

基于 LabVIEW 的转子动平衡测控系统软件

设计说明书

（版本： V1.0）

西安电子科技大学
2017 年 6 月

目录

| | |
|----------------------|----|
| 目录 | 1 |
| 1 软件简介 | 1 |
| 1.1 开发工具..... | 1 |
| 1.2 主要功能..... | 1 |
| 2 软件结构 | 2 |
| 2.1 转子动平衡测控系统原理..... | 2 |
| 2.2 转子动平衡测控系统框架..... | 2 |
| 3 总体设计 | 4 |
| 3.1 需求概述..... | 4 |
| 3.2 界面介绍..... | 4 |
| 3.2.1 参数设置界面..... | 4 |
| 3.2.2 数据采集界面..... | 5 |
| 3.2.3 振动分析界面..... | 7 |
| 3.2.4 动平衡控制界面..... | 10 |
| 4 功能实现 | 12 |
| 4.1 数据保存..... | 12 |
| 4.2 转速测量..... | 12 |
| 4.3 实时轴心轨迹绘制..... | 13 |
| 4.4 数据滤波..... | 14 |
| 4.5 工频特征值提取..... | 15 |
| 4.6 模态参数识别..... | 16 |
| 4.7 动平衡控制..... | 17 |

1 软件简介

1.1 开发工具

本软件是基于 LabVIEW 平台的转子动平衡测试与控制系统软件，为了保证各硬件之间的协调工作，并使系统具有更高的可靠性，根据硬件支持的操作系统说明，我们选 Microsoft Window10 和 LabVIEW2014 作为硬件系统运行支持。

为了使软件运行具有最高的效率，选用 LabVIEW 与 Matlab 混合编程。LabVIEW 是一款图形化的编程语言开发环境，具有大量的模块函数、开放式的编程平台、支持 TCP/IP，DDE 等协议，以及对多种硬件的设备驱动功能等特点；Matlab 有可靠的数值计算和符号计算功能、强大的绘图功能、简单易学的语言体系以及为数众多的应用工具箱。把 LabVIEW 软件平台与 MATLAB 相结合使用，无疑将使虚拟仪器的数据处理功能更加强大，大大缩短了开发周期。

1.2 主要功能

本测控软件可以实现以下功能：

- (1) 实时采集旋转主轴的振动信号
- (2) 数据动态实时显示
- (3) 振动信号时频域处理
- (4) 旋转主轴轴心轨迹的绘制
- (5) 振动信号滤波处理
- (6) 模态分析
- (7) 进行动平衡控制
- (8) 转速的实时测量
- (9) 工频特征值的提取
- (10) 数据保存

2 软件结构

2.1 转子动平衡测控系统原理

转子动平衡测控软件的基本原理是：测试系统实时监测转子的振动，系统对径向或者横向振动信号进行处理，停机进行转子不平衡量的校正。同时设计了模态分析可以辅助我们对平台进行临界转速下的动平衡。

转子动平衡测控系统原理图如图 2.1 所示：

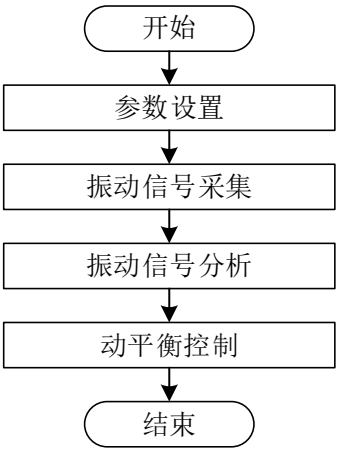


图 2.1 系统原理图

2.2 转子动平衡测控系统框架

本文所设计的 LabVIEW 软件系统主要包括五个模块：参数设置模块，数据采集模块，数据保存模块，数据分析模块及基于影响系数法单面试重进行转子动平衡模块。其中包括许多子模块包括频域分析模块，工频特征值提取模块，滤波模块，模态分析模块，转速测量模块等等，其整体结构图如图 1.2 所示：

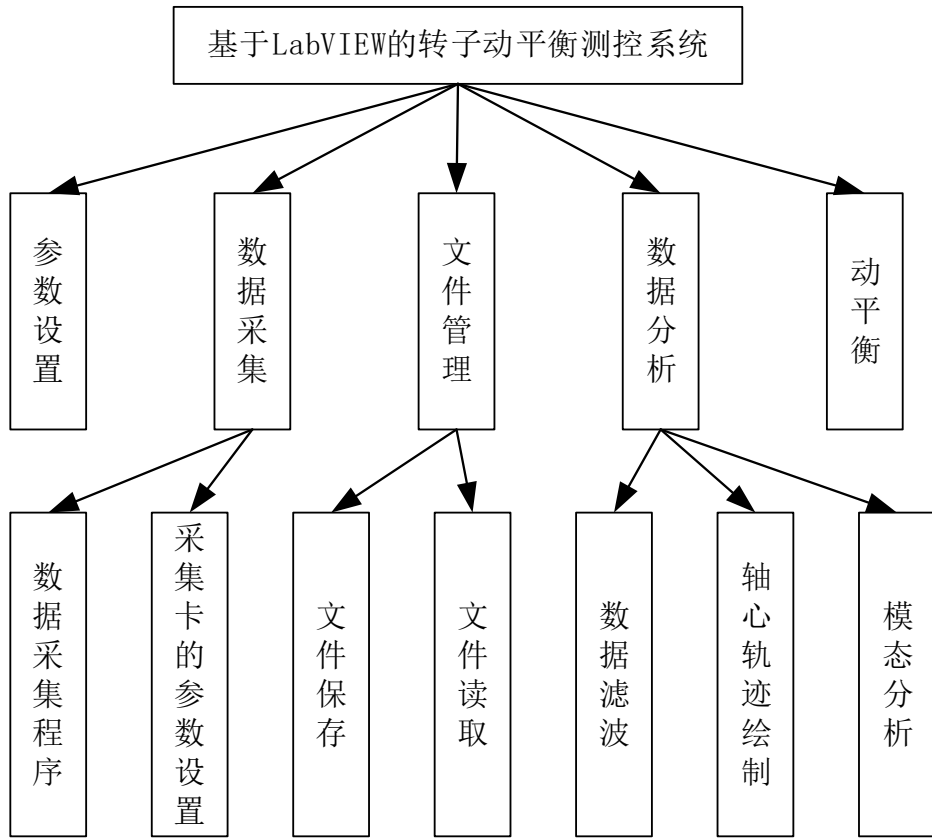


图 2.2 软件系统总体结构图

3 总体设计

3.1 需求概述

本软件是基于 LabVIEW 的转子动平衡测控系统，为了实现转子信号的实时精确采集，使用高采样频率，提高采样的转换速率，通过多通道实时采集的 NI 采集卡实现信号采集。

