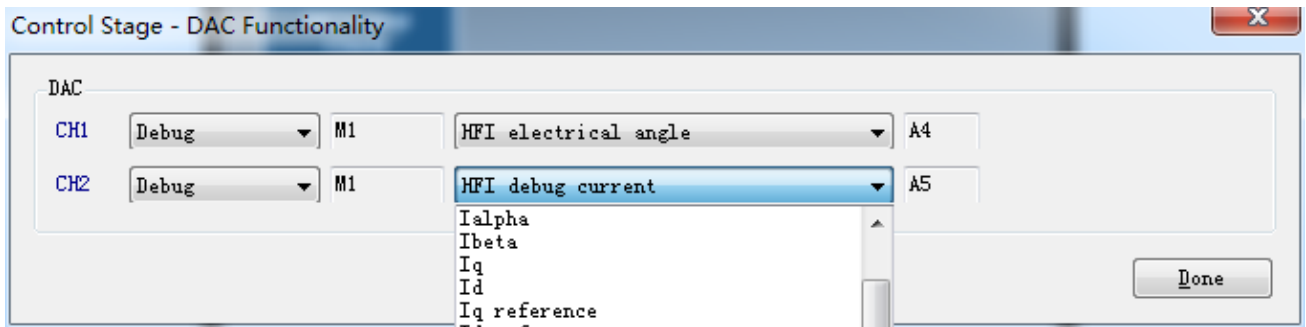


图 4

MCU 的电流采样的运放配置

由于 STM32F302C8T6 内部集成了 PGA 和 Op-Amp，GUI 同时也提供了一个清晰明了的配置界面用于配置运放的增益参数。通过 GUI 右侧的“Control Stage”进入“Analog Input and Protection”对话框 (图 5)，选择“Embedded PGA”。

