

叶片振动监测系统主控制器

测试报告

时间：2023.10.24

文档状态：	文档编号	001
☐ 正式修改	被测件版本号	
☐ 经过评审	被测件完成时	
☐ 正式发布	间	

申明

这份文档包含了来自项目组的可靠、权威的信息，这些信息是作为公司的生产信息专用，文档的读者应对其内容保密，未经公司书面请求和书面认可，不得复制、泄露或散布这份文档。对这份文档内容的任何形式的泄露、复制或散布都是被禁止的。

目录

成都昆朋新能科技有限公司

Companiontek Technology (Chengdu) Co., Ltd.

目 录

1. 引言	4
1.1. 编写目的	4
2. 基本信息	5
2.1. 被测件版本	5
2.2. 重要变化	5
2.3. 测试设备及仪器	5
2.4. 辅助材料	5
3. 测试技术要求及原理	7
3.1. 技术要求	7
3.2. 测试原理	8
3.2.1. 与采集装置通信稳定性测试	8
3.2.2. 与 BMS 通信稳定性测试	8
3.2.3. 波形频域分析性能测试	9
3.2.4. 波形时域分析性能测试	9
3.2.5. 操作系统稳定性测试	9
4. 测试结果	10
4.1. 与采集装置通信稳定性测试	10
4.1.1. 通信协议	10
4.1.2. 通信速率测试	12
4.1.3. 测试结果	13
4.2. 与 BMS 通信稳定性测试	13
4.2.1. 通信协议	13
4.2.2. 稳定性	13



4.2.3. 测试结果.....	14
4.3. 波形频域分析性能测试.....	14
4.3.1. 方波 FFT 变换特征值准确性.....	14
4.3.2. 正弦波 FFT 变换特征值准确性.....	17
4.3.3. 三角波 FFT 变换特征值准确性.....	19
4.3.4. 测试结果.....	21
4.4. 波形时域分析性能测试.....	21
4.4.1. 方波特征值计算准确性.....	21
4.4.2. 正弦波特征值计算准确性.....	23
4.4.3. 三角波特征值计算准确性.....	25
4.4.4. 离线数据存储性能.....	26
4.4.5. 测试结果.....	27
4.5. 操作系统稳定性测试.....	27
4.5.1. 测试结果.....	27
5. 测试人员签字.....	28

1. 引言

1.1. 编写目的

叶片振动监测系统主控制器是整个 BMS 系统中承上启下的一个装置, 该装置通过获取采集装置采集的信号数据, 对原始数据进行特征值提取和傅里叶变换, 研究分析动力传输部件在正常运行和故障状态下振动信号频率和相应的能量分布的改变, 可以预测动力传输部件可能出现的问题, 将实际可能出现的损失降到最低。此外, 为了更好的参与市场竞争, 叶片振动监测系统主控制器还应对比同类竞品在性能先进性、软硬件稳定性、元器件成本、供应链稳定性等方面进行优化设计开发。因此为了满足各项技术要求叶片振动监测系统主控制器还须进行诸如通信性能、数据分析性能等性能测试和软件长期运行稳定性测试。

2. 基本信息

2.1. 被测件版本

叶片振动监测系统主控制器 V1.0

2.2. 重要变化

无

2.3. 测试设备及仪器

名称	型号	数量	备注
波形发生器	UTG962E	1	
电源	220AC	1	
示波器	ZDS1104	1	100MHz
叶片振动监测系统主控制器		1	

2.4. 辅助材料

名称	型号	数量	备注
导线		若干	
镊子		1 个	
电烙铁		1 套	



TEST REPORT

版 本 :

测试报告

A0

各类常用规格 电阻电容		若干	
STLINK 下载器		1 个	
USB 转 TTL 串口		1 个	

成都昆朋新能科技有限公司

Companiontek Technology (Chengdu) Co., Ltd.

