



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112505493 A

(43) 申请公布日 2021.03.16

(21) 申请号 202011191285.3

(22) 申请日 2020.10.30

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710048 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 穆海宝 李洋 赵浩翔 张大宁 张冠军

(74) 专利代理机构 北京君慧知识产权代理事务所(普通合伙) 11716

代理人 董延丽

(51) Int. Cl.

G01R 31/12 (2006.01)

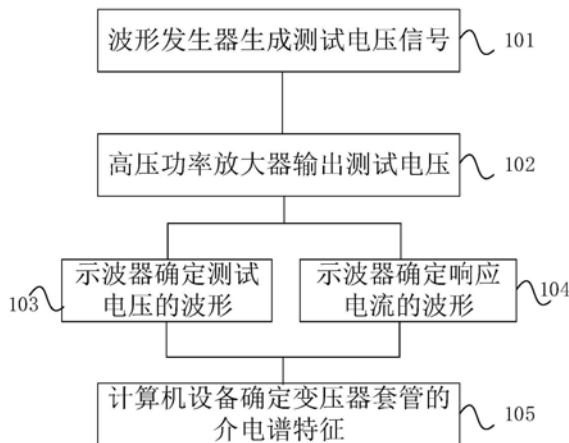
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种变压器套管介电响应测量方法及系统

(57) 摘要

本申请公开了一种变压器套管介电响应测量方法及系统,用以解决现有的介电响应测量方法花费时间较长,且无法保证测试结果准确性的技术问题。方法包括:波形发生器生成测试电压信号;其中,测试电压的频率中包括若干频率分量;高压功率放大器将测试电压放大,并将测试电压作用于变压器套管的中心导杆上;示波器根据电阻分压器确定测试电压的波形;示波器在变压器套管的末屏获取变压器套管响应于测试电压的响应电流,并根据采样电阻确定响应电流的波形;计算机设备基于测试电压的波形及响应电流的波形,确定变压器套管的介电谱特征。本申请通过上述方法实现了变压器套管介电响应的快速测量过程,同时保证了准确的获取变压器套管的介电响应信息。



1. 一种变压器套管介电响应测量方法,其特征在于,所述方法包括:  
 波形发生器生成测试电压;其中,所述测试电压的频率中包括若干频率分量;  
 所述波形发生器将所述测试电压作用于变压器套管的中心导杆上;  
 示波器根据电阻分压器确定所述测试电压的波形;  
 所述示波器在所述变压器套管的末屏获取响应电流,并根据采样电阻确定所述响应电流的波形;其中,所述响应电流是变压器套管响应于所述测试电压而产生的;  
 计算机设备基于所述测试电压的波形及所述响应电流的波形,确定所述变压器套管的介电谱特征。
2. 根据权利要求1所述的一种变压器套管介电响应测量方法,其特征在于,  
 所述采样电阻的一端连接所述变压器套管的末屏,同时连接所述示波器的第一输入端;所述采样电阻的另一端接地。
3. 根据权利要求1所述的一种变压器套管介电响应测量方法,其特征在于,所述电阻分压器包括第一电阻及第二电阻;  
 所述第一电阻的一端连接所述变压器套管,另一端连接所述第二电阻的一端,同时连接所述示波器的第二输入端;所述第二电阻的另一端接地。
4. 根据权利要求1所述的一种变压器套管介电响应测量方法,其特征在于,示波器根据电阻分压器确定所述测试电压的波形,具体包括:  
 所述示波器采集所述电阻分压器的第一电阻与第二电阻之间的第一电压信号;  
 所述示波器根据所述第一电压信号,以及所述电阻分压器的分压比,确定所述测试电压的波形。
5. 根据权利要求1所述的一种变压器套管介电响应测量方法,其特征在于,所述示波器根据采样电阻确定所述响应电流的波形,具体包括:  
 所述示波器采集所述采样电阻两端的第二电压信号;  
 所述示波器根据所述采样电阻的阻值,以及所述第二电压信号,确定所述响应电流的波形。
6. 根据权利要求1所述的一种变压器套管介电响应测量方法,其特征在于,所述计算机设备基于所述测试电压的波形及所述响应电流的波形,确定所述变压器套管的介电谱特征,具体包括:  
 所述计算机设备对所述测试电压的波形进行时域采样,得到离散测试电压信号,以及对所述响应电流的波形进行时域采样,得到离散响应电流信号;  
 所述计算机设备对所述离散测试电压信号以及所述离散响应电流信号分别进行傅里叶变换,并根据所述傅里叶变换的结果,确定所述变压器套管对应的复电容;  
 所述计算机设备根据所述复电容,确定所述变压器套管的介电谱特征。
7. 根据权利要求6所述的一种变压器套管介电响应测量方法,其特征在于,所述计算机设备通过以下公式确定所述变压器套管对应的复电容:

$$C^*(\omega) = \frac{I(\omega)}{j\omega U(\omega)} = \frac{\sum_{n=1}^N i[n]e^{-j\omega n}}{j\omega \sum_{n=1}^N u[n]e^{-j\omega n}}$$