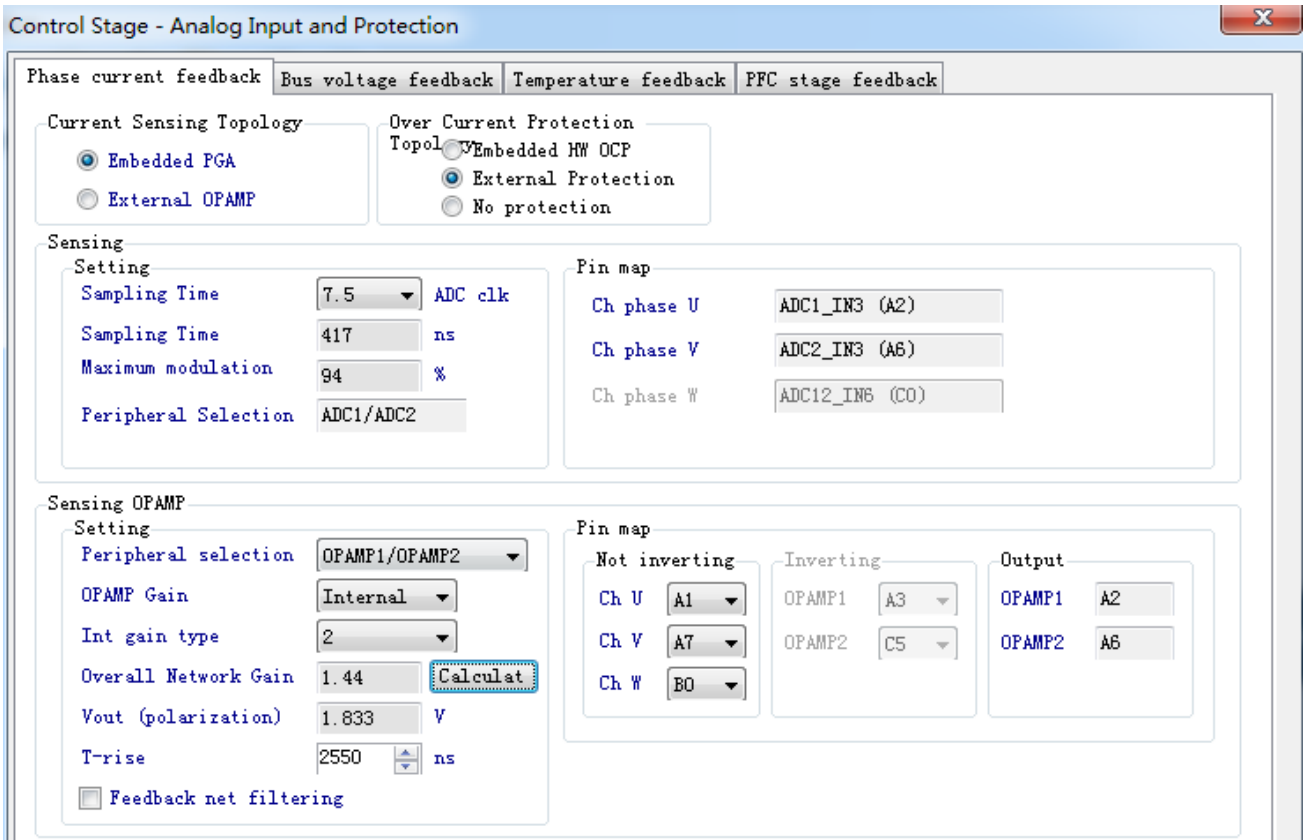


图 5

在“Sensing OPAMP”中选择“Calculat”按钮，我们可以进入运放的增益电路电阻选择界面，如图 6。我们可以配置电路设计预定的采样电流值，运放放大电路的电阻值，计算实际的电流放大倍率，配置产生的结果在界面右下方直接显示出来，方便用户核对。

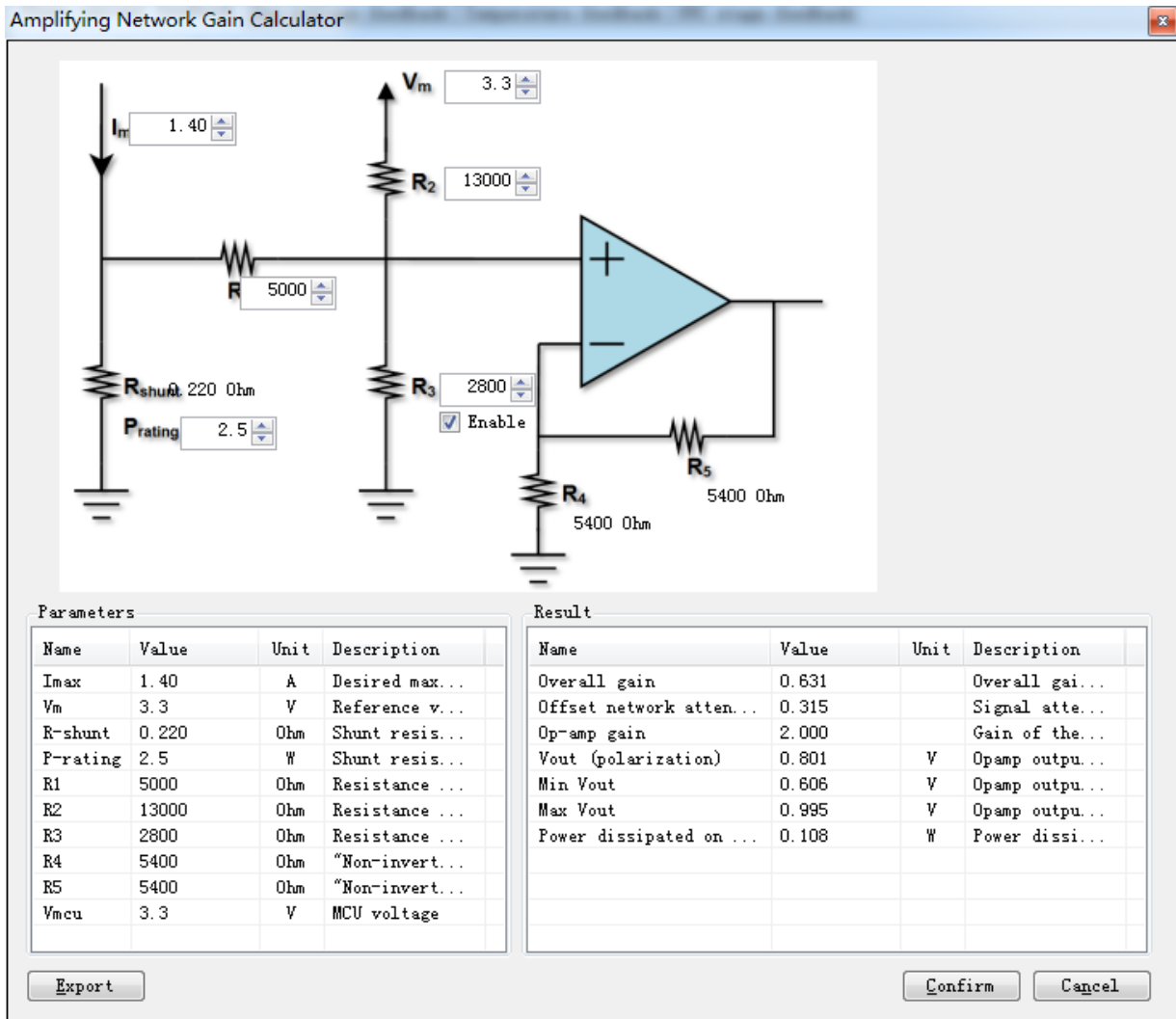
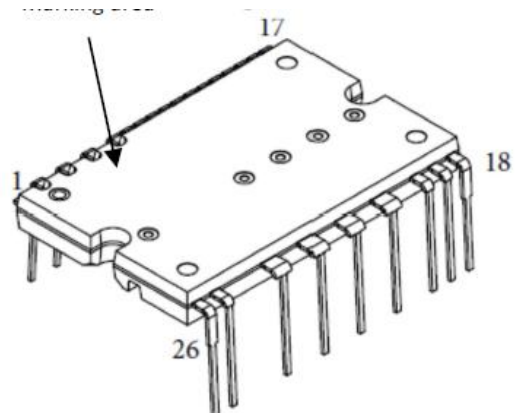


