



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114236312 B

(45) 授权公告日 2024.08.20

(21) 申请号 202111524777.4

(22) 申请日 2021.12.14

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114236312 A

(43) 申请公布日 2022.03.25

(73) 专利权人 深圳市翌日科技有限公司
地址 518000 广东省深圳市南山区粤海街
道麻岭社区科研路9号比克科技大厦
1401H

(72) 发明人 翁凯利 张地清 黄靖 喻川
徐跃福 文智力 傅阳 王剑
刘洋

(74) 专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事
务所(普通合伙) 44248
专利代理师 胡吉科

(51) Int.Cl.

G01R 31/08 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 110988600 A, 2020.04.10

CN 111208388 A, 2020.05.29

审查员 赵鑫

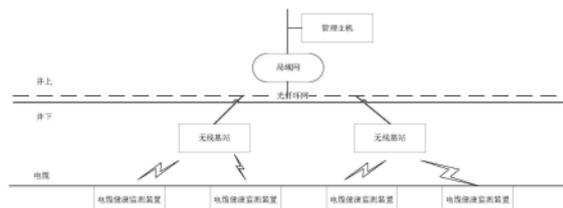
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

一种在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法及系统

(57) 摘要

本发明提供一种在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法及系统,属于电缆监测技术领域。本发明线缆上间隔设置若干个电缆健康监测装置,用于采集电缆监测信息,所述在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法包括如下步骤:实时获取各个电缆健康监测装置处理后的电缆监测信息;如果发生故障,采集所有电缆健康监测装置处理后的漏电流波形,所述漏电流波形上带有时间戳;将漏电流波形在时间轴上排序,根据各个电缆健康监测装置同时刻的漏电流波形进行故障定位。本发明的有益效果为:极大地保证了矿上高压输电安全,节约了矿上的人力物力。



1. 一种在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法,其特征在于:线缆上间隔设置若干个电缆健康监测装置,用于采集电缆监测信息,所述在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法包括如下步骤:

S1:实时获取各个电缆健康监测装置处理后的电缆监测信息;

S2:如果发生故障,采集所有电缆健康监测装置处理后的漏电流波形,所述漏电流波形上带有时间戳;

S3:将漏电流波形在时间轴上排序,根据各个电缆健康监测装置同时刻的漏电流波形进行故障定位,

所述故障定位方法包括如下子步骤:

S31:分析漏电流波形各个频率成分的幅值;

S32:如果幅值超过阈值,提取工频与高频波形的相位、峰值、幅值;

S33:根据幅值最大的数据位置,计算前后电缆健康监测装置的相位差;

S34:根据相位差确定故障点,

步骤S31的处理方法为:采用如下公式分析漏电流波形各个频率成分的幅值,

$$X[m] = \sum_{k=1}^{N-1} x[k] \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}mk} \quad k = 1, 2, 3 \dots N-1; m = 1, 2, 3 \dots N-1$$

$$Y[m] = \text{abs}(X[m]/N)$$

其中, $x[k]$ 为漏电流波形抽样得到的序列, N 为 $x[k]$ 的序列长度; $X[m]$ 为 $x[k]$ 傅里叶变换后的序列, j 为虚数单位, $Y[m]$ 为各频率点的幅值, $\text{abs}(\ast)$ 是取模运算,

步骤S33中,相位差的计算步骤为:

(1)对漏电流波形进行分解,自适应滤波后提取出漏电流波形的低频分量系数与高频分量系数,分解公式如下:

$$d_j[k] = \sum_n h_1[n-2k] \ast c_{j+1}[n]$$

$$c_j[k] = \sum_n h_0[n-2k] \ast c_{j+1}[n]$$

其中, $c_j[k]$ 、 $d_j[k]$ 分别为漏电流波形的近似分量系数与细节分量系数; $h_0[n-2k]$ 、 $h_1[n-2k]$ 表示小波基的分解低通、高通滤波器; $c_{j+1}[k]$ 表示漏电流波形的离散抽样序列, j 是小波展缩变换系数, k 表示小波的平移系数, n 是一维序列的位置;

(2)利用求解的近似系数与细节系数,求取各频率分量数组,即可获取解各频率成分的峰值,幅值大小;

(3)对各频率分量数组再进行运算,提取其中幅值最大的数据位置,然后对该位置的运算后的数据进行相位角计算并做差,即可求出前后电缆健康监测装置的相位差,计算公式如下:

$$X1_j = \max(Y1) \quad X2_j = \max(Y2)$$

$$PH1 = \text{angle}(X1_j) \quad PH2 = \text{angle}(X2_j)$$

$$DIFPH = PH2 - PH1$$

其中, $X1_j$ 、 $X2_j$ 分别表示数组 $Y1$ 、 $Y2$ 中幅值最大的元素, p 表示其位置, \max 表示求数组中最大值; $PH1$ 表示电缆健康监测装置1的相位, $PH2$ 表示电缆健康监测装置2的相位, angle 表

示对数据相位角计算;DIFPH表示电缆健康监测装置1和2的相位差。

2. 根据权利要求1所述的在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法,其特征在于:步骤S1中,所述电缆健康监测装置对漏电流波形的处理方法为:对漏电流波形进行分解与重构,并打上时间戳,通过无线发射到上层系统。

3. 一种在线分段绝缘状态监测及故障定位的系统,实现权利要求1或2所述的在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法,其特征在于:包括管理主机和若干个设置在同一条电缆上、分别与管理主机无线连接的电缆健康监测装置,所述管理主机包括分析系统,用于进行在线分段绝缘状态监测及故障定位,所述分析系统包括:

无线通信模块:用于实时获取各个电缆健康监测装置处理后的电缆监测信息;

采集模块:用于采集所有电缆健康监测装置处理后的漏电流波形,所述漏电流波形上带有时间戳;

故障定位模块:用于将漏电流波形在时间轴上排序,根据各个电缆健康监测装置同时刻的漏电流波形进行故障定位。

4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于:所述电缆健康监测装置包括壳体,设置在壳体内、相互隔离高低压的接线腔和监测腔,所述接线腔的两侧设有电缆引入装置,用于接入高压电缆,所述监测腔内设有CT感应取电模块、与CT感应取电模块输出端相连的电源转换模块,还包括电子组件板,所述电子组件板设有ADC采样模块和通讯模块,所述ADC采样模块的输入端与CT感应取电模块的电流输出端相连,所述电子组件板通过ADC采样模块获取电缆监测信息,并通过通讯模块发送出去。

5. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于:所述电子组件板还设有处理器、电源管理模块,其中,所述ADC采样模块的输出端与处理器的输入端相连,所述电源管理模块的输入端与电源转换模块输出端相连,所述电源管理模块输出端为电子组件板上的电子组件供电,包括电源隔离模块、通讯隔离模块和射频隔离模块,其中,所述电源隔离模块设置在电源管理模块和通讯模块之间,所述通讯隔离模块设置在所述处理器和通讯模块之间,所述射频隔离模块设置在所述通讯模块和射频天线之间。

6. 根据权利要求5所述的电缆健康监测装置,其特征在于:所述电源管理模块包括防误报重启电路,其中,所述防误报重启电路包括用于监测CT输出功率的假负载R1、比较器U2和电子开关,其中,所述比较器U2的两个输入端分别接参考电压和CT输出电压,所述比较器的其中一个输出端接电子开关的控制端,另一个输出端接电源芯片U1的使能脚,控制电源芯片U1的开关,所述电子开关的一端接地,另一端接假负载R1的一端,所述假负载R1的另一端接CT输出电压。

7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于:所述电源管理模块还包括瞬时功耗供电单元,所述瞬时功耗供电单元设置在所述电源芯片U1的电源输入端。

8. 根据权利要求7所述的系统,其特征在于:还包括或门电路D12,所述比较器的另一个输出端通过或门电路D12的一个输入端接电源芯片U1的使能脚,所述或门电路D12的另一个输入端接ADC采样模块的输出脚。

一种在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种输电线路监测装置,尤其涉及一种在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法及系统。

背景技术

[0002] 供电系统是比较复杂且又极具重要的的系统。目前矿井的供电系统(IT系统)在供电保护方面已具备过负荷、短路、漏电流、断相、过欠压等保护,但就短路、漏电流、接地《三大保护》的监测而言,短路保护和漏电流保护仅实现了事故性保护,尤其是漏电流保护不具备分段在线监测功能以及故障点定位的功能,仅能判断是否有绝缘故障(一般电路较长,整个矿线路有几百km),不能定位故障发生的具体位置,需要靠人为离线遥测和监督检查,费时费力。

[0003] 目前绝缘故障点寻找是依靠人工利用摇表,采用二分法,接线盒与接线盒之间每段电缆进行遥测,造成停电时间长且费时费力,急需一种在线快速简便的故障定位方法,针对矿井供电系统的电缆绝缘下降或是破损,能够实现分段在线监测,做到绝缘下降提前预知,绝缘破损精准定位。

发明内容

[0004] 为解决现有技术中的问题,本发明提供一种在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法及系统,采用底层硬件采集信号与上层软件分析算法相结合,做到时刻在线监测,能对绝缘故障发生前的绝缘下降进行预警,同时当故障发生时也能准确定位故障发生的位置(哪一段),具有定位准确与查看方便的特性。

[0005] 本发明线缆上间隔设置若干个电缆健康监测装置,用于采集电缆监测信息,所述在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法包括如下步骤:

[0006] S1:实时获取各个电缆健康监测装置处理后的电缆监测信息;

[0007] S2:如果发生故障,采集所有电缆健康监测装置处理后的漏电流波形,所述漏电流波形上带有时间戳;

[0008] S3:将漏电流波形在时间轴上排序,根据各个电缆健康监测装置同时刻的漏电流波形进行故障定位。

[0009] 所述故障定位方法包括如下子步骤:

[0010] S31:分析漏电流波形各个频率成分的幅值;

[0011] S32:如果幅值超过阈值,提取工频与高频波形的相位、峰值、幅值;

[0012] S33:根据幅值最大的数据位置,计算前后电缆健康监测装置的相位差;

[0013] S34:根据相位差确定故障点。

[0014] 本发明作进一步改进,步骤S1中,所述电缆健康监测装置对漏电流波形的处理方法为:对漏电流流波形进行分解与重构,并打上时间戳,通过无线发射到上层系统。

[0015] 本发明作进一步改进,步骤S31的处理方法为:采用如下公式分析漏电流波形各个

频率成分的幅值,

$$[0016] \quad X[m] = \sum_{k=1}^{N-1} x[l] \cdot e^{-i\frac{2\pi}{N}ml} \quad l = 1, 2, 3 \dots N-1; m = 1, 2, 3 \dots N-1$$

$$[0017] \quad Y[m] = \text{abs}*(X[m]/N)$$

[0018] 其中,x[1]为漏电流波形抽样得到的序列,N为x[1]的序列长度;X[m]为x[1]傅里叶变换后的序列,i为虚数单位,Y[m]为各频率点的幅值,abs(*)是取模运算。

[0019] 本发明作进一步改进,步骤S33中,相位差的计算步骤为:

[0020] (1)对漏电流波形进行分解,自适应滤波后提取出漏电流波形的低频分量系数与高频分量系数,分解公式如下:

$$[0021] \quad d_j[k] = \sum_{\pi} h_2[n-2k] * c_{j+1}[n]$$

$$[0022] \quad c_j[k] = \sum_{\pi} h_0[n-2k] * c_{j+1}[n]$$

[0023] 其中, $c_j[k]$ 、 $d_j[k]$ 分别为漏电流波形的近似分量系数与细节分量系数; $h_0[n-2k]$ 、 $h_1[n-2k]$ 表示小波基的分解低通、高通滤波器; $c_{j+1}[n]$ 表示漏电流波形的离散抽样序列,j是小波展缩变换系数,k表示小波的平移系数,n是一维序列的位置。

[0024] (2)利用求解的近似系数与细节系数,求取各频率分量数组,即可获取解各频率成分的峰值,幅值大小;

[0025] (3)对各频率分量数组再进行运算,提取其中幅值最大的数据位置,然后对该位置的运算后的数据进行相位角计算并做差,即可求出前后电缆健康监测装置的相位差,计算公式如下:

$$[0026] \quad X1_p = \max(Y1) \quad X2_p = \max(Y2)$$

$$[0027] \quad PH1 = \text{angle}(X1_p) \quad PH2 = \text{angle}(X2_p)$$

$$[0028] \quad DIFPH = PH2 - PH1$$

[0029] 其中, $X1_p$ 、 $X2_p$ 分别表示数组Y1、Y2中幅值最大的元素,p表示其位置,max表示求数组中最大值;PH1表示电缆健康监测装置1的相位,PH2表示电缆健康监测装置2的相位,angle表示对数据相位角计算;DIFPH表示电缆健康监测装置1和2的相位差。

[0030] 本发明还提供一种实现上述在线分段绝缘状态监测及故障定位的方法的系统,包括管理主机和若干个设置在同一条电缆上、分别与管理主机无线连接的电缆健康监测装置,所述管理主机包括分析系统,用于进行在线分段绝缘状态监测及故障定位,所述分析系统包括:

[0031] 无线通信模块:用于实时获取各个电缆健康监测装置处理后的电缆监测信息;以及NTP网络授时模块:用于给检测信号打上时间戳;

[0032] 采集模块:用于采集所有电缆健康监测装置处理后的漏电流波形,所述漏电流波形上带有时间戳;

[0033] 故障定位模块:用于将漏电流波形在时间轴上排序,根据各个电缆健康监测装置同时刻的漏电流波形进行故障定位。

[0034] 本发明作进一步改进,所述电缆健康监测装置包括壳体,设置在壳体内、相互隔离

高低压的接线腔和监测腔,所述接线腔的两侧设有电缆引入装置,用于接入高压电缆,所述监测腔内设有CT感应取电模块、与CT感应取电模块电源输出端相连的电源转换模块,还包括信号采集CT模块和电子组件板,所述电子组件板设有ADC采样模块和通讯模块,所述ADC采样模块的输入端与信号采集CT模块的输出端相连,所述电子组件板通过ADC采样模块获取电缆监测信息,并通过通讯模块发送出去。

[0035] 本发明作进一步改进,所述电子组件板还设有处理器、电源管理模块,其中,所述ADC采样模块的输出端与处理器的输入端相连,所述电源管理模块的输入端与电源转换模块输出端相连,所述电源管理模块输出端为电子组件板上的电子组件供电,包括电源隔离模块、通讯隔离模块和射频隔离模块,其中,所述电源隔离模块设置在电源管理模块和通讯模块之间,所述通信隔离模块设置在所述处理器和通讯模块之间,所述射频隔离模块设置在所述通讯模块和射频天线之间。

[0036] 本发明作进一步改进,所述电源管理模块包括防误报重启电路,其中,所述防误报重启电路包括用于监测CT输出功率的假负载R1、比较器U2和电子开关,其中,所述比较器U2的两个输入端分别接参考电压和CT输出电压,所述比较器的其中一个输出端接电子开关的控制端,另一个输出端接电源芯片U1的使能脚,控制电源芯片U1的开关,所述电子开关的一端接地,另一端接假负载R1的一端,所述假负载R1的另一端接CT输出电压。

[0037] 本发明作进一步改进,所述电源管理模块还包括瞬时功耗供电单元,所述瞬时功耗供电单元设置在所述电源芯片U1的电源输入端。

[0038] 本发明作进一步改进,还包括或门电路D12,所述比较器的另一个输出端通过或门电路D12的一个输入端接电源芯片U1的使能脚,所述或门电路D12的另一个输入端接ADC采样模块的输出脚。

[0039] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:针对矿井供电系统(中性点不接地或是消弧线圈接地)的电缆绝缘下降或是破损,包括很短时间发生的多次接地故障能够实现在线监测,做到绝缘下降提前预知,绝缘破损分段定位,极大地保证了矿上高压输电安全,节约了矿上的人力物力;采用定位被动方法,不需要注入其他信号,不测试零序电压,简单方便;电缆健康监测装置具有取电稳定、体积小施工简便的优点,而且还隔离了高压输电电缆与监测装置,安全性能更好;针对互感器感应取电的电源管理可以避免设备误报警重启等现象,且在网络拥堵时,也能将监测信号实时上传。

附图说明

- [0040] 图1为监测系统网络拓扑图;
- [0041] 图2和图3为本发明两个实施例结构示意图;
- [0042] 图4为本发明第二实施例监测腔内部结构示意图;
- [0043] 图5为本发明电路框图;
- [0044] 图6为防误报重启电路一实施例原理图;
- [0045] 图7为防误报重启电路另一实施例原理图;
- [0046] 图8为一实施例故障定位原理示意图;
- [0047] 图9为前后装置故障波形对比示意图。

具体实施方式

[0048] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步详细说明。

[0049] 如图1所示,本发明通过改造的电缆健康监测装置来实现井下电缆的在线分段绝缘状态监测及故障定位,本发明的故障定位系统包括管理主机和若干个设置在同一条电缆上、分别与管理主机无线连接的电缆健康监测装置,若干个电缆健康监测装置间隔设置在电缆上,通过通讯模块与无线基站无线连接,最后通过井上的光纤环网与管理主机相连,通过无线将电缆监测信息实时上传给管理主机,管理主机能够根据各个电缆健康监测装置上传的电缆监测信息,对绝缘故障发生前的绝缘下降进行预警,同时当故障发生时也能准确定位故障发生的位置,具有定位准确与查看方便的特性。

[0050] 监测装置利用高速AD实时采集智能接线盒电缆漏电流(工频波与高频波),在MCU模块进行滤波,分解重构处理,并对每个采样点打上时间戳,再利用通讯模块上传给上层管理设备(管理主机),上层管理设备通过比较每个智能接线盒同时刻的漏电流波形,给出电缆的绝缘状态以及故障位置(若有);同时上层软件也会将报警信息下发给每个监测装置进行状态指示。

[0051] 本例为了达到比较每个监测装置同时刻数据的目的,本例不仅通过通讯模块进行数据的传输,还直接通过网络获取时间,可以采用NTP网络授时原理及鲁棒性对每个电缆健康监测装置进行时间同步。

[0052] 如图2-4所示,本例的电缆健康监测装置包括壳体1,设置在壳体1内、相互隔离高低压的接线腔2和监测腔4,壳体1顶端还设有屏蔽罩6,在屏蔽罩6上方还设有用于取放装置的提手5及标志区域,壳体1底部设有底座8,用于固定本装置。

[0053] 为了提高本装置的安全性,在所述壳体1的拼接处均设有隔爆面,所述隔爆面涂204-1置换型防锈油,拼接处的隔爆面接合后,内腔还涂有耐弧漆,在壳体外部还可以喷涂标识漆,此外,内外接地均采用镀锌等方法进行处理的防锈处理件。

[0054] 本例的接线腔2设置在监测腔4的上方,所述接线腔2的两侧设有电缆引入装置3,用于接入高压电缆,接线腔2内设有接线的穿墙端子排。

[0055] 所述监测腔4的壳体外侧同样设有屏蔽罩6,在侧面壳体上还设有用于无线通信的天线9,本例在监测腔4的前端面还设有显示屏7,用于显示装置的运行状态参数。

[0056] 本例的装置壳体形状不局限于上述两种形状,还可以将装置吊装,监测腔4设置在接线腔2的上方或一侧。

[0057] 如图4所示,所述监测腔4内设有通过固定架10固定在监测腔2底部的感应取电CT 17,还包括电流互感器15、与感应取电CT 17输出端相连的电源转换装置14,还包括分别与显示屏7和电源转换装置14及电流互感器15相连的电子组件板11。本例的监测腔4内还设有环境监测模块,所述环境监测模块的输出端与电子组件板11上的处理器的输入端相连。

