复杂电磁干扰下的电力设备异常检测系统

电力设备在进行异常信号日常检测过程中，由于存在大量的电磁干扰，使得异常信号检测准确性降低，难以通过异常信号检测对故障部位进行准确定位。设计并实现了一种针对电磁干扰的电力设备异常信号检测系统。系统的硬件部分以信号传感器作为异常信号检测元器件，利用单片机集成函数发生器ICI8038产生正弦信号，利用功率放大器TDA7294对异常信号进行放大处理。作为信号传感器的关联检测的解调参考信号，利用平衡调制解调器AD630进行信号的放大、滤波和整流，获取准确的异常信号。系统的软件部分主要针对异常信号的提取和故障部位的定位进行了设计。实验结果表明，利用设计的系统能够准确地检测到故障部位的异常信号，为复杂电磁干扰下的电力设备的安全提供了可靠保障。

卢　佳[1,2]/1.太原工业学院电子工程系　2.山西省电力公司

卢　佳/讲师

关键词/Keywords
电磁干扰·
异常信号·
检测系统·

随着电力设备制造水平的不断提高，越来越多的领域开始使用电力设备承担各种复杂任务，其发挥的作用越来越重要[1]。由于电力设备的工作环境比较复杂，容易受到复杂的电磁干扰，因此，电力设备的故障检测已经成为其应用领域需要研究的重点课题，受到很多专家的重视[2]。电力设备的各个部分都安置着具备各种不同功能的信号设备，在使用的过程中，设备在强干扰范围内不能对异常信号进行检测，这给电力设备功能实现带来很大的安全隐患[3]。传统检测系统在进行电力设备异常信号检测的过程中，由于存在大量的电磁干扰，导致设备采集的异常信号难以从干扰噪声中分离[4]，造成异常信号检测的准确性降低，难以根据异常信号对电力设备的故障部位进行准确定位，对电力设备的安全构成重大威胁[5,6]。为此，有必要针对现有的电力设备信号检测系统进行优化设计，并针对电磁干扰进行有效过滤，及时准确地检测出电力设备的故障区域。

电力设备故障检测系统总体设计

电力设备异常故障信号检测系统主要由正弦波发生单元、信号检测单元和信号处理单元构成。其中，检测系统的正弦波发生单元包括正弦波发生模块和功率放大模块；电力设备故障信号检测单元由信号传感器模块和异常信号检测模块构成；其信号处理单元由信号放大滤波模块、锁相放大模块、滤波整流模块以及直流信号模块组成。电力设备故障信号检测系统的总体架构设计如图1所示。

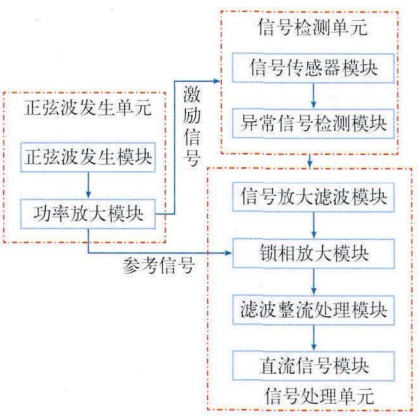

图1　电力设备故障检测系统总体架构

图1中，信号传感器作为异常信号检测元器件，利用单片机集成函数发生器ICI8038产生正弦信号，利用功率放大器TDA7294对电力设备检测中的异常信号进行放大处理，作为信号传感器的关联检测的解调参考信号，利用平衡调制解调器AD630进行信号的放大、滤波和整流，最终获取准确的异常信号。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

异常信号检测系统的关键模块的硬件设计

1. 正弦波发生模块的硬件设计

在复杂电磁干扰下，电力设备异常信号检测系统中，信号传感器需要利用正弦波作为激励源，同时作为能够调制的载波信号，为信号传感器所采集的异常信号进行调制。正弦波发生模块的核心是ICL8038 处理器，由其连接的外围元器件构成了输出频率和幅值都能够调节的正弦发生模块，硬件设计结构如图2所示。