图 6

IPM

STGIF5CH60TS-L 是 STM 最新推出的 600V 5A 集成智能功率模块，内部集成了六个 TGFS IGBT(Trench Gate Field-Stop IGBT)、高边和底边栅极驱动器 (内部集成了自举用二极管)。集成了死区时间控制、欠压锁定(Undervoltage Lockout)、

过流保护、短路故障保护比较器、智能关断功能(Smart ShutDown Function)、可选 NTC。



全塑封封装，隔离可支持 1500 Vrms/min，并有通过 UL 1557 认证。

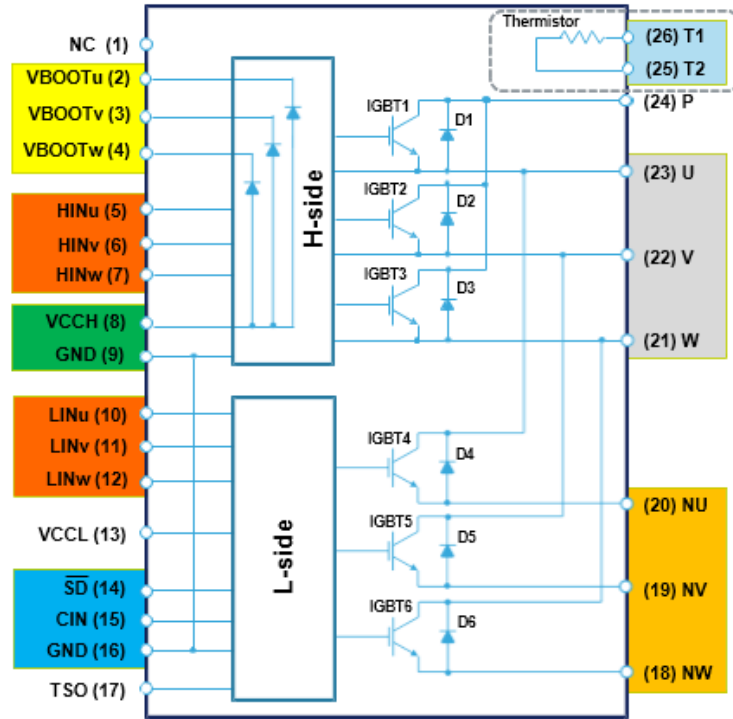


图 7

如图 7, IPM 内部集成的 IGBT 单管连续电流可达 5A, 峰值电流持续 1 毫秒可达 10A, 短路承受时间可达 5 微秒, 针对典型的电机控制开关频率优化, 在饱和压降 $V_{CE(SAT)}$ 和开关速度 (t_{fall}) 之间选择了一个权衡, 最大限度的在传导损耗和开关损坏之间平衡, 减少了参数 dV/dt 和 dI/dt 值, 可实现较低的 EMI 特征。

