

[电能质量]

基于STM32的电能质量分析仪系统软件设计与分析

文/吴立 陶勇 张皓 唐啸 潘炼杰
国网上海市电力公司浦东供电公司

设计并实现一种基于STM32微控制器的电能质量分析仪系统。该系统具备信号采集、数据处理、参数计算和结果显示等功能，旨在快速而准确地分析电网的电能质量。深入探讨系统的软件架构与功能模块的实现，以及各个模块的性能评估。实验结果表明该系统在电能质量监测中具有良好的有效性和可靠性。

随着电力工业的发展，电网供电质量对安全生产和经济效益的影响日益显著^[1]。因此，对电网的电能质量进行全面监测和分析变得尤为重要。在电能质量监测与分析领域，国内外学者和工程师们提出了多种解决方案，并进行了广泛的研究^[2-4]。其中，基于STM32的电能质量分析仪因其高性价比、高可靠性和易于扩展的特点，受到了广泛关注。文献[5]提出节点配电系统模型，利用仿真模拟和控制变量法研究了不同情况下的电能质量；文献[6]通过PSCAD进行仿真，分析各个母线节点的电压暂降情况，为改善电压暂降提供了重要依据。鉴于此，本文设计一套基于STM32的电能质量分析仪软件系统，该系统能够实时采集电压、电流等重要信号，进行谐波分析、功率计算和电能质量评估，从而为改善电能质量提供科学依据和有效指导。

系统软件设计

本系统采用模块化结构，旨在提高软件的可维护性和扩展性。系统整体由多个功能模块构成，包括数据采集、数据处理、显示与通信等子程序模块，使得各个模块可以独立开发、测试和优化，从而提升系统的整体性能和效率。在系统软件设计过

程中，选用了Keil-5作为开发平台，此平台提供高效的处理能力和丰富的片上资源，满足系统对实时性和数据处理能力的要求^[7]。通过Keil-5的强大功能，高效地实现各种复杂的算法和数据处理流程，确保系统在多种工作条件下的稳定性与可靠性。系统软件构成框图如图1所示。

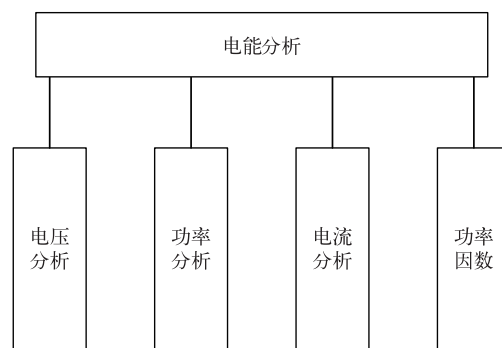


图1 系统软件构成框图

1. 主程序

主程序流程的设计旨在确保电能质量分析仪系统在实时性、准确性和可靠性方面都能达到预期的效果。模块化架构使得各个功能块能够独立优化和维护，系统整体性能得以提升。不仅提高软件的可维护性和扩展性，还为后续的功能增强提供便利。系统的基本工作流程如图2所示。

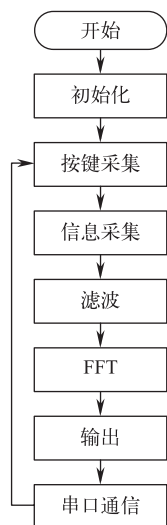


图2 主程序具体流程图

2. 计量芯片部分的程序

(1) ADE7880初始化设置子程序

本设计采用ADE7880芯片，其内嵌数字信息处理器，不仅有模数转换电路、数字积分器，还有一些信号处理的电路^[8]，ADE7880初始化程序如图3所示。

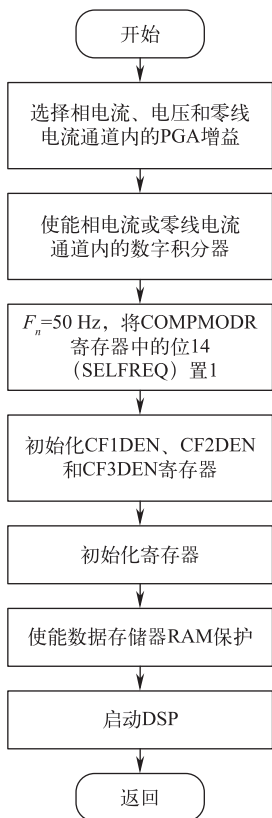


图3 ADE7880初始化设置子程序

(2) 基本电参数测量子程序

基本电参数测量子程序负责计算电压、电流和功率等关键参数。ADE7880芯片内置7个模数转换器，确保了高效的数据采集。该芯片具备四种工作模式：PSM0模式使所有转换器全开，PSM1模式仅激活A、B、C三相电流转换器，而PSM2和PSM3模式则降低功耗。计算完成后，状态寄存器位17被设置，触发中断，trq0引脚响应变化，数据随后存储于数据存储器中^[9]。