3. 测试技术要求及原理

3.1. 技术要求

测试要求分别如下：

- 1) 与采集装置通信稳定性测试：
 - a. 满足与采集装置通信协议要求；
 - b. 通信速率 $\geq 10\text{MB/s}$ ；
- 2) 与 BMS 通信稳定性测试：
 - a. 满足《风机 BMS 系统软硬件 MQTT 通讯协议详细设计》要求；
 - b. 无故障运行时间 ≥ 168 小时；
- 3) 波形频域分析性能测试：
 - a. 方波 FFT 变换特征值计算误差 $< 5\%$ （对比 Matlab）；
 - b. 正弦波 FFT 变换特征值计算误差 $< 5\%$ （对比 Matlab）；
 - c. 三角波 FFT 变换特征值计算误差 $< 5\%$ （对比 Matlab）；
- 4) 波形时域分析性能测试：
 - a. 方波有效值、峰值、峰峰值、峭度、峰值因数、歪度参数计算误差 $< 5\%$ （对比 Matlab）；
 - b. 正弦波有效值、峰值、峰峰值、峭度、峰值因数、歪度参数计算误差 $< 5\%$ （对比 Matlab）；
 - c. 三角波有效值、峰值、峰峰值、峭度、峰值因数、歪度参数计算误差 $< 5\%$ （对比 Matlab）；
 - d. 离线数据存储性能：存储容量 $\geq 100\text{MB}$ ；
- 5) 操作系统稳定性测试：
 - a. 系统无故障运行时间 ≥ 168 小时；

3.2. 测试原理

3.2.1. 与采集装置通信稳定性测试

叶片振动监测系统主控制器与采集装置之间进行数据传输采用 USB 进行通信。叶片振动监测系统主控制器采用 pyusb 模块实现程序通过 USB 接口读写 USB 设备。采集装置带有全速和高速 USB 功能,其中全速 USB 理论速度可达 12Mbps,高速 USB 速度高达 480Mbps。

由于采集装置支持的最大采用频率是 60KHz,分辨率是 24 位并同时采样 6 个通道,进行简单的计算可知每秒产生的数据量是: $60000 \times 6 \times 3 / 1024 = 1.05\text{MB}$ 。由此可知每秒产生的数据量比较大,为了保证传输速率,故采集器采用了高速 USB 模块进行数据传输。

由于硬件的实际性能会对 USB 传输的实际速率造成影响,为了保证使用高速 USB 进行数据传输满足设计需求,故需要对主控制器和采集装置之间的传输速率进行测试。测试原理是通过对采集装置写一个循环程序,不断发送数据,主控制器记录读取到的数据和时间,算出实际速率。

叶片振动监测系统主控制器与采集装置之间的通信协议按照实际传输数据内容进行设计。

3.2.2. 与 BMS 通信稳定性测试

叶片振动监测系统主控制器与上位机 BMS 软件通信采用 MQTT 方式进行。

由主控制器将数据发送至 MQTT 服务器，BMS 通过订阅 MQTT 服务器主题将数据进行保存、处理。具体通信协议按照《风机 CMS 系统软硬件 MQTT 通讯协议详细设计 v3》进行设计。

3.2.3. 波形频域分析性能测试

波形的频域由时域信号经过傅里叶变换得来，故根据傅里叶变换的原理就可得出波形的频域图，从而得出波形的频域特征值。通过波形发生器产生相应的波形，由主控制器根据波形时域数据得出频谱图，再与 MATLAB 根据时域数据得出的频谱图进行比较即可得出主控制器频域分析的准确性。

3.2.4. 波形时域分析性能测试

主控制器接收到的信号为振动传感器所采集的振动信号，振动信号的特征值包括有效值、峰值、峰峰值、峭度、峰值因数、歪度参数等。这些特征值可以预测动力传输部件可能出现的问题，因此为了保证计算特征值的精确性，使用波形发生器产生各类波形信号，将主控制器计算的有效值、峰值、峰峰值、峭度、峰值因数、歪度参数等特征值的计算结果同 MATLAB 进行对比。

3.2.5. 操作系统稳定性测试

主控制器连接 MQTT 服务器，观察运行时间，只要一直保持连接，则可以确定主控制器操作系统的稳定性。

4. 测试结果

4.1. 与采集装置通信稳定性测试

4.1.1. 通信协议

叶片振动监测系统主控制器和采集装置之间采用 USB 进行通信，二者之间所需传输的数据仅有控制器向采集装置发送的开始/暂停采集指令和采样频率设置指令，此外采集装置只需向主控制器发送振动数据和转速数据。两者的通信协议设计如下：

表 4.1.1.1 主控制器控制采集装置通信指令

		名称	说明
数据结构	1	控制指令帧头	前四位同时为 1 才能代表主控制器向采集装置发送的控制指令
	1		
	1		
	1		
	0/1	数据采集控制	00：代表停止采集
	0/1	位	11：代表允许采集
	1/2/3/4/5/6	采样频率控制	11：代表采样频率为 10000Hz
	1/2/3/4/5/6		22：代表采样频率为 20000Hz 33：代表采样频率为 30000Hz

			44：代表采样频率为 40000Hz
			55：代表采样频率为 50000Hz
			66：代表采样频率为 60000Hz

表 4.1.1.2 采集装置发送数据格式

		名称	说明
数据结构	0	通道 0 数据帧头	振动信号由 6 路 AD 同步采样,此为第一路既通道 0 的数据
	0		
	0		
	0		
		通道 0 数据	一共占 1024 个字节
			