其中, $C^*(\omega)$ 为复电容, $i[n]$ 为离散响应电流信号, $I(\omega)$ 为离散响应电流信号的傅里叶

变换,  $u[n]$  为离散测试电压信号,  $U(\omega)$  为离散测试电压信号的傅里叶变化,  $N$  为时域采样的采样点个数。

8. 根据权利要求6所述的一种变压器套管介电响应测量方法, 其特征在于, 所述计算机设备根据所述复电容, 通过以下公式, 确定所述变压器套管的介电谱特征:

$$C^*(\omega) = C'(\omega) - iC''(\omega)$$

$$\tan\delta = \frac{C''(\omega)}{C'(\omega)} = \frac{\sigma_0/(\omega\varepsilon_0) + \varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)}$$

其中,  $\tan\delta$  为变压器套管的介电谱特征,  $C'(\omega)$  为复电容实部,  $C''(\omega)$  为复电容虚部,  $\sigma_0$  为直流电导率,  $\varepsilon_0$  为真空介电常数,  $\varepsilon'(\omega)$  为复介电常数实部,  $\varepsilon''(\omega)$  为复介电常数虚部。

9. 根据权利要求1所述的一种变压器套管介电响应测量方法, 其特征在于, 所述测试电压采用冲击电压信号;

在波形发生器生成测试电压之后, 所述方法还包括:

功率放大器对所述冲击电压信号进行功率放大处理。

10. 一种变压器套管介电响应测量系统, 其特征在于, 所述系统包括:

波形发生器, 用于生成测试电压, 并将所述测试电压作用于变压器套管上; 其中, 所述测试电压的频率中包括若干频率分量;

示波器, 用于根据电阻分压器确定所述测试电压的波形;

所述示波器, 还用于在所述变压器套管的末屏获取响应电流, 以及用于根据采样电阻确定响应电流的波形; 其中, 所述响应电流是变压器套管响应于所述测试电压而产生的;

计算机设备, 用于基于所述测试电压的波形及所述响应电流的波形, 确定所述变压器套管的介电谱特征。

## 一种变压器套管介电响应测量方法及系统

### 技术领域

[0001] 本申请涉及电力变压器技术领域,尤其涉及一种变压器套管介电响应测量方法及系统。

### 背景技术

[0002] 油纸绝缘变压器套管作为电力变压器不可或缺的组件,其安全运行状态直接影响着整个电网的稳定。变压器套管一旦出现故障,会直接造成变压器停运,严重时还会引起变压器故障甚至发生火灾爆炸。因此,对变压器套管的运行状态进行评估就显得尤为重要。

[0003] 频域介电谱能够有效地反应变压器套管的运行状态。但现有的频域介电谱法需要通过扫频逐点测试的方式进行,需要花费较长的时间,且在测试过程中变压器及套管温度的变化也会对测量评估结果带来影响。

### 发明内容

[0004] 本申请实施例提供了一种变压器套管介电响应测量方法及系统,用以解决现有的介电响应测量方法需要较长的测试时间,且不能保证测试结果准确性的技术问题。

[0005] 一方面,本申请实施例提供了一种变压器套管介电响应测量方法,方法包括:波形发生器生成测试电压;其中,测试电压的频率中包括若干频率分量;波形发生器将测试电压作用于变压器套管的中心导杆上;示波器根据电阻分压器确定测试电压的波形;示波器在变压器套管的末屏获取响应电流,并根据采样电阻确定响应电流的波形;其中,响应电流是变压器套管响应于测试电压而产生的;计算机设备基于测试电压的波形及响应电流的波形,确定变压器套管的介电谱特征。

[0006] 本申请实施例提供的一种变压器套管介电响应测量方法,通过采用包含各种频率分量的测试电压作用于套管上,并在变压器套管的末屏获取响应电流,最终得到测试电压激励下,变压器套管的介电响应,不仅实现了变压器套管介电响应的快速测量,同时也保证了获取的介电响应信息的准确性。

[0007] 在本申请的一种实现方式中,采样电阻的一端连接变压器套管的末屏,同时连接示波器的第一输入端;采样电阻的另一端接地。

[0008] 在本申请的一种实现方式中,电阻分压器包括第一电阻及第二电阻;第一电阻的一端连接变压器套管,另一端连接第二电阻的一端,同时连接示波器的第二输入端;第二电阻的另一端接地。

[0009] 在本申请的一种实现方式中,示波器根据电阻分压器确定测试电压的波形,具体包括:示波器采集电阻分压器的第一电阻与第二电阻之间的第一电压信号;示波器根据第一电压信号,以及电阻分压器的分压比,确定测试电压的波形。