(3) 谐波分析处理子程序

谐波分析主要通过谐波发动机进行，其工作频率与额定线频率同步。分析过程中，利用相电流数据来评估零线电流。针对非正弦交流系统，谐波计算基于相应的带宽进行。谐波计算的具体流程如图4所示。

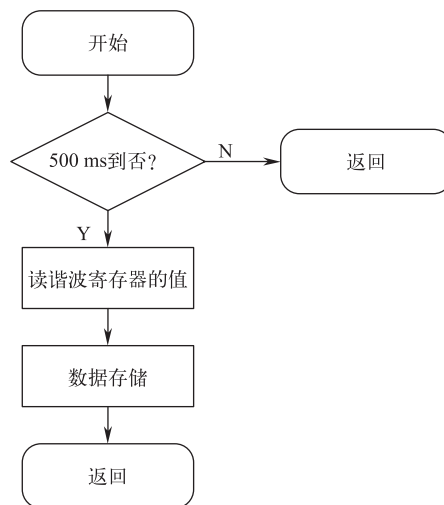


图4 谐波分析处理子程序

3. STM32103与ADE7880通信程序

本文设计的ADE7880通信结构采用SPI、CAN和I²C总线，基于STM32103系列微控制器，该控制器内置SPI通信模块。SPI采用主从模式，由主设备控制从设备的数据同步，其中SCK时钟信号由主设备提供，以确保数据传输的同步性。SPI的优势在于其简单的一对一通信模式和高数据传输频率。

在SPI通信过程中，SCK时钟信号协调数据的发送和接收，MOSI和MISO管脚负责双向数据传输。当SCK信号为低电平时，MOSI将数据传输至ADE7880芯片；在SCK信号为高电平时，MISO则将数据从ADE7880传回主设备。为确保数据传输的

准确性，在无数据传输需求时，MISO应处于高阻态。本系统采用2.5 MHz的时钟频率，实现快速的数据交换。通信流程如图5所示。

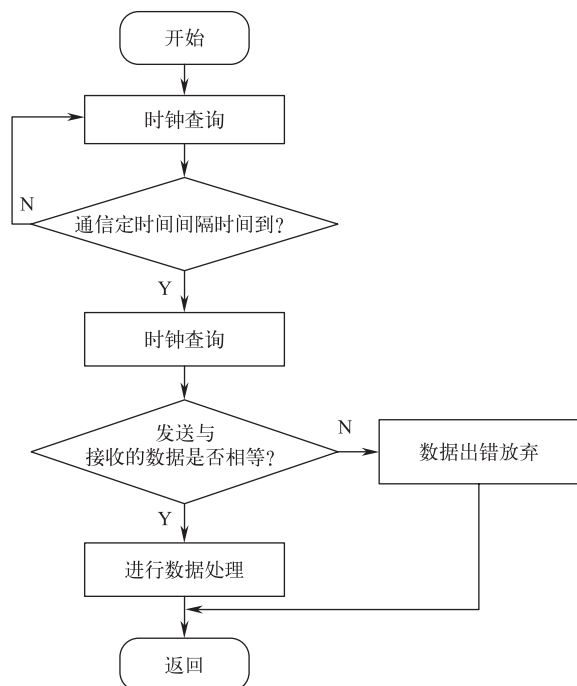


图5 谐波分析处理子程序

4. 显示子程序

系统利用液晶显示器逐次显示电压、电流等关键参数，从而实现对电能质量的实时监测。具体而言，显示界面将依次呈现各项指标，以使用户直观了解电力系统的运行状态。该过程的子程序流程如图6所示。

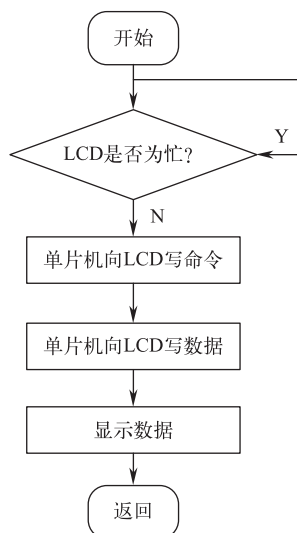


图6 显示子程序流程图

在实现过程中，液晶显示模块通过特定的控制逻辑不断更新显示内容。每个参数的读取与更新均经过微控制器的处理，确保显示的数据具有实时性和准确性。

5. 按键子程序

本设计配备了K1至K4四个功能按钮，通过CPU的PA接口实现连接。这些按钮承担双重功能：一是监测电源的工作状态和时间记录功能；二是允许用户输入和调整时钟参数。按钮的具体功能包括翻页、切换至谐波分析界面和参数设置。按键程序流程图如图7所示。