为了分析信号的各个频率的特点，将采集到的信号进行实时处理，得到信号时频域的特点。

为了了解转子实验台的模态参数，分析出实验台的各阶临界转速，提高动平衡的效果，利用模态分析模块，对激励和响应信号处理得到频响函数，系统可直接识别出模态参数。利用本系统可以进行离线模态的分析也可以进行在线的模态分析。

为了能消除主轴加工过程中由环境及工况变化等因素导致的不平衡，有效提高平衡精度和效率，可进行动平衡控制。控制系统实时对转子信号进行分析，实现不平衡量的识别和校正。

3.2 界面介绍

3.2.1 参数设置界面

参数设置主要分为采集通道参数设置、振动分析参数设置、动平衡参数设置等方面，但具体到软件系统有采样速率、采样点数、采样方式、主轴转速、传感器与轴的阈值距离、传感器灵敏度、通道设置、转速阈值、滤波方式选择等等参数的设置。



图 3.1 参数设置界面

本测控系统，设置了一些默认的参数，用户需要根据具体的情况进行修改。实际测量中 NI 采集卡的八个通道所连接的传感器的灵敏度不一定相同，依照实际情况特别将传感器灵敏度对应八个通道进行分别的设置。主轴转速的设置也还是依照实际读取到的主轴转速。数据滤波参数设置中，为了显示效果我们只是一次性显示某一个通道的信号，因此需要提前设置。

3.2.2 数据采集界面



图 3.2 数据采集主界面

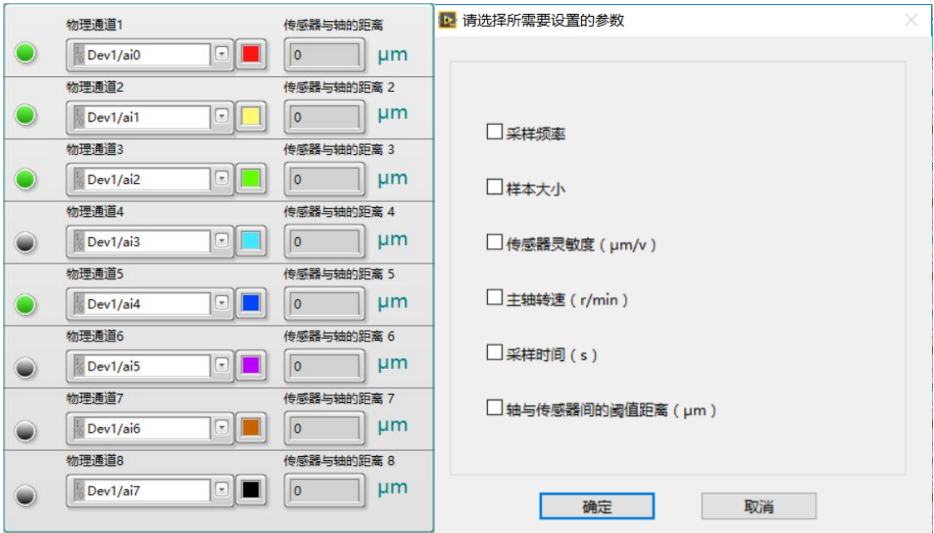
数据采集界面主要是实时进行八个通道的数据的采集，具体的物理通道是根据所选择的 NI 采集卡自动识别的。界面主要可以划分为：时频域波形的显示、波形显示指示灯、采集信号物理通道、传感器与轴的阈值距离、工频特征值显示、电压与幅值转换、采集参数二次设置等几个区域。

软件系统可以将采集到的振动信号以时域和频域的方式实时显示出来，采集通道前的指示灯主要表明对应通道的信号是否显示，实际上所有通道的信号都已采集到。采集通道后的颜色方块可以实时调节该通道显示的波形曲线的颜色。

右侧的工频特征值的提取区域可以实时显示对应通道的工频频率、工频幅值、工频相位。

右上侧显示了一些数据采集的参数，如采样频率、采样点数等。但是如果用户想实时修改可以点击设置按钮，就可以对相应参数进行实时设置。

右下侧提供开始、保存、停止按钮，点击开始按钮，采集系统就开始工作，点击保存系统弹出保存路径对话框，设置好路径后就会自动将八个通道的数据保存成 mat 格式的数据文件供 matlab 软件调用分析。点击停止按钮系统就停止工作。需要注意的是，当某通道前的指示等灭的时候，该组数据是自动清零的。如果想保存，就必须提前将指示灯点亮。