	5	通道 5 数据帧头	振动信号由 6 路 AD 同步采样,此为第一路既通道 5 的数据
	5		
	5		
	5		
		通道 5 数据	一共占 1024 个字节
	6	断线检测 数据帧头	
	6		
	6		

	6		
		断线检测数据	一共占 1024 个字节 (只有前 2 字节数据有效)
	7	温度检测 数据帧头	
	7		
	7		
	7		
		温度数据	一共占 1024 个字节 (只有前 6 字节数据有效)

4.1.1. 通信速率测试

USB 传输速率和硬件性能有很大关系,但是使用高速 USB 足以满足设计需求,在采集装置中设计一个 USB 循环发送程序,由上位机控制开始和停止发送时间,并记录采集到的数据大小,从而得出采集装置和主控制器之间的通信速率。

```
zhangpeng@zhangpeng-H310MHC2:~/桌面/新建文件夹/上位机/usb数据传输$ sudo python3 ./main.py
读取1MB数据
时间: 0.05514717102050781
速率: 18.13329644104728
zhangpeng@zhangpeng-H310MHC2:~/桌面/新建文件夹/上位机/usb数据传输$ sudo python3 ./main.py
读取1MB数据
时间: 0.05793285369873047
速率: 17.261362701038735
zhangpeng@zhangpeng-H310MHC2:~/桌面/新建文件夹/上位机/usb数据传输$ sudo python3 ./main.py
读取1MB数据
时间: 0.05597853660583496
速率: 17.863989675924547
zhangpeng@zhangpeng-H310MHC2:~/桌面/新建文件夹/上位机/usb数据传输$
```

图 4.1.2.1 采集装置和与主控制器通信速率

4.1.2. 测试结果

由上可知主控制器与采集装置之间的通信速率可达 17MB/s, 满足技术要求。

4.3. 与 BMS 通信稳定性测试

4.3.1. 通信协议

主控制器与 BMS 之间的通信协议依据《风机 BMS 系统软硬件 MQTT 通讯协议详细设计 v3》进行设计, 包含收集硬件信息、配置采集信息、警报数据信息、数据传递和重启数采设备功能。

4.3.2. 稳定性

主控制器和 BMS 之间的通信和数据是通过 MQTT 服务器进行转发的, 只需查看 MQTT 上主控制器和 BMS 的留存时间就能得到主控制器和 BMS 通信的稳定性, 由图 4.2.2.1 可知主控制器和 BMS 都已留存超过 168 小时, 满足技术要求。

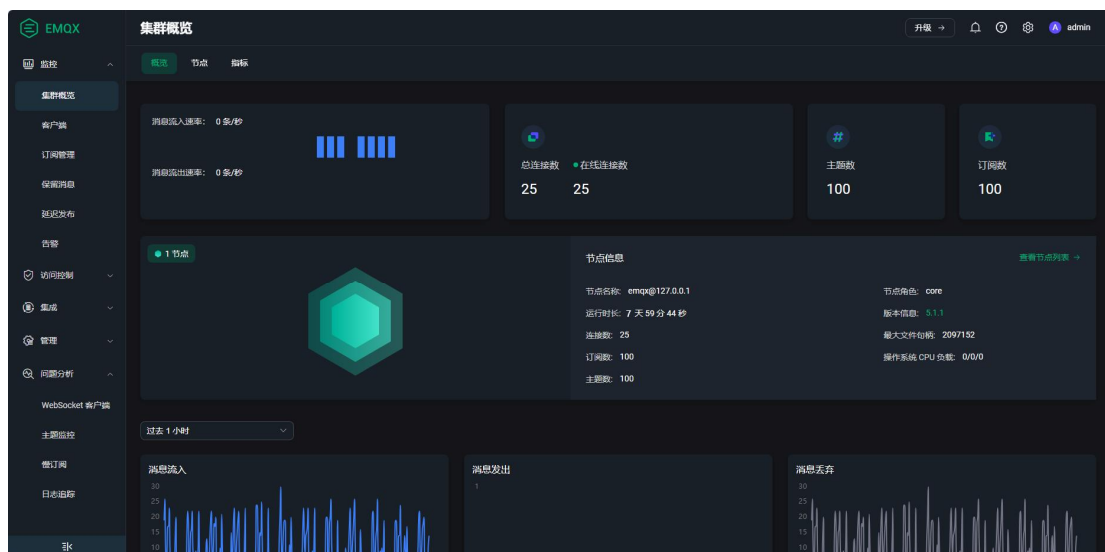


图 4.2.2.1 主控制器和 BMS 通信留存时间

4.3.3. 测试结果

由上可知主控制器和 BMS 之间通信协议依据《风机 BMS 系统软硬件 MQTT 通讯协议详细设计 v3》进行规定，二者之间的通信时间都已超过 168 小时，故主控制器与 BMS 通信稳定性满足技术要求。

