



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112345891 A
(43)申请公布日 2021.02.09

(21)申请号 201910723964.1

(22)申请日 2019.08.07

(71)申请人 青岛鼎信通讯股份有限公司
地址 266024 山东省青岛市市南区宁夏路
288号六号楼2层

(72)发明人 马越 王建华 邢朋波

(51)Int.Cl.
G01R 31/12(2006.01)
G06F 17/14(2006.01)
G06K 9/00(2006.01)

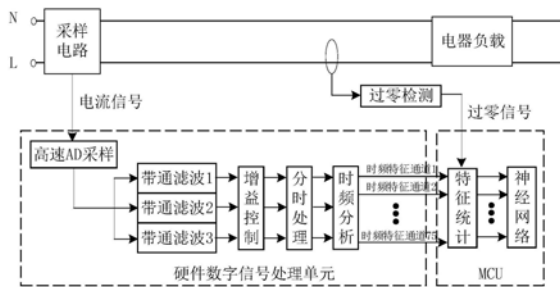
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种基于电流多通道时频特征提取的故障电弧检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于电流多通道时频特征提取的故障电弧检测方法。该方法为：通过取样电路对火线上电流信号进行连续取样，经超高速ADC转换，送入硬件数字信号处理单元。对信号进行3个通频段的带通滤波，滤除通频带外的干扰信号。根据各通道信号的幅值来调节各自的增益，进行时频分析，在时间的维度上连续提取各频率通道的电弧特征向量，系统根据过零检测电路输出的过零信号对硬件模块提取的时频特征量分段统计，构成时频特征矩阵，送入神经网络进行电弧判决。



1. 一种基于电流多通道时频特征提取的故障电弧检测方法,其特征在于:本方法对电流信号进行连续的AD采样,采样速率达1GHz;信号经3个带通数字滤波器处理,通频段分别为500KHz~50MHz,50MHz~100MHz,100MHz~200MHz,滤波后对信号增益进行自适应调节;对信号分时处理,每1024个数据进行一次时频分析;分别从每个通频段选出25个频率通道,总共得到75个通道的频域特征;系统根据过零检测电路提供的过零信号,将75个频率通道特征按每10ms时长分段拼接成75*500维的特征矩阵,送入神经网络统计处理,给出电弧判决结果。

2. 根据权利要求1所述的故障电弧的检测与识别方法,其特征在于:

所述检测方法对电流信号采样率高达1GHz,相比于传统采样方式,本发明基于ASIC技术,系统功耗低,量产成本低,抗干扰能力强;ADC采样位宽12bit,保证了数字信号处理的高精度运算,为低压电器设备实现全电子化起到了非常关键的作用;既能提取电弧信号中的高频成分,又能保证提取的特征信号具有较高的频谱分辨率和时间分辨率。

3. 根据权利要求1所述的故障电弧的检测与识别方法,其特征在于:

所述检测方法对电流信号进行滤波处理,分别对3个不同频段的信号提取特征向量,滤掉通频段外的基波分量,尤其是滤除低频段的干扰,极大程度上避免因通频段外的非电弧信号成分而影响电弧特征向量提取。

4. 根据权利要求1所述的故障电弧的检测与识别方法,其特征在于:

所述检测方法中滤波后3个通道信号可根据信号幅值大小进行自适应增益控制,提高故障电弧识别精度,防止各级数字信号溢出。

5. 根据权利要求1所述的故障电弧的检测与识别方法,其特征在于:

所述检测方法包括对每段信号进行时频分析,其原理如下:

(1) 对每段信号加汉宁窗处理,尽可能抑制频谱泄露,保证不同频率通道的特征向量的准确提取;

(2) 对加窗后信号作快速傅里叶变换,得到该段信号在不同频率通道上的幅度响应;本发明在1G采样率的基础上,保证所观察的频域特征具有良好的分辨率;

(3) 对各频率通道上连续输出的幅度响应做中值滤波处理;中值滤波对干扰负载造成的频域噪声具有较好的平滑抑制作用,且能保留电弧特征向量原有的波动特性;

(4) 对中值滤波后的信号进行分时累加,从而放大电弧特征,增大其与噪声信号的差异,提高特征向量的信噪比。

6. 根据权利要求1所述的故障电弧的检测与识别方法,其特征在于:

根据过零检测电路提供的过零信号,系统每10ms统计各通道的特征值,拼接成固定维数的特征矩阵,送入卷积神经网络,给出电弧判决结果。

7. 根据权利要求1或6所述的一种基于电流信号多通道时频特征提取的故障电弧检测方法,其特征在于所述数字信号处理单元的实现可以是分立器件,模拟集成电路,数字逻辑电路,单片机,微处理器,可编程逻辑器件,数字信号处理器或者专用集成电路ASIC中的任一种。

一种基于电流多通道时频特征提取的故障电弧检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于故障电弧检测领域,主要提出一种基于电流多通道时频特征提取的故障电弧检测方法。

背景技术

[0002] 近年来,国内每年因电气故障而导致火灾的事故占火灾事故总数的30.7%。在低压配电网中,线路和设备随着时间推移而发生破损,老化,或者线路松动等,进而产生故障电弧,引起火灾事故。故障电弧依据其故障类型可以分为串联故障电弧和并联故障电弧,并联电弧发生时的电流比较大,如果短时间内设备不能迅速检测到故障并及时脱扣,会直接引发火灾。串联电弧发生时,电流虽然有异常,但低于大多数设备的保护阈值,无法被察觉,等到发现为时已晚。因此及时检测到线路中的故障电弧是保护线路安全,保障设备正常运行的关键。

[0003] 发生故障电弧时,线路中的电流信号会发生较为明显的畸变,而电压信号和正常电压比较接近,因此本发明中采用对电流信号进行采样和AD转换,对电流信号在多个频率通道上提取特征向量进行监测,识别是否发生故障电弧。

[0004] 传统的电弧检测方法主要是针对提取的特征值设定阈值进行判别,由于实际用电环境中的负载情况多种多样,接入不同负载的情况需设定不同的阈值,所以不同的负载环境下很难同时具备良好的电弧检测效果。同时,受电子技术发展水平所限,传统的电弧检测方法关注的信号频率主要集中在数MHz之内,而常见的家用负载电器如吸尘器,空压机等本身工作引入的频率成分就能达到数MHz,对传统电弧检测造成极大的干扰,以致于传统电弧检测设备误判率高,难以应用于实际生活。而随着近年来国内外IC技术水平的迅猛发展,IC技术的低功耗,高精度,低成本及高稳定性的几大优势,使得各类复杂算法的实现难度大大降低,在低压电器设备领域,使得传统的机械化设备转型为全电子化成为可能。正是在此背景下,本发明采用1GHz采样率对电弧信号进行特征提取,相比传统低频手段,能从本质上识别负载工作带来的干扰信号,避免发生电弧误动作情况,保证各类应用场景中电力线路安全可靠的运行,在日后电弧检测设备的推广应用过程中起到了非常关键的作用。

发明内容

[0005] 针对传统电弧检测方法的不足之处,本发明提出一种基于电流信号多通道时频特征提取的故障电弧检测方法,对电流信号进行1GHz速率的高速采样,送入硬件数字信号处理单元,通过对信号时频域分析,监测各通道时频域特征向量,利用卷积神经网络进行分类判决。

[0006] 本发明的原理是:

[0007] (1) 基于ASIC技术上实现对火线上电流信号进行连续采样,采样速率达 1GHz,送入数字信号处理单元实时处理。

[0008] (2) 信号经3个带通数字滤波器处理;通频段分别为500KHz~50MHz, 50MHz~

100MHz, 100MHz~200MHz。滤除通频段外信号,有效抑制干扰信号对电弧特征提取的影响。

[0009] (3) 对各通道信号增益分别进行自适应的可控调节。根据输入信号幅值灵活调整,识别微弱电弧信号。

[0010] (4) 信号分时处理,每1024个数据为1段,对每段数据加汉宁窗;尽可能抑制频谱泄露,保证特征向量准确提取。

[0011] (5) 分别计算3个通道信号的幅频响应,并在各通频段内选取25个频率通道的幅频响应,共得到75个频率通道的幅频响应。

[0012] (6) 对幅频响应做中值滤波处理,抑制电器负载工作引入的干扰噪声。

[0013] (7) 各通道数据在每20us时长内完成一次累加计算,结果作为电弧频域特征量,送入MCU系统统计处理。

[0014] (8) MCU根据过零检测电路提供的过零信号,以半波时长为单位将75个通道的特征组成一个75*500的特征矩阵,送入神经网络,计算判决结果。

[0015] 与现有技术相比,本发明具有的有益效果如下:

[0016] (1) 传统电弧检测技术受电子技术发展所限,对电流信号的频谱分析集中在数MHz以下,无法准确区分特殊电器负载工作引入电路的干扰成分。本发明基于ASIC技术实现对电流信号的1GHz高速采样,ADC采样位宽达12bit,保证了非常高的数据精度。本发明实时监测信号在500KHz~200MHz超宽频域范围内的信号特征,克服电器负载对电弧信号检测的干扰问题,从根本上避免误动作情况的发生,保证设备能够及时并准确地完成脱扣动作。本发明充分利用IC技术的优势:系统功耗低,量产成本低,抗干扰能力强,各种复杂算法功能的实现难度大大降低,为低压电器电弧检测设备的推广应用打下良好的基础。

[0017] (2) 本发明对高速采样后的数据信号进行预处理,可针对不同频段分别进行增益控制,对每1024个数据分段,加汉宁窗后进行FFT变换。增益控制模块可灵活调整各频段信号幅值,放大微弱电弧信号,且防止数字信号发生溢出。对信号加汉宁窗,有效抑制频谱泄露,保证不同频率特征向量的准确提取。

[0018] (3) 本发明对各通道上幅频响应做中值滤波处理,能够在复杂的用电环境中平滑和抑制电器负载工作引入的干扰,保留并识别电弧信号的能量。对信号进行分时累加,电弧信号的特征波形在时间维度上存在明显规律,而噪声可看做白噪声,因此对信号进行分时累加,可放大电弧特征,提高各通道特征信号的信噪比,从而放大二者的差值,显著提高电弧检测的效果。

[0019] (4) 本发明提取电流信号中多通道时频特征矩阵,送入神经网络进行分类判决。传统电弧检测方法通常设定阈值进行比对,实际生活中线路复杂,接入不同类别的电器负载后,阈值设定难度较大,很难保证判决效果。本发明利用神经网络训练后进行分类决策,能充分利用特征信号在时频域的变化趋势,快速准确的检测到电弧特征,保证线路中各类负载设备安全可靠的运行,对电力产业发展及电网安全稳健的运行,具有极其重要的意义。

附图说明

[0020] 图1是本发明中使用的电弧特征提取系统流程图。

[0021] 图2是本发明中对信号进行时频分析的数据流图。

[0022] 图3是阻性负载在打电弧与不打电弧情况下低频电流和第K通道的时频域特征值

的波形图。

[0023] 图4是吸尘器在打电弧与不打电弧情况下低频电流和第K通道的时频域特征值的波形图。

[0024] 图5是空压机在打电弧与不打电弧情况下低频电流和第K通道的时频域特征值的波形图。

[0025] 图6是600W电钻与空压机在打电弧与不打电弧情况下低频电流和第K通道的时频域特征值的波形图。

[0026] 图7是吸尘器与荧光灯在打电弧与不打电弧情况下低频电流和第K通道的时频域特征值的波形图。

具体实施方式

[0027] 下面结合图1至图7对本发明所提供的故障电弧检测方法进行说明。

[0028] 本发明基于电流信号多通道时频特征提取的故障电弧检测流程如图1所示。系统主要基于硬件数字信号处理系统实现。包括如下步骤：

[0029] 步骤1：对电流信号进行连续的AD采样，采样率达1GHz得到数字信号 $y_{in}(n)$ ，送入硬件数字信号处理单元，进行高速实时地处理。

[0030] 步骤2：信号 $y_{in}(n)$ 分别经3个带通数字滤波器，分别输出3个频段信号 $y_{FIR1}(n)$ ， $y_{FIR2}(n)$ ， $y_{FIR3}(n)$ 。数字滤波器阶数可设计为64阶，通频段分别为500KHz~50MHz，50MHz~100MHz，100MHz~200MHz。数字滤波器单位冲激响应分别为 $h_1(n)$ ， $h_2(n)$ ， $h_3(n)$ 。滤波后信号：

$$[0031] \begin{cases} y_{FIR1}(n) = y_{in}(n) * h_1(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h_1(k) \cdot y_{in}(n-k) \\ y_{FIR2}(n) = y_{in}(n) * h_2(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h_2(k) \cdot y_{in}(n-k) \\ y_{FIR3}(n) = y_{in}(n) * h_3(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h_3(k) \cdot y_{in}(n-k) \end{cases}$$