3.3 选择通道及显示

3.4 参数修改弹窗

3.2.3 振动分析界面

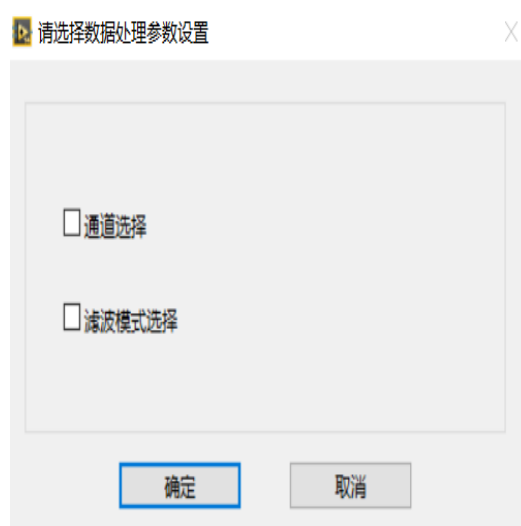
(1) 数据滤波界面



图 3.5 数据滤波主界面

数据滤波界面主要可以划分为：滤波前后时频域信号显示、数据滤波模式选择，相应模式下参数设置、工频特征值提取。

点击设置按钮会弹出一个对话框，可以进行通道选择和滤波模式的选择。



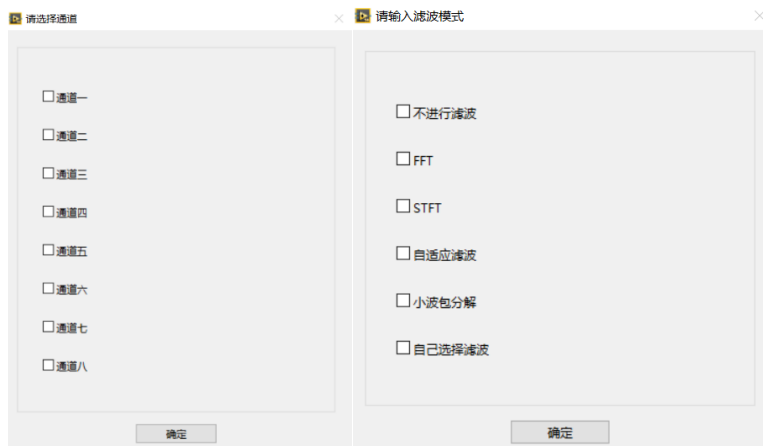


图 3.6 数据滤波参数设置对话框

选择好某个通道和滤波方式后，点击中间部分的相应滤波方式的选项卡，进行相应滤波模式的参数设置。就可以在界面两边实时显示出滤波前后时频域信号波形。

在界面中下部分显示工频特征值的模块，使用的是相关算法实现的工频特征值的提取。



3.7 互相关法提取工频特征值

(2) 轴心轨迹绘制界面



图 3.8 轴心轨迹绘制界面

系统在运行时就会实时将采集到的旋转轴截面 X、Y 方向的信号绘制成轴心，通过调节采样点数和采样频率可以较精确的得到实时的轴心轨迹。本系统可以同时绘制两个界面的轴心轨迹。

点击保存按钮后，系统提示保存路径选择，选择好路径后就可以将数据保存成 mat 格式的数据文件。

（3）模态分析



图 3.9 模态分析主界面

模态分析主界面（如图 3.9）包括数据采集参数的设置，如：采集单位、采集通道、采样模式、采样速率、样本大小、采集次数等；滤波参数的设置；阈值设置；预触发长度设置；FRF 参数设置等。

数据的显示显示激励、响应、频响应函数信号，同时还有模态参数的识别显示如：模态频率、模态振型、模态阻尼比等。

首先测量原始的激励与响应信号，设置一个激励阈值，如果监测到激励信号高于阈值就，将原始信号进行读取到测量频响函数的子 VI 中，连续测量三次数数据，然后进行平均 FRF 计算获得结构的频响应函数矩阵，最后通过模态识别的算法，提取模态参数（模态矩阵、模态振型、模态阻尼比等）。在数据进入到测量频响函数的子 VI 前最好对信号进行。

试验模态分析中，为了减小为误差需要对单点进行多次试验，将多次所得的数据进行平均计算测点频响应函数（FRF）值，其流程如图 3.10。

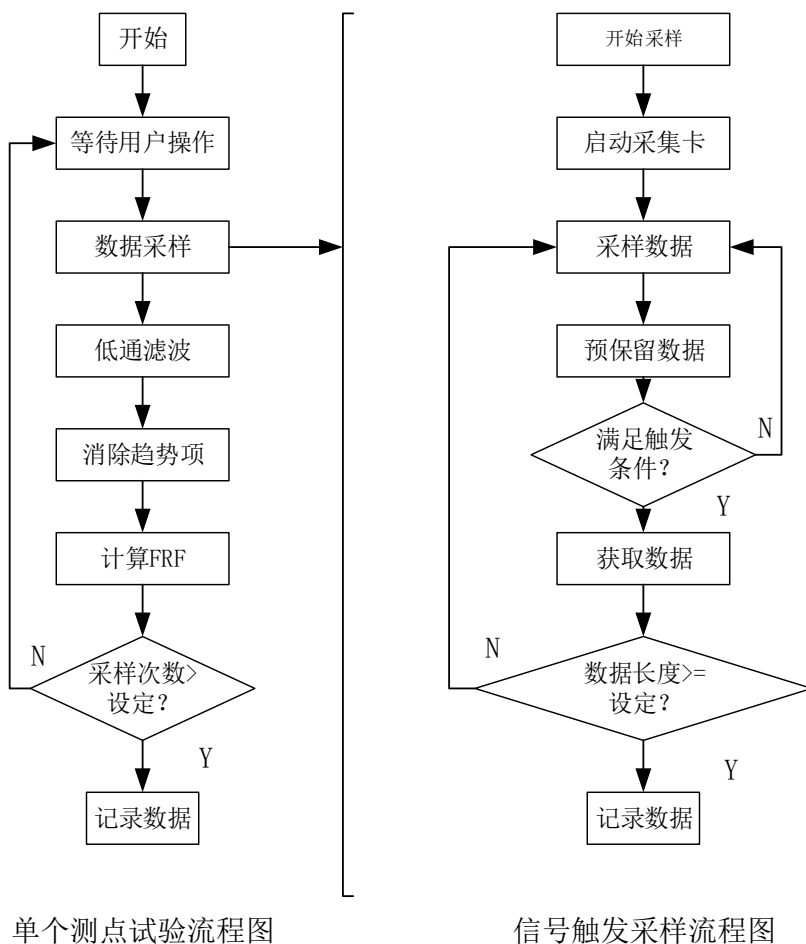


图 3.10 单个测点试验及信号触发采样流程图

3.2.4 动平衡控制界面



图 3.11 单面试重法转子动平衡程序界面

界面主要划分为：时频域信号显示，动平衡通道选择，信号重组和刷新，原始、配重、试重信号采集选择，配重方案显示等几个部分。

在进行单面试重法进行转子动平衡的实验主要是基于前面所说的利用影响系数法进行动平衡。点击开始按钮，选择信号的采集通道。冗余次数是指采集信号的平均次数，这样对得到的幅值和相位信号更加准确。首先采集原始信号，得到重组信号的幅值和相位，停机添加试重，测量得到的试重信号，将所添加的试重数据（试重重量和试重孔数）和总的配重孔数放到软件中去，点击界面右下区域的计算按钮就可以得到配重方案及配重误差。接着停机，将所计算到的配重方案添加到实验台中，测量配重信号，验证振动是否降低。具体流程如图 3.12