4.4. 波形频域分析性能测试

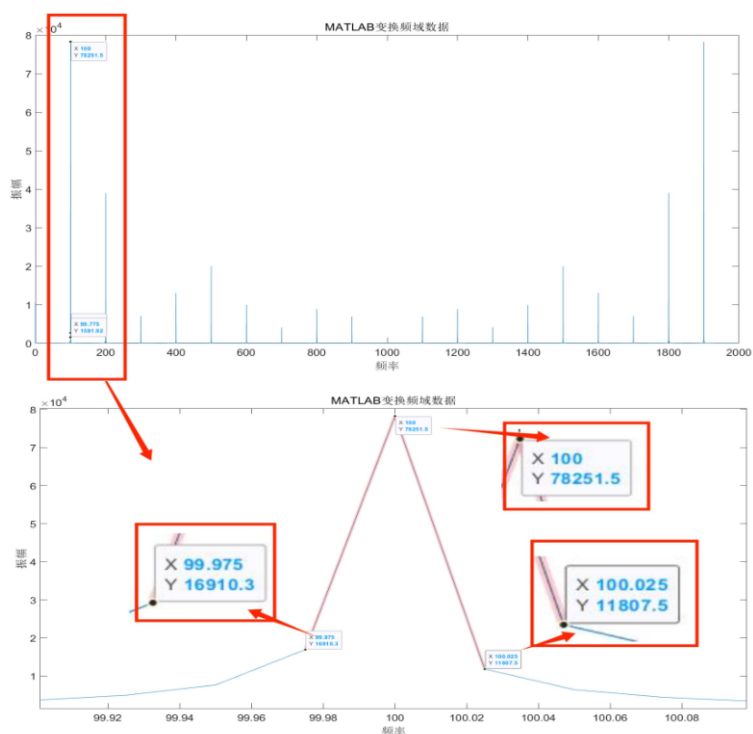
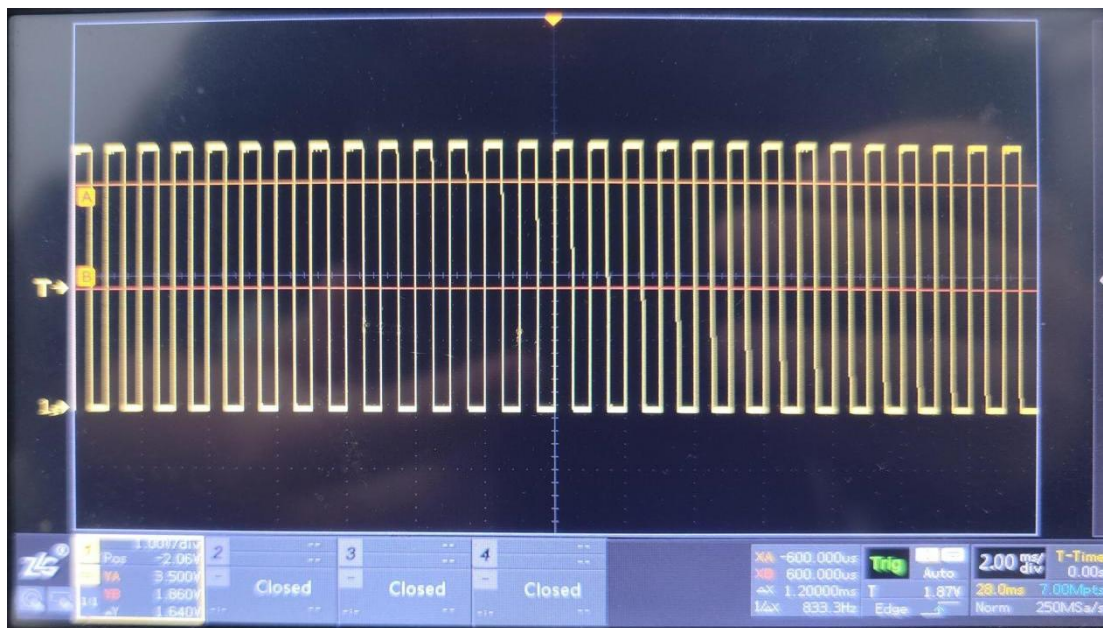
4.4.1. 方波 FFT 变换特征值准确性