[0010] 在本申请的一种实现方式中,示波器根据采样电阻确定响应电流的波形,具体包括:示波器采集采样电阻两端的第二电压信号;示波器根据采样电阻的阻值,以及第二电压信号,确定响应电流的波形。

[0011] 在本申请的一种实现方式中,计算机设备基于测试电压的波形及响应电流的波形,确定变压器套管的介电谱特征,具体包括:计算机设备对测试电压的波形进行时域采样,得到离散测试电压信号,以及对响应电流的波形进行时域采样,得到离散响应电流信号;计算机设备对离散测试电压信号以及离散响应电流信号分别进行傅里叶变换,并根据傅里叶变换的结果,确定变压器套管对应的复电容;计算机设备根据复电容,确定变压器套管的介电谱特征。

[0012] 在本申请的一种实现方式中,计算机设备通过以下公式确定变压器套管对应的复电容:

$$[0013] \quad C^*(\omega) = \frac{I(\omega)}{j\omega U(\omega)} = \frac{\sum_{n=1}^N i[n]e^{-j\omega n}}{j\omega \sum_{n=1}^N u[n]e^{-j\omega n}}$$

[0014] 其中, $C^*(\omega)$ 为复电容, $i[n]$ 为离散响应电流信号, $I(\omega)$ 为离散响应电流信号的傅里叶变换, $u[n]$ 为离散测试电压信号, $U(\omega)$ 为离散测试电压信号的傅里叶变化, $N$ 为时域采样的采样点个数。

[0015] 在本申请的一种实现方式中,计算机设备根据复电容,通过以下公式,确定变压器套管的介电谱特征:

$$[0016] \quad C^*(\omega) = C'(\omega) - iC''(\omega)$$

$$[0017] \quad \tan\delta = \frac{C''(\omega)}{C'(\omega)} = \frac{\sigma_0/(\omega\varepsilon_0) + \varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)}$$

[0018] 其中, $\tan\delta$ 为变压器套管的介电谱特征, $C'(\omega)$ 为复电容实部, $C''(\omega)$ 为复电容虚部, $\sigma_0$ 为直流电导率, $\varepsilon_0$ 为真空介电常数, $\varepsilon'(\omega)$ 为复介电常数实部, $\varepsilon''(\omega)$ 为复介电常数虚部。

[0019] 在本申请的一种实现方式中,测试电压采用冲击电压信号;在波形发生器生成测试电压之后,方法还包括:功率放大器对冲击电压信号进行功率放大处理。

[0020] 另一方面,本申请实施例还提供了一种变压器套管介电响应测量系统,系统包括:波形发生器,用于生成测试电压,并将测试电压作用于变压器套管上;其中,测试电压的频率中包括若干频率分量;示波器,用于根据电阻分压器确定测试电压的波形;示波器,还用于在变压器套管的末屏获取响应电流,以及用于根据采样电阻确定响应电流的波形;其中,响应电流是变压器套管响应于测试电压而产生的;计算机设备,用于基于测试电压的波形及响应电流的波形,确定变压器套管的介电谱特征。

## 附图说明

[0021] 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解,构成本申请的一部分,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0022] 图1为本申请实施例提供的一种变压器套管介电响应测量方法流程图;

[0023] 图2为本申请实施例提供的一种测试电压及响应电流的波形、幅频特性曲线示意图;

[0024] 图3为本申请实施例提供的变压器套管的频域介电谱测量结果示意图;

[0025] 图4为本申请实施例提供的一种变压器套管介电响应测量系统结构示意图。

## 具体实施方式

[0026] 为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请具体实施例及相应的附图对本申请技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0027] 油纸绝缘高压套管作为电力变压器中的重要组件之一,其作用是将绕组引出线与外部电网连接,以及固定引线,在电力系统有着广泛的应用。变压器套管的安全运行关系着整个电网的平稳运行。一旦变压器套管出现故障,轻则引发停电故障,重则导致变压器发生火灾爆炸。因此,及时有效的评估变压器套管的运行状态就显得尤为重要。

[0028] 然而,传统的频域介电谱法是通过扫频逐点测试的方式进行的,若获取1mHz~1kHz的介电响应信息,现场测试时间长达1小时,而现场变压器停电检测时间窗口有限,且测试过程中变压器及套管绝缘温度的变化也会对测量评估效果带来影响,取法保证介电响应信息的准确性。

[0029] 本申请实施例提供了一种变压器套管介电响应测量方法及系统,通过包含各种频率分量的测试电压获取变压器套管的响应电流,最终实现快速且准确的获取变压器套管的介电响应信息,解决了现有技术中存在的技术问题。