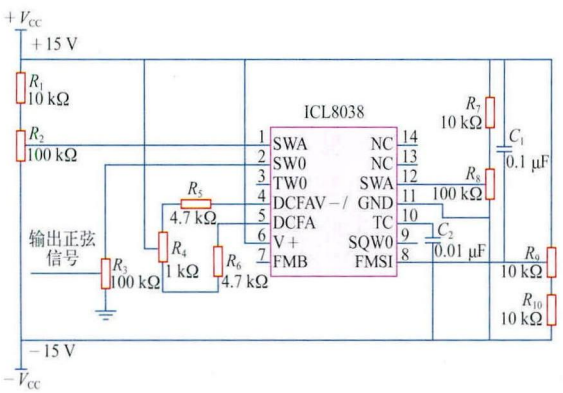

图2　正弦波发生模块的硬件设计

由于电力设备异常信号检测系统中的正弦波发生器带负载驱动性能较弱，因此，需要利用功率放大器TDA7294对正弦波发生器发出的异常信号功率进行放大处理，能够增强其带负载驱动性能。

2. 电力设备异常信号检测模块的硬件设计

电力设备故障检测系统的异常信号检测模块主要采用信号传感器作为复杂电磁干扰下的异常信号检测元器件。检测系统的信号传感器的硬件设计如图3所示。

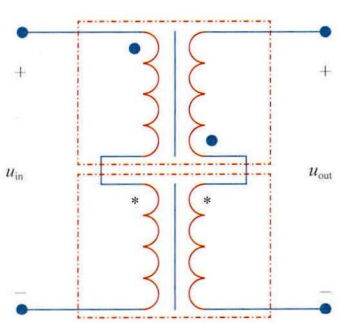

图3　信号传感器的硬件设计结构图

电力设备故障信号检测系统的信号传感器检测到信号发生变化时，其中的一个传感器线圈的磁心形状发生改变，该磁心的磁导率也会随着发生相应的改变。磁心磁导率的变化和其接收到的信号变化呈线性关系，信号传感器的二次侧向外输出电压信号的变化情况，通过电压信号的变化情况即可计算出电力设备异常信号的大小。

当检测系统信号传感器的一次侧检测到正弦激励信号输入，并且磁心没有受到异常信号作用时，信号传感器会输出大小相等，方向相反的电压，因此输出的电压变化等于零。当一次侧检测到正弦机理信号输入，并且当其中一个磁心受到异常信号的作用时，磁心就会发生变化，传感器的输出电压的变化不为零。

电力设备故障检测系统在信号传感器一次侧加入1 kHz的正弦激励信号，同时受到频率为5 kHz的异常信号作用时，信号传感器的输出波形如图4所示。

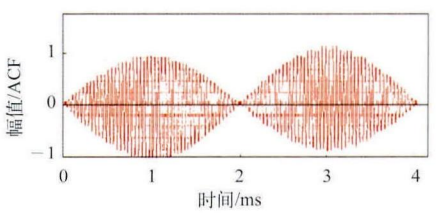

图4　信号传感器输出波形

3. 故障检测信号处理单元的硬件设计

在电力设备故障检测系统中，信号处理单元的主要作用是对信号传感器的输出信号进行放大、滤波和整流处理。在信号处理的过程中能够有效消除复杂的电磁干扰，获取准确的异常信号。信号处理单元的核心部分是调制解调器AD630。信号传感器输出的调制信号传输到AD630之前，信号强度非常弱，使得在复杂电磁干扰下的异常信号不易被发现，因此需要对其进行放大处理，才能够正常驱动芯片。AD630进行锁相放大异常信号时，需要参考外界施加的信号。电力设备异常信号经过AD630调制处理后，输出的信号是带有低频基带和载波分量的调制信号。

