



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104375007 B

(45)授权公告日 2017.05.31

(21)申请号 201410682113.4

(22)申请日 2014.11.21

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104375007 A

(43)申请公布日 2015.02.25

(73)专利权人 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心

地址 510663 广东省广州市萝岗区科学大道223号2号楼305室

(72)发明人 陈伟 卢文浩 夏谷林

(74)专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司 11228

代理人 朱振德

(51)Int.Cl.

G01R 27/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 102879688 A,2013.01.16,

CN 103176050 A,2013.06.26,

CN 101266270 A,2008.09.17,

CN 103941096 A,2014.07.23,

JP H0266466 A,1990.03.06,

审查员 刘俊杰

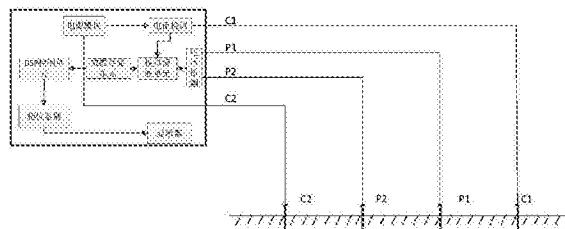
权利要求书3页 说明书11页 附图4页

(54)发明名称

一种基于相位识别的土壤电阻率测量方法及装置

(57)摘要

本发明公开了一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,首先选取待测土壤按预设电极间距依次沿直线在地表上打入电流和电压极;按预设频率选取电源,并通过电流极向待测土壤地表中注入电流信号;然后测取电压极上的电压信号;通过相位识别得到预设频率下电压与电流信号的同相分量;最后通过土壤视在电阻率公式来计算土壤电阻率。本发明采用的是异于工频50Hz的125Hz测试频率,对三次谐波也有很好的抗干扰能力,有效的消除引线互感对现场土壤电阻率的电测试结果,提高了测量准确性;本发明可以广泛应用于输电线路沿线或者变电站等场地的土壤电阻率测量,特别适用于长极间距下的测量,可以很好的消除电压和电流极引线互感的影响。



1. 一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1:选取待测土壤按预设电极极间距依次沿直线在地表上打入电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2;

S2:按预设频率选取正旋波形电源,并通过电流极C1和电流极C2向待测土壤地表中注入电流信号I,

S3:测取电压极P1和电压极P2上的电压信号U;

S4:通过相位识别得到预设频率下电压信号U与电流信号I的同相分量,所述同相分量包括电压信号相角和电流信号相角;所述同相分量是指电压信号投影到电流信号方向上的幅值;

S5:按以下公式来计算土壤视在电阻率: $\rho = 2\pi aU/I \cdot \cos(\alpha - \beta)$ ;

式中, $\rho$ 为土壤视在电阻率; $\pi$ 为圆周率; $a$ 为预设电极极间距; $I$ 为测试时电流极注入电流; $\alpha$ 为电压信号相角; $\beta$ 为电流信号相角。

2. 根据权利要求1所述的基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,其特征在于:所述正旋波形电源的预设频率选取125Hz;

所述电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2的打入深度为 $\frac{a}{25}$ 到 $\frac{a}{20}$ ;所述电流极C1的打入深度略深于电压极P1的打入深度;所述电流极C2的打入深度略深于电压极P2的打入深度。

3. 根据权利要求1所述的基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,其特征在于:所述步骤S2中还包括以下步骤,具体如下;

在无法判断电流回路电阻情况下,将注入到电流极中输出电流档位调节设置为中档位进行试测:

根据电流电压值判定回路中是否有断线或者电流极打入位置是否合理,若有断线,用万用表导通测试沿线检测;若为电流回路阻抗过大,更换电流极位置或者采用浇灌盐水进行降阻。

4. 根据权利要求2所述的基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,其特征在于:所述步骤S2中还包括输出电流档位的调节,具体如下;

S21:根据采集到的电流信号和电压信号波形进行分析,判断空间电磁耦合以及地网零序电流干扰情况,

S22:若125Hz信号是50Hz的0.1-0.15倍,则需要调节面板上电流输出旋钮,增大电流输出,同时对电流极进行盐水浇灌;

S23:当125Hz与50Hz信号0.7至2倍时,则测量的精度达到测量预设精度值。

5. 根据权利要求1所述的基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,其特征在于:所述步骤S4中还包括以下步骤,具体如下;

S41:采集并存储流过电流极的电流信号I和电压极电势差U;

S42:从电流信号I和电压信号U中截取形成电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ ;

S43:确定采样率和信号长度点数对电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ 进行离散傅里叶分解形成电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号;

S44:根据电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号获取预设频率下的电压信号幅

值和相角 $U \angle \alpha$ 以及电流信号幅值和相角 $I \angle \beta$ ,所述电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号的频率分辨率为1Hz。

6. 根据权利要求5所述的基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,其特征在于:所述采样率为10kHz,所述信号长度点数为10000个点;

所述电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2采用等间距方式排列。

7. 一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量装置,其特征在于:包括辅助测量电极和土壤电阻率测试仪;

所述辅助测量电极包括垂直打入地表中一条直线上的多根电流极和电压极,最外侧电极作为电流极,所述电流极通过导线与土壤电阻率测试仪的电流端口连接,中间两根电极作为电压极,所述电压极通过导线与土壤电阻率测试仪的电压端口连接;

所述土壤电阻率测试仪包括电流输出模块、电流采集模块、电压采集模块、滤波模块、数字存储模块和DSP处理模块;

所述电流输出模块通过电流极将向地表中注入预设频率正弦波电流,同时所述电流采集模块和电压采集模块采集电流极注入地表中的电流信号和电压极之间的电压信号,并送入DSP处理模块中,同时所述DSP处理模块将分析判断结果输送给电流输出模块;

所述电流输出模块依据DSP处理模块传来的检测电流和电压信号分析结果,产生正弦波形的电压幅值调整信号,并输出调整后的电流信号;

所述调整信号保持输出信号为预设频率的标准正弦波形信号,从电流极注入地表;

输出电压调整完毕后,重新通过所述电流采集模块、电压采集模块采集流过电流极的电流信号和电压极两端的电压信号;所述电流信号和电压信号经过滤波模块滤波后送入数字存储模块及DSP处理模块进行处理;

所述DSP处理模块对电流和电压信号分析处理,具体步骤如下:

S51:采集并存储流过电流极的电流信号 $I$ 和电压极电势差 $U$ ;

S52:从电流信号 $I$ 和电压信号 $U$ 中截取形成电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ ;

S53:确定采样率和信号长度点数对电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ 进行离散傅里叶分解形成电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号;

S54:根据电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号获取预设频率下的电压信号幅值和相角 $U \angle \alpha$ 以及电流信号幅值和相角 $I \angle \beta$ ,所述电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号的频率分辨率为1Hz。

S55:按以下公式来计算土壤视在电阻率: $\rho = 2\pi a U / I \cos(\alpha - \beta)$ ;

式中, $\rho$ 为土壤视在电阻率; $\pi$ 为圆周率; $a$ 为预设电极极间距; $I$ 为测试时电流极注入电流; $\alpha$ 为电压信号相角; $\beta$ 为电流信号相角。

8. 根据权利要求7所述的基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量装置,其特征在于:所述采样率为10kHz,采样点数为10000数据点,125Hz波形信号为8个周波信号,经过离散傅里叶分解后的频率分辨率为1Hz。

9. 根据权利要求7所述的基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量装置,其特征在于:所述土壤电阻率测试仪还包括数字输出显示模块,数据查询模块和电池及充电模块;