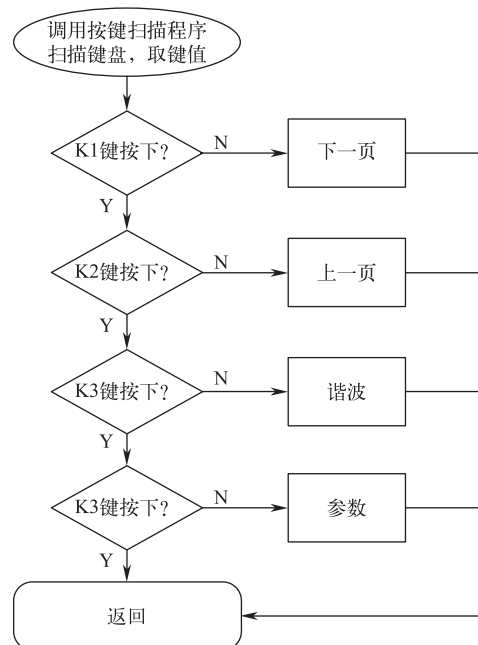


图7 按键程序流程图

6. 通信子程序

本文设计的电能质量分析仪高效地检测包括电压、电流和功率等多项电能参数。该仪器为用户提供全面的电能监测，确保电力系统的可靠运行。在通信方面，多功能电能表采用主从结构的半双工式通信协议，确保数据的高效交换与管理。特别是使用RS-485通信标准，该协议具备良好的抗干扰能力和较长的传输距离，非常适合于工业环境下的电能监测与控制。RS-485的顺序流程如图8所示，清晰展示了数据传输的各个环节。具体而言，主设备定期向从设备发送指令以请求相关数据，从设备则依据主设备的请求反馈相应的电能参数。该半双工模式下，数据在同一通道上进行双向传输，但在同

一时刻仅允许一个方向的数据传输。这一设计不仅简化系统结构，还降低通信成本。为进一步提升系统的性能和用户体验，可考虑为分析仪增加数据记录和报警功能。当检测到异常情况或参数超出设定范围时，系统会自动记录事件并通过相应的接口向主设备发送报警信号，确保用户能够及时响应。同时，数据的定期传输还能为后续的分析 and 决策提供支持，通过数据的长期积累，用户可以观察到电能质量的趋势变化，从而做出更有依据的管理决策。

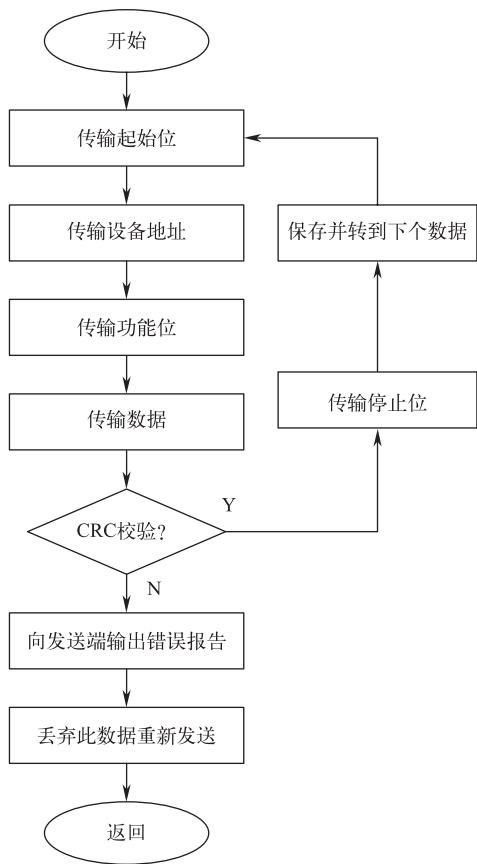


图8 RS-485的程序流程图

3. 实验结果与分析

在实验测试过程中，电能质量分析仪置于正常工作状态，并成功接入电网进行供电。系统高效地接收并处理电网中的电压和电流信号，准确计算并显示关键的电能质量指标，包括电压有效值、电流有效值、电网频率、功率因数和有功功率。通过精确的测量和实时的数据处理，屏幕上显示的结果不仅为电网的稳定性分析提供直观的数据支持，还为后续的电能质量评估奠定坚实的基础。