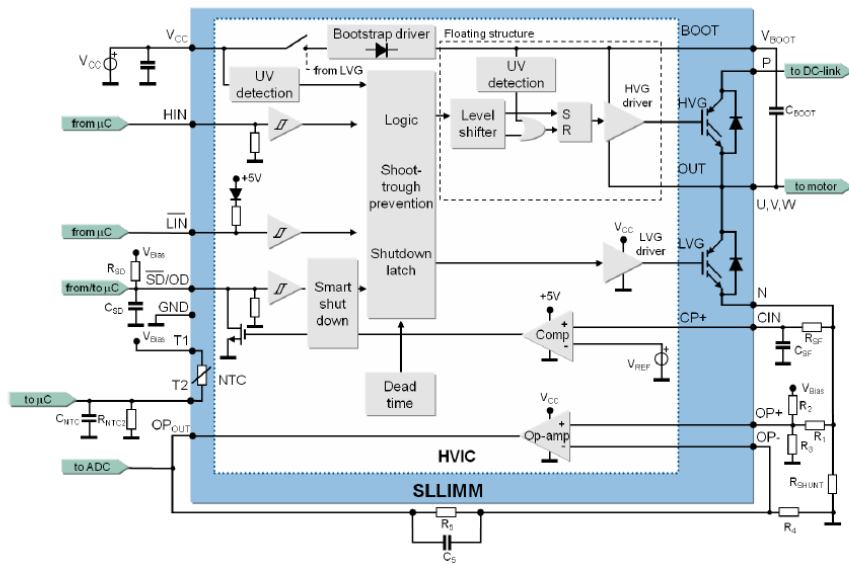


图 8 高压栅极驱动框图

低压供电电压与欠压锁定(UVLO)

按手册提供的数据,可知 IPM 的低压供电电压 VCC 在 -0.3V ~ 20V 之间,该电压为 IPM 的控制电路提供供电电源。在 IPM 内部 VCC 端口处,集成了欠压锁定(UVLO)电路,如图 8,该电路会监测 VCC 值。当 VCC 低于 VCC_thON 阈值时,欠压锁定电路会关闭栅极驱动的输出信号;当 VCC 达到并高于 VCC_thON 的阈值后,栅极驱动的输出会被打开,同时提供一个大约 1.5V 左右的迟滞电压 VCC_hys,用来避免噪音的影响;当 VCC 低于 VCC_thOff 阈值后,欠压锁定电路检测到欠压(UVLO)事件,内部的 IGBT 会自动关闭,无论此时是否还存在输出信号。

受驱动电路的影响,为确保 IPM 的驱动电路可靠、稳定工作,需在供电电源部分设计时给予充分考虑,确保在负载波动情况下,该供电电压的输出波动能控制在 IPM 可承受的合理范围内。同时为提高 IPM 的抗干扰能力,建议在 IPM 电源外围增加滤波电路。通常的做法是使用一个电解电容(低 ESR)和一个较小的陶瓷电容(几百 nF)并联在 VCC 和 GND 之间,电容放置的位置应尽可能靠近 IPM 电源端。

逻辑输入信号

高压栅极驱动 HVIC 有两个逻辑输入端 HIN 和 LIN ,分别控制高压端的高侧输出 HVG 和低侧输出 LVG。所有的逻辑输入电平都能兼容 TTL 5V/CMOS 3.3V 电平信号,并且在电路的硬件上提供了用于降低噪声敏感度的迟滞电压($\sim 1V$)。因其逻辑端口的低电平特性,使得 IPM 可适用任何一种控制器,如 MCU、DSP 和 FPGA 等。

因逻辑输入端口内部连接了上拉或下拉电阻,当逻辑输入悬空时,栅极驱动器的输出端 LVG 和 HVG 会依照默认的上下拉电阻被设置为对应的关断状态。

在 PCB 布线时,当 IPM 距离控制器较远,逻辑输入信号走线较长时,应在信号线靠近 IPM 一端外加一个 RC 滤波网络或缓冲器,用来减少输入信号线上的毛刺导致的干扰。

