



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116683401 B

(45) 授权公告日 2023.10.10

(21) 申请号 202310939873.8

(22) 申请日 2023.07.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116683401 A

(43) 申请公布日 2023.09.01

(73) 专利权人 华中科技大学
地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037号

(72) 发明人 李红斌 朱厚达 焦洋 陈庆
祝永正 周凯

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201
专利代理师 胡佳蕾

(51) Int. Cl.
H02H 7/05 (2006.01)
H02H 9/04 (2006.01)
G01R 1/36 (2006.01)
G06F 30/367 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 106817095 A, 2017.06.09

CN 112924920 A, 2021.06.08

CN 116216649 A, 2023.06.06

EP 2947668 A1, 2015.11.25

TW 202211600 A, 2022.03.16

沈泽亮. 一种基于低频窄带扫描的电磁式电压互感器杂散电容测量与精确建模方法. 电工技术学报. 2023, 第38卷(第8期), 全文.

Sriyono. Investigating the Internal Winding Resonance Characteristics of Various Power Transformer Winding Designs. 2020 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM). 2020, 全文.

邵霞; 周有庆; 彭红海. 一种改进的直测电容电流型电子式电压互感器. 电工技术学报. 2013, (第04期), 全文.

审查员 左昀

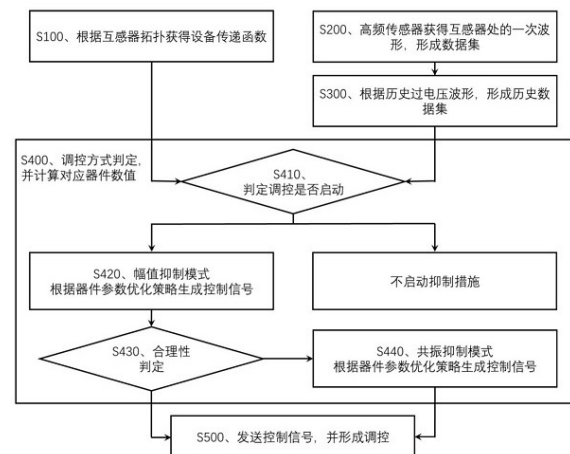
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法及系统,属于电子式电压互感器过电压保护技术领域。方法包括:采集电压互感器处一次电压波形;根据电子式电压互感器拓扑获得设备传递函数;判断调控方式;若为幅值抑制模式,则根据器件参数优化策略,计算所需电阻;若为共振抑制模式,则根据器件参数优化策略,计算所需电感;可调电阻器或可调电感器根据解调控制信号调至相应档位,实现共振过电压自适应抑制效果,对器件形成防护。本发明通过改变电子式电压互感器的自然频率,避免干扰信号在电子式电压互感器二次回路上发生共振从而产生过电压,从而保障了设备的稳定运行。



CN 116683401 B

1. 一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,其特征在于,包括以下步骤:

将电压互感器的传递函数 $k(f)$ 在目标频带内的极大值点对应的频率作为自然频率 f_n ,所述传递函数 $k(f)$ 表征电压互感器低压臂的输出增益与频率之间的关系;

采集电压互感器处一次电压波形,再通过时频变换获取目标频带内各个频率成分的幅值以构建幅值数据集,并将目标频带内幅值最大时对应的频率作为高频主成分频率 f_h ;

对于所述幅值数据集,若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值,则根据 k_w 及传递函数 $k(f)$,计算满足 $k(f_n) < k_w$ 及 $k(f_h) < k_w$ 所需的高压臂电阻值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器,使高压臂呈现所需的电阻值;否则,不进行抑制措施;

其中,所述共振风险频带的范围确定如下:

根据所述幅值数据集,获取自然频率 f_n 和高压主成分频率 f_h 对应的幅值分量 u_{nmax} 和 u_{hmax} ;

将 u_w 分别除以 u_{nmax} 和 u_{hmax} ,取较小值为输出增益阈值 k_w ;

求解方程 $k(f) = k_w$,以最小解为共振风险频带的频率下限 f_{risk_a} ,以最大解与 f_h 中较大者为共振风险频带的频率上限 f_{risk_b} ,划定共振风险频带 f_{risk} 。

2. 根据权利要求1所述的用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,其特征在于,在计算所需的高压臂电阻值之后,调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器之前,所述方法还包括:

判断所需的高压臂电阻值对工频分压比的变化影响,若在允许范围内,则调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器;否则,不调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器,并根据传递函数 $k(f)$,计算 $f_n' < f_{risk_a}$ 所需的高压臂电感值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电感器,使高压臂呈现所需的电感值;

其中, f_n' 为进行抑制措施后的自然频率。

3. 根据权利要求2所述的用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,其特征在于,所述在允许范围内,具体为:

变化影响 $e_k = \left| 1 - \frac{k'(50)}{k(50)} \right|$ 不大于预设阈值;

其中, $k'(50)$ 和 $k(50)$ 分别为开展抑制措施后和未开展抑制措施时工频下电压互感器低压臂的输出增益。

4. 根据权利要求1至3任一项所述的用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,其特征在于,所述幅值数据集包括当前幅值数据集和历史幅值数据集;

所述对于所述幅值数据集,若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值,包括:

对于所述当前幅值数据集和历史幅值数据集,若存在其中之一满足:在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值。

5. 根据权利要求1至3任一项所述的用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,所述幅值阈值 U_c 为 $\frac{U_w}{A}$, U_w 为工频分量电压幅值, A 为大于等于1的常数。

6. 一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,其特征在于,包括以下步骤:

将电压互感器的传递函数 $k(f)$ 在目标频带内的极大值点对应的频率作为自然频率 f_n ,所述传递函数 $k(f)$ 表征电压互感器低压臂的输出增益与频率之间的关系;

采集电压互感器处一次电压波形,再通过时频变换获取目标频带内各个频率成分的幅值以构建幅值数据集,并将目标频带内幅值最大时对应的频率作为高频主成分频率 f_h ;

对于所述幅值数据集,若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值,则根据传递函数 $k(f)$,计算 $f_n < f_{risk_a}$ 所需的高压臂电感值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电感器,使高压臂呈现所需的电感值;否则,不进行抑制措施;

其中, f_n' 为进行抑制措施后的自然频率,所述共振风险频带的范围确定如下:

根据所述幅值数据集,获取自然频率 f_n 和 高频主成分频率 f_h 对应的幅值分量 u_{nmax} 和 u_{hmax} ;

将 u_w 分别除以 u_{nmax} 和 u_{hmax} ,取较小值为输出增益阈值 k_w ;

