



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112557732 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 19

(21) 申请号 202011260604.1

(22) 申请日 2020.11.12

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112557732 A

(43) 申请公布日 2021.03.26

(73) 专利权人 中国电力科学研究院有限公司
地址 100192 北京市海淀区清河小营东路
15号

专利权人 中国电力科学研究院有限公司武
汉分院
国家电网有限公司

(72) 发明人 李文婷 龙兆芝 范佳威 胡康敏
刘少波 雷民 周峰 余也凤

(74) 专利代理机构 北京工信联合知识产权代理
有限公司 11266

专利代理人 夏德政

(51) Int.Cl.
G01R 19/00 (2006.01)
G01R 19/04 (2006.01)
G01R 35/00 (2006.01)
G01R 35/02 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 102998645 A, 2013.03.27
CN 110275125 A, 2019.09.24
CN 111025211 A, 2020.04.17
CN 201589808 U, 2010.09.22
JP 3208336 U, 2017.01.05

审查员 郑勇龙

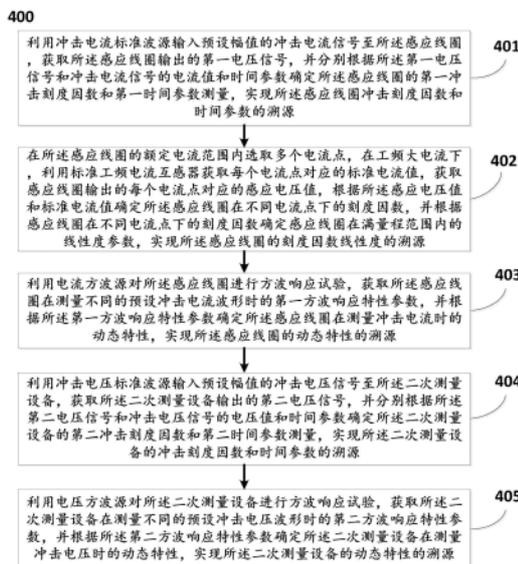
权利要求书2页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法及系统,将感应线圈和二次测量设备分开进行刻度因数的溯源,使得溯源更具操作性,溯源过程包括:利用冲击电流标准波源实现感应线圈冲击刻度因数和时



1. 一种基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法,其特征在于,所述冲击电流测量装置包括:感应线圈和二次测量设备,所述方法包括:

利用冲击电流标准波源输入预设幅值的冲击电流信号至所述感应线圈,获取所述感应线圈输出的第一电压信号,并分别根据所述第一电压信号和冲击电流信号的电流值和时间参数确定所述感应线圈的第一冲击刻度因数和第一时间参数测量,实现所述感应线圈冲击刻度因数和时间参数的溯源;

在所述感应线圈的额定电流范围内选取多个电流点,在工频大电流下,利用标准工频电流互感器获取每个电流点对应的标准电流值,获取感应线圈输出的每个电流点对应的感应电压值,根据所述感应电压值和标准电流值确定所述感应线圈在不同电流点下的刻度因数,并根据感应线圈在不同电流点下的刻度因数确定感应线圈在满量程范围内的线性度参数,实现所述感应线圈的刻度因数线性度的溯源;

利用电流方波源对所述感应线圈进行方波响应试验,获取所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的第一方波响应特性参数,并根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源;

利用冲击电压标准波源输入预设幅值的冲击电压信号至所述二次测量设备,获取所述二次测量设备输出的第二电压信号,并分别根据所述第二电压信号和冲击电压信号的电压值和时间参数确定所述二次测量设备的第二冲击刻度因数和第二时间参数测量,实现所述二次测量设备的冲击刻度因数和时间参数的溯源;

利用电压方波源对所述二次测量设备进行方波响应试验,获取所述二次测量设备在测量不同的预设冲击电压波形时的第二方波响应特性参数,并根据所述第二方波响应特性参数确定所述二次测量设备在测量冲击电压时的动态特性,实现所述二次测量设备的动态特性的溯源。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源,包括:

利用积分电路对所述第一方波响应特性参数与不同的待测冲击电流波形对应的波形参数进行卷积积分,以确定所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的峰值和时间参数测量,并根据所述峰值和时间参数测量确定所述感应线圈的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述冲击电流标准波源和冲击电压标准波源输出波形的波形参数均包括:(4/10) μ s、(8/20) μ s,且峰值测量不确定度小于0.2%,时间参数不确定度 $<0.5\%$;冲击电压标准波源和冲击电流标准波源的量值可溯源至国家电阻、电容标准以及直流电压国家标准。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述电流方波源的上升时间小于5ns,脉宽大于500ns,平顶部分下降程度小于2%。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