[0058] 本例的环境监测模块包括通过安装板13固定的湿度传感器12,及温度传感器16,通过采集线缆温度及腔体湿度,能够实现实时监测腔体内部的温湿度环境及线缆的温度,在腔体内温湿度异常时,比如,电缆短路或者腔体内湿度过大导致温湿度异常时,能够提前预警,及时处理,以免出现更大的故障。

[0059] 如图5所示,本例的ZCT为用于采集信号的电流互感器15,本例的PCT为取电用的取电感应CT 17,本例电子组件板上设有处理器、电源管理模块、ADC采样模块和通讯模块,所

述ADC采样模块的输入端与电流互感器15的输出端相连,所述ADC采样模块的输出端与处理器的输入端相连,所述电源管理模块的输入端与电源转换模块输出端相连,所述电源管理模块输出端为电子组件板上的电子组件供电,所述电子组件板通过ADC采样模块获取电缆监测信息,并通过通讯模块发送出去。本例处理器包括MCU和DSP芯片。

[0060] 为了提高本装置的安全性能,本例包括电源隔离模块、通讯隔离模块和射频隔离模块,其中,所述电源隔离模块设置在电源管理模块和通讯模块之间,所述通信隔离模块设置在所述处理器和通讯模块之间,所述射频隔离模块设置在所述通讯模块和外壳上的射频天线之间。

[0061] 本例采用互感器感应取电+电池供电方案,避免外拉电源导致的风险以及不便,具有取电稳定、体积小施工简便的优点,采用高低压分离的模式,隔离了高压输电线缆与监测装置,在保证安全的基础上避免了高低压电路之间的干扰。

[0062] 由于取电互感器的功率会随着一次电流的降低而降低,当取电互感器功率不足以带动绝缘在线监测装置或处于零界点,监测装置会出现误报警、重启等现象;另外监测装置含有通讯模块,比如本例的4G模块,4G模块瞬间消耗电流会达到1.5A,取电互感器的功率不够,输出电压会短暂性降低。

[0063] 如图6所示,为了避免监测装置会出现误报警、重启等现象,本例在电源管理模块设计了防误报重启电路,其中,所述防误报重启电路包括用于监测CT输出功率的假负载R1、比较器U2和电子开关,其中,所比较器U2的两个输入端分别接参考电压和CT输出电压,所述比较器的其中一个输出端接电子开关的控制端,另一个输出端接电源芯片U1的使能脚,,控制电源芯片U1的开关,所述电子开关的一端接地,另一端接假负载R1的一端,所述假负载R1的另一端接CT输出电压。

[0064] 本例用一个假负载R1监控CT输出功率,当CT输出功率不足以带动R1时,电压 V_{in} 会低于额定值,再用一个比较器U2监控此电压 V_{in} ,当 V_{in} 电压低于额定值,比较器U2的一路输出低电平PW_EN关闭DC-DC电源芯片U1的使能脚,不让后续电路工作;当CT输出功率足以带动R1电阻时,电压 V_{in} 会稳定在额定值,此时比较器U2的该路输出高电平PW_EN打开DC-DC电源芯片U1的使能脚,比较器U2的另一路输出低电平,关闭电阻R1的供电,监测装置正常工作。在检测装置工作时,比较器时刻检测CT输出电压,一旦CT输出功率下降不足以带动监测装置,也会重述上过程。

[0065] 针对于4G模块的瞬时功耗,本例在DC-DC电源芯片U1的电源输入端放置一个储能电容C1。针对于4G模块的瞬时功耗,在DC-DC电源芯片U1的电源输入端放置一个储能电容C1。瞬时功耗靠储能电容C1提供,根据电容储存能量公式 $0.5CU^2$,电容放电, V_{in} 虽然会下降。但是DC-DC是宽电压输入,不会影响DC-DC工作且C1提供的功率足以满足4G的瞬时功率。本例的储能电容C1还可以用储能电感替代。

[0066] 如图7所示,本例为了避免4G模块瞬时功耗时, V_{in} 降低时比较器U2输出的PW_EN会关闭DC-DC使能脚,本例再设计一路或门电路D12。当MCU工作起来后,利用ADC监控 V_{in} ,当 V_{in} 仅出现短暂电压低于阈值时(4G瞬时功耗是ms级别),用一个IO口输出高电平打开DC-DC电源芯片U1的使能脚,尽管此时比较器输出低电平,但监测装置仍然可以正常工作。

[0067] 本发明电路简单实用,互感器感应取电的电源管理可以避免设备误报警重启等现象,且在网络拥堵时,也能将监测信号实时上传,可靠性更高。

[0068] 在故障定位上,目前矿井的供电保护系统是不具故障定位功能的,井上的供电系统电缆接地故障定位最热门的是行波测距,行波测距分为单端行波测距、双端行波测距,单端测距反射波难以准确捕捉,测距无法保证,实际井上大多采用双端测距,双端测距最主要的3个参数:

[0069] 1) 时间差—行波到达电缆两端的时间差;

[0070] 2) 波速—故障行波在电缆中的时间差;

[0071] 3) 电缆总长。

[0072] 时间差精度涉及到时间分辨率,通常1us相差150m,井下时间分辨率一般是ms级别;由于故障波在电缆上传播模式多种多样,且同种模式的频率成分与衰减也不一致,波速 V_p 也难以准确计算。另外双端测距还不适用于多回路线路(井下电缆布线方式与长度多式多样)。综上可知,井上的接地故障定位不适用于井下的接地故障定位。

[0073] 针对于井下消弧线圈接地系统的所有接地故障,工频波非常微弱,而中性点不接地系统,弧光接地与间接性弧光接地,故障波也是高频成分。因此要准确定位需要提取故障波的高频成分,不能采用传统的工频分析或者某一段波形的有效值计算,而且对于间隔很短时间的多个接地故障,故障波形若不在时间轴上排序,进行同一时刻的前后波形比较,也非常容易误判。为此本发明提出了以下解决方案:

[0074] 如图8所示,此处以两个电缆健康监测装置(也就是图7中的智能接线盒),A相电缆发生接地漏电流为例说明。当A相电缆某个点发生接地漏电流(高阻接地或闪络)线路上所有的电容电流会沿着接地点流向A相线路,进一步分析发现故障点前后的容性电流相位差180度,由于电缆越长,等效电容越大,故越靠近故障点容性电流越大。故本发明提出了采集输电线路所有智能接线盒的漏电流流波形进行分解与重构,并打上时间戳,通过无线发射到上层管理主机的分析系统,上层将故障波形在时间轴上排序进行同时刻的工频与高频波形的相位、峰值、幅值等特征进行故障定位的方法。智能接线盒和上层系统采用NTP网络授时进行时间同步,保证很短时间的多个接地定位准确。