[0030] 下面通过附图对本申请实施例提出的技术方案进行详细的说明。

[0031] 图1为本申请实施例提供的一种变压器套管介电响应测量方法流程图。如图1所示,本申请实施例中的介电响应测量过程主要包括以下步骤:

[0032] 步骤101、波形发生器生成测试电压。

[0033] 本申请实施例提供的一种变压器套管介电响应测量方法,首先是波形发生器生成测试电压信号,需要说明的是,本申请实施例中的测试电压的频率中包括多种频率分量,避免了传统的扫频逐点测试,实现了变压器套管的介电响应快速测量。

[0034] 在本申请的一个实施例中,测试电压采用冲击电压。

[0035] 在本申请的另一实施例中,波形发生器采用泰克AFG3011C函数/任意波形发生器。

[0036] 步骤102、高压功率放大器输出测试电压,并将测试电压作用于变压器套管的中心导杆上。

[0037] 在波形发生器生成测试电压信号之后,通过高压功率放大器对测试电压进行功率放大处理,并将放大处理后的测试电压作用于变压器套管的中心导杆上。

[0038] 在本申请的一个实施例中,高压功率放大器采用Trek MODEL 30/20A高压放大器。

[0039] 需要说明的是,本申请实施例中将波形发生器与高压功率放大器组合构成暂态电压激励源,最终使得暂态电压激励源可以输出幅值为30kV,上升沿为250us,半高宽2500us的标准操作冲击电压。并且,通过控制任意波形发生器的输出信号,可实现高压脉冲的波前、波尾时间、幅值以及重复频率的快速调节。

[0040] 步骤103、示波器确定测试电压的波形。

[0041] 在通过波形发生器及高压功率放大器生成测试电压之后,高压功率放大器器将测试电压作用于变压器套管上,示波器在变压器套管的末屏获取响应电流,以实现变压器套管的介电响应测量。

[0042] 本申请实施例中,在对变压器套管的介电响应进行测量时,需要获取测试电压对

应的波形信号。具体地,在变压器套管的两端并联一个电阻分压器,本申请实施例中采用分压比为2000:1的电阻分压器;并将电阻分压器第一电阻与第二电阻之间的电压信号输入至示波器的第一输入端,以在示波器上确定测试电压对应的波形信号。本领域技术人员可以明确的是,根据示波器显示的波形信号,可以准确的获取测试电压对应的各种参数,例如,峰值、频率等,还可以计算出测试电压的电压信号表达式。

[0043] 在本申请的一个实施例中,示波器采用泰克MD03054混合域示波器,可以对测试电压进行数据采集。需要说明的是,该示波器可以根据电阻分压器的第一电阻与第二电阻之间电压直接确定作用于变压器套管上的测试电压。

[0044] 例如,第一电阻记为R2、第二电阻记为R3;第一电阻R2与第二电阻R3构成的电阻分压器的分压比为2000:1,则示波器根据第一电压信号U1,即可通过以下公式确定作用于变压器套管的测试电压的电压信号U:

$$[0045] \quad U = 1 * U1 + 2000 * U1$$

[0046] 步骤104、示波器确定响应电流的波形。

[0047] 在确定作用于变压器套管上的测试电压波形之后,泰克MD03054混合域示波器在变压器套管的末屏获取响应电流,并通过泰克MD03054混合域示波器确定响应电流的波形。

[0048] 具体地,在变压器套管的上串联一个采样电阻,通过示波器采集响应电流在采样电阻上产生的电压信号,最终确定响应电流的波形。

[0049] 在本申请的一个实施例中,采样电阻的阻值为50Ω。且电阻分压器中的第一电阻、第二电阻以及采样电阻均为无感电阻。除此之外,本申请实施例中采用WK6500B高精度阻抗分析仪获取各电阻的阻抗、相位随频率移动变化曲线,进一步地对冲击电压及响应电流在频域内进行校正,以尽可能的消除电阻频响特性引入的测量误差。

[0050] 步骤105、计算机设备根据测试电压的波形以及响应电流的波形,确定变压器套管的介电响应。

[0051] 在确定测试电压的波形以及测试电流的波形之后,本申请实施例中计算机设备根据测试电压的波形以及响应电流的波形确定变压器套管的介电响应。

[0052] 具体地,计算机设备对测试电压的波形 $u(t)$ 进行时域采样,得到离散测试电压信号 $u[n]$ ,以及对响应电流 $i(t)$ 的波形进行时域采样,得到离散响应电流信号 $i[n]$ ;然后,计算机设备对离散测试电压信号 $u[n]$ 以及离散响应电流信号 $i[n]$ 分别进行傅里叶变换。需要说明的是,本申请实施例中进行的傅里叶变换过程可以通过现有的算法或者设备实现,本申请实施例在此不做赘述。计算机设备根据 $u(t)$ 以及 $i(t)$ 的傅里叶变换的结果,确定所述变压器套管对应的复电容 $C^*$ ;最后,计算机设备根据复电容 $C^*$ ,确定变压器套管的介电谱特征 $\tan\delta$ 。