设置二次测量设备的电源通过UPS电源或隔离电源提供,并在隔离电源的后端设置滤波器。

6. 一种基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源系统,其特征在于,所述冲击电流测量装置包括:感应线圈和二次测量设备,所述系统包括:

感应线圈的冲击刻度因数溯源单元,用于利用冲击电流标准波源输入预设幅值的冲击电流信号至所述感应线圈,获取所述感应线圈输出的第一电压信号,并分别根据所述第一电压信号和冲击电流信号的电流值和时间参数确定所述感应线圈的第一冲击刻度因数和第一时间参数测量,实现所述感应线圈冲击刻度因数和时间参数的溯源;

感应线圈的刻度因数线性度溯源单元,在所述感应线圈的额定电流范围内选取多个电流点,在工频大电流下,利用标准工频电流互感器获取每个电流点对应的标准电流值,获取感应线圈输出的每个电流点对应的感应电压值,根据所述感应电压值和标准电流值确定所述感应线圈在不同电流点下的刻度因数,并根据感应线圈在不同电流点下的刻度因数确定感应线圈在满量程范围内的线性度参数,实现所述感应线圈的刻度因数线性度的溯源;

感应线圈的动态特性溯源单元,用于利用电流方波源对所述感应线圈进行方波响应试验,获取所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的第一方波响应特性参数,并根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源;

二次测量设备的冲击刻度因数溯源单元,用于利用冲击电压标准波源输入预设幅值的冲击电压信号至所述二次测量设备,获取所述二次测量设备输出的第二电压信号,并分别根据所述第二电压信号和冲击电压信号的电压值和时间参数确定所述二次测量设备的第二冲击刻度因数和第二时间参数测量,实现所述二次测量设备的冲击刻度因数和时间参数的溯源;

二次测量设备的动态特性溯源单元,用于利用电压方波源对所述二次测量设备进行方波响应试验,获取所述二次测量设备在测量不同的预设冲击电压波形时的第二方波响应特性参数,并根据所述第二方波响应特性参数确定所述二次测量设备在测量冲击电压时的动态特性,实现所述二次测量设备的动态特性的溯源。

7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述感应线圈的动态特性溯源单元,根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源,包括:

利用积分电路对所述第一方波响应特性参数与不同的待测冲击电流波形对应的波形参数进行卷积积分,以确定所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的峰值和时间参数测量,并根据所述峰值和时间参数测量确定所述感应线圈的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源。

8. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述冲击电流标准波源和冲击电压标准波源输出波形的波形参数均包括:(4/10)us、(8/20)us,且峰值测量不确定度小于0.2%,时间参数不确定度 $<0.5\%$;冲击电压标准波源和冲击电流标准波源的量值可溯源至国家电阻、电容标准以及直流电压国家标准。

9. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述电流方波源的上升时间小于5ns,脉宽大于500ns,平顶部分下降程度小于2%。

10. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述系统还包括:

设置二次测量设备的电源通过UPS电源或隔离电源提供,并在隔离电源的后端设置滤波器。

基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及大电流测量技术领域,并且更具体地,涉及一种基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法及系统。

背景技术

[0002] 冲击电流测量与校准技术广泛应用于电力系统防雷及在线监测设备的性能试验中,其测量准确性直接影响电力设备的防雷性能评价结果,关系到电力系统的安全稳定运行。保证冲击电流测量系统测量准确度的唯一方法为量值溯源,认可的测量装置需要定期与标准测量装置进行比对校准。由于缺乏成熟的冲击电流量值溯源方法和理论支撑,导致我国尚未建立冲击电流测量标准,无法有效开展量值传递工作。因此,亟需开展冲击电流溯源方法、标准装置及校准技术研究。

[0003] 图1为典型指数型冲击电流的波形示意图,其中,波前时间为 T_1 , $T_1=1.25 \times T$,半峰值时间为 T_2 ,一般表示成 T_1/T_2 型冲击电流波形,标准雷电冲击电流的时间参数为 $8/20\mu\text{s}$ 。图2为矩形冲击电流的波形示意图,持续时间为 T_d ,总持续时间为 T_t ,一般表示为 T_d/T_t 型冲击电流,比如 $500/700\mu\text{s}$ 。