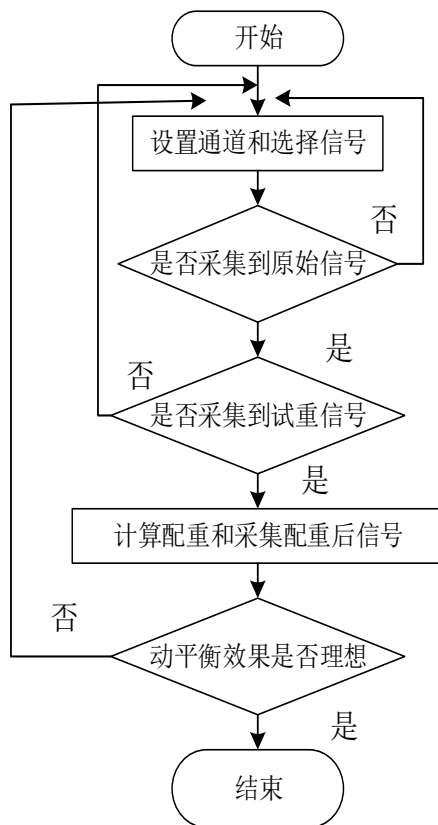


图 3.12 动平衡流程图

4 功能实现

4.1 数据保存

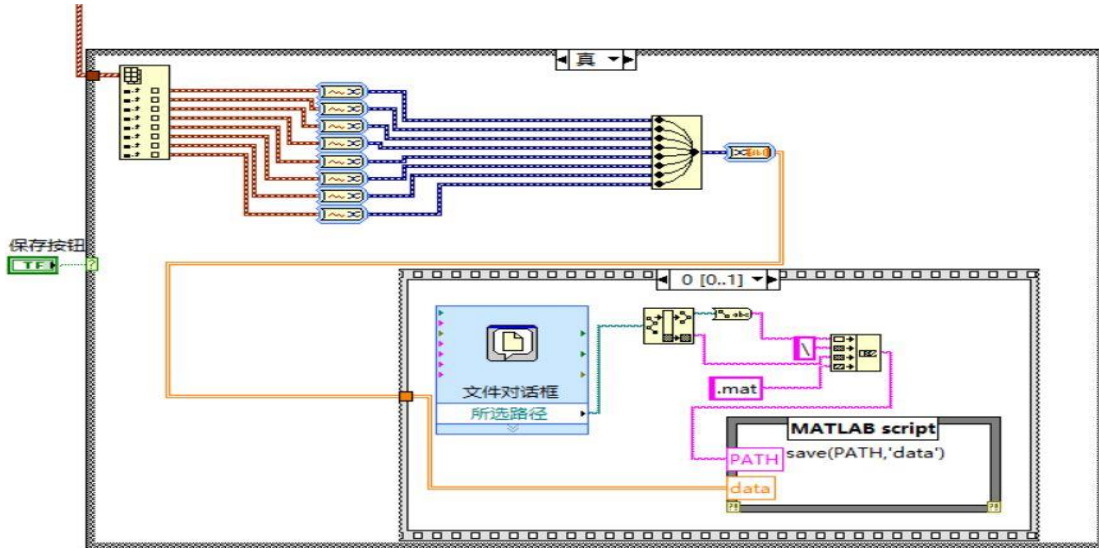


图 4.1 数据保存程序框图

用户点击界面的保存按钮，提示用户选择保存文件的文件夹用户即保存相应的信号数据。实现方法是通过 LabVIEW 调用 MATLAB script 脚本函数将数据保存成 mat 文件。即实现数据的保存功能。上图是保存八个通道的采集数据的数据保存程序框图。

4.2 转速测量

转速的测量及振动信号的参考相位主要是通过光电传感器来获得的。在转子上贴上一小块反光材料或者黑色的胶布。当光电传感器的光打到转子的反光材料时，光电传感器接受到的光的强度就会发生变化，直接的反映就是采集到的光电传感器的电压信号会随着转子的旋转产生周期性的方波信号（包含许多递减的谐波信号）。

通过采集到的方波信号，再通过阈值处理生成二值化方波，其次要先记录转速下降沿的时刻信息，并将其放在周期时刻数组，在周期到达 5 或者点数超过 1980 则结束该循环；最后在求得周期时刻信息后，根据转速周期的数据以及对应的时刻值求得每个周期的时间，然后求对应转速。