[0075] 作为本发明的一个实施例,本发明的故障定位的方法包括如下步骤:

[0076] (1) 先利用fft(傅里叶变换)算法分析漏电流波形各个频率成分的幅值,计算公式为:

$$[0077] \quad X[m] = \sum_{k=1}^{N-1} x[l] \cdot e^{-i\frac{2\pi}{N}ml} \quad l = 1, 2, 3 \dots N-1; \quad m = 1, 2, 3 \dots N-1$$

$$[0078] \quad Y[m] = \text{abs}*(X[m]/N)$$

[0079] 其中, $x[1]$ 为漏电流波形抽样得到的序列, N 为 $x[1]$ 的序列长度; $X[m]$ 为 $x[1]$ 傅里叶变换后的序列, i 为虚数单位, $Y[m]$ 为各频率点的幅值, $\text{abs}(*)$ 是取模运算。

[0080] (2) 若计算出的 $Y[m]$ 超过某一个阈值,就启动漏电流波形的分解与重构程序提取工频与高频波形的相位、峰值、幅值等特征;

[0081] (3) 利用小波变换对漏电流波形进行分解,自适应滤波后提取出漏电流波形的低频分量系数与高频分量系数。小波分解公式如下:

$$[0082] \quad d_j[k] = \sum_n h_1[n-2k] * c_{j+1}[n]$$

$$[0083] \quad c_j[k] = \sum_n h_0[n-2k] * c_{j+1}[n]$$

[0084] 其中, $c_j[k]$ 、 $d_j[k]$ 分别为漏电流波形的近似分量系数与细节分量系数; $h_0[n-2k]$ 、 $h_1[n-2k]$ 表示小波基的分解低通、高通滤波器; $c_{j+1}[kn]$ 表示漏电流波形的离散抽样序列, j 是小波展缩变换系数, k 表示小波的平移系数, n 是一维序列的位置。

[0085] (4) 利用上述求解的近似系数与细节系数, 求取各频率分量数组, 即可求解各频率成分的峰值, 幅值大小。

[0086] (5) 前后电缆健康监测装置波形的相位差求解可以对各频率分量数组再进行fft与取模运算, 提取其中幅值最大的数据位置, 然后对该位置的fft数据进行相位角计算并做差, 即可求出前后电缆健康监测装置的相位差。计算公式如下:

$$[0087] \quad X1_p = \max(Y1) \quad X2_p = \max(Y2)$$

$$[0088] \quad PH1 = \text{angle}(X1_p) \quad PH2 = \text{angle}(X2_p)$$

$$[0089] \quad DIFPH = PH2 - PH1$$

[0090] 其中, $X1_p$ 、 $X2_p$ 分别表示数组Y1、Y2中幅值最大的元素, p 示其位置, \max 表示求数组中最大值; $PH1$ 表示电缆健康监测装置1的相位, $PH2$ 表示电缆健康监测装置2的相位, angle 表示对数据相位角计算; $DIFPH$ 表示电缆健康监测装置1和2的相位差。

[0091] 此定位原理适用于持续性接地与间歇性等接地故障, 至于如何判别是持续性接地还是间歇性接地, 只需观察波形的频率以及幅值、持续时间即可, 此处不做重点说明。增加漏电波形检测目前采用零序互感器, 但不仅限于零序互感器, 如接地互感器、或相互感器的矢量和等; 漏电波形分析目前采用fft及小波算法, 但不仅限于此算法, 例如还可以采用短时傅里叶变换; 基于向量夹角公式求解相位等。

[0092] 根据以上定位方法, 采用三相功率源模拟中性点不接地系统的单相接地故障, 实际测试故障点前后波形如图9所示, 其中红色实线为电缆健康监测装置1故障波形, 蓝色实线为电缆健康监测装置2故障波形, 据该图可知: 前后电缆健康监测装置故障波形相位差180度; 由于电缆健康监测装置1离故障点较近, 故电缆健康监测装置1的电流值较电缆健康监测装置2略大, 上层系统根据波形特征能正确判断接地故障点。

[0093] 本发明采用绝缘监测定位原理, 针对矿井供电系统的电缆绝缘下降或是破损, 能够实现在线监测, 做到绝缘下降提前预知, 绝缘破损精准定位。极大地保证了矿上高压输电安全, 节约了矿上的人力物力。

[0094] 以上所述之具体实施方式为本发明的较佳实施方式, 并非以此限定本发明的具体实施范围, 本发明的范围包括并不限于本具体实施方式, 凡依照本发明所作的等效变化均在本发明的保护范围内。