处理后的结果传输给数字输出显示模块在土壤电阻率测试仪的面板液晶显示屏显示测量结果;所述数据查询模块通过查询参数调用数据存储模块的数据通过数据输出显示模

块显示;所述电池及充电模块分别与土壤电阻率测试仪中各个模块连接用于提供电能。

## 一种基于相位识别的土壤电阻率测量方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及防雷与接地技术领域,特别涉及一种各接地装置设计时场区土壤电阻率的测量装置及其测试方法。

### 背景技术

[0002] 电阻率是物质的基本属性之一。任何一种物质的电阻率可以定义为该物质单位体积相对两面间,以 $\Omega$ 为单位的电阻。现在常用的现场土壤电阻率电测试方法有两极法、三极法以及四极法。两极法与三极法操作简单,但是测量的土壤范围一般不大而且测试电极与土壤介质的接触电阻会引入较大的误差。测试大范围土壤电阻率常用的方法是四极法,其中温纳四极法以操作简便而在工程上广泛应用,其基本原理如下:在地面上插入C1、P1、P2、C2四个电极,依次等间距布置在一条直线上,以C1和C2作为电流极注入电流I,则此时会在电压极P1、P2上产生电压差U,通过公式 $\rho=2\pi aU/I$ ,可以计算出该电极间距下现场土壤视在电阻率,式中a为最近的两个电极间间距称为极间距,该方法测量的土壤深度约等于极间距a。

[0003] 随着国民经济的蓬勃发展,电力能源需求越来越大,大型的发电厂和变电站不断增加。接地网作为发电厂和变电站安全运行的重要保障之一,其接地性能一直受到设计及生产运行部门重视。随着发电厂和变电站规模的增大,其地网规模也不断增加。依据行业标准DL465-2006接地装置特性测试导则,土壤电阻率测量极间距最好取到拟建接地装置最大对角线的三分之二,对于建在丘陵等高土壤电阻率地区的高电压等级交流变电站或直流换流站地网,其对角线长度在600m以上,则土壤电阻率测试极间距一般要达到400m。鲁志伟在文章《引线间互感对土壤电阻率测量结果的影响》指出了在电流极之间间距较大时,互感对电阻率测量影响较大,但未给出相应的消除引线互感的方法。目前,现有的土壤电阻率测试仪未有硬件上或者软件上排除引线互感干扰的方法。因此,设计一种可以排除引线互感对测试结果干扰的土壤电阻率测量装置和测试方法,能消除引线互感对现场土壤电阻率电测试法的干扰,有助于得到准确的土壤电阻率值,具有重要的意义。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明所要解决的技术问题是提供一种基于相位识别的土壤电阻率测量装置及方法,目的在于针对现有的长极间距下土壤电阻率测量装置及测试方法的不足,提供一种长极间距土壤电阻率测试装置及其方法。该方法具有抗干扰能力强,装置成本低,测试土壤范围广,测量准确等优点。

[0005] 本发明的目的之一是提出一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法;本发明的目的之二是提出一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试装置。

[0006] 本发明的目的之一是通过以下技术方案来实现的:

[0007] 本发明提供的一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,包括以下步骤:

- [0008] S1:选取待测土壤按预设电极极间距依次沿直线在地表上打入电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2;
- [0009] S2:按预设频率选取正旋波形电源,并通过电流极C1和电流极C2向待测土壤地表中注入电流信号I,
- [0010] S3:测取电压极P1和电压极P2上的电压信号U;
- [0011] S4:通过相位识别得到预设频率下电压信号U与电流信号I的同相分量,所述同相分量包括电压信号相角和电流信号相角;所述同相分量是指电压信号投影到电流信号方向上的幅值;
- [0012] S5:按以下公式来计算土壤视在电阻率: $\rho = 2\pi aU/I * \cos(\alpha - \beta)$ ;
- [0013] 式中, $\rho$ 为土壤视在电阻率; $\pi$ 为圆周率; $a$ 为预设电极极间距; $I$ 为测试时电流极注入电流; $\alpha$ 为电压信号相角; $\beta$ 为电流信号相角。
- [0014] 进一步,所述正旋波形电源的预设频率选取125Hz;
- [0015] 所述电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2的打入深度为 $1/25a$ 到 $1/20a$ ;所述电流极C1的打入深度略深于电压极P1的打入深度;所述电流极C2的打入深度略深于电压极P2的打入深度。
- [0016] 进一步,所述步骤S2中还包括以下步骤,具体如下;
- [0017] 在无法判断电流回路电阻情况下,将输出电流档位调节设置为中档位进行试测;
- [0018] 根据电流电压值判定回路中是否有断线或者电流极打入位置是否合理,若有断线,用万用表导通测试沿线检测;若为电流回路阻抗过大,更换电流极位置或者采用浇灌盐水进行降阻;
- [0019] 进一步,所述步骤S2中还包括输出电流档位的调节,具体如下;
- [0020] S21:根据采集到的电流信号和电压信号波形进行分析,判断空间电磁耦合以及电网零序电流干扰情况,
- [0021] S22:若125Hz信号是50Hz的0.1-0.15倍,则需要调节面板上电流输出旋钮,增大电流输出,同时对电流极进行盐水浇灌或者其他降阻措施提高测试仪器的输出;
- [0022] S23:当125Hz与50Hz信号0.7至2倍时,则测量的精度达到测量预设精度值。
- [0023] 进一步,所述步骤S4中还包括以下步骤,具体如下;
- [0024] S41:采集并存储流过电流极的电流信号I和电压极电势差U;
- [0025] S42:从电流信号I和电压信号U中截取形成电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ ;
- [0026] S43:确定采样率和信号长度点数对电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ 进行离散傅里叶分解形成电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号;
- [0027] S44:根据电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号获取预设频率下的电压信号幅值和相角 $U \angle \alpha$ 以及电流信号幅值和相角 $I \angle \beta$ ,所述电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号的频率分辨率为1Hz。
- [0028] 进一步,所述采样率为10kHz,所述信号长度点数为10000个点;
- [0029] 所述电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2采用等间距方式排列。
- [0030] 本发明的目的之二是通过以下技术方案来实现的:
- [0031] 本发明提供的一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量装置,包括辅助测量电极和土壤电阻率测试仪;

[0032] 所述辅助测量电极包括垂直打入地表中一条直线上的多根电流极和电压极,最外侧电极作为电流极,所述电流极通过导线与土壤电阻率测试仪的电流端口连接,中间两根电极作为电压极,所述电压极通过导线与土壤电阻率测试仪的电压端口连接;

[0033] 所述土壤电阻率测试仪包括电流输出模块、电流采集模块、电压采集模块、滤波模块、数字存储模块和DSP处理模块;

[0034] 所述电流输出模块通过电流极将向地表中注入预设频率正旋波电流,同时所述电流采集模块和电压采集模块采集电流极注入地表中的电流信号和电压极之间的电压信号,并送入DSP处理模块中,同时所述DSP处理模块将分析判断结果输送给电流输出模块;

[0035] 所述电流输出模块依据DSP处理模块传来的检测电流和电压信号分析结果,产生正旋波形的电压幅值调整信号,并输出调整后的电流信号;

[0036] 所述调整信号保持输出信号为预设频率的标准正旋波形信号,从电流极注入地表;

[0037] 输出电压调整完毕后,重新通过所述电流采集模块、电压采集模块采集流过电流极的电流信号和电压极两端的电压信号;所述电流信号和电压信号经过滤波模块滤波后送入数字存储模块及DSP处理模块进行处理。

[0038] 进一步,所述DSP处理模块对电流和电压信号分析处理,具体步骤如下:

[0039] S51:采集并存储流过电流极的电流信号I和电压极电势差U;

[0040] S52:从电流信号I和电压信号U中截取形成电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ ;

[0041] S53:确定采样率和信号长度点数对电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ 进行离散傅里叶分解形成电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号;

[0042] S54:根据电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号获取预设频率下的电压信号幅值和相角 $U \angle \alpha$ 以及电流信号幅值和相角 $I \angle \beta$ ,所述电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号的频率分辨率为1Hz。

[0043] S55:按以下公式来计算土壤视在电阻率: $\rho = 2\pi a U / I * \cos(\alpha - \beta)$ ;

[0044] 式中, $\rho$ 为土壤视在电阻率; $\pi$ 为圆周率; $a$ 为预设电极极间距; $I$ 为测试时电流极注入电流; $\alpha$ 为电压信号相角; $\beta$ 为电流信号相角。

[0045] 进一步,所述采样率为10kHz,采样点数为10000数据点,125Hz波形信号为8个周波信号,经过离散傅里叶分解后的频率分辨率1Hz。

[0046] 进一步,所述土壤电阻率测试仪还包括数字输出显示模块,数据查询模块和电池及充电模块;

[0047] 处理后的结果传输给数字输出显示模块在土壤电阻率测试仪的面板液晶显示屏显示测量结果;所述数据查询模块通过查询参数调用数据存储模块的数据通过数据输出显示模块显示;所述电池及充电模块分别与土壤电阻率测试仪中各个模块连接用于提供电能。

[0048] 本发明的有益效果在于:本发明对获取的电流信号和电压信号选取了恰当的数据采样率和采样点数,获取离散傅里叶处理后的电流信号和电压信号在125Hz频率点处的幅值和相角,同时保证了有用信号足够的采样频率和50Hz工频信号干扰的判定,使得经过离散傅里叶分解后数据在的频率分辨率为1Hz的情况下有效的分辨出干扰信号与有用信号。进而采用土壤视在电阻率修正计算公式来计算长极间距下的土壤电阻率,有效的消除引线

互感对现场土壤电阻率的电测试结果。

[0049] 同时该装置成本不高;抗工频干扰能力强,采用的是异于工频50Hz的125Hz测试频率,对三次谐波也有很好的抗干扰能力,提高了测量准确性;本发明可以广泛应用于输电线路沿线或者变电站等场地的土壤电阻率测量,特别适用于长极间距下的测量,可以很好的消除电压和电流极引线互感的影响。

### 附图说明

[0050] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步的详细描述,其中:

[0051] 图1为本发明实施例提供的装置接线和工作原理框图;

[0052] 图2为本发明实施例提供的电压和电流极引线布置图;

[0053] 图3为本发明实施例提供的125Hz为50Hz信号0.1倍;

[0054] 图4为本发明实施例提供的125Hz信号为50Hz的0.7倍;

[0055] 图5为本发明实施例提供的125Hz信号为50Hz信号的2倍;

[0056] 图6为本发明实施例提供的1000  $\Omega$  m均匀土壤电阻率下考虑互感与不考虑互感的仿真试验结果对比;

[0057] 图7为本发明实施例提供的200  $\Omega$  m均匀土壤电阻率下考虑互感与不考虑互感的仿真试验结果对比。

### 具体实施方式

[0058] 以下将参照附图,对本发明的优选实施例进行详细的描述。应当理解,优选实施例仅为了说明本发明,而不是为了限制本发明的保护范围。

[0059] 实施例1

[0060] 图1为本发明实施例提供的装置接线和工作原理框图,图2为本发明实施例提供的电压和电流极引线布置图,如图所示:本发明提供了一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量测试方法,包括以下步骤:

[0061] S1:选取待测土壤按预设电极极间距依次沿直线在地表上打入电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2;

[0062] S2:按预设频率选取正旋波形电源,并通过电流极C1和电流极C2向待测土壤地表中注入电流信号I,

[0063] S3:测取电压极P1和电压极P2上的电压信号U;

[0064] S4:通过相位识别得到预设频率下电压信号U与电流信号I的同相分量,所述同相分量包括电压信号相角和电流信号相角;所述同相分量是指电压信号投影到电流信号方向上的幅值;

[0065] S5:按以下公式来计算土壤视在电阻率: $\rho = 2\pi aU/I \cdot \cos(\alpha - \beta)$ ;

[0066] 式中, $\rho$ 为土壤视在电阻率; $\pi$ 为圆周率; $a$ 为预设电极极间距; $I$ 为测试时电流极注入电流; $\alpha$ 为电压信号相角; $\beta$ 为电流信号相角。

[0067] 所述正旋波形电源的预设频率选取125Hz。125Hz是可以最好抵抗50Hz以及其谐波干扰的频率。



[0068] 所述电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2的打入深度为 $1/25a$ 到 $1/20a$ ；所述电流极C1的打入深度略深于电压极P1的打入深度；所述电流极C2的打入深度略深于电压极P2的打入深度。

[0069] 通过电压测量模块端口获取电压极P1和电压极P2地表处电位信号；通过电流测量模块端口获取电流极C1和电流极C2地表处电流信号。

[0070] 所述步骤S2中还包括以下步骤，具体如下：

[0071] 在无法判断电流回路电阻情况下，将输出电流档位调节设置为中档位进行试测：

[0072] 根据电流电压值判定回路中是否有断线或者电流极打入位置是否合理，若有断线，用万用表导通测试沿线检测；若为电流回路阻抗过大，更换电流极位置或者采用浇灌盐水进行降阻；

[0073] 无法判断电流回路电阻情况是指以下这种状态：看当地的土壤情况估算土壤电阻率然后结合打入的电极大小深度估算电流回路电阻。一般在长距下地底情况不明，无法估算土壤电阻率，故回路电阻不明。

[0074] 判定回路中是否有断线或者电流极打入位置是否合理是按以下方式进行：不合理即指回路电阻过大，在一定的电压下此时注入地中的电流会较小，小于 $0.5A$ ，导致测量不准。断线则是基本测量不到电流回路电流，回路电流小于 $1mA$ 表明断线。

[0075] 所述步骤S2中还包括输出电流档位的调节，具体如下：

[0076] S21：根据采集到的电流信号和电压信号波形进行分析，判断空间电磁耦合以及地网零序电流干扰情况，具体如下：

[0077] 将采集波形通过傅里叶分解得到 $50Hz$ 和 $125Hz$ 信号幅值，根据信号幅值比判定

[0078] 或者看波形的频率，如果 $125Hz$ 分量很大，混合周期信号看起来接近 $125Hz$ 正弦波形。反之正常；

[0079] 根据图3到图5表示判定，即当主要波形显示为频率 $50Hz$ 时，表示需要调节电流输出。当主要波形显示频率为 $125Hz$ 时，电流输出合适。

[0080] S22：若 $125Hz$ 信号是 $50Hz$ 的 $0.1-0.15$ 倍，则需要调节面板上电流输出旋钮，增大电流输出，同时对电流极进行盐水浇灌或者其他降阻措施提高测试仪器的输出；

[0081] S23：当 $125Hz$ 与 $50Hz$ 信号 $0.7$ 至 $2$ 倍时，则测量的精度达到测量预设精度值。

[0082] 所述步骤S4中还包括以下步骤，具体如下：

[0083] S41：采集并存储流过电流极的电流信号 $I$ 和电压极电势差 $U$ ；

[0084] S42：从电流信号 $I$ 和电压信号 $U$ 中截取形成电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ ；