电力设备检测系统采用低通滤波电路对载波分量进行滤波处理，能够获取低频调制信号，然

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

后经过放大、滤波和整流电路的处理后，最终获取直流信号，为电力设备异常信号的软件提取提供了依据。

4. 滤波整流处理模块的硬件设计

电力设备故障检测系统的滤波整流处理模块使用Samsung S3C2440 ARM作为核心控制处理芯片，S3C2440的接口硬件设计结构如图5所示。其硬件电路包括：存储器、3.3 V外部I/O、16 KB指令缓存支持MMU、2个USB主机、1个USB设备（USB1.1）、4通道PWM计时器、1通道内部计时器、LCD控制器和1通道LCD专用DMA的32位微处理器。S3C2440控制模块能够处理锁相放大模块传来的异常信号，并过滤掉电磁干扰噪声，并在液晶屏上显示出相关的信息。

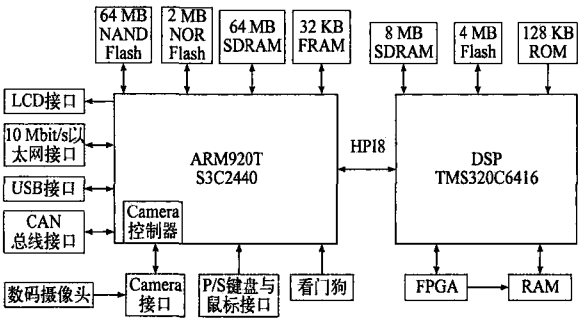

图5 S3C2440处理器接口硬件设计结构图

电力设备故障检测系统的软件设计

电力设备故障检测系统的软件设计主要包括异常信号的提取和异常信号发生部位的定位这两部分。

1. 异常信号处理单元的软件设计

假设异常信号与电磁干扰信号之间的区别比较明显，则电力设备故障检测的效果比较理想。假设异常信号与电磁干扰噪声之间的区别较小，则难以准确地将异常信号从电磁干扰噪声中分离，造成异常信号检测的准确性降低，难以对故障部位进行准确定位。因此，需要利用主成分差值的方法对电力设备异常信号进行提取，在复杂电磁干扰下获取准确的异常信号。其详细方法如下所述：

1）对电力设备故障检测系统采集的信号根据主成分差值方法进行异常信号的提取，需要获取异常信号的主成分分量，通过计算异常信号不同主成分的分布情况和主成分在中心点的空间位置。

2）利用卡尔曼算法相关原理能够获取复杂电磁干扰下电力设备第i个异常信号中的主成分中心点的空间坐标G_i（y，z）。

3）根据连续自适应MeanShift算法的原理能够获取电力设备第$i+1$个异常信号的主成分中心点的空间位置坐标，根据得到的结果能够获取其第$i+2$个异常信号的空间位置。

4）将上述获取的电力设备中两个相邻的异常信号的主成分进行差值运算，设置相邻的异常信号主成分差值衡量的标准是E，假设电力设备故障检测系统中信号传感器采集的相邻的异常信号的主成分的差值大于衡量标准，则表示异常信号主成分提取失败，此时需要利用卡尔曼算法进行主成分中心点的计算；假设信号传感器采集的相邻的异常信号的主成分的差值小于或者等于衡量标准，则需要按照连续自适应Mean Shift算法的结果进行下一步运算。其处理流程如图6所示。

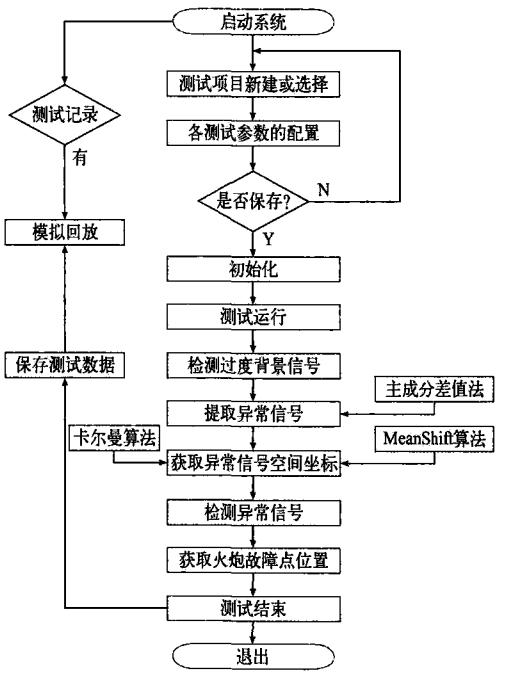

图6 异常信号处理的软件设计

2. 异常信号故障点的定位

设置电力故障检测系统信号传感器采集的异

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

常信号的长度是$2j_y$，宽度是$2j_z$。假设在一个方形区域进行搜索，该区域的中心点是异常信号的中心点。设置在搜索区域中的主成分的数目是p，将电磁干扰下的异常信号分割成n个不同的区域，则利用下述公式能够描述异常信号的主成分空间位置