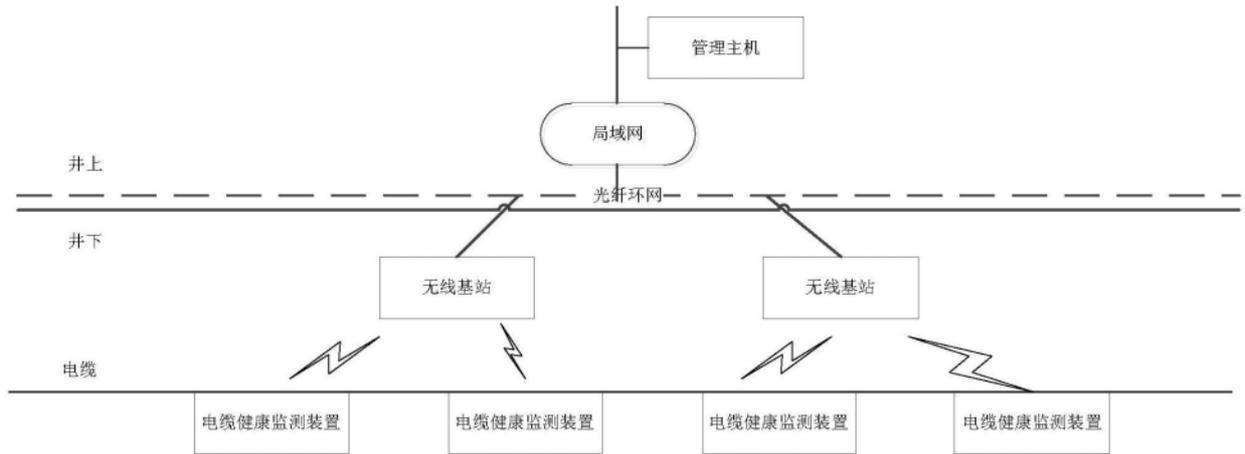


图1

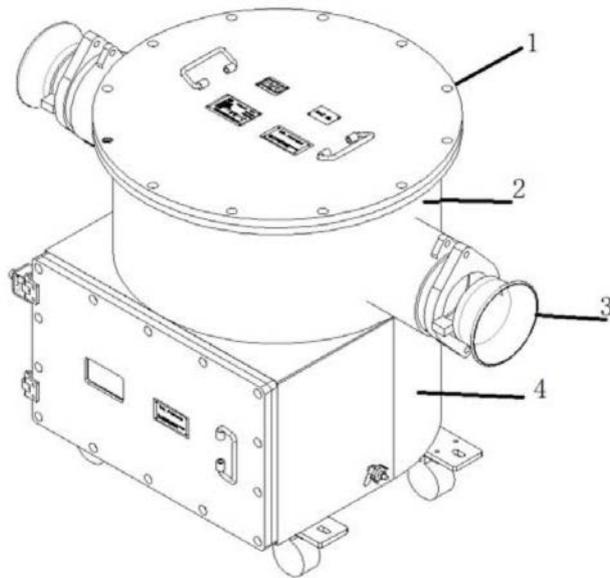


图2

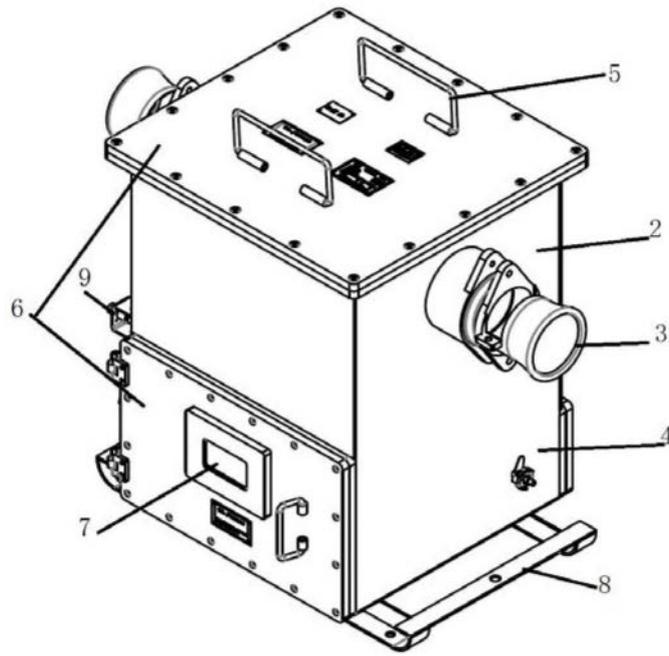


图3