[0085] S43：确定采样率和信号长度点数对电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ 进行离散傅里叶分解形成电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号；

[0086] S44：根据电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号获取预设频率下的电压信号幅值和相角 $U \angle \alpha$ 以及电流信号幅值和相角 $I \angle \beta$ ，所述电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号的频率分辨率为 $1Hz$ 。

[0087] 所述采样率为 $10kHz$ ，所述信号长度点数为 $10000$ 个点。

[0088] 还包括以下步骤，

[0089] S6：将处理后的土壤视在电阻率 $\rho$ 传输给数字输出显示模块显示测量结果；

[0090] S7：将处理后的土壤视在电阻率 $\rho$ 传输给数据存储模块存储。

- [0091] 所述电流极C1、电压极P1、电压极P2和电流极C2采用等间距方式排列。
- [0092] 本实施例还提供了一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量装置,包括辅助测量电极和土壤电阻率测试仪;
- [0093] 所述辅助测量电极包括垂直打入地表中一条直线上的多根电流极和电压极,最外侧电极作为电流极,所述电流极通过导线与土壤电阻率测试仪的电流端口连接,中间两根电极作为电压极,所述电压极通过导线与土壤电阻率测试仪的电压端口连接;
- [0094] 所述土壤电阻率测试仪包括电流输出模块、电流采集模块、电压采集模块、滤波模块、数字存储模块和DSP处理模块;
- [0095] 所述电流输出模块通过电流极将向地表中注入预设频率正弦波电流,同时所述电流采集模块和电压采集模块采集电流极注入地表中的电流信号和电压极之间的电压信号,并送入DSP处理模块中,同时所述DSP处理模块将分析判断结果输送给电流输出模块;
- [0096] 所述电流输出模块依据DSP处理模块传来的检测电流和电压信号分析结果,产生正弦波形的电压幅值调整信号,并输出调整后的电流信号;
- [0097] 所述调整信号是判定电流信号和电压信号的50Hz分量与125Hz分量幅值比,如果幅值较小就需要增加电源模块的电输出,调整方法就是,如果发现50Hz分量较小就给电源一个步进电压增加;因此,调整信号是调整电流输出幅值使得,采样得到的电压极上信号能很好的从50Hz背景干扰中提取出来。如果电压极信号较弱,dsp会输出一个步进信号给电源模块,电源模块会提高输出电压,在不改变电流极的情况下,电流信号自然就提高了。
- [0098] 所述调整信号保持输出信号为预设频率的标准正弦波形信号,从电流极注入地表;
- [0099] 输出电压调整完毕后,重新通过所述电流采集模块、电压采集模块采集流过电流极的电流信号和电压极两端的电压信号;所述电流信号和电压信号经过滤波模块滤波后送入数字存储模块及DSP处理模块进行处理。
- [0100] 所述DSP处理模块对电流和电压信号分析处理,具体步骤如下:
- [0101] S51:采集并存储流过电流极的电流信号I和电压极电势差U;
- [0102] S52:从电流信号I和电压信号U中截取形成电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ ;
- [0103] S53:确定采样率和信号长度点数对电流部分信号 $I_t$ 和电压部分信号 $U_t$ 进行离散傅里叶分解形成电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号;
- [0104] S54:根据电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号获取预设频率下的电压信号幅值和相角 $U \angle \alpha$ 以及电流信号幅值和相角 $I \angle \beta$ ,所述电流部分傅里叶信号和电压部分傅里叶信号的频率分辨率为1Hz。
- [0105] S55:按以下公式来计算土壤视在电阻率: $\rho = 2\pi a U / I \cos(\alpha - \beta)$ ;
- [0106] 式中, $\rho$ 为土壤视在电阻率; $\pi$ 为圆周率; $a$ 为预设电极极间距; $I$ 为测试时电流极注入电流; $\alpha$ 为电压信号相角; $\beta$ 为电流信号相角。
- [0107] 所述采样率为10kHz,采样点数为10000数据点,125Hz波形信号为8个周波信号,经过离散傅里叶分解后的频率分辨率1Hz。
- [0108] 所述土壤电阻率测试仪还包括数字输出显示模块,数据查询模块和电池及充电模块;
- [0109] 处理后的结果传输给数字输出显示模块在测量仪的面板液晶显示屏显示测量结

果。数据查询模块通过查询参数调用数据存储模块的数据通过数据输出显示模块显示。

#### [0110] 实施例2

[0111] 本实施例与实施例1的区别仅在于：

[0112] 本实施例提供的实际测量时50Hz和125Hz电压信号调幅波形示意图，如图3-4所示，图3为本发明实施例提供的125Hz为50Hz信号0.1倍；图4为本发明实施例提供的125Hz信号为50Hz的0.7倍；图5为本发明实施例提供的125Hz信号为50Hz信号的2倍；

[0113] 本实施例提供的考虑互感与不考虑互感的仿真试验结果对比，如图6-7所示，图6为本发明实施例提供的1000  $\Omega$  m均匀土壤电阻率下考虑互感与不考虑互感的仿真试验结果对比；图7为本发明实施例提供的200  $\Omega$  m均匀土壤电阻率下考虑互感与不考虑互感的仿真试验结果对比。

[0114] 本实例提供的一种基于相位识别的土壤电阻率测量具体过程如下所示：

#### [0115] (1) 前期准备

[0116] 实验前检查仪器电池电量是否充足，各连接线是否有缺失，对信号检测部分用信号发生器进行校准。检测无误后开始进行现场接线，首先选取一块较平整的地形来布置测线，选择合适的极间距 $a$ ，在地表一条直线上打入四根电极依次为电流极C1，电压极P1，电压极P2，电流极C2。电压极和电流极打入深度小于 $1/20a$ ，但电流极应该适当打的深一点以减小回路电阻。通过导线将电压极与测量仪的电压测量模块端口连接，将电压极地表处电位引入仪器测量。将测量仪的电流输出端口，通过导线与外侧电流极C1和C2相连，电流端口及电压端口连接引线距离尽可能远的距离，引线布置方案如附图2所示。测试时一定要注意电极P1、P2、C1和C2与测量仪相应端口的连接顺序如附图1标注，不能接反了，否则可能导致测量的相位倒向180度。

#### [0117] (2) 开机初始化

[0118] 第(1)步完成后，打开测试仪的电源开关，对仪器进行如下设置：

[0119] 1) 电源频率确认是125Hz正旋波形，可以很好的与50Hz工频信号区分

[0120] 2) 根据(1)中电极打入的间距对应应在测量仪上设置电极间距为 $a$ ，方便程序反算极间距 $a$ 下的土壤视在电阻率

[0121] 3) 在无法判断电流回路电阻情况下，将输出电流档位调节为中等进行试测

[0122] 4) 试测，根据电流电压值判定回路中是否有断线或者电流极打入位置是否合理，若有断线，用万用表导通测试沿线检测；若为电流回路阻抗过大，更换电流极位置或者采用浇灌盐水等措施降阻。

#### [0123] (3) 数据采集及测量精度调整

[0124] 第(2)步完成后，按下测量按钮向地中注入电流，同时打开数据采集模块采集电压和电流信号。根据采集到的电流信号和电压信号波形，进行分析，判断空间电磁耦合以及地网零序电流干扰情况，若125Hz信号相对于50Hz太小，如只有50Hz信号的0.1倍，此时由于125Hz有用信号太小调幅信号类似50Hz信号的轻微畸变如附图3所示，则需要调节面板上电流输出旋钮，增大电流输出，同时对电流极进行盐水浇灌或者其他降阻措施提高测试仪器的输出，重复(3)过程，再对采集的电压调幅信号进行观察，当125Hz与50Hz信号接近时甚至更大时，如附图4、5所示，此时能保证测量的精度可以进行下一步计算处理。