[0032] 滤波后各频段信号根据信号幅值大小进行自适应增益控制，放大微弱电弧信号，防止各级数字信号溢出，保证电弧特征提取的准确性。

[0033] 步骤3：分别对滤波后的信号 $y_{FIR1}(n)$ ， $y_{FIR2}(n)$ ， $y_{FIR3}(n)$ 进行时频分析，具体流程图如图3所示。

[0034] (1) 对滤波后数据加汉宁窗处理。能有效地抑制各频率通道上的信号能量泄露，提高信号时频域分析的准确性。汉宁窗函数公式如下：

$$[0035] \omega(n) = \frac{1}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N+1}\right) \right]$$

[0036] 其中，N为汉宁窗函数的长度，可设为1024。加窗后信号分别为

$$[0037] \begin{cases} y_{\omega 1}(n) = y_{FIR1}(n) \cdot \omega(n) \\ y_{\omega 2}(n) = y_{FIR2}(n) \cdot \omega(n) \\ y_{\omega 3}(n) = y_{FIR3}(n) \cdot \omega(n) \end{cases}$$

[0038] (2) 对加窗后信号进行1024点FFT变换,提取选定通道的幅频响应。硬件模块基于按频率抽取,基2的蝶形运算结构实现FFT算法。

$$[0039] \begin{cases} Y_1(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y_{\omega 1}(k) W_N^{nk} \\ Y_2(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y_{\omega 2}(k) W_N^{nk}, k = 0, 1, \dots, N-1 \\ Y_3(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y_{\omega 3}(k) W_N^{nk} \end{cases}$$

[0040] 其中, $W_N^{nk} = e^{-j(2\pi/N)kn}$ 。信号经FFT变换后,分别在每个通频段选定25个通道幅频响应,共选定75个频率通道,监测选定通道幅频响应在时间维度上波动情况。因此,FFT模块输出频率响应可表示为 $Y_k(n)$, k 为选定的频率通道。

[0041] (3) 本发明在大量实验基础上发现,多种电器负载工作时,均会引入不同频率的基波信号,其高次谐波在高频段对电弧能量的识别具有较强的干扰。本发明通过中值滤波手段去除噪声的干扰,同时能够保留电弧信号的能量成分。

[0042] 对选定通道输出的频率响应序列 $Y_k(n)$ 进行中值滤波处理,中值滤波阶数可设为21阶。因此,第 k 频率通道信号输出为:

$$[0043] Y_{\text{medfilt}_k}(n) = \text{medfilt}(Y_k(n), 21)$$

[0044] (4) 将每个频率通道上得到的特征序列进行分时累加,每20 μ s的特征量累加得到一个特征值。电弧特征波形在时间维度上存在明显规律,而各频率通道上的噪声可看做白噪声,特点是不同时刻幅度大小是随机的。因此对各个频率通道上特征量进行分时累加,能放大有用特征,提高信噪比,对电弧特征提取效果具有显著的改善作用。

[0045] 各频率通道信号累加公式如下:

$$[0046] S_k(n) = \sum_{t=1}^T Y_{\text{medfilt}_k}(t)$$

[0047] 图3、图4、图5所示分别为阻性负载、吸尘器、空压机在打电弧和不打电弧情况下低频电流信号波形以及第 K 通道的时频特征波形。

[0048] 可以看出,电器负载工作的情况下,从低频电流波形上很难直观地区分打电弧与不打电弧情况。而通过本发明提出的故障电弧特征提取方法,打电弧与不打电弧的时频波形差别明显,且不受电器负载工作的干扰,特征向量具有非常高的辨识度。