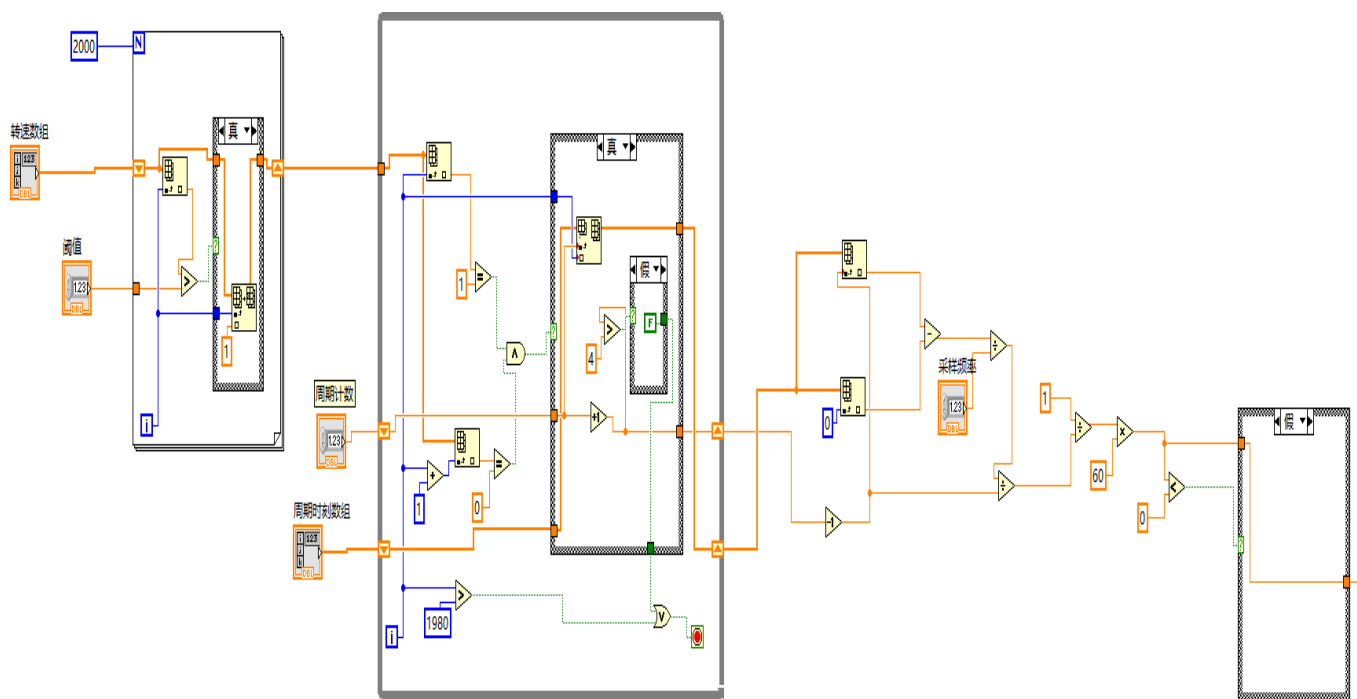


图 4.2 转速测量程序框图

4.3 实时轴心轨迹绘制

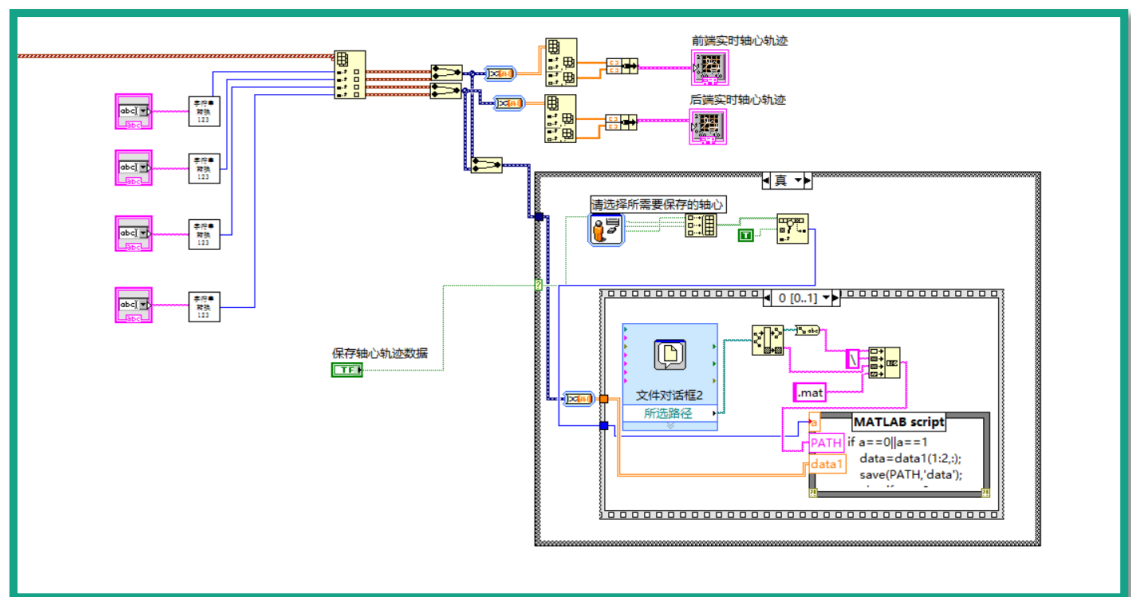


图 4.3 实时轴心轨迹绘制

将进行过减均值处理的两路信号，分别作为绘制轴心的 X、Y 向位移数据输入到 XY 图控件中去就可以绘制轴心轨迹了。

4.4 数据滤波

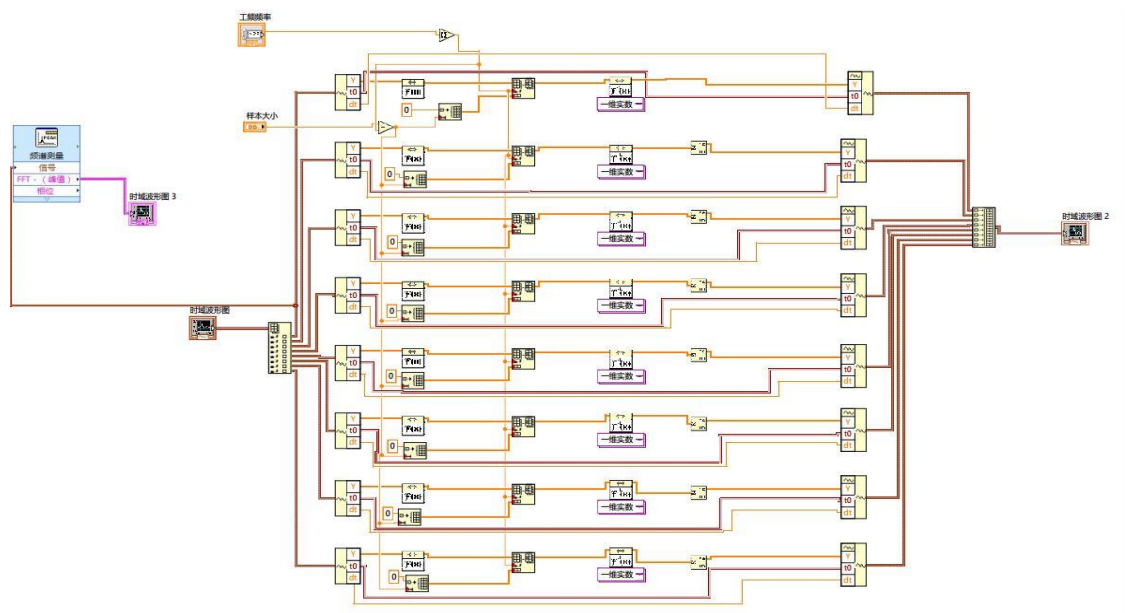


图 4.4 利用 FFT 进行数据滤波程序框图

将相应的波形数据首先进行 FFT 变换，在频谱中去掉相应的频率成分，然后再进行 FFT 逆变换获得滤波后的波形图。具体原理如图 4.5。