[0053] 进一步地,计算机设备通过以下公式确定变压器套管对应的复电容:

$$[0054] \quad C^*(\omega) = \frac{I(\omega)}{j\omega U(\omega)} = \frac{\sum_{n=1}^N i[n]e^{-j\omega n}}{j\omega \sum_{n=1}^N u[n]e^{-j\omega n}}$$

[0055] 其中, $C^*(\omega)$ 为复电容, $i[n]$ 为离散响应电流信号, $I(\omega)$ 为离散响应电流信号的傅里叶变换, $u[n]$ 为离散测试电压信号, $U(\omega)$ 为离散测试电压信号的傅里叶变化, $N$ 为时域采样的采样点个数。

[0056] 更进一步地,计算机设备通过以下公式确定变压器套管的介电谱特征:

$$[0057] \quad C^*(\omega) = C'(\omega) - iC''(\omega)$$

$$[0058] \quad \tan\delta = \frac{C''(\omega)}{C'(\omega)} = \frac{\sigma_0/(\omega\varepsilon_0) + \varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)}$$

[0059] 其中,  $\tan\delta$  为变压器套管的介电谱特征,  $C'(\omega)$  为复电容实部,  $C''(\omega)$  为复电容虚部,  $\sigma_0$  为直流电导率,  $\varepsilon_0$  为真空介电常数,  $\varepsilon'(\omega)$  为复介电常数实部,  $\varepsilon''(\omega)$  为复介电常数虚部。

[0060] 至此,得到变压器套管在含有多种频率分量的冲击电压下的介电谱特征  $\tan\delta$ , 即完成变压器套管的介电响应测量过程。

[0061] 在本申请的一个实施例中,采用幅值为6kV的标准操作冲击电压作为测试电压,示波器测得测试电压与响应电流的波形及幅频特征曲线如图2所示。图2为本申请实施例提供的一种测试电压及响应电流的波形、幅频特性曲线示意图。在图2中,图(a)为本申请实施例提供的测试电压及响应电流的波形图。(b)为本申请实施例提供的测试电压U的幅频特性曲线,(c)为本申请实施例提供的响应电流I的幅频特性曲线。由图2(a)可知,变压器套管末屏响应电流在50Ω的采样电阻上产生幅值约为556.5mV,上升沿约13.9us的电压波形,转换为变压器套管末屏的响应电流幅值约为11.13mA。并且,由图2中的(b)(c)对应的幅频特征曲线可以得出,外施测试电压信号的各频率分量幅值随着频率的升高而逐渐降低,而响应电流波形的幅频特性曲线呈现先增加后减小的趋势。

[0062] 进一步地,计算机设备通过上述的介电响应算法(公式),对外施测试电压及响应电流信号进行处理,求得变压器套管的频域介电谱特征(图3中的第一测量结果),并将其与DIRANA设备扫频测量获得的频域介电谱(图3中的第二测量结果)进行对比,结果如图3所示。图3为本申请实施例提供的变压器套管的频域介电谱测量结果示意图。由图3可知,本申请实施例中提供的一种变压器套管介电响应测量方法获得的频域介电谱(图3中的第一测量结果)与通过DIRANA设备获得的频域介电谱(图3中的第二测量结果)相比,二者之间存在一定的误差,即本申请实施例中提供的测量方法可以实现变压器套管频域介电谱的快速且准确的测量过程。

[0063] 本申请实施例提供的一种变压器套管介电响应测量方法,对待测试的变压器套管施加标准操作测试电压,通过电阻分压器及采样电阻测得测试电压及响应电流的波形信号,并进行数据处理得到变压器套管的介电响应信息,实现了变压器套管介电响应的快速测量,同时保证了获取的变压器套管的介电响应信息的准确性。

[0064] 以上为本申请中的方法实施例,基于同样的发明构思,本申请实施例还提供了一种变压器套管介电响应测量系统,其内部结构如图4所示。

[0065] 图4为本申请实施例提供的一种变压器套管介电响应测量系统内部结构示意图。如图4所示,系统包括:波形发生器401,用于生成测试电压,并将测试电压作用于变压器套管上;其中,测试电压中包括若干频率分量;示波器403,用于根据电阻分压器确定测试电压的波形;示波器403,还用于在变压器套管的末屏获取变压器套管响应于测试电压的响应电流,以及用于根据采样电阻R1确定响应电流的波形;计算机设备404,用于基于测试电压的波形及响应电流的波形,确定变压器套管的介电谱特征。