[0049] 图6、图7是600W电钻与空压机混合、吸尘器与荧光灯混合在打电弧和不打电弧情况下低频电流信号波形以及第 K 通道的时频特征波形。

[0050] 可以看出,线路中接入混合负载情况下,打电弧和不打电弧的低频电流波形十分相似,而本发明提取的时频特征则仍具有明显区分度,对电器负载的干扰起到了良好的屏蔽效果,能准确识别故障电弧信号,第一时间执行脱扣动作。

[0051] 步骤7:硬件数字信号处理单元连续采集电流信号,实时地进行各频率通道的特征提取。系统根据过零信号的节拍,对各频率通道上的特征值进行分段统计。将半波内的所有特征值拼成75*500维度的特征矩阵,送入卷积神经网络,进行电弧检测判决。

[0052] 所述检测方法中,在用神经网络进行判决之前,需利用实验数据对神经网络模型

进行离线训练,选择最优化模型,提取模型参数配置系统参数,对特征矩阵进行在线判决。

[0053] 以上所述只是本发明的优选实施方式,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以作出若干改进和变化。凡在本发明的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

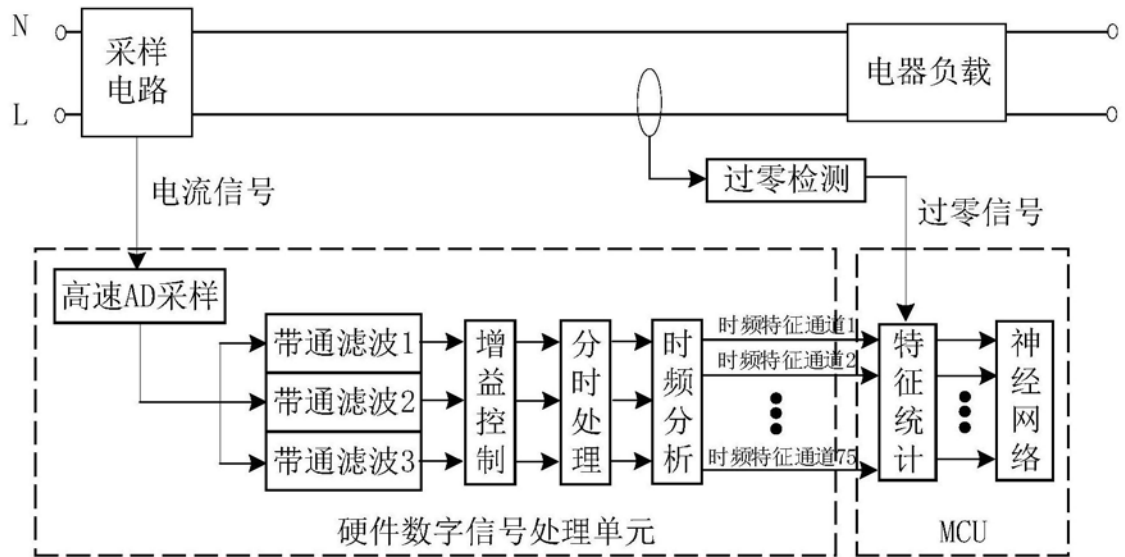