$$q=[q_1,\ q_2,\ \cdots,\ q_v]^{\mathrm{T}} \tag{1}$$

式中，q_v用来描述故障检测系统随机选取的异常信号的相量，其计算公式为

$$q_v=G\sum_{i=1}^{p}L\left(\frac{y_i^2}{j_y^2}-\frac{z_i^2}{j_y^2}\right)\varepsilon_{vi},v=1,2,\cdots,n \tag{2}$$

设置任意异常信号主成分中心点的空间位置坐标是（y_i，z_i），该坐标点的序号是v，则根据克罗内克函数进行计算得到的结果是$\varepsilon_{vi}=1$；反之，结果是$\varepsilon_{vi}=0$。L（·）是核函数。

故障检测系统在信号传感器异常信号的采集过程中，需要对L（·）进行求导处理，求导后的结果是L'（·）$=\mathrm{const}$。

利用下述公式能够对电磁干扰下异常信号中的主成分进行放射变换

$$\begin{pmatrix}y_i'\\z_i'\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}b_{11}&b_{12}&y\\b_{21}&b_{22}&z\\0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}y_i\\z_i\\1\end{pmatrix} \tag{3}$$

式中，（y'_i，z'_i）是电力设备信号仿射变换后随机选取的主成分点对应的坐标值，$a=[y\ z]$是主成分点位置变化量，对上述公式进行变换处理，能够获取下述公式

$$Y'=PY=\begin{pmatrix}B&A^{\mathrm{T}}\\0^{\mathrm{T}}&1\end{pmatrix}Y \tag{4}$$

上述式中，利用下述公式能够计算N的值

$$N=\boldsymbol{CU}\boldsymbol{W}^{\mathrm{T}} \tag{5}$$

式中，$\boldsymbol{U}=\mathrm{diag}\{1/\mu_1,\ 1/\mu_2\}$，用来描述检测系统所采集信号的主成分的对角矩阵，$1/\mu_1$和$1/\mu_2$用来描述对角矩阵的奇异取值；$\boldsymbol{C}$为对角矩阵相关参数。上述公式经过变换处理后能够得到下述旋转矩阵

$$\boldsymbol{C}=S(\varphi)=\begin{pmatrix}\sin\varphi&-\sin\varphi\\-\cos\varphi&\cos\varphi\end{pmatrix} \tag{6}$$

对上述公式进行正交变换，能够获取异常信号的空间位置

$$\begin{pmatrix}y_j\\z_j\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\sin\varphi&-\sin\varphi\\-\cos\varphi&\cos\varphi\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}\mu_1&1\\1&\mu_2\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}\sin\beta&-\sin\beta\\-\cos\beta&\cos\beta\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}y_i'-y\\z_i'-z\end{pmatrix} \tag{7}$$

上述式中，预测异常信号中主成分中心点位置移动的距离是$a=$（y，z），故障检测系统信号传感器与异常信号发生部位的角度分别是β和φ，异常信号检测系统的信号传递性能参数分别是μ_1和μ_2。