[0066] 在本申请的一种实现方式中,系统还包括功率放大器402,用于对测试电压进行功



率放大处理;功率放大器402的输入端连接波形发生器401的输出端,功率放大器402的第一输出端连接变压器套管,第二输出端接地;变压器套管的末屏连接采样电阻R1的一端,同时连接示波器203的第一输入端;采样电阻的另一端接地。

[0067] 如图4所示,电阻分压器包括第一电阻R2及第二电阻R3;第一电阻R2的一端连接变压器套管,另一端连接第二电阻R3的一端,同时连接示波器203的第二输入端;第二电阻R3的另一端接地。

[0068] 本申请中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于系统实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0069] 还需要说明的是,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、商品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、商品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、商品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0070] 以上所述仅为本申请的实施例而已,并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的权利要求范围之内。

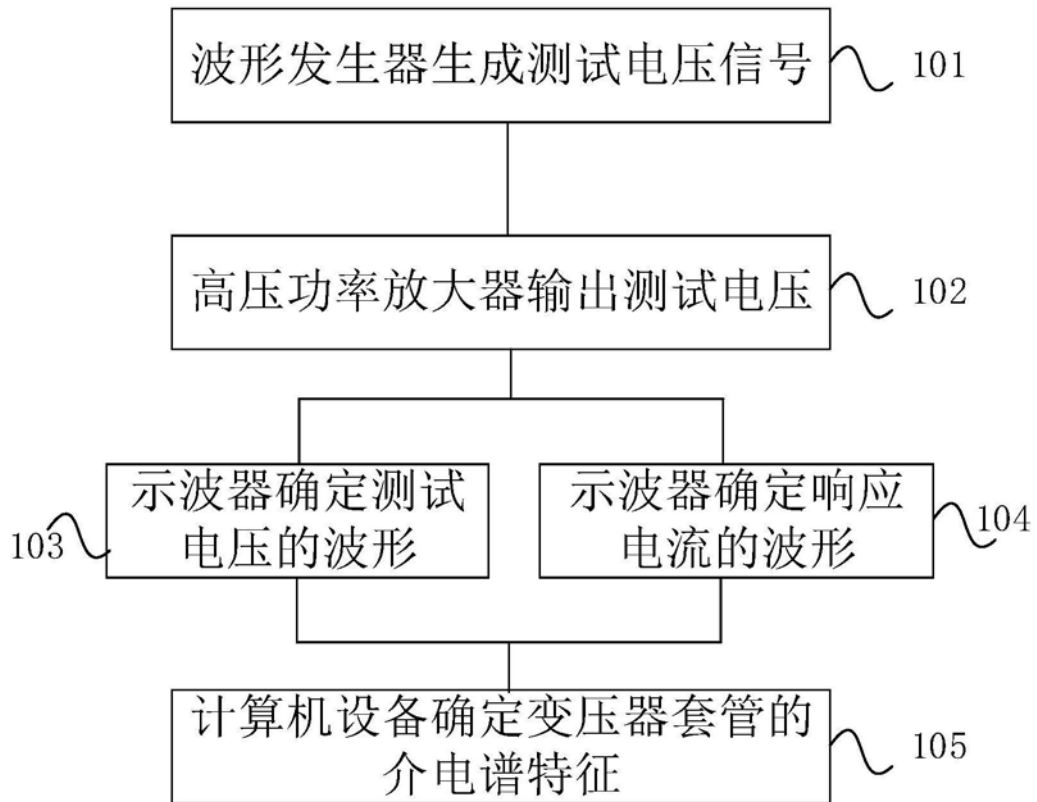
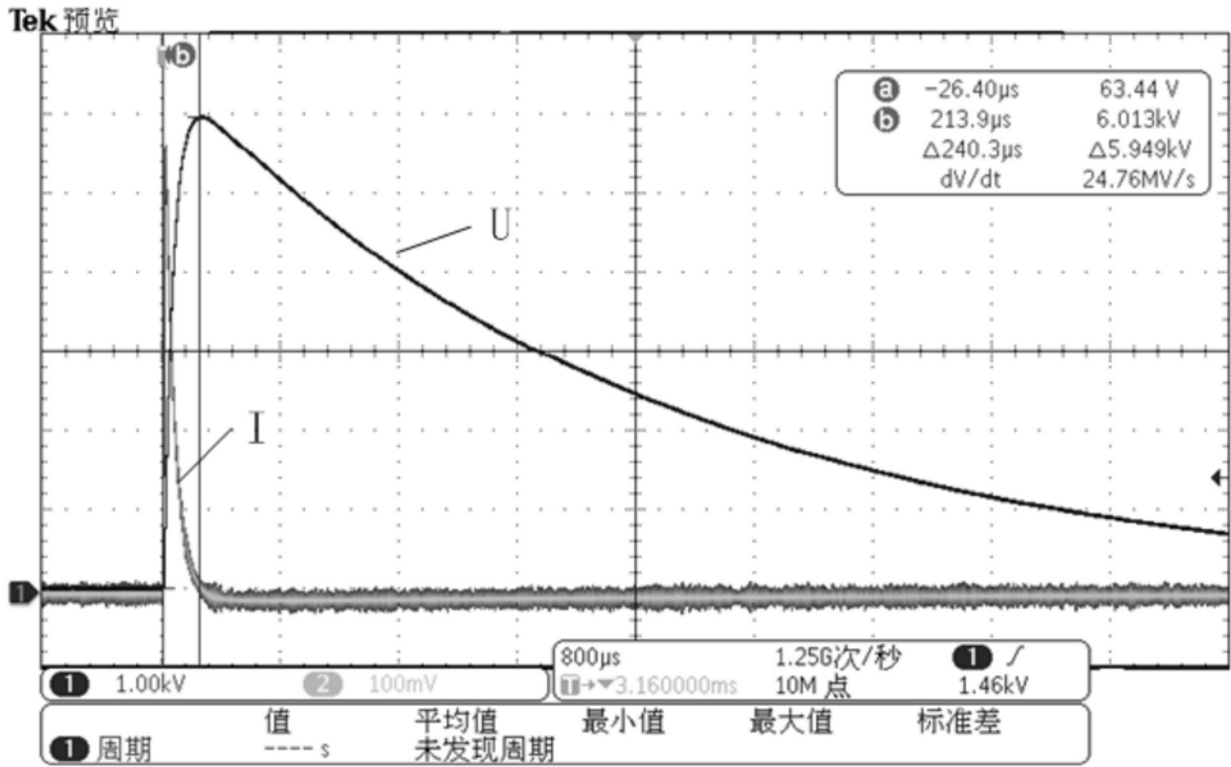
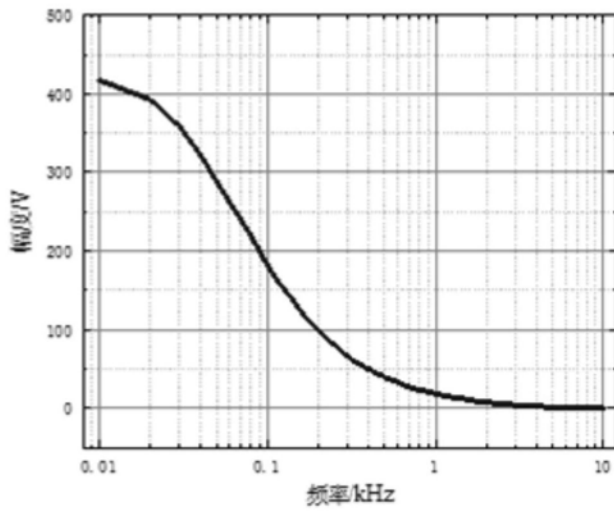