图1

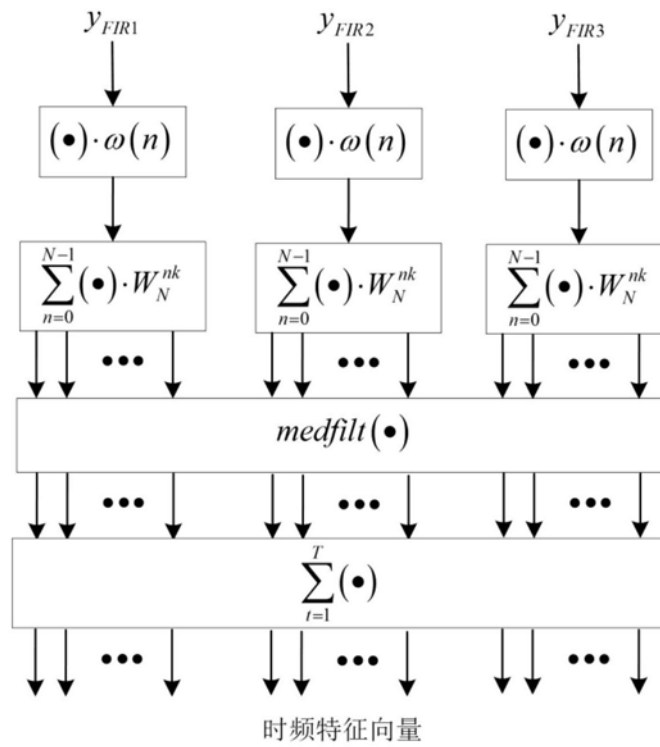


图2

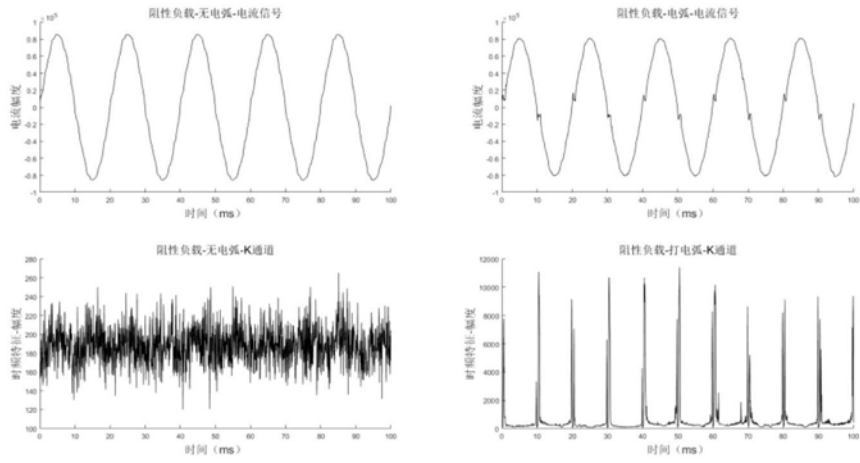


图3

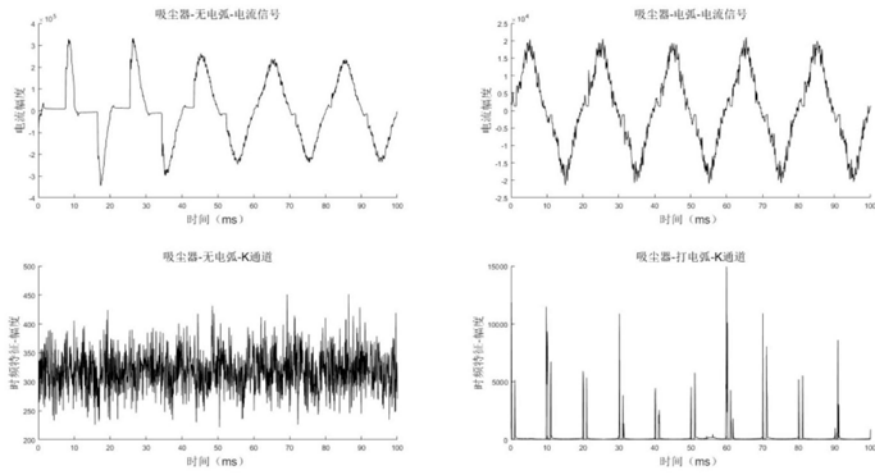


图4

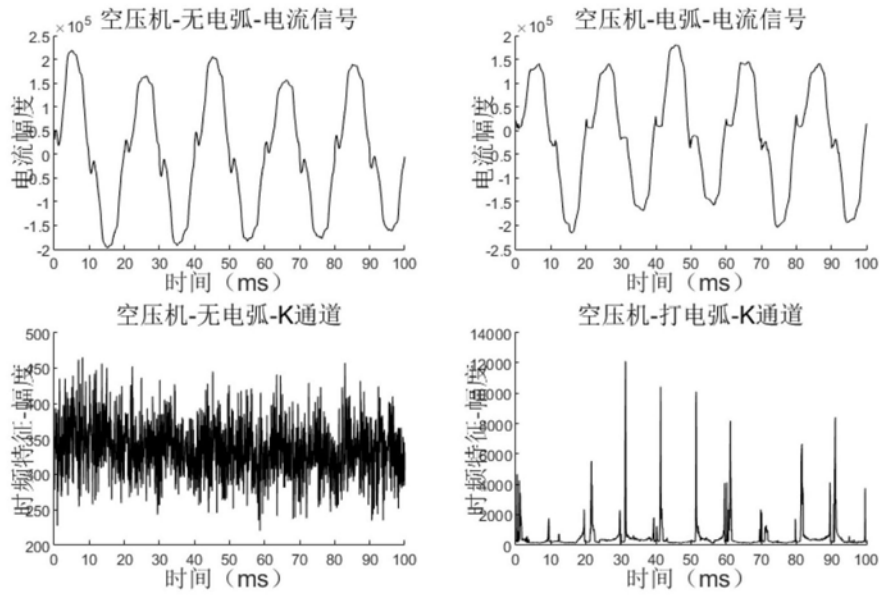


图5

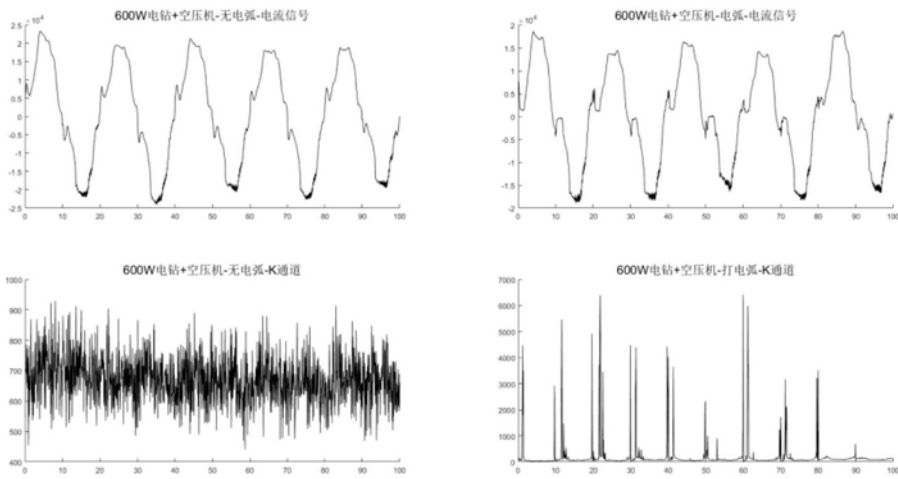


图6

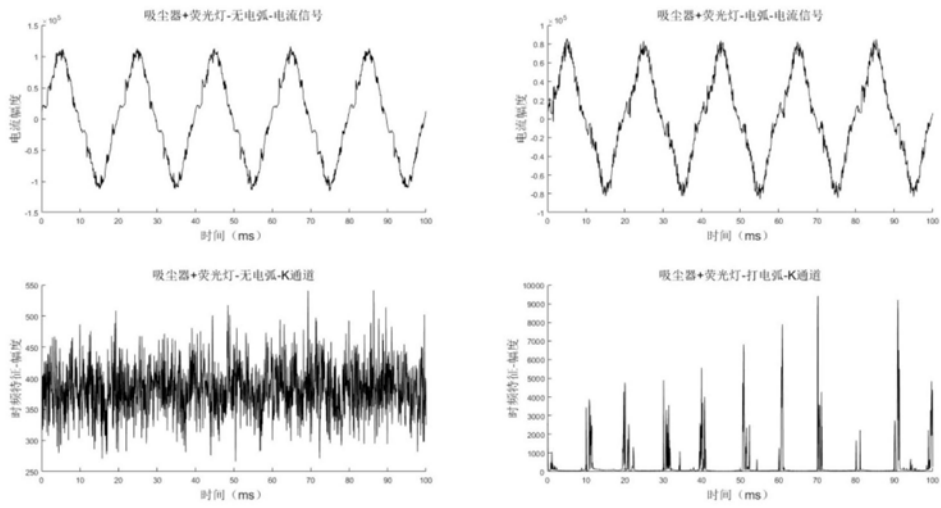


图7