使用波形发生器产生频率为 100Hz 的方波（见图 4.3.1.1），由于波形发生器的原因，其产生的方波不是标准方波，如图 4.3.1.2 所示的示波器测量的波形发生器产生的方波。主控制器将接收到的时域信号数据保存为文件，主控制器将 FFT 变换过后的频域数据也保存为文件，使用 MATLAB 软件对时域信号数据进行

FFT, 并描绘出变换之后的频谱图 (见图 4.3.1.3), 然后使用 MATLAB 根据主控制器产生的频域数据描绘出频谱图 (见图 4.3.1.4), 由这两幅图可知主控制器正弦波 FFT 变换后的特征值与使用 MATLAB 进行 FFT 变换一致。



图 4.3.1.1 波形发生器产生的方波



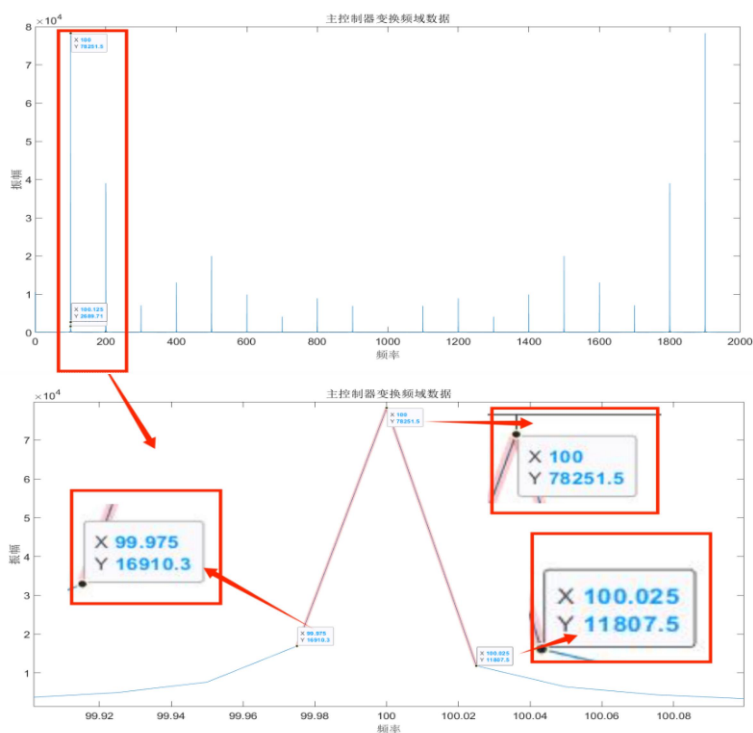


图 4.3.1.4 主控制器 FFT 变换特征值频谱图

4.4.2. 正弦波 FFT 变换特征值准确性

使用波形发生器产生频率为 100Hz 的正弦波（见图 4.3.2.1），主控制器将接收到的时域信号数据保存为文件，主控制器将 FFT 变换过后的频域数据也保存为文件，使用 MATLAB 软件对时域信号数据进行 FFT，并描绘出变换之后的频谱图（见图 4.3.2.2），然后使用 MATLAB 根据主控制器产生的频域数据描绘出频谱图（见图 4.3.2.3），由这两幅图可知主控制器正弦波 FFT 变换后的特征值与使用 MATLAB 进行 FFT 变换一致。