#### [0125] (4) 数据计算处理

[0126] 第(3)完成后,采集流过电流极的电流信号和电压极两端电压信号送入存储模块及DSP处理模块。DSP处理模块对电流和电压信号分析处理,具体步骤如下:①截取部分的电压信号 $I_t$ 和电流信号 $U_t$ 传入DSP内部处理;②确定采样率10kHz,信号长度10000个点;③对截取信号进行离散傅里叶分解,获取125Hz频率下电压及电流信号幅值和相角分别为 $U \angle \alpha$ ,  $I \angle \beta$ ,频率分辨率1Hz可以很好的分辨125Hz信号和50Hz信号;④计算土壤电阻率公式修正为 $\rho = 2\pi a U / I \cdot \cos(\alpha - \beta)$ 。处理后的结果传输给数字输出显示模块在测量仪的面板液晶显示屏显示测量结果

[0127] (5)结果显示

[0128] 第(4)步完成后,数字显示模块通过测量仪面板上的液晶显示屏,显示杆塔接地阻抗的测量结果。数据存储模块存储杆塔接地阻抗的测量数据,供以后随时调用及显示。

[0129] 在电力行业标准DL/T475-2006《接地装置特性参数测量导则》中指出,当土壤电阻率测试采用温纳四极法时,电阻率计算公式为 $\rho = 2\pi a U / I$ ,可知,保持土壤视在电阻率 $\rho$ 一定,当测试间距 $a$ 变大时,则 $U / I$ 会减小,另外随着测试间距 $a$ 变大,在同样的电源输出电压下,注入地中电流 $I$ 会减小,这样电压极上的电压差 $U$ 会越来越小。同时,随着测试间距的变大,电压极引线上耦合的空间电磁干扰信号强度会增强。有用信号的减弱,干扰信号的增强,最终导致长间距下土壤电阻率的测试数据不稳定难以得到精确的数值。已有的土壤电阻率测试方法还是通过测试电流与电压极间电压峰值来计算土壤电阻率,未考虑引线间互感干扰。

[0130] 依据温纳四极法在地中打入四根电极依次为电流极 $C_1$ ,电压极 $P_1$ ,电压极 $P_2$ ,电流极 $C_2$ ,当测量电流 $I$ 通过电流极 $C_1$ 和 $C_2$ 注入大地时,在电压极 $P_1$ 和 $P_2$ 上就会产生电压差 $U$ ,利用公式 $\rho = 2\pi a U / I$ 就可以计算出电极间距 $a$ 下的场区土壤视在电阻率值。因为温纳四极法布置测土壤电阻率时,电极是打在一条直线上的,因而测试时电压极和电流极引线相距较近,长间距下互感值较大,可使土壤电阻率测量值显著增高。对于附图1土壤电阻率实测接线图,电流通过最外面两根电极 $C_1$ 、 $C_2$ 注入大地, $C_1$ 注入电流通过大地从 $C_2$ 流出,由于电极打入深度远小于电极间距 $a$ ,故电极 $C_1$ 、 $C_2$ 可以看做半球电极,由于土壤介质的电导作用,距离电极 $x$ 的任意一点产生的电位 $V_x$ 可以表示为:

$$[0131] \quad V_x = I\rho / 2\pi x$$

[0132] 极间距为 $a$ 时,电流极 $C_1$ 在电压极 $P_1$ 和 $P_2$ 上产生的电势差 $U_{C1}$ 为:

$$[0133] \quad U_{C1} = I\rho / 2\pi a - I\rho / 2\pi * 2a$$

[0134] 同理,电流极 $C_2$ 在电压极 $P_1$ 和 $P_2$ 上产生的电势差 $U_{C2}$ 为:

$$[0135] \quad U_{C2} = I\rho / 2\pi * 2a - I\rho / 2\pi a$$

[0136] 故,温纳四极法测量时流过电流极电流 $I$ 与电压极两端电压差 $U'$ 关系为:

$$[0137] \quad U' = U_{C1} - U_{C2} = 2 * (I\rho / 2\pi a - I\rho / 2\pi * 2a) = I\rho / 2\pi a$$

[0138] 式中, $\pi$ 为圆周率, $I$ 为测试时电流极注入电流, $a$ 为临近两电极间的间距, $\rho$ 为极间距 $a$ 下的视在土壤电阻率。此时的 $U$ 为与电流信号 $I$ 同相位的反映土壤视在电阻率 $\rho$ 值的电压极间电势差。

[0139] 对于长间距下,反映电压极引线间互感效应的超前电流信号90度的电压极间电势差 $U''$ 可由如下简化公式计算:

$$[0140] \quad U'' = I * 2\pi f * 2 * 10^{-7} * I * \ln(80 * \sqrt{\rho / D})$$

[0141] 式中, $\pi$ 为圆周率, $I$ 为测试时电流极注入电流, $\rho$ 为测试时大地视在电阻率, $l$ 为电流与电压引线重合长度, $D$ 为电流与电压引线平行间距, $f$ 为测试信号频率。

[0142] 对于实际场地土壤电阻率测量可以采用规程DL/T475—2006《接地装置特性参数测量导则》建议的电流极和电压极的布置方法,电流极与电压极间距采用等距方式。测量时,通过电流极C1、C2向地中注入电流 $I$ ,测取电压极P1、P2上电势差 $U$ ,通过相位识别得到125Hz频率下电压极上电势差 $U$ 与电流信号 $I$ 的同相分量 $U'$ ,从而视在电阻率 $\rho$ 可以通过公式 $\rho=2\pi aU'/I$ 得到。

[0143] 实现本发明专利的技术方案是:一种基于相位识别的抗干扰土壤电阻率测量装置,主要包括辅助测量电极,土壤电阻率测试仪。辅助测量极包括多根电流极和两根电压极,每根电极长度50~60cm,尺寸为 $\angle 20 \times 20 \times 3$ ,电流极和电压极垂直打入地中一条直线上,最外侧电极作为电流极,通过导线与测试仪的电流端口连接,中间两根电极作为电压极通过导线与测试仪的电压端口连接。其土壤电阻率测试仪由电流输出模块,电流检测模块,电压检测模块,滤波模块,数字存储模块,数字输出显示模块,数据查询模块、电池及充电模块、DSP处理模块,各模块通过印刷电路连接。模拟信号输出模块通过电流极将向地中注入异于工频的125Hz异频率正旋波电流,同时电流采集模块和电压采集模块同时采集电流极注入地中电流信号和电压极之间电势信号,送入仪器内部DSP分析,用以调节测试仪的测量精度,同时分析判断结果送给电流输出模块。电流输出模块依据DSP传来的检测电流和电压信号分析结果,产生正旋波形的电压幅值调整信号,并输出调整后的电流信号。调整幅值后的信号保持输出信号的频率为125Hz的标准正旋波,从电流极端口注入大地。输出电压调整完毕后,重新通过电流和电压检测模块采集流过电流极的电流信号和电压极两端电压信号经过模拟滤波后送入存储模块及DSP处理模块。DSP处理模块对电流和电压信号分析处理,具体步骤如下:

[0144] ①确定采样率以及选择合适的信号长度;

[0145] ②对信号进行数字滤波处理,获取125Hz频率下电压及电流信号幅值和相角分别为 $U \angle \alpha$ ,  $I \angle \beta$ ;