求解方程 $k(f) = k_w$,以最小解为共振风险频带的频率下限 f_{risk_a} ,以最大解与 f_h 中较大者为共振风险频带的频率上限 f_{risk_b} ,划定共振风险频带 f_{risk} 。

7. 根据权利要求6所述的用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,其特征在于,所述幅值数据集包括当前幅值数据集和历史幅值数据集;

所述对于所述幅值数据集,若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值,包括:

对于所述当前幅值数据集和历史幅值数据集,若存在其中之一满足:在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值。

8. 一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护系统,其特征在于,包括:

处理器;以及

存储器,用于存储所述处理器的可执行指令;

其中,所述处理器配置为经由执行所述可执行指令来执行权利要求1-7任一项所述的用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法。

一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于电子式电压互感器过电压保护技术领域,更具体地,涉及一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法及系统。

背景技术

[0002] 气体绝缘开关设备将高压导体、隔离开关、互感器等一、二次设备紧密结合,这种一体化结构缩短了气体绝缘开关设备内元件之间的距离,有利于变电站的小型化,但也使互感器面临更恶劣的电磁环境。

[0003] 电子式电压互感器将高压导体作为其电容分压器的一部分,这种连接方式导致电子式电压互感器上的电磁干扰非常强烈。即使采用现有的防护方法(如降低骚扰电压幅值、设计滤波器、提高设备屏蔽效能等),电子式电压互感器依然故障频发。

[0004] 现有的保护方法研究多集中在对骚扰源幅值的抑制上,而对抑制后是否仍能产生或放大过电压的研究较少。对于骚扰源来说,它具有很宽的频谱(直流到数百兆赫兹)和一个具有高幅值的高频主成分。对电子式电压互感器来说,它是一个具有固有频率的电物理系统。当骚扰源的频率与电子式电压互感器的固有频率一致时,电子式电压互感器会发生共振,该频段的骚扰源分量会增强形成过电压并对器件造成影响。

发明内容

[0005] 针对现有技术的缺陷和改进需求,本发明提供了一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法及系统,其目的在于解决由于电子式电压互感器的自然频率与骚扰源的高频主成分频率重叠时产生共振过电压造成电子式电压互感器故障的技术问题。

[0006] 为实现上述目的,第一方面,本发明提供了一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,包括以下步骤:

[0007] 将电压互感器的传递函数 $k(f)$ 在目标频带内的极大值点对应的频率作为自然频率 f_n ,所述传递函数 $k(f)$ 表征电压互感器低压臂的输出增益与频率之间的关系;

[0008] 采集电压互感器处一次电压波形,再通过时频变换获取目标频带内各个频率成分的幅值以构建幅值数据集,并将目标频带内幅值最大时对应的频率作为高频主成分频率 f_h ;

[0009] 对于所述幅值数据集,若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值,则根据 k_w 及传递函数 $k(f)$,计算满足 $k(f_n) < k_w$ 及 $k(f_h) < k_w$ 所需的高压臂电阻值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器,使高压臂呈现所需的电阻值;否则,不进行抑制措施;

[0010] 其中,所述共振风险频带频率内的所有频率点对应的电压互感器低压臂输出增益与一次电压分量的乘积均小于电压互感器低压臂耐受电压限值 u_w , k_w 为低压臂耐受电压限值 u_w 与共振风险频带频率内一次电压分量的比值的最大值。

[0011] 进一步地,在计算所需的高压臂电阻值之后,调节接入电压互感器高压臂中的可

调电阻器之前,所述方法还包括:

[0012] 判断所需的高压臂电阻值对工频分压比的变化影响,若在允许范围内,则调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器;否则,不调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器,并根据传递函数 $k(f)$,计算 $f_n' < f_{risk_a}$ 所需的高压臂电感值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电感器,使高压臂呈现所需的电感值;

[0013] 其中, f_n' 为进行抑制措施后的自然频率, f_{risk_a} 为共振风险频带的频率下限。

[0014] 进一步地,所述在允许范围内,具体为:

[0015] 变化影响 $e_k = \left| 1 - \frac{k'(50)}{k(50)} \right|$ 不大于预设阈值;

[0016] 其中, $k'(50)$ 和 $k(50)$ 分别为开展抑制措施后和未开展抑制措施时工频下电压互感器低压臂的输出增益。

[0017] 进一步地,所述共振风险频带的范围确定如下:

[0018] 根据所述幅值数据集,获取自然频率 f_n 和低频主成分频率 f_h 对应的幅值分量 u_{nmax} 和 u_{hmax} ;

[0019] 将 u_w 分别除以 u_{nmax} 和 u_{hmax} ,取较小值为输出增益阈值 k_w ;

[0020] 求解方程 $k(f) = k_w$,以最小解为共振风险频带的频率下限 f_{risk_a} ,以最大解与 f_h 中较大者为共振风险频带的频率上限 f_{risk_b} ,划定共振风险频带 f_{risk} 。

[0021] 进一步地,所述幅值数据集包括当前幅值数据集和历史幅值数据集;

[0022] 所述对于所述幅值数据集,若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值,包括:

[0023] 对于所述当前幅值数据集和历史幅值数据集,若存在其中之一满足:在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值。

[0024] 进一步地,所述幅值阈值 U_c 为 $\frac{U_w}{A}$, U_w 为工频分量电压幅值, A 为大于等于1的常数。

[0025] 第二方面,本发明提供了另一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,包括以下步骤:

[0026] 将电压互感器的传递函数 $k(f)$ 在目标频带内的极大值点对应的频率作为自然频率 f_n ,所述传递函数 $k(f)$ 表征电压互感器低压臂的输出增益与频率之间的关系;

[0027] 采集电压互感器处一次电压波形,再通过时频变换获取目标频带内各个频率成分的幅值以构建幅值数据集;

[0028] 对于所述幅值数据集,若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值,则根据传递函数 $k(f)$,计算 $f_n' < f_{risk_a}$ 所需的高压臂电感值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电感器,使高压臂呈现所需的电感值;否则,不进行抑制措施;

[0029] 其中, f_n' 为进行抑制措施后的自然频率, f_{risk_a} 为共振风险频带的频率下限,所述共振风险频带频率内的所有频率点对应的电压互感器低压臂输出增益与一次电压分量的乘积均小于电压互感器低压臂耐受电压限值 u_w 。

[0030] 进一步地,所述共振风险频带的范围确定如下:

[0031] 所述共振风险频带的范围确定如下：

[0032] 根据所述幅值数据集，获取自然频率 f_n 和高频主成分频率 f_h 对应的幅值分量 u_{nmax} 和 u_{hmax} ；

[0033] 将 u_w 分别除以 u_{nmax} 和 u_{hmax} ，取较小值为输出增益阈值 k_w ；

[0034] 求解方程 $k(f)=k_w$ ，以最小解为共振风险频带的频率下限 $f_{risk,a}$ ，以最大解与 f_h 中较大者为共振风险频带的频率上限 $f_{risk,b}$ ，划定共振风险频带 f_{risk} 。

[0035] 进一步地，所述幅值数据集包括当前幅值数据集和历史幅值数据集；

[0036] 所述对于所述幅值数据集，若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数，与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值，包括：

[0037] 对于所述当前幅值数据集和历史幅值数据集，若存在其中之一满足：在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数，与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值。

[0038] 第三方面，本发明提供了一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护系统，包括：

[0039] 处理器；以及

[0040] 存储器，用于存储所述处理器的可执行指令；

[0041] 其中，所述处理器配置为经由执行所述可执行指令来执行第一方面或第二方面所述的用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法。

[0042] 总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案，能够取得以下有益效果：

[0043] 针对骚扰源的频率与电子式电压互感器的固有频率一致时，电子式电压互感器会发生共振，该频段的骚扰源分量形成过电压并对器件造成影响这一问题，本发明提出了一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法及系统。在电子式电压互感器的高压臂回路中接入可调电阻器或可调电感器，利用数值模拟，将电子式电压互感器模型等效为电路模型，通过电路理论分析得到各组成成分对电子式电压互感器的传递特性的影响规律，根据影响规律改变电子式电压互感器的传递特性，使其在收到信号的高频主成分频率处的输出增益降低，或使其自然频率与收到信号的高频主成分频率错开，从而减小电子式电压互感器上由于共振产生的过电压的幅值。

附图说明

[0044] 图1是本发明提供的用于电子式电压互感器的共振过电压防护装置的结构示意图。

[0045] 图2是本发明提供的用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法的流程示意图。

[0046] 图3是本发明实施例中的电子式电压互感器的原理结构图。

[0047] 图4是本发明实施例中电子式电压互感器的传递特性曲线。

[0048] 图5是本发明实施例中一次信号的波形图。

[0049] 图6是图5中圈出部分的局部放大图。

[0050] 图7是图5中圈出部分的频谱图。

具体实施方式

[0051] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0052] 请参考图1,本发明提供了一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护装置,包括:1-SF6气体;2-极板;3-气体隔离开关管道外壳;4-屏蔽箱体;5-数据处理装置;6-光纤通讯装置;7-低压臂回路;8-可调电阻器及可调电感器;9-绝缘材料;10-高压母线。

[0053] 本实施例基于上述电子式电压互感器的结构,构建用于实施分析的电子式电压互感器模型。

[0054] 同时,考虑到实际中电子式电压互感器及其相连部分并不是平整的,本实施例忽略设备外壳的连接及凸起,将极板2等效为一个平面;气体隔离开关管道外壳3等效为空心圆柱形管道;高压母线10等效为一根空心圆柱。

[0055] 那么,基于上述配置的硬件,本发明提出了一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,基本思路为:针对全局过压、共振过压两类电磁暂态冲击,以母线电压的当前、历史监测数据为基础,依据目标电压互感器的工频额定变比和自然频率,判定待采用的抑制模式并计算电阻(电感)器件的具体数值,进而调整可变电阻(电感)器件以实现对待态过电压的有效抑制。

[0056] 如图2所示,本实施例提供了一种用于电子式电压互感器的共振过电压防护方法,包括步骤S100至S500。

[0057] S100,将电压互感器的传递函数 $k(f)$ 在目标频带内的极大值点对应的频率作为自然频率 f_n ,所述传递函数 $k(f)$ 表征电压互感器低压臂的输出增益与频率之间的关系。

[0058] 在本实施例中,根据电压互感器拓扑推导传递函数及电子器件特性,获取自然频率 f_n 、电压互感器低压臂耐受电压限值 u_w ,设置目标频带为 $f_n/10$ 至 $(10 \times f_n)$ 频率范围。

[0059] 其中,传递函数 $k(f)$ 是通过结合设备原理结构、器件参数等效计算后获得的公式。传递函数 $k(f)$ 经验公式如下:

$$[0060] \quad G(j\omega) = \frac{Z_L}{Z_D} = \frac{Z_{c2} + Z_a}{Z_{c1} + Z_b}$$

[0061] 即根据电子式电压互感器的低压臂回路的阻抗与电子式电压互感器的阻抗之比而列出的。

[0062] 其中,电子式电压互感器的原理结构图如图3中所示,传递函数是通过电路理论将图1中的结构模型转变为电路模型后,根据电子式电压互感器的低压臂回路的阻抗 Z_L 与所述电子式电压互感器的阻抗 Z_D 之比而列出的; Z_{c1} 为高压臂电容 C_1 的阻抗, Z_{c2} 为低压臂电容 C_2 的阻抗; Z_a 是指低压臂内除了低压臂电容以外的其他器件的阻抗之和,例如低压臂内的杂散电阻和杂散电感; Z_b 是指设备内除了高压臂电容以外的其他器件的阻抗之和,例如高压臂内的杂散电阻、杂散电感、低压臂阻抗、接地回路上的杂散参数(电阻、电感等)。

[0063] 图3中, C_1 为GIS管道内的电极板与高压母线耦合而成的高压臂电容, C_2 为低压臂PCB板上的贴片电容, C_3 为电极板与GIS外壳间的耦合电容, L_1 、 R_1 为电极板与PCB板之间连接线上的寄生电感和等效电阻, L_{c2} 、 R_{c2} 为PCB板上的寄生电感和等效电阻, L_{g1} 、 R_{g1} 为PCB板与

GIS外壳之间连接线的寄生电感和等效电阻, L_{g2} 、 R_{g2} 为GIS外壳与地之间连接线的寄生电感和等效电阻, R_p 、 L_{rp} 、 R_{rp} 为浪涌抑制电阻及其支路的寄生电感和等效电阻, L_t 、 R_t 为瞬态电压抑制二极管及其支路的寄生电感和等效电阻, R_f 、 C_f 为低通滤波器, L_{rf} 、 L_{cf} 、 R_{rf} 、 R_{cf} 为低通滤波器支路上的寄生电感和等效电阻, C_r 、 L_{cr} 、 R_{cr} 为差分运算放大器的入口电容及支路上的寄生电感和等效电阻。

[0064] 设备低压臂耐受电压限值 u_w 是指在自然频率 f_n 处, 根据电子式电压互感器二次电路中电子元器件的耐压值及其在电路中的关系, 折算为低压臂上的电压值, 其中最小值为本设备的设备低压臂耐受电压限值 u_w 。