图 4.3.2.1 波形发生器产生的正弦波

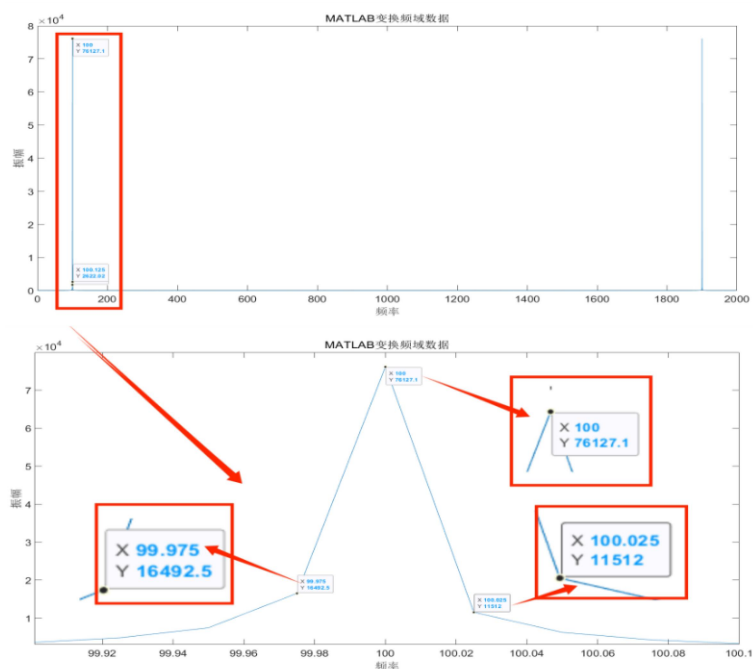
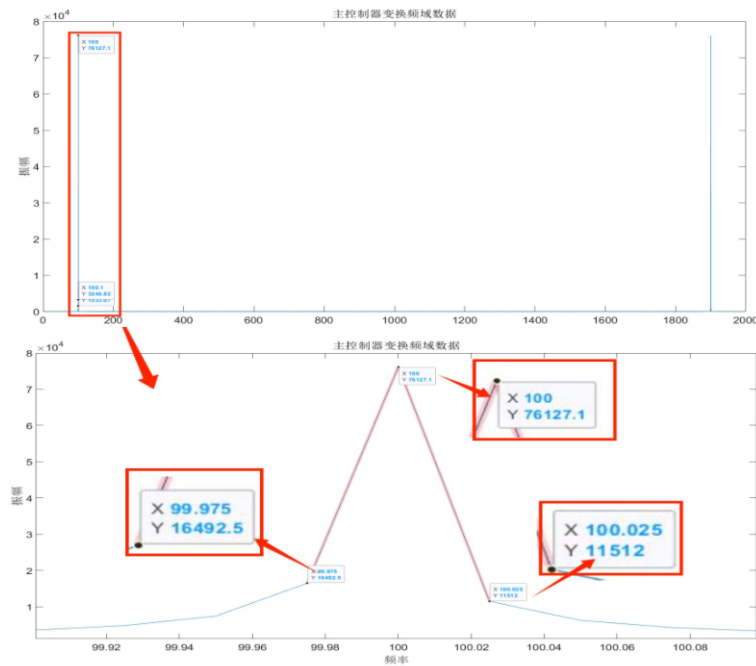


图 4.2.3.2 MATLAB FFT 变换特征值频谱图



4.3.2.3 主控制器 FFT 变换特征值频谱图

4.4.3. 三角波 FFT 变换特征值准确性

使用波形发生器产生频率为 100Hz 的三角波（见图 4.3.3.1），主控制器将接收到的时域信号数据保存为文件，主控制器将 FFT 变换过后的频域数据也保存为文件，使用 MATLAB 软件对时域信号数据进行 FFT，并描绘出变换之后的频谱图（见图 4.3.3.2），然后使用 MATLAB 根据主控制器产生的频域数据描绘出频谱图（见图 4.3.3.3），由这两幅图可知主控制器正弦波 FFT 变换后的特征值与使用 MATLAB 进行 FFT 变换一致。