智能关断功能(SD/OD)

在 STGIF5CH60TS-L 版本中,IPM 内部集成了智能关断(SD/OD)功能,该功能可提高 IPM 对过流和短路的失效保护。如图 8,智能关断模块接受 2 个触发信号,一是来自 MCU 端的控制关断信号,另一个是来自内部比较器的故障检测输出信号。当内部的比较器同相输入端通过一个 RC 滤波网络 (R_{SF} 和 C_{SF}) 连接到采样电阻 R_{Shunt} 用于过流检测。在 R_{Shunt} 的电压高于参考电压 V_{REF} 后,故障比较器输出端电平翻转送入到智能关断模块,模块立即关闭 IGBT 的栅极 HVG 和 LVG (内部延迟时间典型值为 200ns),驱动部分的半桥处于三态高阻;同时模块也输出信号到 SD/OD 引脚内部集成的 P-MOSFET 控制 R_{SD} 和 C_{SD} 网络充电。在充电完成后,SD 信号达到下限的阈值 $V_{SD_L_THR}$,模块关闭输入 HIN 和 LIN。通过增加 SD 引脚外部的 RC 网络充放电时间,智能关断模块也给用户提供了尽量多的可控的禁用时间(从故障发生到输出关闭的时间),而且不损害 SLLIMM 延迟保护时间。

应用电路

图 9 为 STGIF5CH60TS-L 的实际应用电路参考。

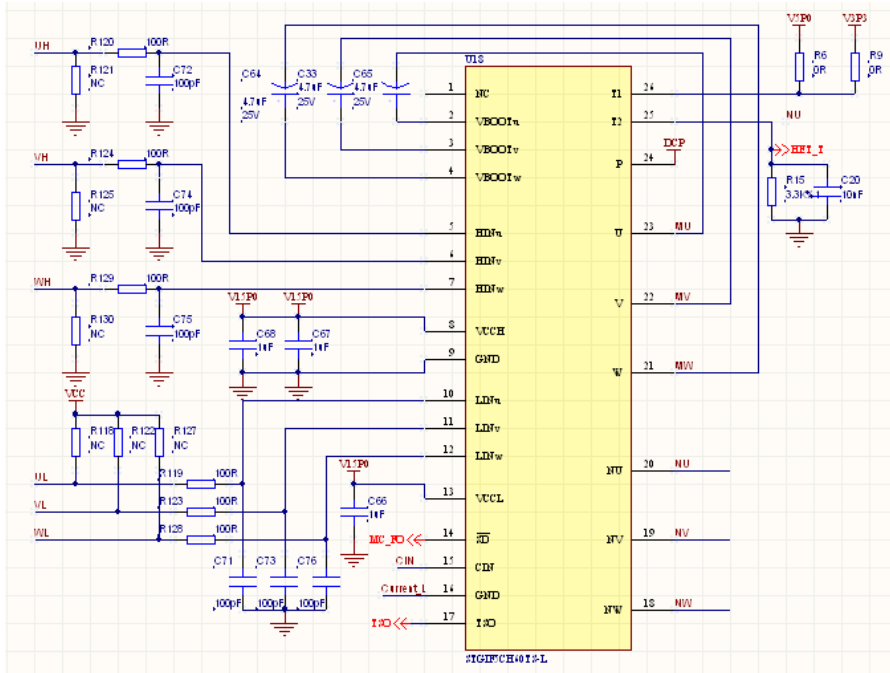


图 9 : STGIF5CH60TS-L 电路图

在冰箱压缩机测试中，实际测试使用 STGIF5CH60TS-L 基于磁场定向控制(FOC)的单电阻方案，测试平台实际运行平稳，各项功能均在可接受范围，使用 STM32FOC SDK4.0，可实现冰箱压缩机饱压立刻平稳启动。

由于 STGIF5CH60TS-L 内部集成的欠压锁存电路、故障检测比较器、智能关断等模块，极大的提高了整个系统的稳定性和可靠性，并因其内部集成的运算放大器降低了系统在电流采样部分的布线要求，同时也减少了外围元器件的数量，降低了系统整体成本，更适合在一些追求小尺寸面积的应用场合使用。对于参考方案如有需求评估，可联系我司获得相关信息。