

基于 STM32 的高可靠升降压 DC-DC 电源设计

刘泳志

湖南电气职业技术学院, 湖南湘潭, 411101;

摘要: 开关电源因其体积小、重量轻、特点, 在各种工业应用中得到了广泛的应用, 尤其是在自动化生产线、医疗设备等领域, 开关电源的重要性愈发凸显。然而, 目前市场上许多开关电源产品在性能、可靠性等方面仍有改进的空间。基于以上原因设计了这款基于 ARM 平台的高可靠升降压 DC-DC 开关电源, 在硬件和软件层面对电源进行了保护, 且输出纹波较小、操作方便直接、适用性广, 可以应用新能源、消费电子、医疗等多个领域。

关键词: STM32; 开关电源; 升降压

DOI: 10.69979/3060-8767.25.01.032

引言

在高新技术高速发展的背景下, 各类电子电气设备的性能也在不断地优化和提高^{[1][2]}, 与此同时, 开关电源由于其具有体积小、效率高、布置方式灵活的优点在各类设备中的到了广泛的应用, 各领域对开关电源的要求也在不断地提高^[3]。但是仍然存在可靠性不高, 输出纹波大, 操作调节不方便等问题^{[4][5]}。

设计了一个基于 STM32 平台的升降压 DC-DC 电源, 以高可靠性、精度高、操作方便、使用适用性广为设计目标。采用双管 buck-boost 升降压斩波拓扑结构, 控制器主芯片采用 STM32F429, 具有硬件、软件双重保护, 在控制环节引入 PI 控制保障电源的长期运行稳定性。

1 拓扑结构工作原理

开关电源采用双管 buck-boost 升降压斩波拓扑结构, 其能够在输入电压高于、低于或等于输出电压的情况下提供稳定的输出, 其灵活性高, 能够实现升降压功能, 适用于输入电压变化较大的应用场景; 输出稳定, 无论输入电压高于还是低于输出电压, 都能提供稳定的输出电压, 此外通过 PWM 控制技术可以轻松实现输出电压调节, 控制系统设计相对简单, 且适应性强, 其拓扑由两个开关管 S1 和 S2、两个二极管、滤波电感 L1 和输入输出端的滤波电容 C1 和 C6 构成, 如下图所示。

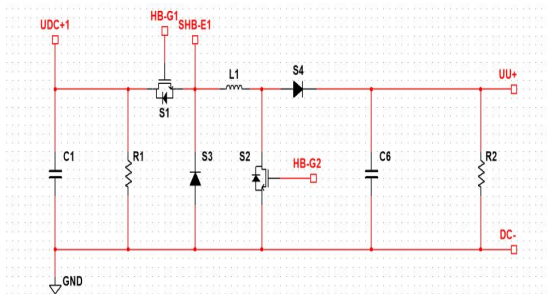


图 1 双管 buck-boost 升降压斩波拓扑

当只有 S1 开关管受到主控 MCU 的 PWM 控制时, 此

拓扑可以作为一个 buck 转换器使用, 其工作分为两个阶段:

储能阶段: 当开关 S1 导通时, 电流从输入电源通过 S1 流向电感 L, 并为电容 C 充电以及负载供电。此时, 电感 L 中的电流逐渐增加, 储存能量。

续流阶段: 当 S1 断开时, 由于电感的电流不能瞬间改变, 它会继续迫使电流流动。这时, 二极管 D 被正向偏置并导通, 形成一个闭合回路: 电感 L、二极管 D 和负载。电感 L 在此期间释放之前储存的能量, 以维持负载上的电流。

输出电压主要由开关 S1 的占空比控制, 即 S1 导通时间与整个周期时间之比。具体来说, 如果输入电压记作 V_{in} , 输出电压记作 V_{out} , 那么在理想情况下, Buck 转换器的输出电压可以表示为:

$$V_{out} = V_{in} * D$$

其中, D 是占空比, 取值范围为 0 到 1 之间。

这意味着通过调节 S1 的导通时间 (即占空比), 可以有效地降低输出电压至任何低于输入电压的值。例如, 如果占空比为 50%, 则输出电压将是输入电压的一半。

当 S1 保持闭合状态, S2 由主控 MCU 的 PWM 控制时候, 此拓扑可以作为一个 boost 转换器使用, 其工作也分为两个阶段:

储能阶段: 当开关 S2 导通时, 电流从输入电源通过电感 L 和 S2 流向地。在这个过程中, 电感 L 储存能量。由于 S1 闭合, 电流不会直接流到负载, 而是完全通过 S2 回路。

能量释放阶段: 当 S2 断开时, 由于电感中的电流不能突变, 电感试图维持电流流动。此时, 二极管 D 被正向偏置并导通, 允许电感 L 中的电流通过二极管流向输出端, 并为电容 C 充电以及供给负载使用。这期间,

电感 L 释放之前储存的能量。

输出电压由 S2 的占空比决定。假设输入电压为 V_{in} ，输出电压为 V_{out} ，则 Boost 转换器的输出电压关系可以表示为：

$$V_{out} = V_{in} (1-D)$$

其中，D 是 S2 的占空比 ($0 < D < 1$)。

此拓扑可以工作在范围较宽的输入电压内，以较高的效率通过主控的 PWM 调节，使得输出电压低于或者高于输入电压。

2 硬件设计

电源的硬件结构图如下图所示，其主要分为两块板，升降压转换板和主控板。

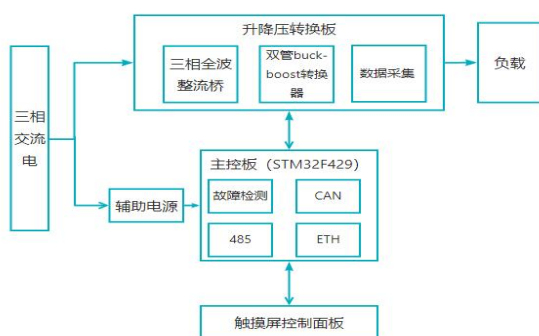


图 2 硬件设计框图

升降压转换板

升降压转换板主要包含了 3 个模块：三相全波整流模块、双管 buck-boost 转换器和数据采集模块。

其中三相全波整流输出的直流电作为双管 buck-boost 转换器的输入，经过双管 buck-boost 转换器的升降压变化之后，输出给和转换板相连接的负载；主控板传送过来的 PWM 信号，驱动双管 buck-boost 转换器中的开关管进行工作。数据采集模块主要负责采集输入直流电压、输入电流、输出电压、温度等模拟量并通过排线发送给主控板 MCU 的 AD，MCU 可以根据采集的信号进行故障判断和输出电压调节。

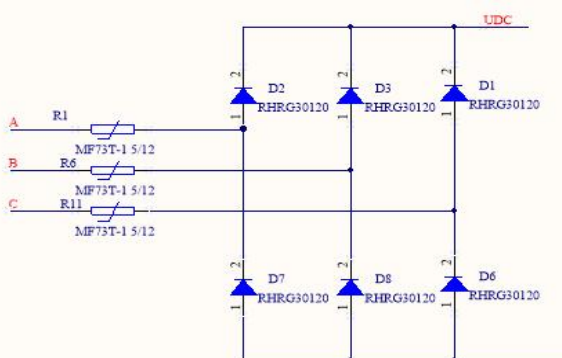


图 3 三相桥式整流

主控板

主控板以 STM32F429 为核心，包含了对 ADC 信号调理电路模块、485、ETH、CAN 等通信模块、对 MCU 的 PWM 输出的驱动模块、以及故障硬件信号处理模块。

ADC 信号调理电路，以输入电流信号调理电路为例。电路中使用了 TL082IDR 的运放，输入信号通过 R37 电阻和 R35 电阻分压后进入运算放大器的同相输入端，电容 C22 和 C27 在电源端提供去耦的作用，减少电源噪声对放大器的影响；电容 C26 在输出端提供滤波作用，平滑输出信号。二极管 DE3 用于钳位保护，防止过电压损坏后续电路；输出信号通过电阻 R36 和电容 C26 连接到 ADC 输入端 (ADC-IN3)，准备进行模数转换。