图 3.3.3.1 波形发生器产生的三角波

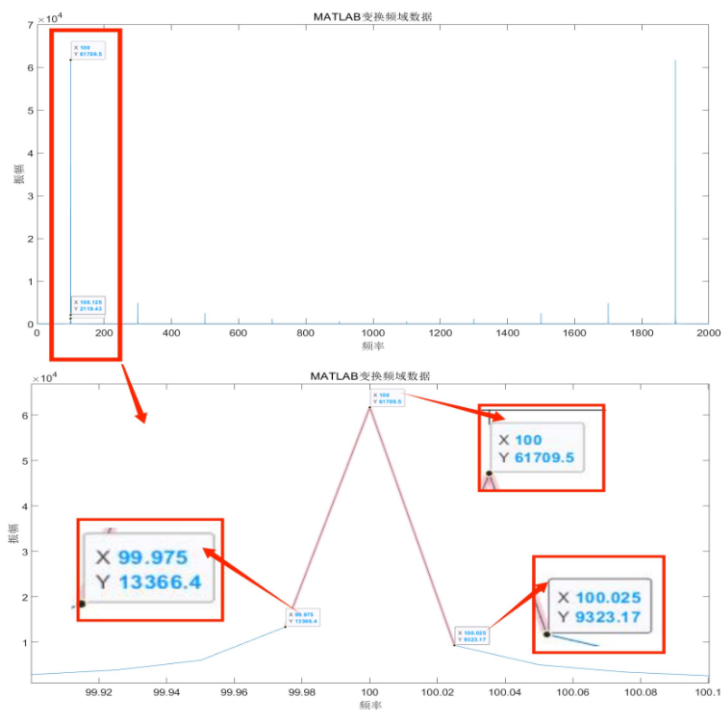
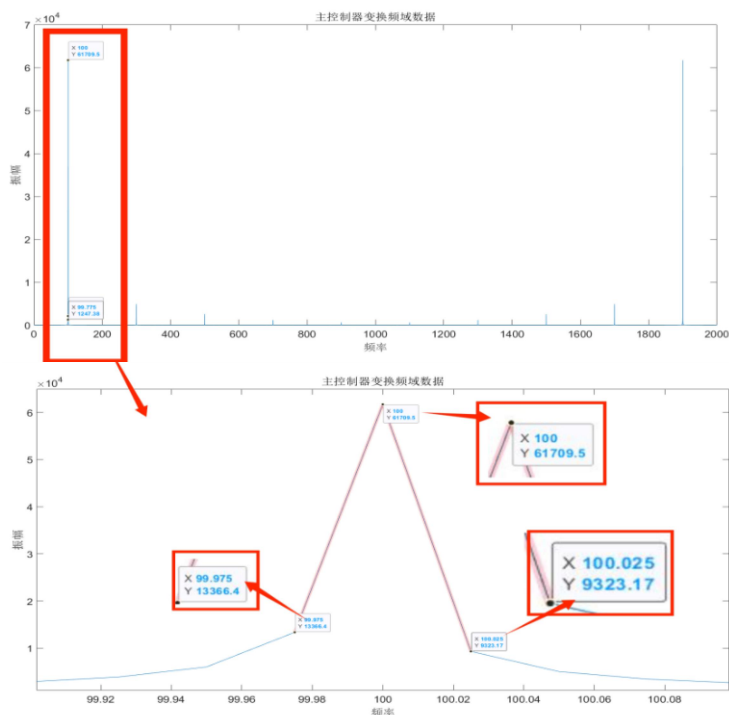


图 4.3.3.2 MATLAB FFT 变换特征值频谱图



4.3.3.3 主控制器 FFT 变换特征值频谱图

4.4.4. 测试结果

由上可知主控制器对输入的方波、正弦波和三角波信号的频率都能准确分析。
故主控制器波形频域分析性能满足技术要求。

4.5. 波形时域分析性能测试

4.5.1. 方波特征值计算准确性

使用波形发生器产生频率为 100Hz 的方波（见图 4.4.1.1），主控制器将接收到的时域信号数据保存为文件，使用 MATLAB 软件对时域信号数据进行特征值计算得到如图 4.4.1.2 所示的值。再从主控制器发送的数据中得到主控制器对

时域数据计算得出的特征值，结果如图 4.4.1.3 所示。整理二者数据可得下表，由表 4.4.1.1 可知，主控制器方波特征值计算准确性满足技术要求。

表 4.4.1.1 方波特征值计算误差

特征值	MATLAB 计算值	主控制器计算值	误差值 (%)
有效值	3.9293	3.929290363	0.000245%
峰值	5.0285	5.02851222	0.000243%
峰峰值	9.5235	9.5234972	0.000029%
峭度	1.084	1.083975791	0.002233%
峰值因数	1.2798	1.279750732	0.003850%
歪度	-0.000641	-0.000641257	0.040094%



图 4.4.1.1 波形发生器产生的方波

峰峰值	8.0394	8.03943183	0.000396%
峭度	1.4996	1.499629596	0.001974%
峰值因数	1.4204	1.420440383	0.002843%
歪度	0.00010301	0.000103008	0.002144%