[0065] 例如, 如图3所示的电子式电压互感器中, 假设在自然频率处的电阻 R_p 为 $88\ \Omega$, 耐压值为 800V ; 电阻 R_{rp} 为 $1\ \Omega$, 耐压值为 10V ; 电感 L_{rp} 阻抗为 $1\ \Omega$ 。其右端电路的阻抗为 $10\ \Omega$, 则由电阻 R_p 、 R_{rp} 及电感 L_{rp} 组成的保护支路与右端电路的分压比为 $9:1$ 。若电容 C_2 所在的低压臂的电压为 1000V , 电阻 R_p 的分压为 880V , 电阻 R_{rp} 的分压为 10V , 不满足器件耐压值要求; 若电容 C_2 所在的低压臂的电压为 909V , 电阻 R_p 的分压为 800V , 电阻 R_{rp} 的分压为 9V , 满足器件耐压值要求, 则 u_w 为 909V 。

[0066] 电子式电压互感器的传递函数是低压臂输出增益与频率之间的关系, 即 $G(j\omega) = k(f)$, 其中 f 为频率, k 为当频率为 f 时电子式电压互感器低压臂的输出增益, 不同电子式电压互感器型号所对应的 $k(f)$ 是已知的, 将 $k(f)$ 在目标频带内的极大值点定为自然频率 f_n 。

[0067] 优选地, 图3所示的电子式电压互感器的传递特性可由下式得出:

$$[0068] \quad G(j\omega) = \frac{u_2}{u_1} = \left| \frac{Z_L}{Z_L + Z_{LRH}} \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_{LRL}} \right|$$

[0069] 其中, Z_L 是电子式电压互感器的低压臂阻抗, Z_{LRH} 为电子式电压互感器的高压臂阻抗, Z_1 是电子式电压互感器的高压臂电容阻抗, Z_2 是将电子式电压互感器中的低压臂阻抗和高压臂阻抗串联后再与电子式电压互感器的高压臂电容极板与管道外壳之间形成的杂散电容阻抗并联之和, Z_{LRL} 是电子式电压互感器接地部分的阻抗。具体数学计算表达式如表1所示。

表 1 实施例中的变量的描述

器件	说明
Z_1	$-j/\omega C_1$
Z_L	$Z_{LV} // [Z_{Rp} + Z_{TVS} // (Z_{Rf} + Z_{cf} // Z_{cr})]$
Z_{LV}	$R_{C2} + j\omega L_{C2} - j/\omega C_2$
Z_{Rp}	$R_p + R_{ip} + j\omega L_{ip}$
Z_{TVS}	$R_t + j\omega L_t$
Z_{Rf}	$R_f + R_{rf} + j\omega L_{rf}$
Z_{cf}	$R_{Cf} + j\omega L_{Cf} - j/\omega C_f$
Z_{cr}	$R_{Cr} + j\omega L_{Cr} - j/\omega C_r$
Z_{LRH}	$j\omega L_1 + R_1$
Z_{LRL}	$j\omega(L_{g1} + L_{g2}) + R_{g1} + R_{g2}$
Z_2	$(Z_L + Z_{LRH} // Z_{C3})$
Z_{C3}	$-j/\omega C_3$

[0070]

[0071] 例如,当电子式电压互感器中的组件按照表2内的数值进行选取后,其传递特性如图4所示,此时存在两个输出增益的极大值,分别在 $f_1=14.6\text{MHz}$ 和 $f_2=37.32\text{MHz}$,对应的输出增益分别为 $k_1=1.49$ 和 $k_2=1.133$ 。为方便说明,本实施例以第一个自然频率点 $f_1=14.6\text{MHz}$ 为例,则目标频带为(1.46MHz~146MHz)。

表 2 实施例中的参数给定值

EVT 回路器 件	值	二次回路器件	值
C1	20pF	Rp	1000 Ω
C2	1.2F	Lrp	36nH
C3	240pF	Rrp	6.5m Ω
L1	330nH	Lt	3.6nH
LC2	120nH	Rt	0.65m Ω
[0072] Lg1	300nH	Rf	10k Ω
Lg2	0.7 μ H	Lrf	3.6nH
R1	0.6 Ω	Rrf	0.65m Ω
RC2	20m Ω	Lcf	3.6nH
Rg1	5m Ω	Rcf	0.65m Ω
Rg2	5 Ω	Cf	3.6nF
		Lcr	3.6nH
		Rcr	0.65m Ω
		Cr	0.7pF

[0073] S200,采集电压互感器处一次电压波形,再通过时频变换获取目标频带内各个频率成分的幅值以构建幅值数据集,并将目标频带内幅值最大时对应的频率作为高频主成分频率 f_h 。

[0074] 对于当前时刻,依据电压互感器安装处的过电压波形,获取当前幅值数据集,计算工频分量电压幅值 U_w ,设置幅值阈值 U_c 为 $\frac{U_w}{A}$,优选地, $A=1000$,并明确目标频带内高频主成分的所处频率为 f_h 以及共振风险频带频率范围为 $f_{risk a}$ 至 $f_{risk b}$ 。

[0075] 其中,电子式电压互感器所在位置的一次信号是指在电子式电压互感器所在位置或邻近位置测得的电压信号。过电压波形是借助手孔式高频传感头监测获取,手孔式高频传感头对于高频信号具有高精度测量性能,为后续频谱计算提供准确的电压波形。

[0076] 对过电压波形开展时频变换,获取各个成分的幅值,汇集目标频带范围内各个频率成分的幅值以构建当前幅值数据集;对于目标频带内的各个成分,搜索幅值最大者,对应频率为高频主成分所处频率 f_h 。

[0077] 共振风险频带频率内的所有频率点对应的电压互感器低压臂输出增益与一次电压分量的乘积均小于电压互感器低压臂耐受电压限值 u_w 。示例性的,共振风险频带的范围确定如下:通过计算一次信号中自然频率 f_n 和工频主成分频率 f_h 对应的幅值分量 u_{nmax} 和 u_{hmax} ,将 u_w 分别除以 u_{nmax} 和 u_{hmax} ,取较小值为输出增益阈值 k_w ;求解方程 $k(f)=k_w$,以最小解为

共振风险频带的频率下限 f_{risk_a} ,以最大解与 f_h 中较大者为共振风险频带的频率上限 f_{risk_b} ,划定共振风险频带 f_{risk} 。

[0078] 例如,当一次信号的波形如图5所示,一次信号工频分量的幅值为180kV,则幅值阈值为180V。选取其暂态波形,即图5中圈出部分,其局部放大图如图6所示,通过进行傅里叶分析,得到图7所示的频谱,其高频主成分频率 $f_h=12.74\text{MHz}$,此时设备传递函数 $k(f)$ 上的自然频率为 $f_n=14.6\text{MHz}$ 。