[0146] ④计算土壤电阻率公式修正为 $\rho=2\pi aU/I * \cos(\alpha-\beta)$ 。

[0147] 为了恰好获取离散傅里叶处理后的电流和电压信在125Hz频率点处的幅值和相角,同时保证有用信号足够的采样频率和50Hz工频信号干扰的判定,仪器采样模块的采样率定为10kHz,采样点数为10000数据点,能采集8个周波的125Hz波形信号,经过离散傅里叶分解后的频率分辨率1Hz,能很好的分辨干扰信号与有用信号。处理后的结果传输给数字输出显示模块在测量仪的面板液晶显示屏显示测量结果。数据查询模块通过查询参数调用数据存储模块的数据通过数据输出显示模块显示。

[0148] 实施例3

[0149] 本实施例与实施例1的区别仅在于:

[0150] 本实施例提供的一种基于相位识别的抗引线互感干扰的土壤电阻率测量装置,主要包括辅助测量电极和土壤电阻率测试仪。辅助测量极包括多根电流极和两根电压极,每根电极长度50~60cm,尺寸为 $\angle 20 \times 20 \times 3$ ,电流极和电压极垂直打入地中一条直线上,最外侧电极作为电流极,通过导线与测试仪的电流端口连接,中间两根电极作为电压极通过导线与测试仪的电压端口连接。土壤电阻率测试仪由电流输出模块(采用大功率电力电子

器件作为变频输出电源,电流输出范围0-6A,具有过流保护功能),电流检测模块(采用罗果夫斯基线圈进行测量再配合工业级A/D转换器AD1672AP采集测量电流信号,电流测试范围100mA-10A),电压检测模块(采用工业级A/D转换器AD1672AP采集测量电压信号,当外部电压过高时采用一定的分压处理,再将信号输入AD1672AP),数字存储模块,数字输出显示模块,数据查询模块、电池及充电模块、DSP处理模块(互感消除的核心算法在这里实现)。电流输出模块通过外侧电流极向地中注入125Hz信号,电流检测模块和电压检测模块采集注入地中电流信号和内测中间电压极上电压信号,对电压调幅信号进行分析,调节电流输出模块,控制电流输出幅值,保证测试精度。在保证测试精度的前提下,测量得到电压信号 $U_t$ 和电流信号 $I_t$ 分别将其传输给数据存储模块存储和DSP进行滤除互感影响的土壤电阻率计算,计算步骤如下:截取10个周期波形中部分的电压信号 $I_t$ 和电流信号 $U_t$ ;确定采样率以及选择合适的信号长度;对截取信号进行离散傅里叶分解,获取125Hz频率下电压及电流信号幅值和相角分别为 $U \angle \alpha$ ,  $I \angle \beta$ ;计算土壤电阻率公式修正为 $\rho = 2\pi a U / I \cos(\alpha - \beta)$ 。计算结果传输给数字输出显示模块在测量仪的面板液晶显示器显示测量结果。数据查询模块通过查询参数调用数据存储模块的数据通过数据输出显示模块显示。

#### [0151] 实施例4

[0152] 本实施例与实施例1的区别仅在于:

[0153] 本实施例提供的一种基于相位识别排除测试互感干扰的土壤电阻率测试仪,同实施例1,其特征是:数据存储模块存储的电压和电流信号为csv格式即存储对应时刻的电压和电流信号幅值,而不是波形图像;同时电压和电流信号的采样率为10kHz,采样点10000,对应信号进行傅里叶分析时,频率分辨率可以达到1Hz。

#### [0154] 实施例5

[0155] 本实施例与实施例1的区别仅在于:

[0156] 本实施例提供的一种基于相位识别的抗引线互感干扰土壤电阻率测试仪具体步骤如下:

##### [0157] (1) 前期准备

[0158] 实验前检查仪器电池电量是否充足,各连接线是否有缺失,并且通过电阻性试验验证各模块功能是否正常。检测无误后开始进行现场接线,首先选取一块较平整的地形来布置测线,选择合适的极间距 $a$ 为10m, 20m, 50m, 100m, 200m, 300m, 400m, 600m,在地表一条直线上打入四根电极依次为电流极C1,电压极P1,电压极P2,电流极C2。电压极和电流极打入深度小于 $1/20a$ ,但电流极应该适当打的深一点以减小回路电阻。通过导线将电压极与测量仪的电压测量模块端口连接,将电压极地表处电位引入仪器测量。将测量仪的电流输出端口,通过导线与外侧电流极C1和C2相连,电流端口及电压端口连接引线距离尽可能远的距离,引线布置方案如附图2所示。测试时一定要注意电极P1、P2、C1和C2与测量仪相应端口的连接顺序如附图1标注,不能接反了,否则可能导致测量的相位倒向180度。

##### [0159] (2) 开机初始化

[0160] 第(1)步完成后,打开测试仪的电源开关,对仪器进行如下设置:

[0161] 1) 电源频率确认是125Hz正旋波形,可以很好的与50Hz工频信号区分

[0162] 2) 根据(1)中电极打入的间距对应应在测量仪上设置电极间距为 $a$ ,方便程序反算极间距 $a$ 下的土壤视在电阻率

[0163] 3) 在无法判断电流回路电阻情况下,将输出电流档位调节为中等进行试测

[0164] 4) 试测,根据电流电压值判定回路中是否有断线或者电流极打入位置是否合理,若有断线,用万用表导通测试沿线检测;若为电流回路阻抗过大,更换电流极位置或者采用浇灌盐水等措施降阻。

[0165] (3) 数据采集及测量精度调整

[0166] 第(2)步完成后,按下测量按钮向地中注入电流,同时打开数据采集模块采集电压和电流信号。根据采集到的电流信号和电压信号波形,进行分析,判断空间电磁耦合以及地网零序电流干扰情况,观察50Hz和125Hz的调幅信号波形,若125Hz有用信号太小调幅信号类似50Hz信号的轻微畸变如附图3所示,则需要调节面板上电流输出旋钮,增大电流输出,同时对电流极进行盐水浇灌或者其他降阻措施提高测试仪器的输出,重复(3)过程,再对采集的电压调幅信号进行观察,当50Hz与125Hz信号接近时,如附图4所示,此时能保证测量的精度可以进行下一步计算处理。

[0167] (4) 数据计算处理

[0168] 第(3)完成后,采集流过电流极的电流信号和电压极两端电压信号送入存储模块及DSP处理模块。DSP处理模块对电流和电压信号分析处理,具体步骤如下:①截取部分的电压信号 $I_t$ 和电流信号 $U_t$ 传入DSP内部处理;②确定采样率10kHz,信号长度10000个点;③对截取信号进行离散傅里叶分解,获取125Hz频率下电压及电流信号幅值和相角分别为 $U \angle \alpha$ ,  $I \angle \beta$ ,频率分辨率1Hz可以很好的分辨125Hz信号和50Hz信号;④计算土壤电阻率公式修正为 $\rho = 2\pi a U / I \cdot \cos(\alpha - \beta)$ 。处理后的结果传输给数字输出显示模块在测量仪的面板液晶显示屏显示测量结果

[0169] (5) 结果显示

[0170] 第(4)步完成后,数字显示模块通过测量仪面板上的液晶显示屏,显示杆塔接地阻抗的测量结果。数据存储模块存储杆塔接地阻抗的测量数据,供以后随时调用及显示。

[0171] 仿真试验结果:

[0172] 为了验证本发明专利提出的消除引线互感措施的有效性,对极间距 $a$ 为50m,100m,150m,200m,300m,400m,500m,600m,800m进行了仿真计算,计算土壤模型为均匀土壤1000  $\Omega$  m。采用和不采用本文方法计算结果如附图6所示。在1000  $\Omega$  m土壤电阻率下,达到较大极间距400m时,互感才会产生较大影响。