图 4.4.2.1 波形发生器产生的正弦波

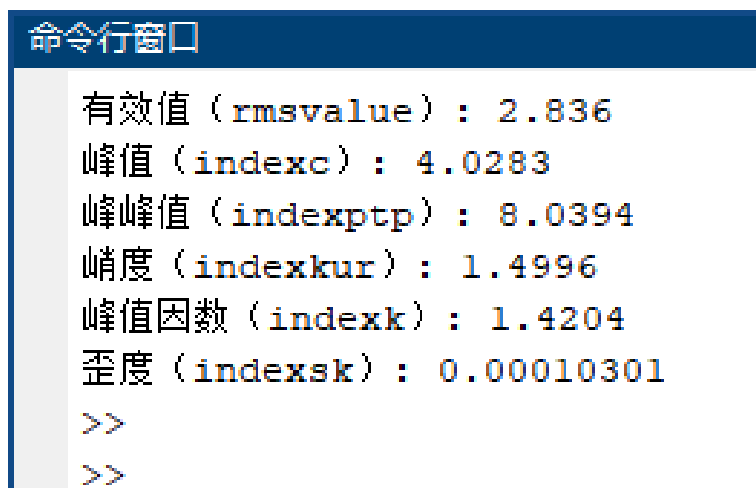


图 4.4.2.2 MATLAB 计算得出正弦波特征值



图 4.4.3.1 波形发生器产生的三角波

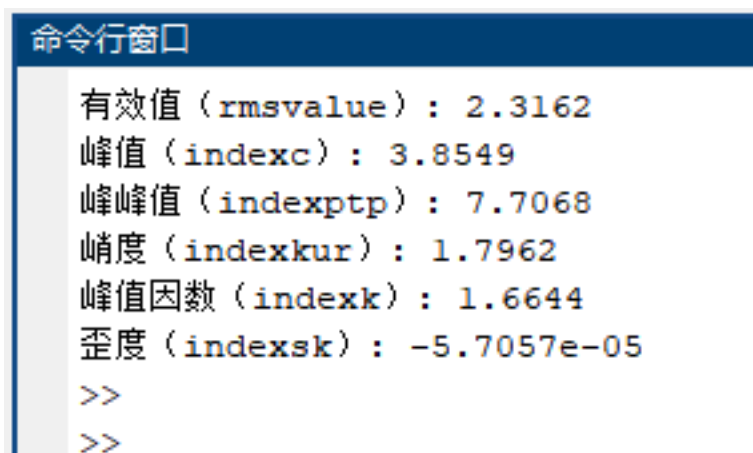


图 4.4.3.2 MATLAB 计算得出三角波特征值



图 4.4.3.3 主控制器计算得出三角波特征值

4.5.4. 离线数据存储性能

主控制器使用 SQLite 数据库保存离线数据，按照每条数据为 13364 字节大小的数据，一共能保存 14062 条数据，共计 $14062 \times 9252 \div 1024 \div 1024 \approx 179\text{MB}$

4.5.5. 测试结果

由上可知主控制器对方波、正弦波和三角波的时域信号进行特征值计算的结果误差没有超过 0.5%，主控制器离线保存数据可达 120M。故主控制器波形时域分析性能满足技术要求。

4.6. 操作系统稳定性测试

4.6.1. 测试结果

主控制器的数据是通过 MQTT 服务器进行转发的，只需查看 MQTT 上主控制器留存时间就能得到主控制器操作系统的稳定性，由图 4.5.1 可知主控制器都已留存超过 168 小时，满足技术要求。

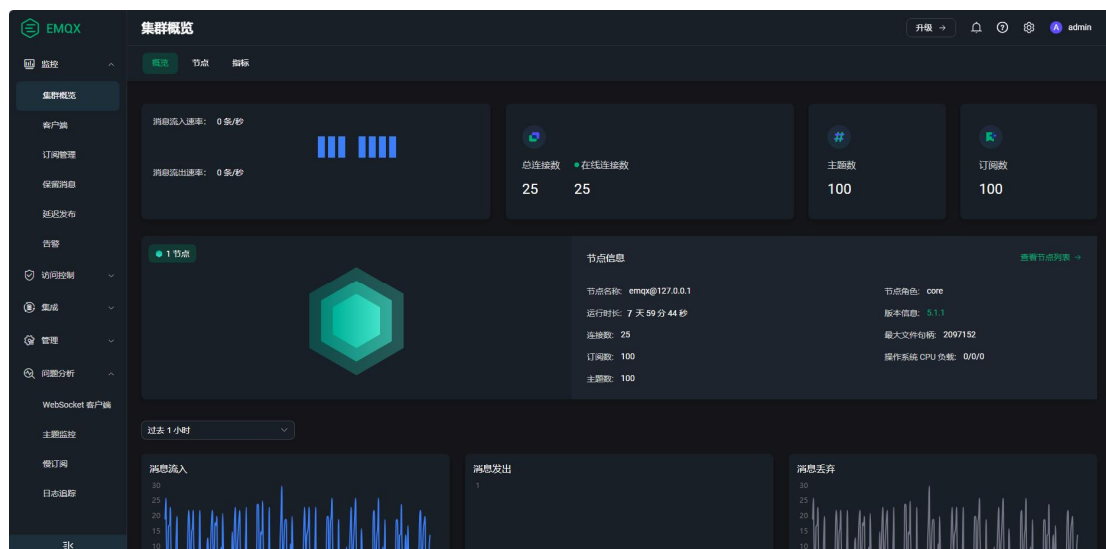


图 4.5.1 主控制器操作系统稳定性



5. 测试人员签字

测试人员:	
项目负责人:	