[0079] 本实施例中,假定设备低压臂耐受电压限值 $u_w=1\text{kV}$,则输出增益阈值 k_w 为 $1/20.2\approx 0.049$ 。

[0080] 根据S100中的计算可知存在2个频率点满足 $k_w=0.049$ 的要求,即 $f_{w1}=12.09\text{MHz}$, $f_{w2}=45.1\text{MHz}$ 。

[0081] 优选的,对于 f_w ,可根据 f_h 的历史分布数据与输出增益阈值 k_w 的位置关系进行选择:1.1、待选取的 f_w 应被 f_h 的历史数据分布范围涵盖;1.2、选取涵盖范围内最小的 f_w 作为起点。2、若没有 f_w 被 f_h 的历史数据分布范围涵盖,则选取距离 f_h 历史最小值最近的 f_w 作为起点。假定 f_{w1} 与 f_{w2} 均被 f_h 的历史数据分布范围涵盖,则 f_{w1} 为最优选择,此时的共振风险频带范围应为(12.09MHz,45.1MHz)。

[0082] 此外,避免当前幅值数据采集时存在偶然误差,或当前幅值数据集出现随机误差,导致判定是否进行抑制措施不准确,还可通过获取历史幅值数据集、历史频率数据集,具体地:

[0083] S300,对于各个历史时刻,依据电压互感器安装处的历史过电压波形,获取历史幅值数据集、历史频率数据集。

[0084] 对于各个历史时刻,将对应的幅值数据集汇集起来,构建历史幅值数据集;对于各个历史时刻,将对应的高频主成分所处频率汇集起来,构建历史频率数据集。例如,假定如图5所示的一次信号波形是第10次采集波形,则其高频主成分频率 $f_h=12.74\text{MHz}$ 及其幅值为历史频率数据集的第10组数据。

[0085] S400,对于所述幅值数据集,若在共振风险频带内超出幅值阈值 U_c 的数据点数,与共振风险频带内的全部数据点数的占比超过比例阈值,则根据 k_w 及传递函数 $k(f)$,计算满足 $k(f_n)<k_w$ 及 $k(f_h)<k_w$ 所需的高压臂电阻值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器,使高压臂呈现所需的电阻值;否则,不进行抑制措施;其中,所述共振风险频带频率内的所有频率点对应的电压互感器低压臂输出增益与一次电压分量的乘积均小于电压互感器低压臂耐受电压限值 u_w , k_w 为低压臂耐受电压限值 u_w 与共振风险频带频率内一次电压分量的比值的最大值。

[0086] 本实施例中,从幅值抑制、共振抑制、不动作三种模式中进行调控方式的判定,并计算对应器件的具体数值。步骤S400包括子步骤S410至子步骤S440。

[0087] 在子步骤S410中,根据当前幅值数据集或(当前幅值数据集及历史幅值数据集)对是否需要启动抑制措施进行判定。以当前幅值数据集及历史幅值数据集为例:

[0088] 本实施例中,共振风险频带内的一次信号频谱的当前数据量为1000个,若有500以上数据点的幅值大于180V,则占比 r_1 超过50%;若不足500个数据点的幅值大于180V,则占比 r_1 小于50%。

[0089] 共振风险频带内的一次信号频谱的历史数据数量为10万个,若有5万以上数据点

的幅值大于180V,则占比 r_2 超过50%;若不足5万个数据点大于180V,则占比 r_2 小于50%。

[0090] 若 r_1 、 r_2 中存在至少一个超过50%,认为需执行抑制措施;若 r_1 、 r_2 均不超过50%,认为不需要启动抑制措施。

[0091] 在子步骤S420中,优先启动幅值抑制,根据 k_w 及传递函数 $k(f)$,计算满足 $k(f_n) < k_w$ 及 $k(f_h) < k_w$ 所需的高压臂电阻值 $R_{\text{高压臂}}$,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电阻器,使高压臂呈现所需的电阻值,从而传递函数在自然频率 f_n 及 f_h 处的幅值满足二次电压不大于电压互感器低压臂耐受电压限值。

[0092] 本实施例中, $f_h=12.74\text{MHz}$, $f_n=14.6\text{MHz}$,通过计算,一次信号在 f_h 处的分量幅值为 $u_{h\text{max}}=20.2\text{kV}$,在自然频率 f_n 处的分量幅值为 $u_{n\text{max}}=6.1\text{kV}$ 。假定 $u_w=1\text{kV}$,则输出增益阈值 k_w 为 $1/20.2 \approx 0.049$ 。

[0093] 根据输出增益阈值 k_w ,计算传递特性小于 k_w 所需的 $R_{\text{高压臂}}$,选择适合的器件组合方式编号,使 f_h 处的输出增益小于输出增益阈值 k_w 。

[0094] 为使 $k(f_h) \leq 0.049$,计算传递特性,当 $R_{\text{高压臂}} > 20.6 \Omega$ 时, $k(f_h) \leq 0.04848$,满足需求,此时可调电阻器的阻值最小值应为 20Ω 。

[0095] 对于组合方式的选择,遵循以下规则:有限个组合中,使得进行抑制措施后在 f_n 及 f_h 处的输出增益 $k'(f_n)$ 、 $k'(f_h)$ 不超出设定输出增益阈值,则该电阻组合具有满足要求的阻值。优选的,有一个或多个电阻值满足要求时,选择阻值最小的组合,从而降低对测量信号的影响。

[0096] 本实施例中,当可调电阻器的阻值为 12.2Ω 时, f_n 处的输出增益 $k'(f_n)$ 为 0.078 , f_h 处的输出增益 $k'(f_h)$ 为 0.049 ,不满足小于 k_w 的条件;当可调电阻器的阻值为 20Ω 时, $k'(f_n)$ 为 0.048 , $k'(f_h)$ 为 0.035 ,满足小于 k_w 的条件;当可调电阻器的阻值为 21Ω 时, $k'(f_n)$ 为 0.046 , $k'(f_h)$ 为 0.034 ,满足小于 k_w 的条件。此时应选择将可调电阻器调整为 20Ω 。

[0097] 进一步地,在子步骤S430中,对S420计算的电阻值对电子式电压互感器的影响进行合理性判定,从而判断生成对应的控制信号或开展共振抑制模式。未开展抑制措施时工频下设备传递函数为 $k(50)$,开展抑制措施后工频下设备传递函数为 $k'(50)$,计算抑制措施开展前后的工频变比情况,若变化影响 $e_k = \left| 1 - \frac{k'(50)}{k(50)} \right|$ 大于2‰,则认为本次幅值抑制模式对电子式电压互感器的工频测量性能存在较大的影响,从而停止幅值抑制模式,转而开展共振抑制模式;若变化影响 $e_k = \left| 1 - \frac{k'(50)}{k(50)} \right|$ 不大于2‰,则发送控制信号并形成调控。