根据上面阐述的方法，能够对电力设备异常信号进行准确提取和异常信号发生部位准确定位，从软件设计方面完成了复杂电磁干扰下电力设备异常信号的检测。定位流程如图7所示。

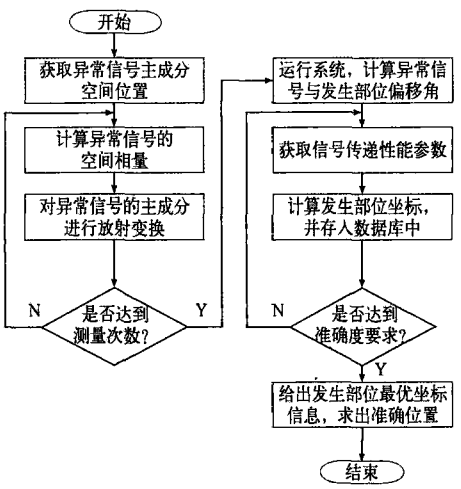

图7 异常信号故障点的定位流程

实验与分析

为了验证本文设计的复杂电磁干扰下电力设备异常信号检测系统的有效性，需要进行实验。实验以电力设备异常信号检测系统采集的真实数据为基础。利用不同系统进行电力设备的故障检测，获取的实验结果如图8所示。

根据图8实验结果能够得知，随着电力设备工作过程中电磁干扰的不断增强，传统的故障检测系统对异常信号的检测准确率呈下降趋势，而利用本文设计的异常信号检测系统，对故障部位检测的准确率相对平稳，最终稳定在95%左右。本文

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

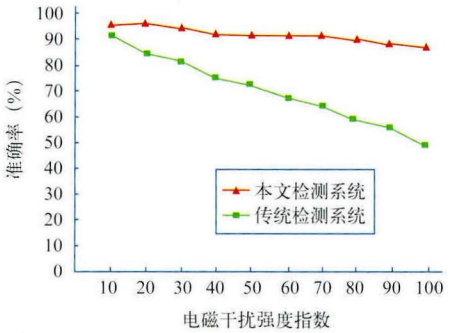

图8 不同检测系统实验结果对比

设计的系统能够有效克服复杂电磁干扰，并对异常信号进行准确提取和位置定位，提高了检测的准确性。本文设计的异常信号检测系统的准确率始终高于传统的检测系统，充分表明了本文设计的异常信号检测系统的优越性。

对上述实验中的数据进行整理和分析，能够得到下表中的实验结果。

表 不同算法实验结果

实验次数/次	传统系统准确率（%）	本文算法准确率（%）
1	90	97
2	82	98
3	80	96
4	74	95
5	70	95
6	67	95
7	63	96
8	60	95
9	57	94
10	54	92

从上表中实验结果能够得知，利用本文设计的电力设备异常信号检测系统，能够有效避免传统检测系统的弊端，对电力设备在复杂电磁干扰下的异常信号检测具有准确率高和稳定性强的优点。

结束语

针对传统的电力设备故障信号检测系统在复杂电磁干扰下进行异常信号的检测过程中，无法避免由于信号背景中存在大量电磁干扰噪声，造成异常信号难以从背景噪声中有效分离，导致异常信号检测的准确率降低的缺陷，为此，提出一种针对复杂电磁干扰的电力设备异常信号检测系统。实验结果表明，利用本文设计的系统能够得到准确故障部位的异常信号，为电力设备的安全运行提供了可靠保障，取得了令人满意的效果。

参考文献

[1] 李月，杨宝俊，石要武．色噪声背景下微弱正弦信号的混沌检测［J］．物理学报，2003，6（2）：32-45.

[2] 刘琦，李丽娟，林雪竹，等．飞行器数字化测量漂移检测及修正技术［J］．计算机测量与控制，2013，21（1）：24-26.

[3] 谢涛，魏学业．混沌振子在微弱信号检测中的可靠性研究［J］．仪器仪表学报，2005，8（4）：12-65.

[4] 庄艳丽．基于混沌振子的微弱信号检测方法研究［D］．成都：成都电子科技大学，2006，9（7）：30-32.

[5] S Mandal，S Banerjee．Analysis and CMOS implementation of a chaos-based communication system［J］．IEEE Transactions on Circuits and Systems，2004，51（9）：1708-1722.

[6] 崔芹．基于混沌理论微弱信号检测［D］．哈尔滨：哈尔滨工程大学，2008，7（3）：12-34.

（收稿日期：2014－10－10）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net