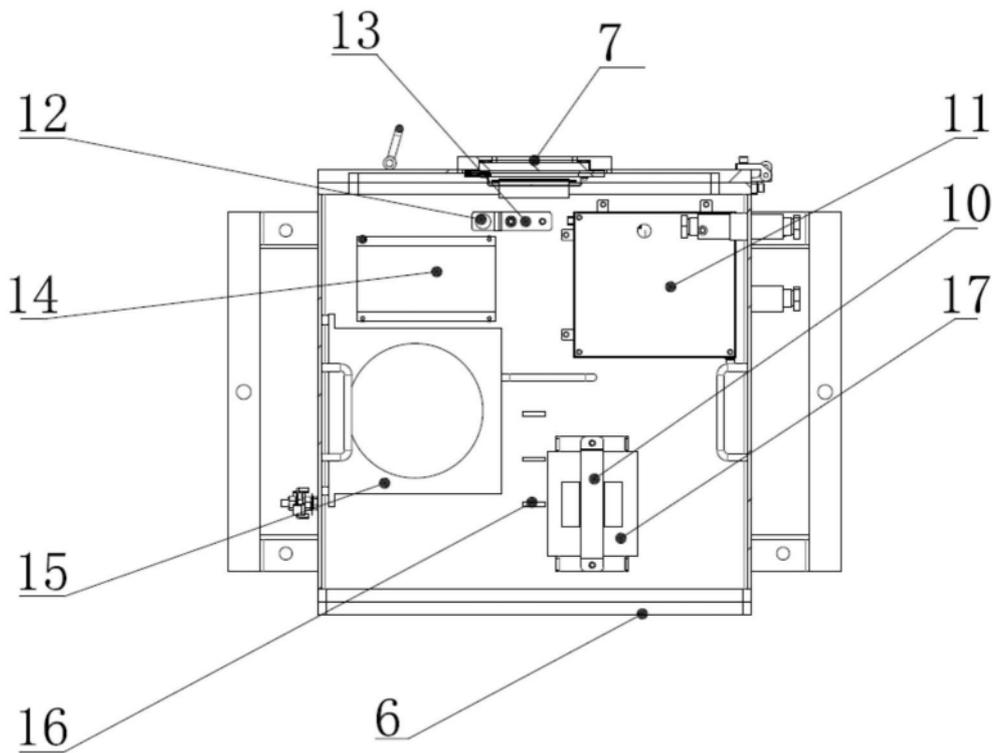


图4

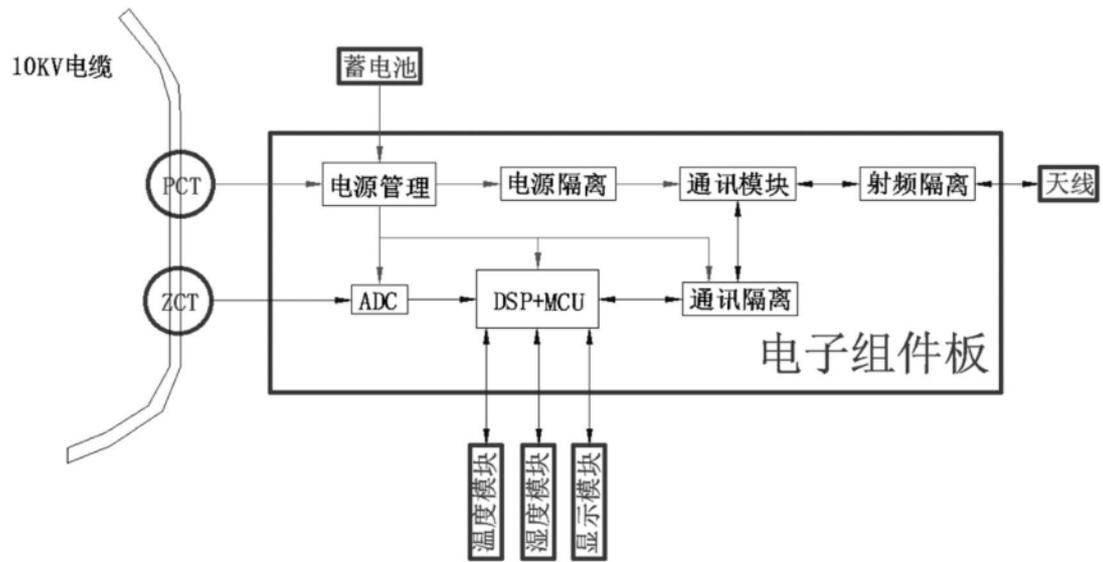


图5

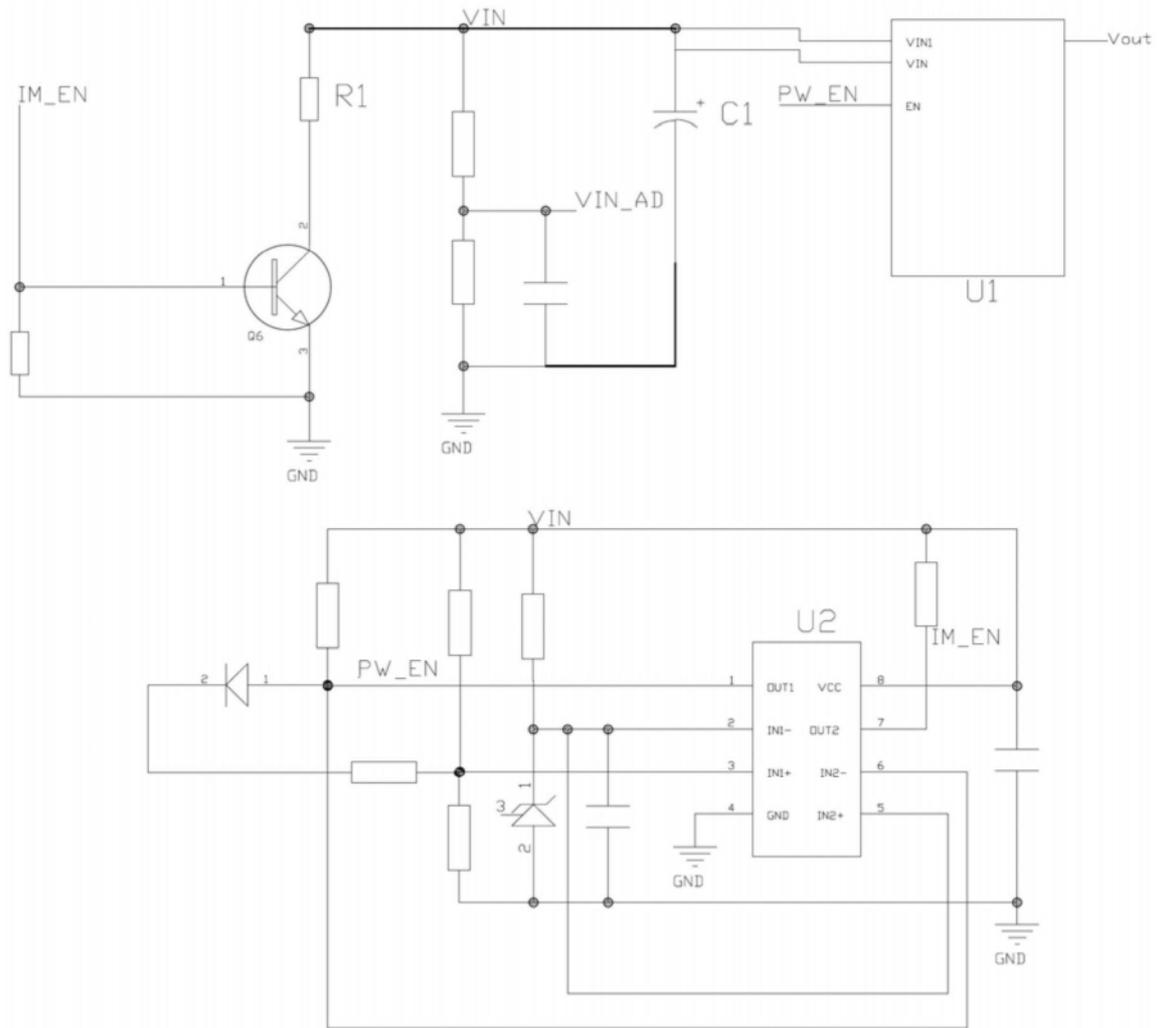


图6