[0098] 本实施例中,电子式电压互感器的传递函数,在工频下的幅值分别为 $k(50)=1.6613\text{e-}05$,若加入电阻后的工频幅值 $k'(50)=1.6623\text{e-}05$,此时变化影响 $e_k = 1 - \frac{k'(50)}{k(50)} = 0.6\text{‰}$,此时 $e_k < 2\text{‰}$,则该电阻值满足要求;若加入电阻后的工频幅值 $k'(50)=1.6653\text{e-}05$,此时变化影响 $e_k = 1 - \frac{k'(50)}{k(50)} = 2.4\text{‰}$,此时 $e_k > 2\text{‰}$,则该电阻值不满足要求,转而开展共振抑制模式。

[0099] 在子步骤S440中,共振抑制模式具体为:根据传递函数 $k(f)$,计算 $f_n' < f_{\text{risk},a}$ 所需的高压臂电感值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电感器,使高压臂呈现所需的电感值,可使得设备输出增益极大值点的频率移出共振风险频带,传递函数在共振风险频带内

的幅值满足二次电压不大于电压互感器低压臂耐受电压限值。

[0100] 为使设备自然频率移出共振风险频带,应使 $f_n' < 12.09\text{MHz}$,计算传递特性,当 $L_{\text{高压臂}} > 540\text{nH}$ 时, $f_n' < 12.09\text{MHz}$,满足需求,此时可调电感器的电感值最小值应为 210nH 。

[0101] 对于组合方式的选择,遵循以下规则:有限个组合中,使得进行抑制措施后的自然频率满足 $f_n' \notin (f_{\text{risk}_a}, f_{\text{risk}_b})$ 且 $f_n' < f_{\text{risk}_a}$,设备新的传递函数在 f_n 及原来的自然频率 f_n 上的输出增益不超出设定输出增益阈值 k_w ,则该电感组合具有满足要求的电感值。

[0102] 本实施例中,当可调电感器的电感值为 $1\mu\text{H}$ 与 $5\mu\text{H}$ 的串联组合时,新的自然频率为 $f_n' = 3.885\text{MHz}$,并满足 $f_n' \notin (12.09\text{MHz}, 45.1\text{MHz})$ 且 $f_n' < 12.09\text{MHz}$ 的条件,此时在 12.09MHz 和 12.74MHz 处的输出增益分别为 0.001782 和 0.001786 ,均小于 0.049 ,因此可调电感器可调整为 $6\mu\text{H}$ 。

[0103] 在另一可选的实施例中,在子操作S320中,当判定为需要进行抑制措施后,直接启动共振抑制,即根据传递函数 $k(f)$,计算 $f_n' < f_{\text{risk}_a}$ 所需的高压臂电感值,并调节接入电压互感器高压臂中的可调电感器,使高压臂呈现所需的电感值。

[0104] 进一步地,在确定所需的高压臂电阻值或电感值后,还包括:

[0105] S500,根据开关器件调制解调规则调制待传输信号;通过光纤发送待传输信号至光纤通讯装置;光纤通讯装置接收控制指令并解调,可调电阻器或可调电感器根据解调控制信号调至相应档位,实现共振过电压自适应抑制效果,对器件形成防护。