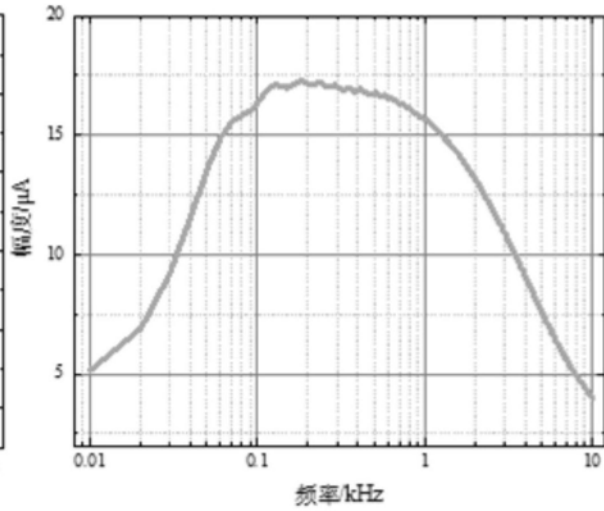
图1



(a)



(b)



(c)

图2

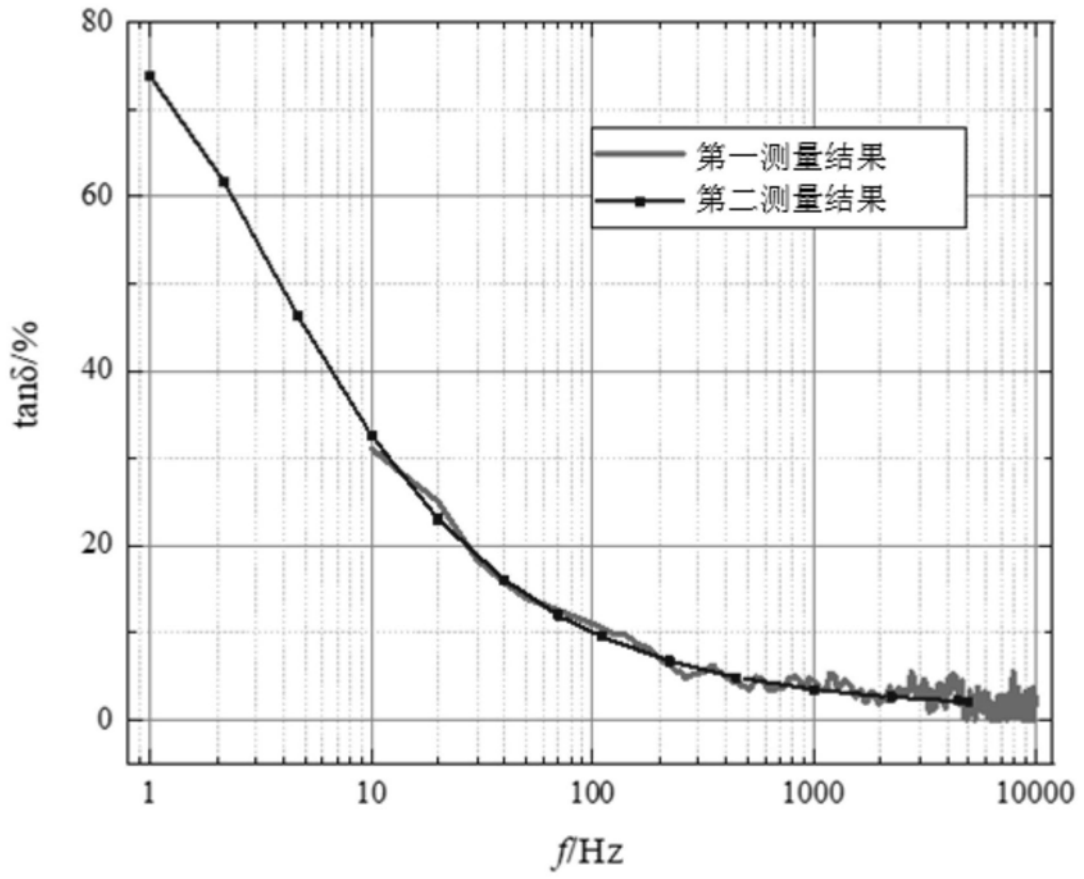


图3

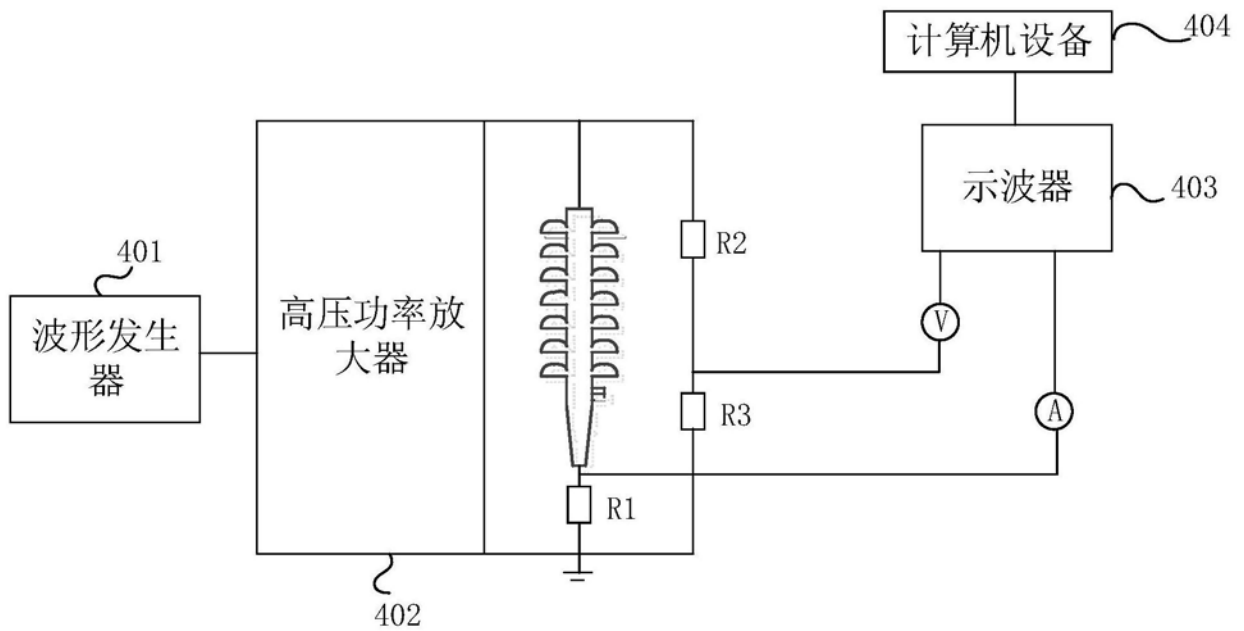


图4