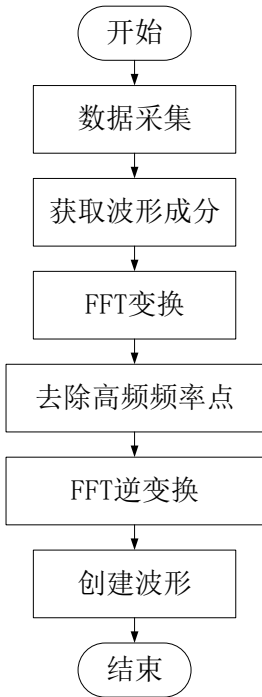


图 4.5 FFT 滤波原理

4.5 工频特征值提取

(1) 通过相关算法提取工频特征值，建立与基频频率相同的正余弦信号，通过相关算法可以过滤掉除基频之外的其他频率成分，从而实现信号的工频幅值和相位的提取。由于 matlab 实现算法的便捷性，采用 LabVIEW 调用 matlab 的形式完成算法的实现。

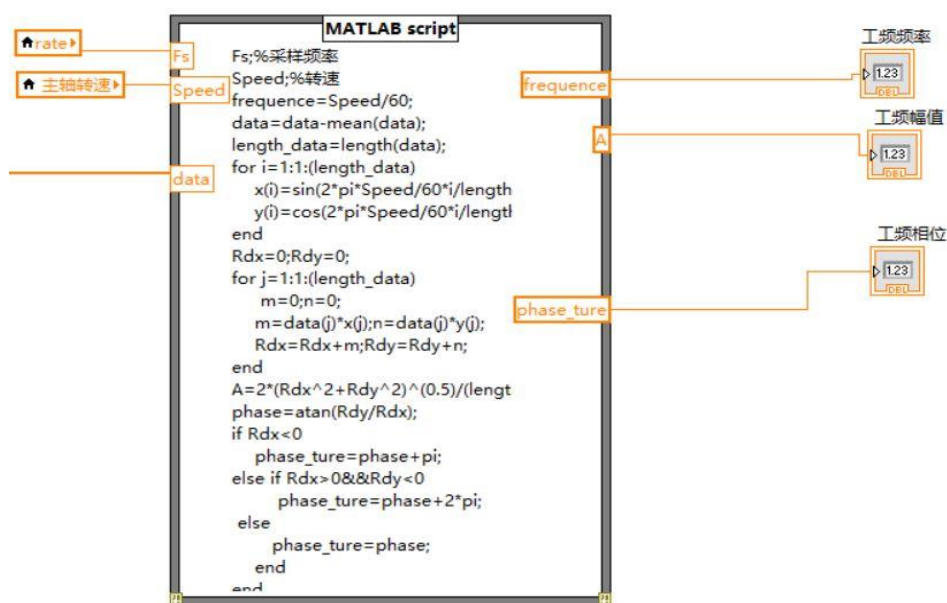


图 4.6 相关算法提取工频特征值程序框图

(2) 利用 FFT 变换对信号进行频谱分析，提取幅值谱的峰值对应的频率，该频率基本上就可以认定为工频频率，该峰值基本上就是工频幅值。接着从相位谱中找出工频频率对应的相位就是工频相位。