[0106] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

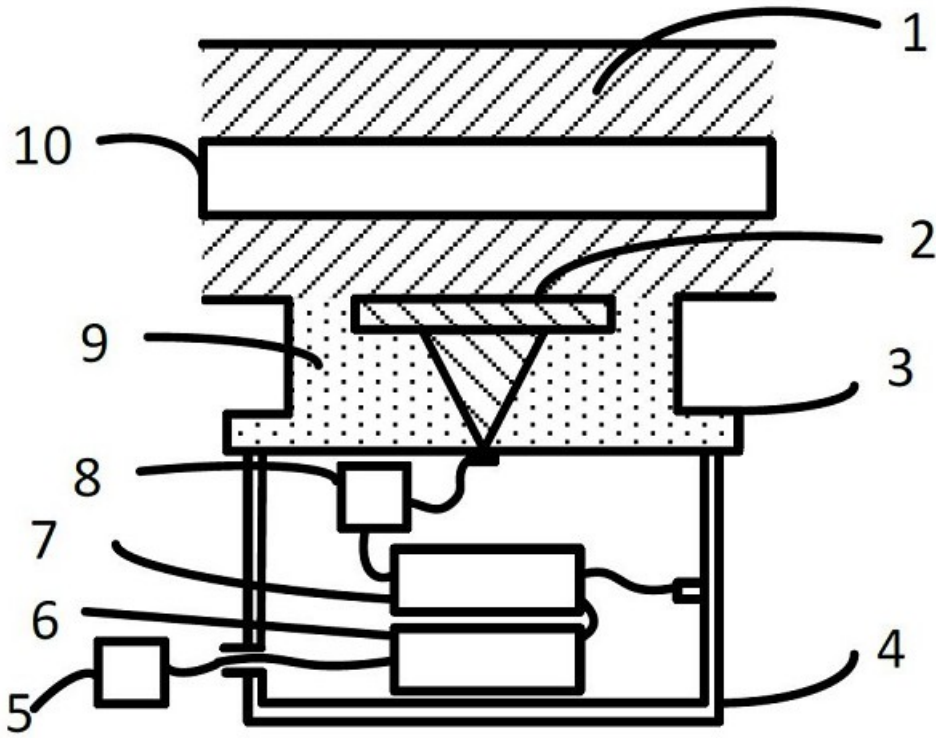


图 1

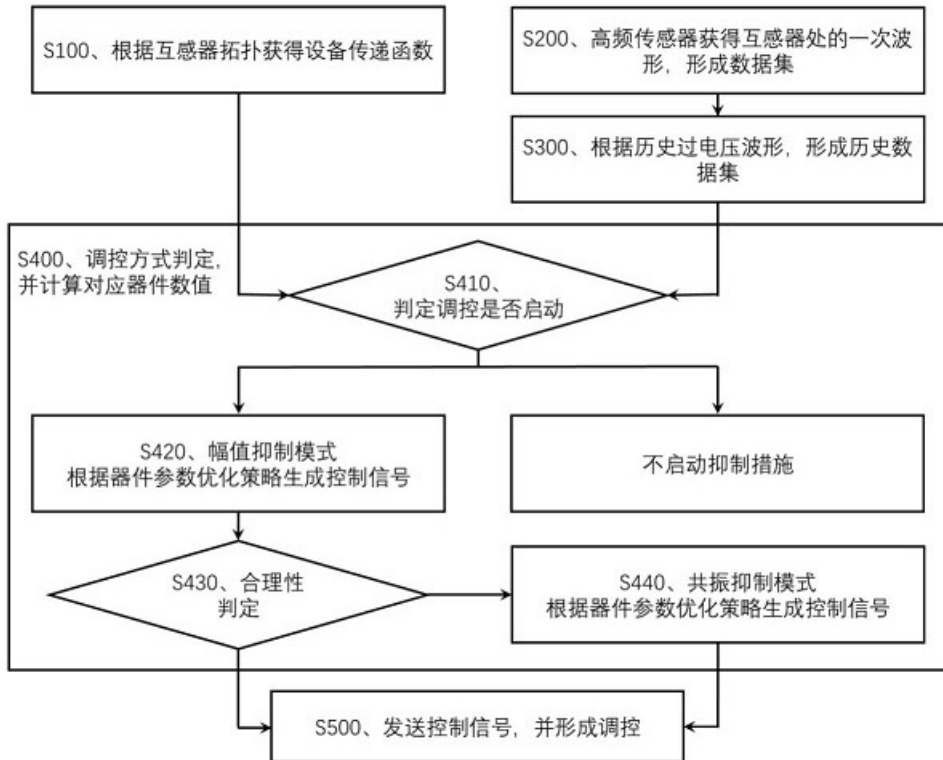


图 2

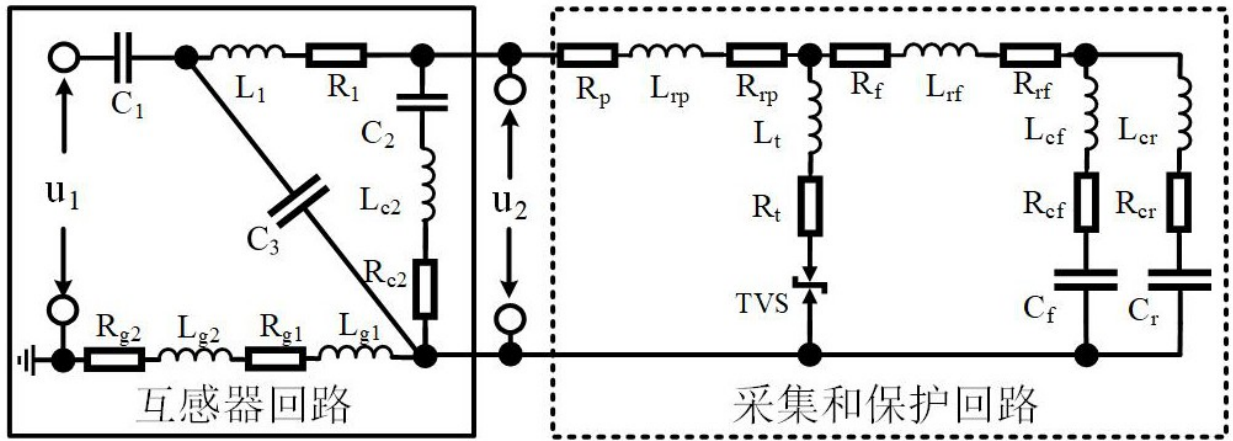