[0004] 由于冲击电流为暂态电流信号,具有短时性和不可复现性,相较于直流电流和工频电流,接地点、转换装置的连接方式、冲击电流发生器自身的电磁干扰、地电位抬升对测量仪器的影响、分析软件、测量仪器及其转换装置的性能、环境条件等都将影响测量系统的测量水平。因此冲击电流的量值溯源异常艰难,如何对冲击电流测量装置的刻度因数和时间参数溯源至国家标准,准确分离并提取各类影响因素参量并进行合理的评估困难重重。因此我国虽然从20世纪80年代就开始进行冲击电流测量技术的研究,不断探索如何改善冲击电流转换装置的性能,提高冲击电流的测量能力和水平,但依然迟迟未建立冲击电流标准测量装置。目前国际上各国计量院公布的校准能力中,具有冲击电流的峰值和时间参数校准能力的只有德国PTB试验室,该实验室建立了 $20\text{kA}(8/20\mu\text{s})$ 的冲击电流标准测量系统,刻度因数测量不确定度为 5×10^{-3} ($k=2$),时间参数测量不确定度 2×10^{-2} ($k=2$)。

[0005] 冲击电流常用测量装置有分流器及感应线圈。分流器直接串联接入待测电流回路中,分流器具有响应快速的优良特性,但由于存在趋附效应,测量电流幅度及脉宽受限,且测量时需要断开原电流回路接入,现场应用范围受限;感应线圈基于磁感应定理对冲击电流测量,测量时不需直接接入电流回路安装更加便捷,测量幅度范围更宽,在冲击电流测量中应用的更加广泛。如图3所示,为基于感应线圈的冲击电流测量装置的示意图,包括电流转换装置(感应线圈)和二次测量系统[数字记录仪(数字示波器+衰减器)],各参数含义如表1所示。对于冲击电流的量值溯源方法,与冲击电压类似,国际上通行的方法为电流转换装置和二次测量设备分别进行刻度因数和时间的量值溯源。

[0006] 表1参数表

[0007]

IC——感应线圈;	S——线圈外屏蔽;
Rk——匹配电阻;	MC——测量电缆;

H——屏蔽机箱；	M—测量仪器；
F——滤波器；	T——隔离变压器

[0008] 因此,本发明提出了一种适用于感应线圈式冲击电流测量装置的量值溯源方法。

发明内容

[0009] 本发明提出一种基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法及系统,以解决如何对基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值进行溯源的问题。

[0010] 为了解决上述问题,根据本发明的一个方面,提供了一种基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法,所述冲击电流测量装置包括:感应线圈和二次测量设备,所述方法包括:

[0011] 利用冲击电流标准波源输入预设幅值的冲击电流信号至所述感应线圈,获取所述感应线圈输出的第一电压信号,并分别根据所述第一电压信号和冲击电流信号的电流值和时间参数确定所述感应线圈的第一冲击刻度因数和第一时间参数测量,实现所述感应线圈冲击刻度因数和时间参数的溯源;

[0012] 在所述感应线圈的额定电流范围内选取多个电流点,在工频大电流下,利用标准工频电流互感器获取每个电流点对应的标准电流值,获取感应线圈输出的每个电流点对应的感应电压值,根据所述感应电压值和标准电流值确定所述感应线圈在不同电流点下的刻度因数,并根据感应线圈在不同电流点下的刻度因数确定感应线圈在满量程范围内的线性度参数,实现所述感应线圈的刻度因数线性度的溯源;

[0013] 利用电流方波源对所述感应线圈进行方波响应试验,获取所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的第一方波响应特性参数,并根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源;

[0014] 利用冲击电压标准波源输入预设幅值的冲击电压信号至所述二次测量设备,获取所述二次测量设备输出的第二电压信号,并分别根据所述第二电压信号和冲击电压信号的电压值和时间参数确定所述二次测量设备的第二冲击刻度因数和第二时间参数测量,实现所述二次测量设备的冲击刻度因数和时间参数的溯源;

[0015] 利用电压方波源对所述二次测量设备进行方波响应试验,获取所述二次测量设备在测量不同的预设冲击电压波形时的第二方波响应特性参数,并根据所述第二方波响应特性参数确定所述二次测量设备在测量冲击电压时的动态特性,实现所述二次测量设备的动态特性的溯源。

[0016] 优选地,其中所述根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源,包括:

[0017] 利用积分电路对所述第一方波响应波形参数与不同的待测冲击电流波形对应的波形参数进行卷积积分,以确定所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的峰值和时间参数测量,并根据所述峰值和时间参数测量确定所述感应线圈的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源。

[0018] 优选地,其中所述冲击电流标准波源和冲击电压标准波源输出波形的波形参数均包括:(4/10) μ s、(8/20) μ s,且峰值测量不确定度小于0.2%,时间参数不确定度 $<0.5\%$;冲击电压标准波源和冲击电流标准波源的量值可溯源至国家电阻、电容标准以及直流电压国

家标准。

[0019] 优选地,其中所述电流方波源的上升时间小于5ns,脉宽大于500ns,平顶部分下降程度小于2%。

[0020] 优选地,其中所述方法还包括:

[0021] 设置二次测量设备的电源通过UPS电源或隔离电源提供,并在隔离电源的后端设置滤波器。

[0022] 根据本发明的另一个方面,提供了一种基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源系统,所述冲击电流测量装置包括:感应线圈和二次测量设备,所述系统包括:

[0023] 感应线圈的冲击刻度因数溯源单元,用于利用冲击电流标准波源输入预设幅值的冲击电流信号至所述感应线圈,获取所述感应线圈输出的第一电压信号,并分别根据所述第一电压信号和冲击电流信号的电流值和时间参数确定所述感应线圈的第一冲击刻度因数和第一时间参数测量,实现所述感应线圈冲击刻度因数和时间的溯源;

[0024] 感应线圈的刻度因数线性度溯源单元,在所述感应线圈的额定电流范围内选取多个电流点,在工频大电流下,利用标准工频电流互感器获取每个电流点对应的标准电流值,获取感应线圈输出的每个电流点对应的感应电压值,根据所述感应电压值和标准电流值确定所述感应线圈在不同电流点下的刻度因数,并根据感应线圈在不同电流点下的刻度因数确定感应线圈在满量程范围内的线性度参数,实现所述感应线圈的刻度因数线性度的溯源;

[0025] 感应线圈的动态特性溯源单元,用于利用电流方波源对所述感应线圈进行方波响应试验,获取所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的第一方波响应特性参数,并根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源;

[0026] 二次测量设备的冲击刻度因数溯源单元,用于利用冲击电压标准波源输入预设幅值的冲击电压信号至所述二次测量设备,获取所述二次测量设备输出的第二电压信号,并分别根据所述第二电压信号和冲击电压信号的电压值和时间参数确定所述二次测量设备的第二冲击刻度因数和第二时间参数测量,实现所述二次测量设备的冲击刻度因数和时间的溯源;

[0027] 二次测量设备的动态特性溯源单元,用于利用电压方波源对所述二次测量设备进行方波响应试验,获取所述二次测量设备在测量不同的预设冲击电压波形时的第二方波响应特性参数,并根据所述第二方波响应特性参数确定所述二次测量设备在测量冲击电压时的动态特性,实现所述二次测量设备的动态特性的溯源。

[0028] 优选地,其中所述感应线圈的动态特性溯源单元,根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源,包括:

[0029] 利用积分电路对所述第一方波响应波形参数与不同的待测冲击电流波形对应的波形参数进行卷积积分,以确定所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的峰值和时间参数测量,并根据所述峰值和时间参数测量确定所述感应线圈的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源。

[0030] 优选地,其中所述冲击电流标准波源和冲击电压标准波源输出波形的波形参数均

包括： $(4/10)\mu\text{s}$ 、 $(8/20)\mu\text{s}$ ，且峰值测量不确定度小于 0.2% ，时间参数不确定度 $<0.5\%$ ；冲击电压标准波源和冲击电流标准波源的量值可溯源至国家电阻、电容标准以及直流电压国家标准。

[0031] 优选地，其中所述电流方波源的上升时间小于 5ns ，脉宽大于 500ns ，平顶部分下降程度小于 2% 。

[0032] 优选地，其中所述系统还包括：

[0033] 设置二次测量设备的电源通过UPS电源或隔离电源提供，并在隔离电源的后端设置滤波器。

[0034] 本发明提供了一种基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法及系统，所述冲击电流测量装置包括：感应线圈和二次测量设备，整套测量装置的刻度因数为感应线圈的刻度因数与二次测量设备的刻度因数乘积，因此将感应线圈和二次测量设备分开进行刻度因数的溯源，该方法使得溯源更具操作性，溯源过程包括：利用冲击电流标准波源实现感应线圈冲击刻度因数和参数时间的溯源；利用标准工频电流互感器实现感应线圈的刻度因数线性度的溯源；利用电流方波源实现感应线圈的动态特性的溯源；利用冲击电压标准波源实现二次测量设备的冲击刻度因数和参数时间的溯源；利用电压方波源实现二次测量设备的动态特性的溯源。本发明给出了冲击电流量值溯源的完整技术链条，为建立冲击电流标准测量系统奠定基础，同时为解决电力系统及工业生产中的冲击电流测量装置校准试验提供技术方法。

附图说明

[0035] 通过参考下面的附图，可以更为完整地理解本发明的示例性实施方式：

[0036] 图1为指数型冲击电流的波形示意图；

[0037] 图2为矩形冲击电流的波形示意图；

[0038] 图3为基于感应线圈的冲击电流测量装置的示意图；

[0039] 图4为根据本发明实施方式的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法400的流程图；