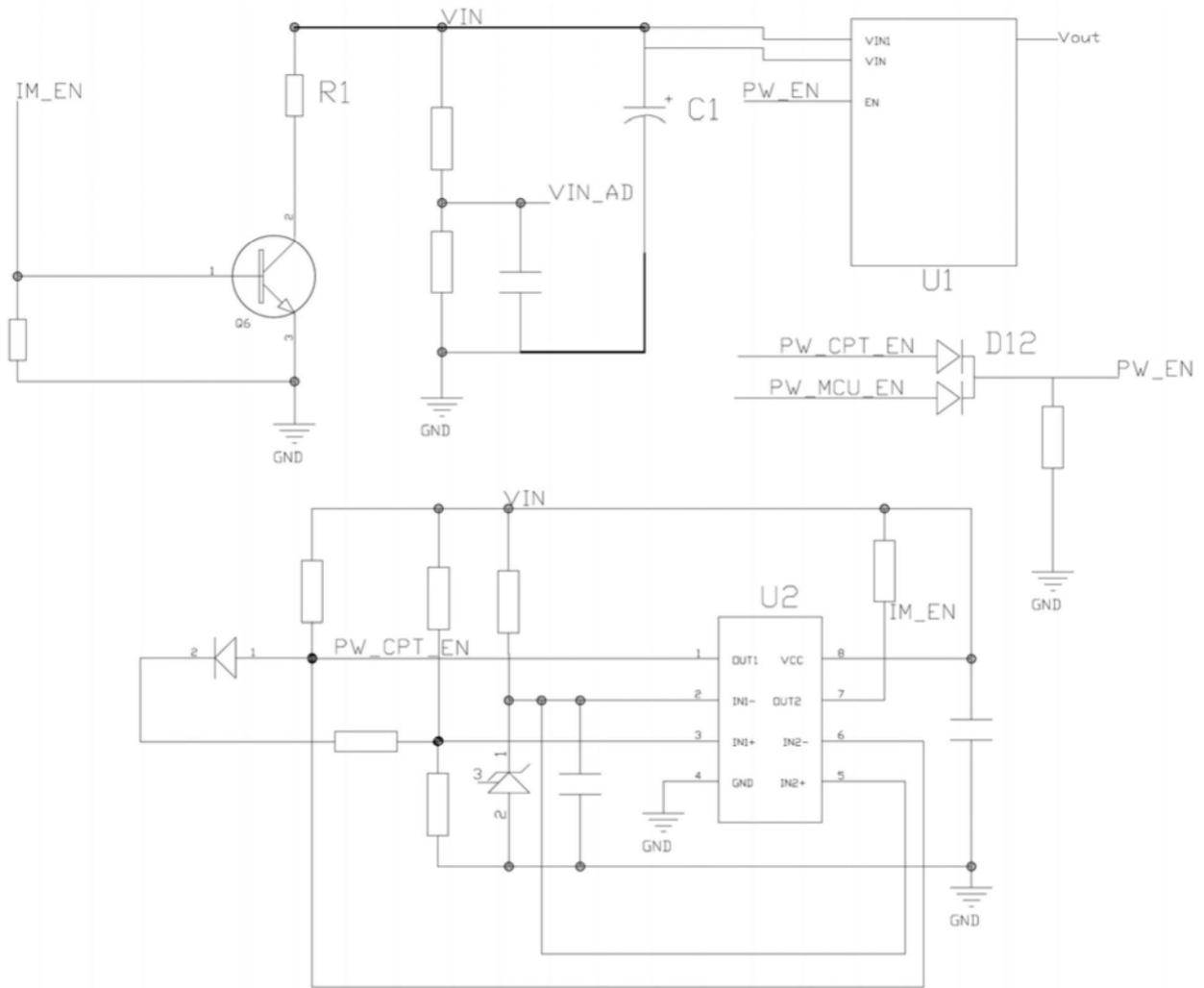


图7

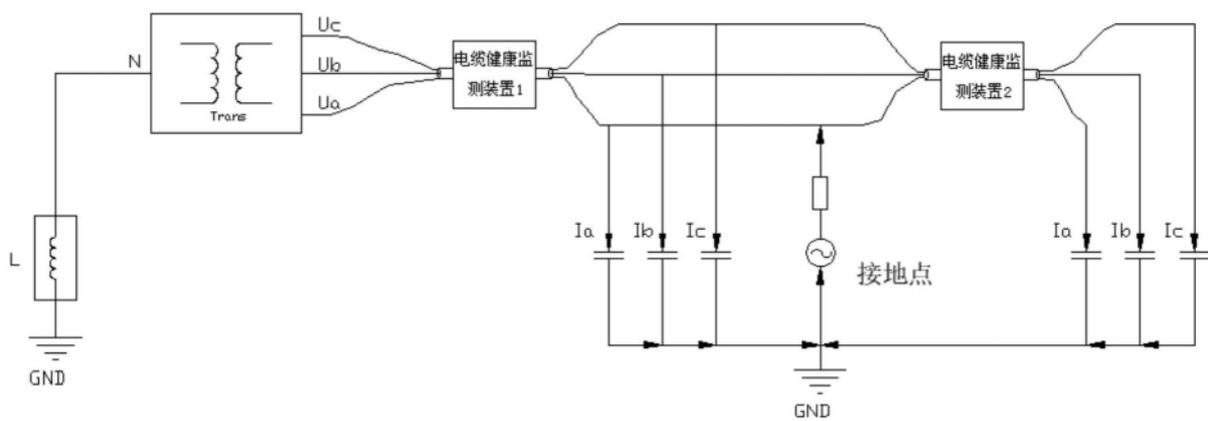


图8

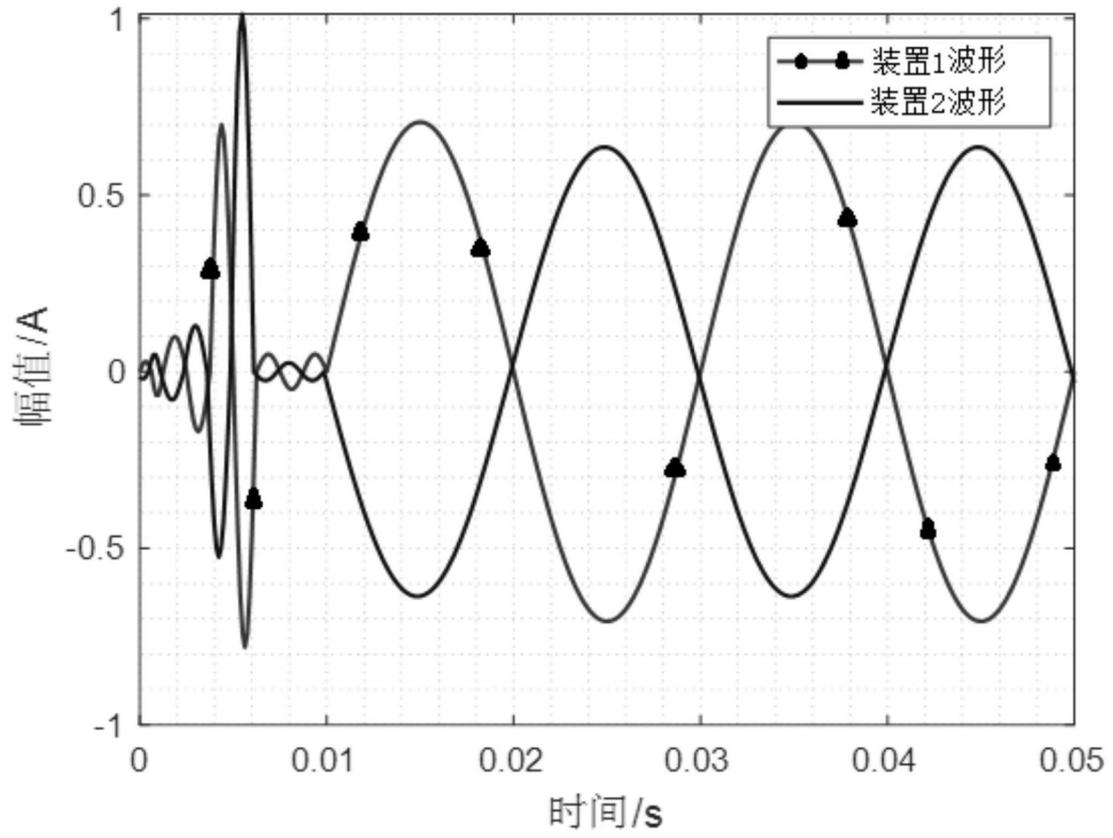


图9