图 3

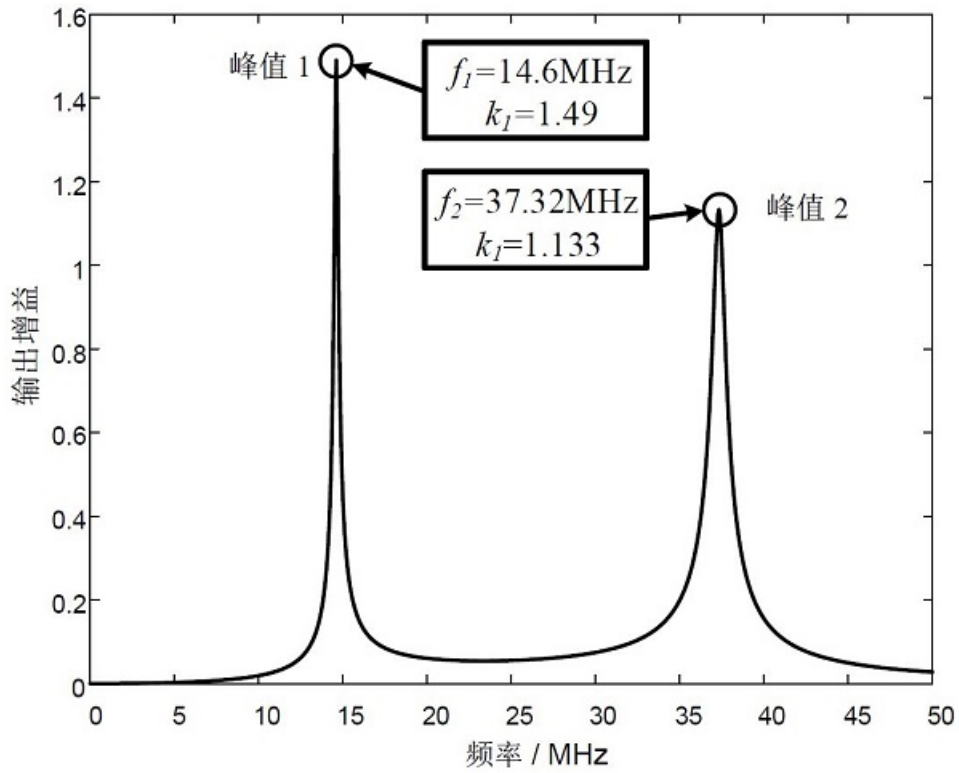


图 4

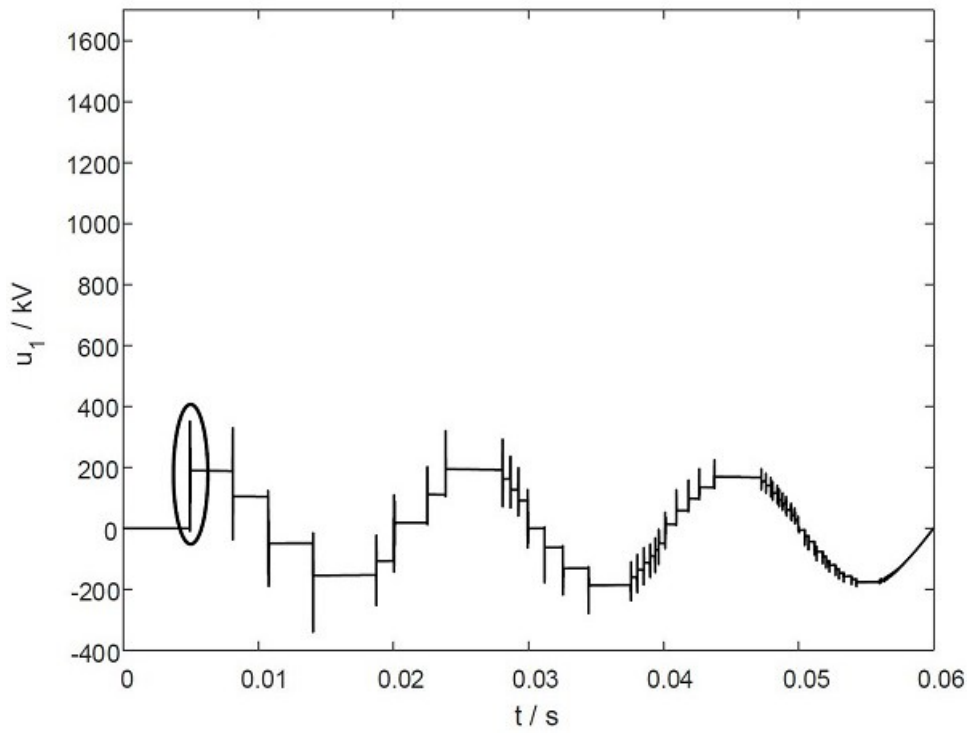


图 5

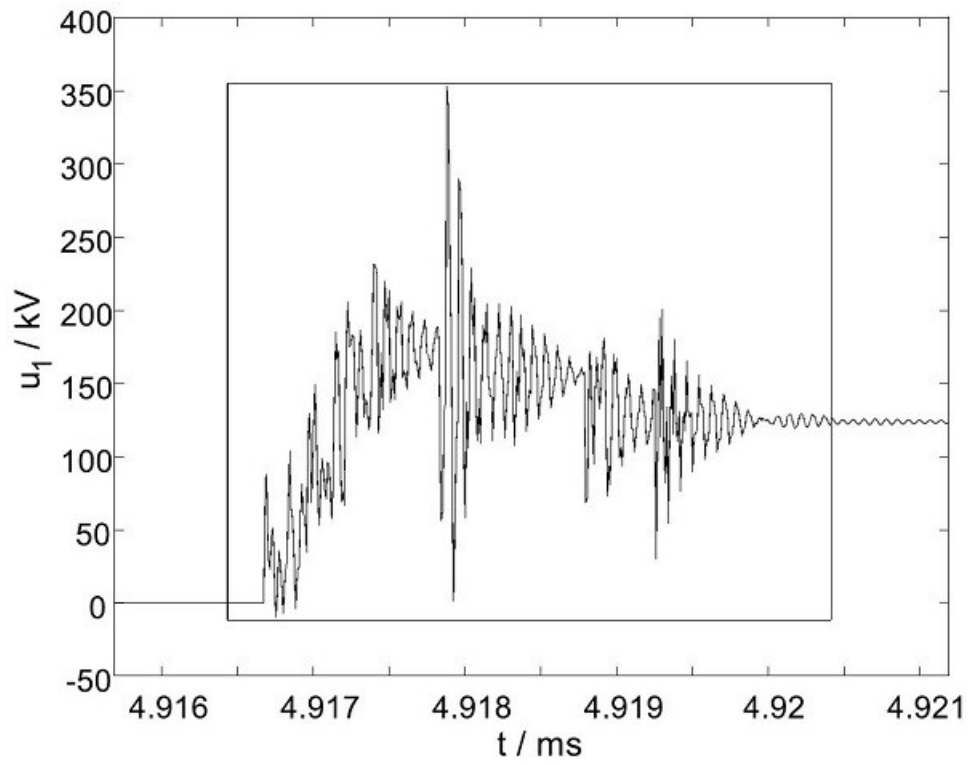


图 6

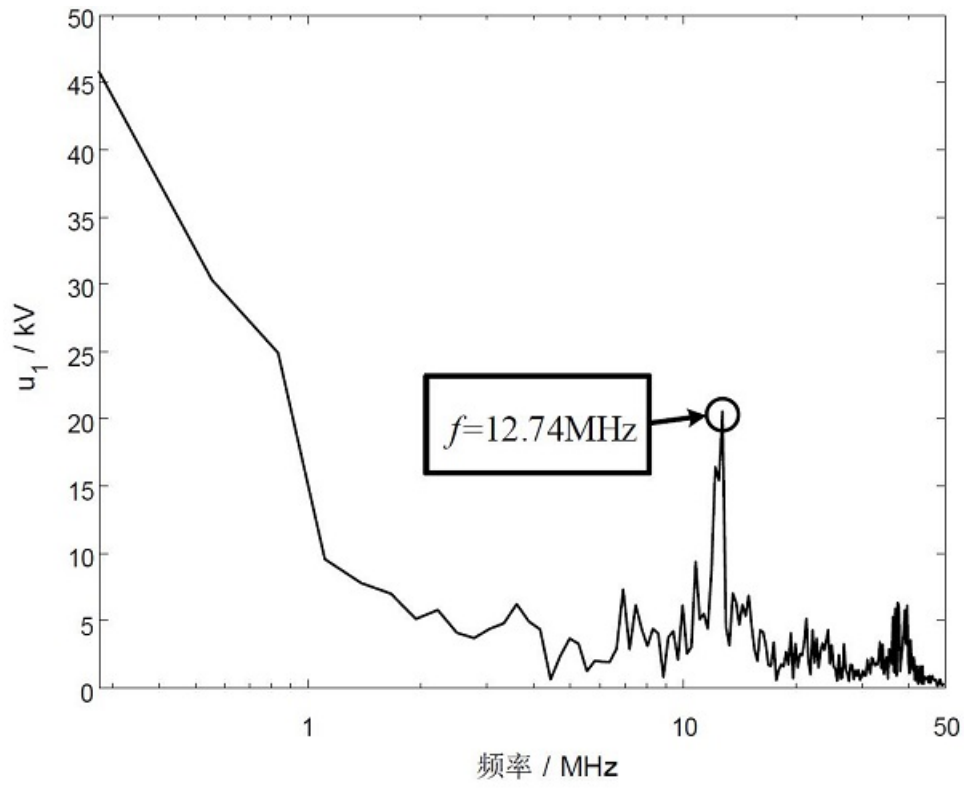


图 7