[0040] 图5为根据本发明实施方式的基于感应线圈的冲击电流标准测量装置的示意图；

[0041] 图6为根据本发明实施方式的基于感应线圈的冲击电流标准测量装置的量值溯源框图；

[0042] 图7为根据本发明实施方式的感应线圈方波响应试验的原理图；

[0043] 图8为根据本发明实施方式的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源系统800的结构示意图。

具体实施方式

[0044] 现在参考附图介绍本发明的示例性实施方式，然而，本发明可以用许多不同的形式来实施，并且不局限于此处描述的实施例，提供这些实施例是为了详尽地且完全地公开本发明，并且向所属技术领域的技术人员充分传达本发明的范围。对于表示在附图中的示例性实施方式中的术语并不是对本发明的限定。在附图中，相同的单元/元件使用相同的附图标记。

[0045] 除非另有说明,此处使用的术语(包括科技术语)对所属技术领域的技术人员具有通常的理解含义。另外,可以理解的是,以通常使用的词典限定的术语,应当被理解为与其相关领域的语境具有一致的含义,而不应该被理解为理想化的或过于正式的意义。

[0046] 图4为根据本发明实施方式的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法400的流程图。如图4所示,本发明实施方式提供的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法,将感应线圈和二次测量设备分开进行刻度因数的溯源,该方法使得溯源更具操作性,溯源过程包括:利用冲击电流标准波源实现感应线圈冲击刻度因数和时间参数的溯源;利用标准工频电流互感器实现感应线圈的刻度因数线性度的溯源;利用电流方波源实现感应线圈的动态特性的溯源;利用冲击电压标准波源实现二次测量设备的冲击刻度因数和时间参数的溯源;利用电压方波源实现二次测量设备的动态特性的溯源。本发明给出了冲击电流量值溯源的完整技术链条,为建立冲击电流标准测量系统奠定基础,同时为解决电力系统及工业生产中的冲击电流测量装置校准试验提供技术方法。本发明实施方式提供的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法400,从步骤401处开始,所述冲击电流测量装置包括:感应线圈和二次测量设备,在步骤401利用冲击电流标准波源输入预设幅值的冲击电流信号至所述感应线圈,获取所述感应线圈输出的第一电压信号,并分别根据所述第一电压信号和冲击电流信号的电流值和时间参数确定所述感应线圈的第一冲击刻度因数和第一时间参数测量,实现所述感应线圈冲击刻度因数和时间参数的溯源。

[0047] 基于感应线圈的冲击电流测量装置包括一次测量端的感应测量线圈以及二次测量端的数据采集设备,感应线圈连接在冲击大电流发生回路中,电流回路通过大电流时,其测量信号通过光纤或同轴电缆传输给二次侧测量设备。如图5所示,整套测量装置的刻度因数为感应测量线圈的刻度因数与二次测量设备的刻度因数的乘积,即 $y(t) = N_1 \cdot N_2 \cdot x(t)$ 。因此,在本发明中两部分刻度因数分开进行量值溯源。

[0048] 图6为根据本发明实施方式的基于感应线圈的冲击电流标准测量装置的量值溯源框图。其中,溯源过程中所用到的所有试验设备均可溯源至国家的元器件或直流电压及时间参数标准、保证感应线圈测量装置的量值通过这些溯源用试验设备间接溯源至国家标准。

[0049] 在本发明的实施方式中,感应线圈的刻度因数的溯源按照电流的幅度大小分为两部分进行溯源。其中,小电流下的峰值刻度因数及时间参数可溯源至冲击电流标准波源,利用标准冲击电流波源输入波形至感应线圈,感应线圈测量该电流信号,并输出相应的感应电压信号,计算输出的感应电压信号与输入电流信号的比值,即为感应线圈在小电流下的刻度因数;大电流下时在工频电流下进行刻度因数的标定,获得感应线圈在大电流下的冲击刻度因数线性度,从而实现感应线圈在电流满量程内的溯源。通过计算输出的感应电压信号的波形参数和输入电流信号的波形参数的差值即可得到小电流下的时间参数测量误差。

[0050] 在本发明中,感应线圈在小电流下的冲击电流刻度因数通过冲击电流标准波源标定获得,冲击电流标准波源可输出峰值参数及时间参数准确的电流波形,其输出波形参数与标准波源形成回路中电阻、电容、电感参数及回路充电电压量值直接相关,通过准确控制冲击电流标准波源的回路元器件参数及充电电压值,可保证冲击电流标准波源输出准确峰值参数及时间参数的冲击电流标准波形。试验所用的标准波源的回路元器件参数准确已