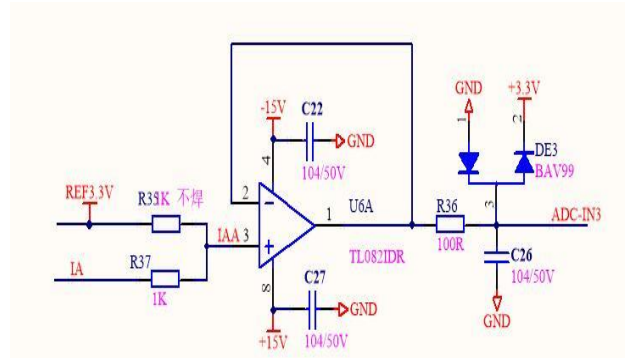


图 4 ADC 调理电路

此外 485、ETH、CAN 通信模块提供了多种与上位机通信的方式，这样能够应对复杂的现代应用场景，增强系统的可靠性和冗余度，提高了灵活性和可扩展性。

3 软件设计

3.1 软件结构设计

基于 STM32F409 的控制程序软件设计的总体框架如下图所示，其中中间的是 MCU 控制模块的软件设计、右边是配套的触摸屏控制模块，左边的是可以自行设计的主机程序。可以通过配套的触摸屏显示模块对电源的“输出电流”、“输出电压”、“给定方式”等参数进行设置，也可以用来显示当前工作状态、错误代码、设备温度、工作模式等相关参数；当然也可以选择其他方式对电源进行控制，比如通过自行编写上位机通过 485、CAN 或者 ETH 与开关电源进行交互。

在 STM32 的软件架构中，分为控制逻辑模块、故障检测模块、以及 485 等通信模块。其中控制逻辑模块主，控制其启动、停止以及对故障的处理和控制相关信息的处理。故障检测模块主要对电压、电流、温度等参数的测量值和 GPIO 传送过来的硬件报警信号的处理。

此软件结构支持多种通信接口的设计使得系统能够适应不同的应用场景需求。此外，每个模块都有明确

的职责分工，既独立又相互协作，形成了一个高效运作的整体。这种清晰的功能划分提升了代码的可读性和维护性，在设计上充分考虑了各种可能的故障场景，并通过多层次的检测和保护机制来确保设备的安全运行。

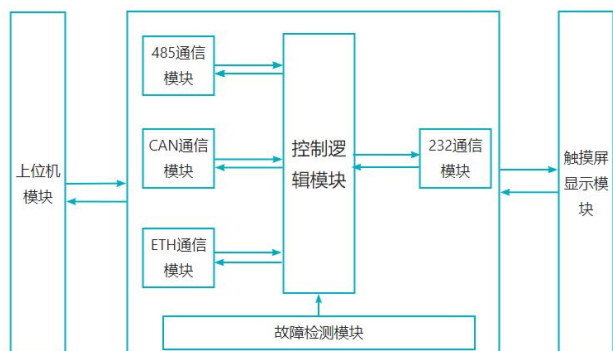


图 5 软件结构图

3.2 状态机的设计

该开关电源的软件设计，采用了四状态的状态机模型：初始化状态、空闲状态、工作状态和退出状态。其中初始化状态是进行设备初始化；空闲状态用于等待进行设置和操作，用户控制电源启动后跳入工作状态；工作状态为了保护本身的硬件和电源外部的连接设备，不允许修改电源配置参数；如果控制电源停止或者检测到故障，则进入退出状态，退出状态将缓慢减少 PWM 的占空比，等到占空比为 0 的时候自动跳到空闲状态。这种设计确保了电源在不同状态下能够安全地切换，特别是从工作状态到退出状态的过渡，能减小对外部设备的冲击，从而保护外部连接设备。

3.3 故障处理

电源的故障检测和处理结合硬件和软件两个层面。首先是硬件上的检测和处理，在硬件上对输入的三相交流电每相过流、母线过压等参数进行比较，如果超过限定值，则立刻在硬件上封锁对开关管的 PWM 信号输出，另一方面会通过 GPIO 通知 MCU，MCU 检测到外部中断后，会停止 PWM 发送，状态机由工作状态进入退出状态，并把错误代码显示在触摸屏上面。