[0173] 当土壤电阻率为较低的200欧米时,仿真结果如附图7所示。当土壤电阻率较低时,在极间距为200时互感即产生较大影响。说明在测试低土壤电阻率场区时,互感对测试结果的影响更大。

[0174] 最后说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管通过参照本发明的优选实施例已经对本发明进行了描述,但本领域的普通技术人员应当理解,可以在形式上和细节上对其作出各种各样的改变,而不偏离本发明所限定的精神和范围。

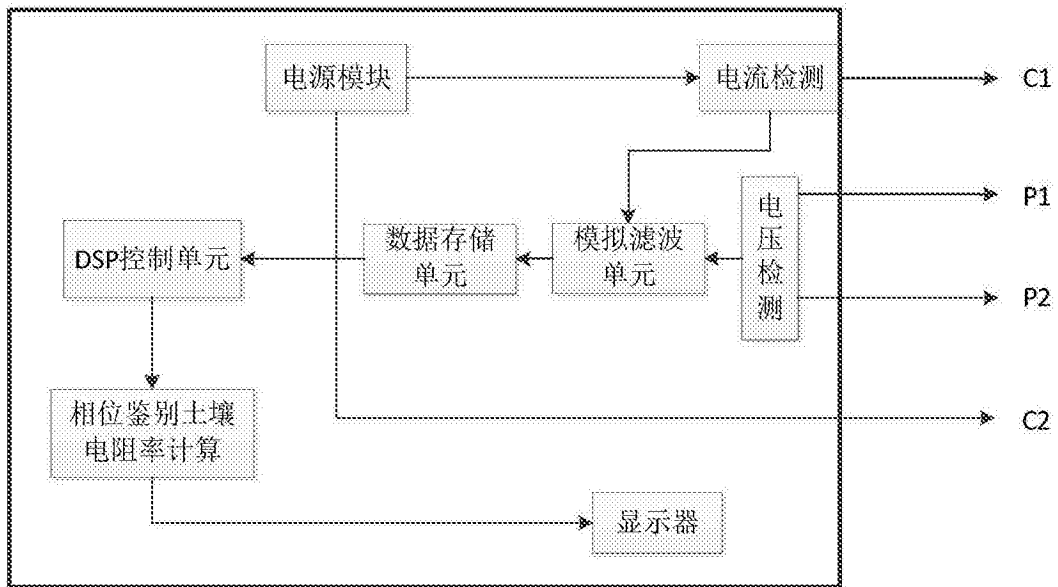