知,其各参数已通过与国家标准比对而获得准确量值,感应线圈的刻度因数及时间参数量值通过冲击电流标准波源间接溯源可至国家电阻、电容、电感元器件及直流电压的国家标准。

[0051] 在步骤402,在所述感应线圈的额定电流范围内选取多个电流点,在工频大电流下,利用标准工频电流互感器获取每个电流点对应的标准电流值,获取感应线圈输出的每个电流点对应的感应电压值,根据所述感应电压值和标准电流值确定所述感应线圈在不同电流点下的刻度因数,并根据感应线圈在不同电流点下的刻度因数确定感应线圈在满量程范围内的线性度参数,实现所述感应线圈的刻度因数线性度的溯源。

[0052] 在本发明的实施方式中,为了获得感应线圈在不同幅值电流下的刻度因数,在大电流下需要对其进行线性度试验。在感应线圈的额定电流范围内选取多个电流点,并在每个电流点下分别对感应线圈进行刻度因数标定。其中,标准测量设备为标准工频电流互感器,标准工频电流互感器测量的工频电流值为标准电流值,利用感应线圈测量工频电流时输出的感应电压值除以标准电流值,即可得到感应线圈在额定大电流范围内的刻度因数线性度,标准工频电流互感器测量值可溯源至国家工频电流比例标准。通过计算每个电流点对应的刻度因数的平均值和最大的刻度因数的偏差,即可得到感应线圈的线性度参数。

[0053] 在步骤403,利用电流方波源对所述感应线圈进行方波响应试验,获取所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的第一方波响应特性参数,并根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源。

[0054] 优选地,其中所述根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源,包括:

[0055] 利用积分电路对所述第一方波响应波形参数与不同的待测冲击电流波形对应的波形参数进行卷积积分,以确定所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的峰值和时间参数测量,并根据所述峰值和时间参数测量确定所述感应线圈的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源。

[0056] 由于冲击电流的波形参数多种多样,感应线圈测量不同波形参数冲击电流波形时,其刻度因数可能会发生变化,因此,为了获得感应线圈测量不同时间参数的冲击电流波形时其刻度因数的变化,本发明采用方波响应试验以获得感应线圈在不同时间参数下的刻度因数变化值。本发明向感应线圈输入方波电流波形,获取感应线圈实际测量后输出的方波响应波形图,通过感应线圈输出的方波响应波形图的方波响应波形参数与不同的输入的待测冲击电流波形的波形参数进行卷积积分,获得感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的峰值刻度因数及时间参数误差,从而获得感应线圈测量冲击电流时的动态特性。溯源用的电流方波源可溯源至国家直流电压标准及国家时间参数基准。

[0057] 在步骤404,利用冲击电压标准波源输入预设幅值的冲击电压信号至所述二次测量设备,获取所述二次测量设备输出的第二电压信号,并分别根据所述第二电压信号和冲击电压信号的电压值和时间参数确定所述二次测量设备的第二冲击刻度因数和第二时间参数测量,实现所述二次测量设备的冲击刻度因数和时间参数的溯源。

[0058] 在本发明的实施方式中,二次测量设备的冲击刻度因数及时间参数可溯源至冲击电压标准波源。利用冲击电压标准波源输入波形至二次测量设备,并读取二次测量设备的

输出值,计算二次测量设备的输出值与标准电压波源的输入值作为二次测量设备的峰值刻度因数,计算输出波形的波形时间参数与冲击电压标准波源输入的波形时间参数的差值作为二次测量设备的时间参数测量误差。

[0059] 感应线圈配套的二次测量设备的冲击刻度因数溯源至冲击电压标准波源,冲击电压标准波源的输出电压波形参数与其回路电阻、电容及充电电压直接相关、其回路参数均已溯源至至国家电阻、电容标准以及直流电压国家标准,二次测量设备的刻度因数通过冲击电压标准波源间接溯源至国家电阻、电容标准及直流电压国家标准。二次测量设备的上升时间溯源至电压方波源,试验所用电压方波源的量值也溯源至国家直流电压及时间参数基准。

[0060] 在步骤405,利用电压方波源对所述二次测量设备进行方波响应试验,获取所述二次测量设备在测量不同的预设冲击电压波形时的第二方波响应特性参数,并根据所述第二方波响应特性参数确定所述二次测量设备在测量冲击电压时的动态特性,实现所述二次测量设备的动态特性的溯源。

[0061] 优选地,其中所述冲击电流标准波源和冲击电压标准波源输出波形的波形参数均包括:(4/10) μ s、(8/20) μ s,且峰值测量不确定度小于0.2%,时间参数不确定度 $<0.5\%$;冲击电压标准波源和冲击电流标准波源的量值可溯源至国家电阻、电容标准以及直流电压国家标准。

[0062] 优选地,其中所述电流方波源的上升时间小于5ns,脉宽大于500ns,平顶部分下降程度小于2%。

[0063] 优选地,其中所述方法还包括:

[0064] 设置二次测量设备的电源通过UPS电源或隔离电源提供,并在隔离电源的后端设置滤波器。

[0065] 在本发明的实施方式中,为了保证基于感应线圈的冲击电流测量装置量值溯源的有效性,溯源过程中所使用的试验装置满足以下要求:

[0066] a) 标准电流波源:为可输出准确峰值参数的电流波源,其波形参数为(4/10) μ s、(8/20) μ s,峰值测量不确定度小于0.2%,时间参数不确定度 $<0.5\%$,其量值可溯源至国家电阻、电容标准以及直流电压国家标准。

[0067] b) 标准电压源:为可输出准确峰值参数的电压波源,其波形参数为(4/10) μ s、(8/20) μ s,峰值测量不确定度小于0.1%,时间参数不确定度 $<0.5\%$ 。冲击电压标准波源的波形参数为标准雷电流波形参数,冲击电压标准波源由参数准确已知的电容、电阻、电感器件组成,采用高精度直流电压源进行供电,冲击电压标准波源的输出参量也可溯源至国家直流电压及元器件的标准,其电压峰值应能覆盖冲击电流测量二次仪器的满量程电压值。

[0068] c) 方波电流源:用于对冲击电流测量装置进行动态特性,其上升时间小于5ns,脉宽大于500ns,平顶部分下降程度小于2%。

[0069] d) 与感应线圈配套的积分电路应有良好的频率特性,在冲击电流波形所覆盖的频率范围内,其幅频特性应该是平坦的,测量时为避免由于地点位抬升及电磁干扰对二次测量仪器的测量准确性造成影响,二次测量设备的电源应通过UPS或隔离电源提供,同时为进一步保证电源的稳定性,在隔离电源的后端还加入滤波器,进一步保证供电电源的稳定性及单一性。

[0070] 在本发明中,影响冲击电流测量准确度的影响因素包括线性度、短时稳定性、长期稳定性、动态特性、邻近回路电流影响、环境条件等。可根据冲击电流测量装置特性要求进行测量,通过试验结果计算各影响因素引入的不确定度分量。

[0071] 以下具体举例说明本发明的实施方式

[0072] 基于感应线圈的冲击电流测量装置量值溯源步骤流程,分两个部分进行:

[0073] 1. 感应线圈量值溯源

[0074] 1.1 感应线圈的冲击刻度因数的标定

[0075] 采用冲击电流标准波源对感应线圈的冲击刻度因数及时间参数进行校准,将感应线圈穿过冲击电流标准波源的输出电流导体回路中,控制冲击电流标准波源输出指定电流值的电流波形,感应线圈测量变化的冲击电流值,从而感应输出电压信号,该电压信号通过同轴电缆输入至数字记录仪或数字示波器中,若校准时冲击电流标准波源的波形参数为:峰值 I_n 及时间参数 T_{1n} 及 T_{2n} ,记录感应线圈输出的峰值电流 U_0 ,波前时间 T_{10} 及波尾时间值 T_{20} ,利用以上参数计算感应线圈的刻度因数及时间参数误差,包括:1) 感应线圈实测的刻度因数的计算方法: $K_1 = U_0 / I_n$; 2) 感应线圈的时间参数测量误差计算方法: $\Delta T_1 = (T_{10} - T_{1n}) / T_{1n}$, $\Delta T_2 = (T_{20} - T_{2n}) / T_{2n}$ 。

[0076] 1.2 方波响应试验

[0077] 采用方波电流源对感应线圈进行方波响应试验,试验时,将感应线圈穿心连接进入方波电流形成回路中,试验原理图如图7所示。试验时,触发方波电流形成回路开关,在电流回路内会形成上升时间小于5ns的方波电流波形,感应线圈的输出波形通过同轴电缆输入到示波器中,在示波器上可以直接观测感应线圈的方波响应波形图,对方波响应波形图进行分析计算,可以获得感应线圈的方波响应特性参数,包括:上升时间 T_r 、稳定时间 T_n ,试验响应时间 T_x ,过冲参数 β 。根据方波波响应的波形,与感应线圈的待测波形(雷电流波形)进行卷积积分,通过卷积积分,可利用公式(1)计算感应线圈测量输入电流 $I_{in}(t)$ 时的实际输出电流波形 $I_{out}(t)$,包括:

$$[0078] \quad I_{out}(t) = \int_0^t I'_{in}(\tau)g(t-\tau)d\tau \quad (1)$$

[0079] 其中, $I_{out}(t)$ 为输出电流; $I'_{in}(t)$ 为输入电流的一阶导数; $g(t)$ 为单位方波响应。

[0080] 若待测雷电流波形的波形表达式为 $I_{in}(t) = A(e^{-at}) - e^{-bt}$,则对于指定电流波形,该电流表达式中的A、a及b值是确定的。通过比较 $I_{out}(t)$ 和 $I_{in}(t)$,即可获得感应线圈的动态特性参数,依据该动态特性参数可以计算由动态特性引入的不确定度。