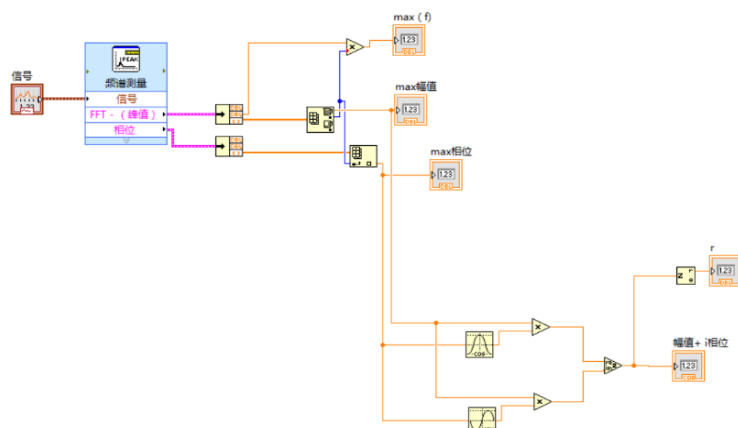


图 4.7 搜索极值确定工频特征值程序框图

4.6 模态参数识别

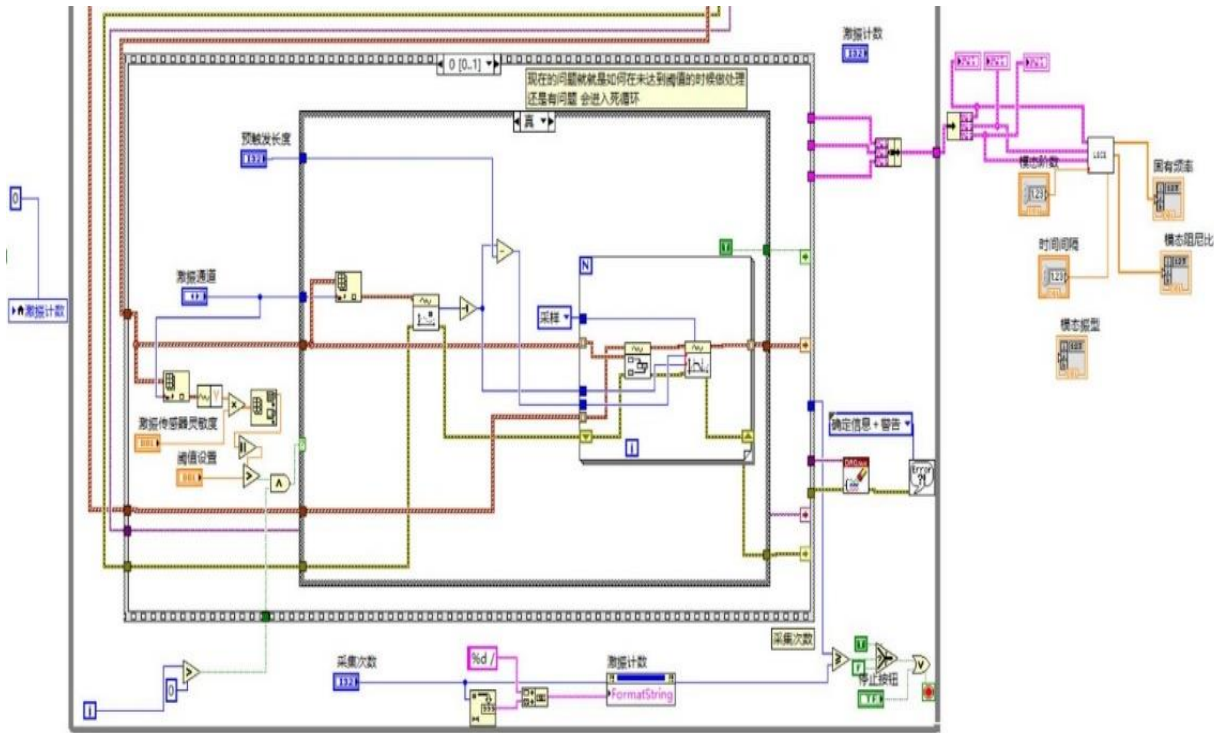


图 4.8 模态分析主程序框图

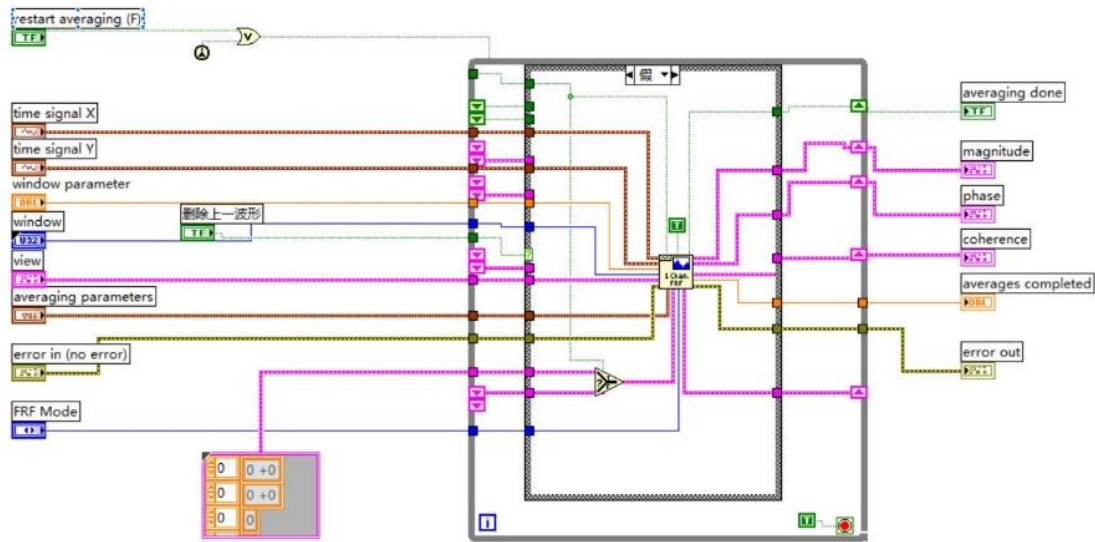


图 4.9 平均计算 FRF 程序框图

有时候在测量数据的时候有一定的干扰，利用三次采集到的数据进行平均可以使得得到的频响函数更加准确。

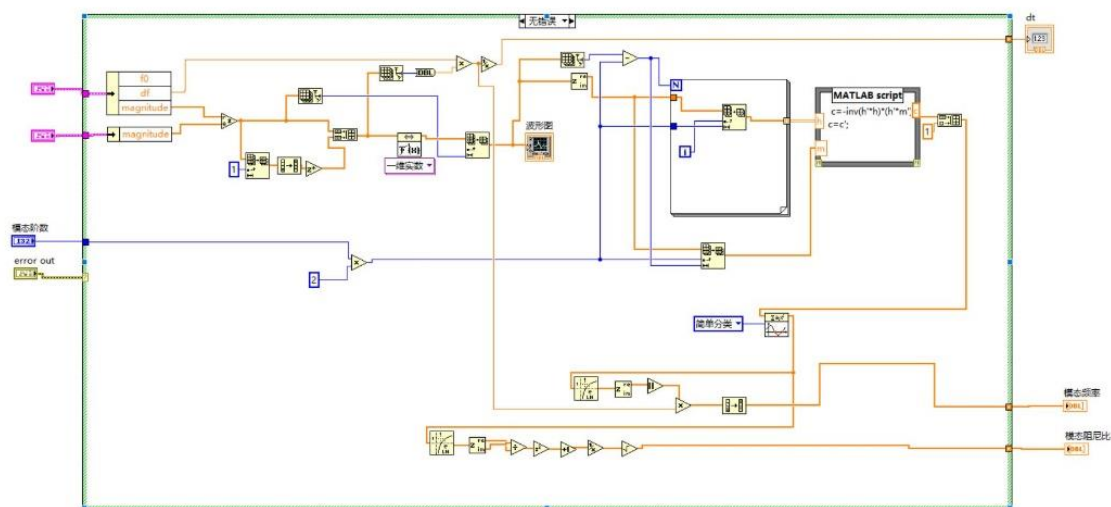


图 4.10LSCE 法模态参数提取程序框图

首先将测得的频响函数在一定的频段内进行傅里叶逆变换，接着利用 LSCE 法进行模态识别。