此外，在软件上，对输入电压、电流，温度等参数设置了限制值，如果超过了检测到任何故障，不论如何操作都不能进入工作状态，除非故障排除且手动清零。

通过硬件和软件两个层面对电源设计了一系列的保护措施，能有效提高电源的安全性和可靠性，加强了对内部关键元器件的保护，延长了电源使用寿命，也有效地保护了外部连接设备的安全。

3.4 触摸屏界面设计

触摸屏采用中显的串口屏，作为控制终端，一共设计了 3 个界面，分别是运行状态界面、参数界面、故障记录，如下图所示。其中运行状态界面主要用来显示目前的输出电流、电压、温度以及是否工作正常状态信息，并且可以对电源进行运行和停止操作；参数界面，用来设置输出的电流、电压等数据，还可以设置数据的给定方式，是模拟给定还是数字给定；故障记录用来显示最近 5 次发生的故障。

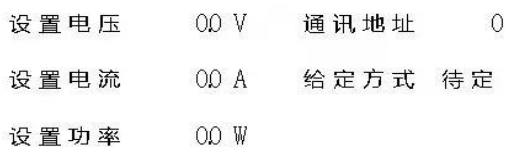


图 5 界面设计图

整个交互界面具有清晰的布局和直观的操作方式，提供了实时的电源状态显示和基本的控制功能。

4 试验与分析

为了验证所设计的直流电源实际能够达到的性能，进行实际测试和验证。实验装置如下图所示，通过一个调压器给电源供电，外接的负载为 40 Ω 的大功率电阻。进过测试，此电源能够长时间稳定工作在 1000W 以上，精度最高能够在 0.5% 以内，在遇到过流、过压等故障时候能够迅速切断 PMW 波的传输保护开关管，就有较高的

可靠性。

下面是测试数据：

输入电 压(V)	输出电 压(V)	纹波 (mV)	输入电 压(V)	输出电 压(V)	纹波 (mV)
50	15	120	100	30	125
50	25	88	100	85	43
50	35	83	150	30	80
50	40	80	150	50	71
50	70	78	150	200	66

5 结束语

本文使用 STM32 作为主控设计了一款高可靠，宽输出，高功率的直流稳压电源。采用了 2 个开关管的双管 buck-boost 升降压拓扑结构，通过灵活的拓扑结构与智能控制策略，实现了宽输入电压范围下的稳定输出，其优势体现如下：

高性能：输出功率能超过 1000W，精度高

高适用性：通过控制 S1/S2 开关管的 PWM 占空比，系统可在 Buck、Boost 模式间无缝切换；主控板上还集成了多种通信协议（CAN/RS-485/ETH）适用场景广。

高可靠性：在硬件上故障保护逻辑，再加上软件上通过数据采集模块实时监测的电压、电流及温度参数做的保护逻辑，在硬件和软件两个层面来确保系统安全运行。

经过试验验证，该电源达到预期设计目标，保护功能完善，运行安全可靠，可广泛应用于工业与能源、消费电子与医疗等领域。

参考文献

- [1] 柳彦钊. 基于 STM32 的数控开关电源设计[D]. 西安科技大学, 2019.
- [2] Ait Salih A, M'Barki Z, Mejdoub Y, et al. Electromagnetic Modeling in 'Black Box' Mode of a DC-DC Power Converter (BUCK) [C]//International Conference on Connected Objects and Artificial Intelligence. Springer, Cham, 2024. DOI: 10. 1007/978-3-031-70411-6_31.
- [3] 张涛, 王珈苑, 楼思佳, 等. 基于 STM32 开关稳压电源系统设计[J]. 工业控制计算机, 2017, 30(10): 146-147+149.
- [4] Wu H. MORNSUN series DC-DC power module test fixture design[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2290(1). DOI: 10. 1088/1742-6596/2290/1/012014.
- [5] Liu V T, Tseng K C, Wu Y H. Non-isolated high step-up DC/DC power converter with coupled-inductor. [J]. Science Progress, 2021. DOI: 10. 1177/00368504211027087.

湖南省教育厅 2022 年科学研究项目“极端事件下的电网故障定位与配置优化研究”（22C0796）。

作者简介：刘泳志，男（1991.02-），汉族，湖南衡阳，讲师，硕士研究生学历，主要研究电力电子。