图1

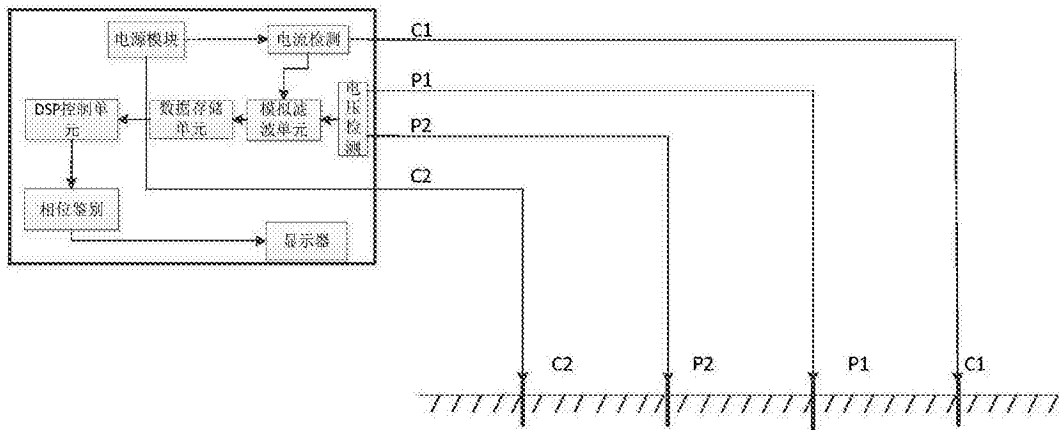


图2



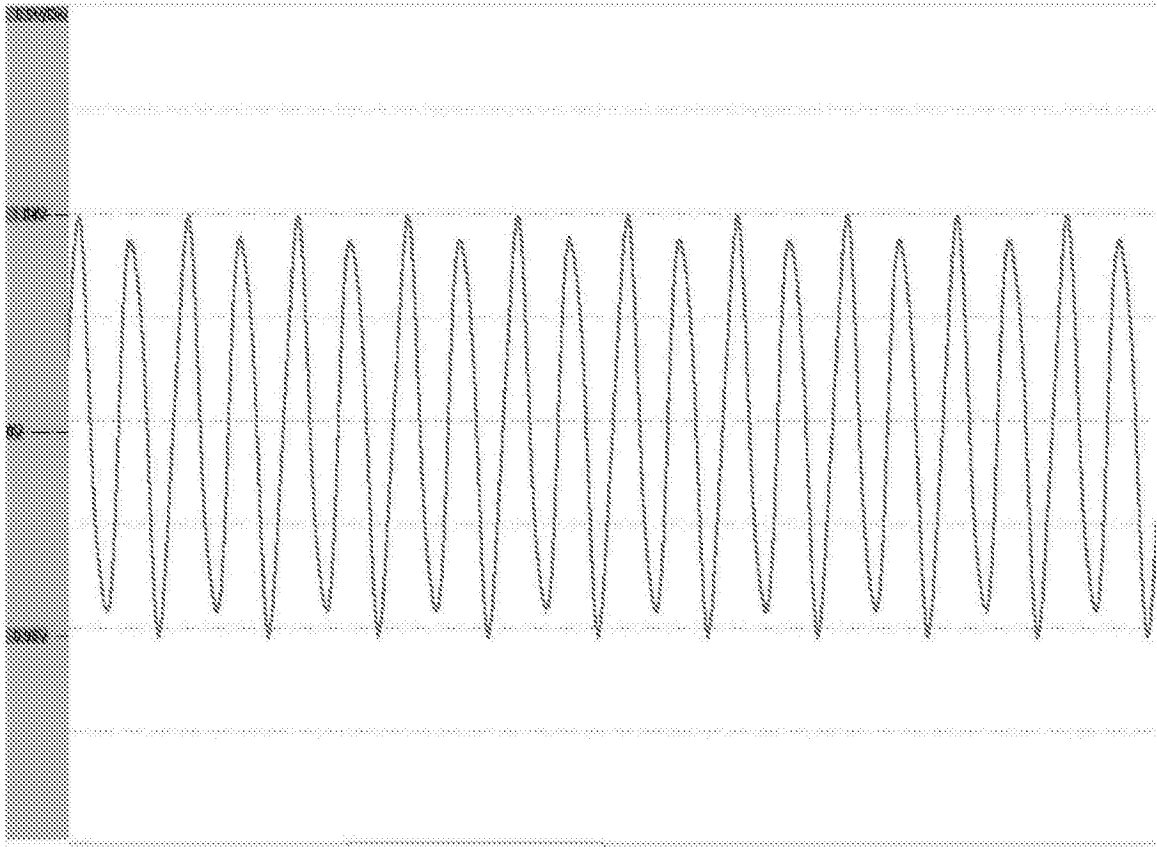


图3

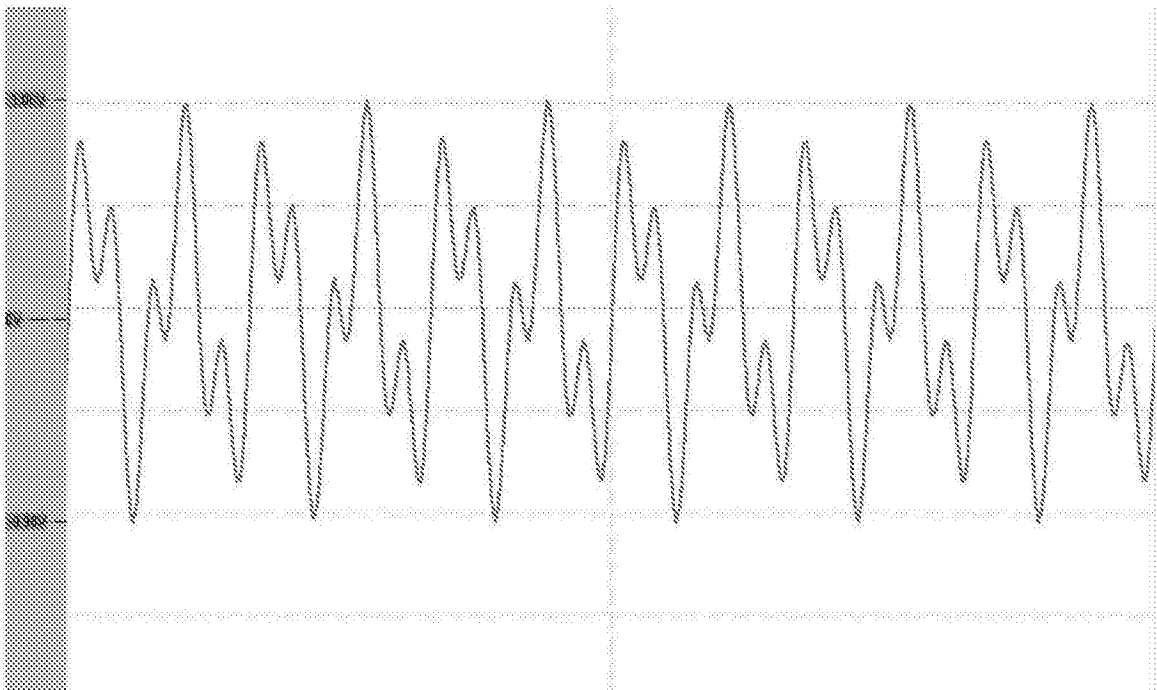


图4

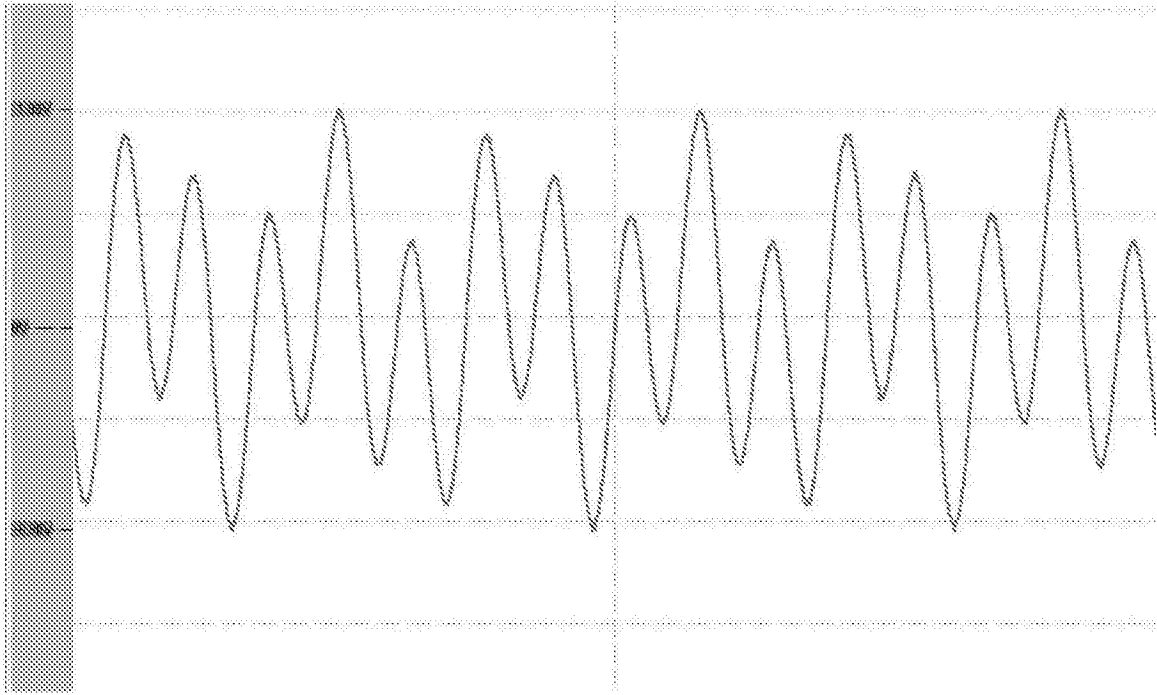


图5

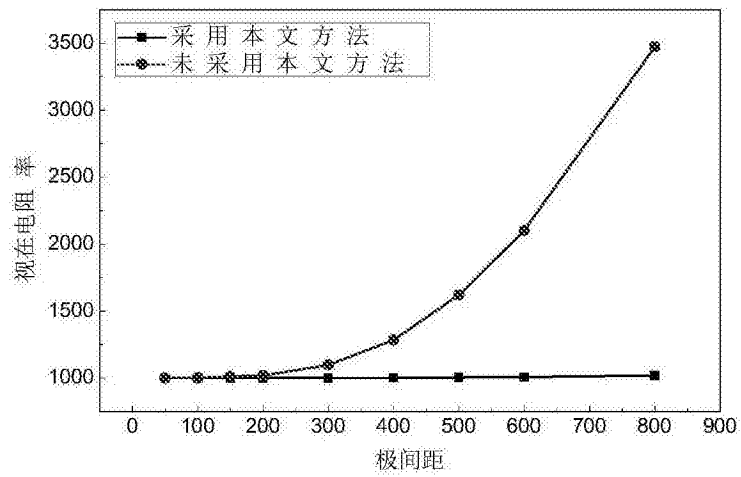


图6

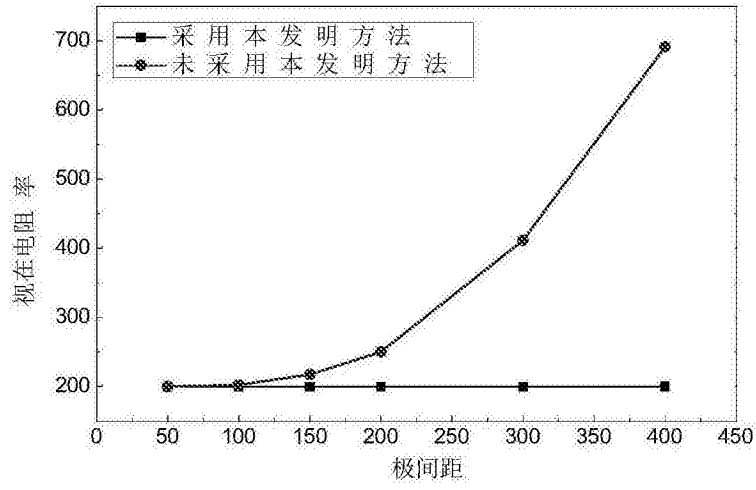


图7