如图9所示，本文设计的系统实时显示基本参

数，包括电流畸变波形和每个相位的详细参数。实时监测功能使得用户全面了解电网运行状况，及时识别潜在问题，为电能质量的持续改进提供重要依据。



图9 PFC后的电流

图10是 FFT处理过后的结果。

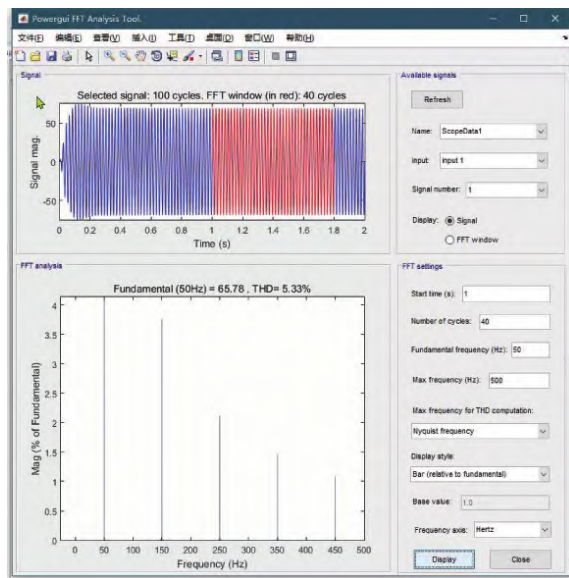


图10 FFT处理过后

该设备还能对电网电压进行检测，并实时显示电压图。图11显示了实时的220 V的AC电压图。

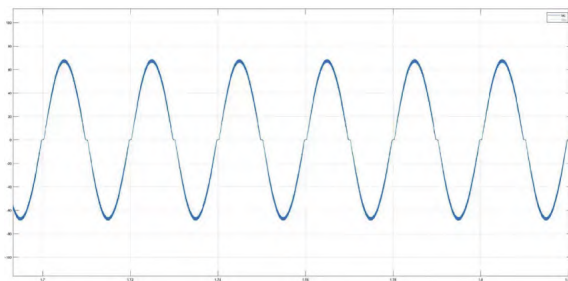


图11 220 V的AC电压

试验检测了某一监测点的电压的纯正正弦波 TTF, 其结果如图12所示。

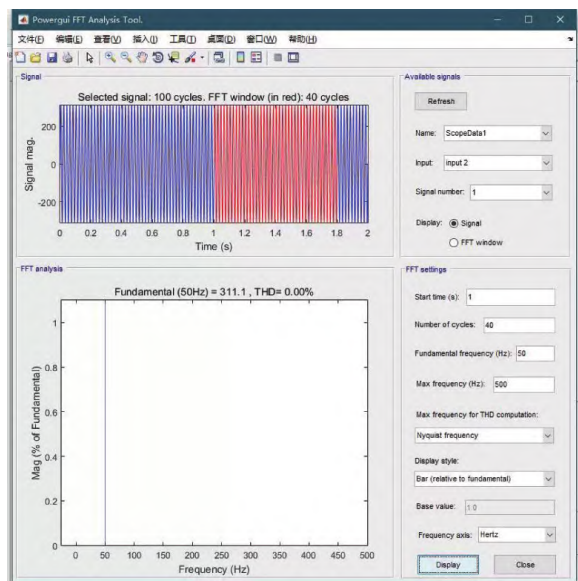


图12 电压的纯正弦波TTF

结束语

本文设计并实现一种基于STM32微控制器的电能质量分析仪系统软件方案。通过采用模块化设计和分层架构的方法, 不仅实现对电网电能质量的全面监测与分析, 而且通过实际测试验证其在测量准确度和实时性方面的优越性能。系统能够准确捕捉并分析电网中的电压、电流和频率等关键参数,

为智能电网的建设和维护提供了有力的技术支持。

EA

(收稿日期: 2024-08-23)

参考文献

- [1] 李彦晨, 贾燕冰, 谢栋, 等. 计及电能质量影响的配电网风储优化配置[J]. 电网技术, 2023, 47(6): 2135-2143.
- [2] 杜瀚霖. 电能质量测试分析仪校准方法研究[J]. 中国计量, 2023(7): 64-67.
- [3] 陈科. 电能质量表在机场行业的应用研究[J]. 建筑电气, 2021, 40(12): 65-68.
- [4] 钱俊杰, 李昊泉, 李广华, 等. 基于组合赋权-VIKOR的电能质量综合评估[J]. 电气传动, 2024, 54(6): 37-44.
- [5] 黄腾. 新能源发电并网对电能质量的影响研究[J]. 电气技术与经济, 2024(6): 347-349+353.
- [6] 宁星, 杨戴博, 李昆, 等. 区域电网电能质量监测评估分析[J]. 科技视界, 2023(8): 6-9.
- [7] 黄泓潜. 企业供配电中的电能质量分析[J]. 电子技术, 2024, 53(3): 160-161.
- [8] 于欢. 分布式光伏并网对电能质量的影响分析[J]. 光源与照明, 2023(3): 124-126.
- [9] 文翌铖, 陈亦文, 魏铃琼, 等. 关于有源电力滤波器的综述分析[J]. 电气开关, 2024, 62(2): 10-16+23.