LSCE 方法的基本思想是通过 Z 变换因子来表示脉冲响应，然后再构造 prony 多项式并确定 prony 多项式的自回归系数，再由 prony 多项式求取包含系统极点信息的复指数项，进而求得系统极点和留数，从而得到完整的模态参数。

4.7 动平衡控制

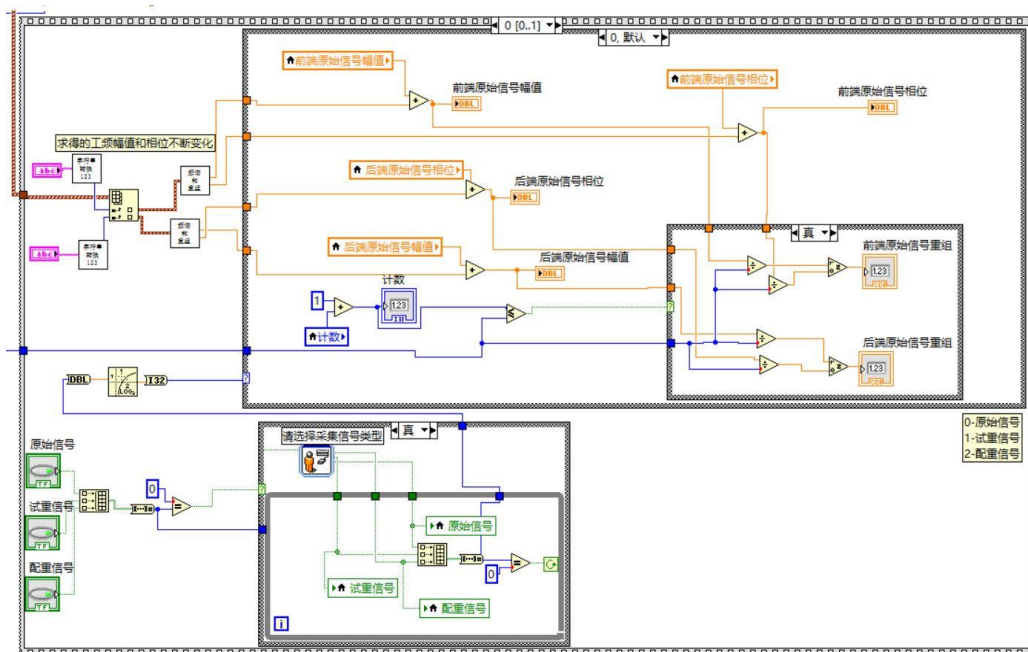


图 4.11 原始，试重，配重信号的采集与重组程序框图

在实际测量过程中，需要将测得的信号记录并保存在程序中，以便与之后计算配重方案的时候方便调用。利用条件框将不同的数据存储到对应的输出数据框中。

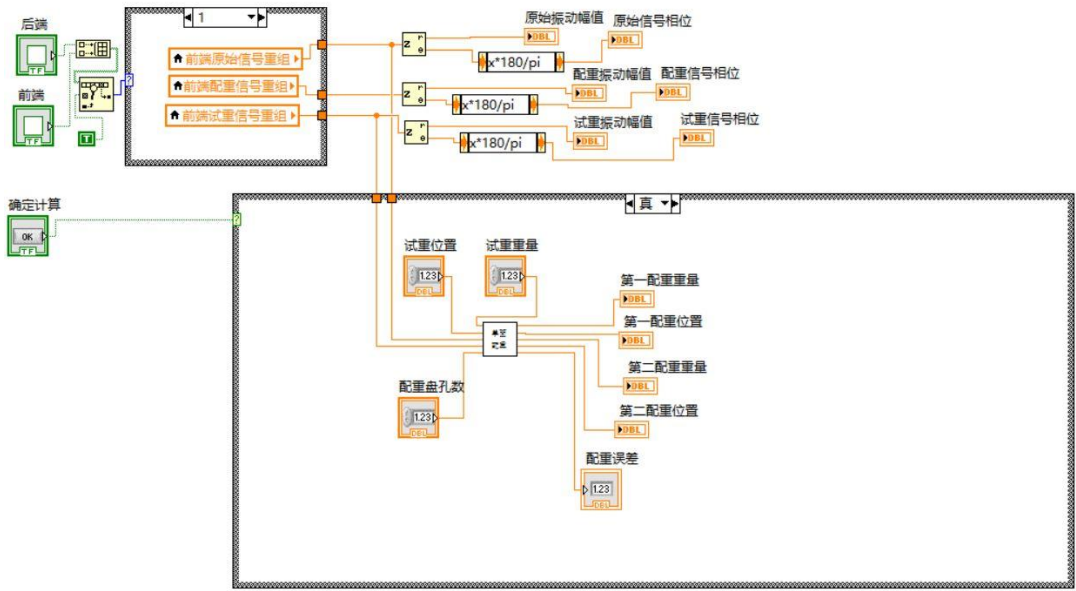


图 4.12 配重方案到配重盘的转化程序框图

最后计算配重的时候要将其进行换算，将得到的配重的幅值和相位对应实际的配种盘进行转换。相同默认所使用的配重盘只有 16 个孔，每个配重孔之间间隔 22.5°角，同时所使用的配重螺钉重量也有限制。