[0081] 1.3 线性度试验

[0082] 在工频大电流下,感应线圈的额定电流范围内,对感应线圈进行线性度试验。若感应线圈的额定电流为100kA,则选取20kA、40kA、60kA、80kA及100kA五个电流点,采用标准工频电流互感器作为标准电流测量设备,对感应线圈在以上5个电流点下的刻度因数进行校准,获得感应线圈的线性度试验参数,若以上5个电流点下,罗氏线圈的刻度因数分别为 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 ,其平均刻度因数为 $K_0 = (K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5) / 5$, $K_1 \sim K_5$ 间与平均刻度因数偏差最大的值为 K_x ,则 K_x 与平均值间的偏差 $(K_x - K_0) / K_0$ 为感应线圈的线性度参数。

[0083] 2. 二次测量设备的量值溯源

[0084] 感应线圈测量冲击电流时,是将待测的大电流信号感应为冲击电压信号,通过同轴电缆传输至数字记录仪。因此,对于二次测量设备,选用的溯源用标准波源为电压标准波源,其波形参数与冲击电流波形时间参数保持一致,本方案中所采用的冲击电压标准波源时间参数包括(4/10) μs 和(8/20) μs 两种,峰值电压为800V。

[0085] 2.1冲击刻度因数及时间参数误差的标定

[0086] 采用1000V冲击电压标准波源,对数字记录仪在其量程范围内的各电压档位进行刻度因数及时间参数的校准,冲击电压标准波源的输出端通过1m长,阻抗为50 Ω 的同轴电缆输入至数字记录仪输入端,在数字记录仪配套软件中设置好待测波形参数的峰值,及波形时间参数范围。

[0087] 数字记录仪额定电压为1000V,试验时,采用冲击电压标准波源输出200V、400V、600V、800V、1000V,五种电压的标准波形,正负极性下,每个电压点重复测量10次,记录测量波形,计算每个电压点下数字记录仪测量波形参数的平均值 U_p 、 T_1 、 T_2 ,若冲击电压标准波源实际输出电压值及时间参数为 U_0 、 T_{1n} 及 T_{2n} 。

[0088] 其中,数字记录仪实测的刻度因数值的计算方法为: $K_1=U_0 \times K_0/U_p$;数字记录仪时间参数测量误差的计算方法为: $\Delta T_1=(T_1-T_{1n})/T_{1n}$, $\Delta T_2=(T_2-T_{2n})/T_{2n}$ 。

[0089] 2.2动态特性试验

[0090] 采用电压方波源,对感应线圈配套的二次测量设备进行动态试验。电压方波源采用下降式方波电压源,电压方波源的输出电压范围应在数字记录仪额定电压测量范围内,重点记录数字记录仪方波响应波形的上升时间 T_r 及稳定时间 T_N ,根据动态特性试验结果,确定二次测量设备的性能参数是否满足测量要求。

[0091] 图8为根据本发明实施方式的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源系统800的结构示意图。如图8所示,本发明实施方式提供的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源系统800,包括:感应线圈的冲击刻度因数溯源单元801、感应线圈的工频刻度因数溯源单元802、感应线圈的动态特性溯源单元803、二次测量设备的冲击刻度因数溯源单元804和二次测量设备的动态特性溯源单元805。所述冲击电流测量装置包括:感应线圈和二次测量设备。

[0092] 优选地,所述感应线圈的冲击刻度因数溯源单元801,用于利用冲击电流标准波源输入预设幅值的冲击电流信号至所述感应线圈,获取所述感应线圈输出的第一电压信号,并分别根据所述第一电压信号和冲击电流信号的电流值和时间参数确定所述感应线圈的第一冲击刻度因数和第一时间参数测量,实现所述感应线圈冲击刻度因数和时间参数的溯源。

[0093] 优选地,所述感应线圈的刻度因数线性度溯源单元802,用于在所述感应线圈的额定电流范围内选取多个电流点,在工频大电流下,利用标准工频电流互感器获取每个电流点对应的标准电流值,获取感应线圈输出的每个电流点对应的感应电压值,根据所述感应电压值和标准电流值确定所述感应线圈在不同电流点下的刻度因数,并根据感应线圈在不同电流点下的刻度因数确定感应线圈在满量程范围内的线性度参数,实现所述感应线圈的刻度因数线性度的溯源。

[0094] 优选地,所述感应线圈的动态特性溯源单元803,用于利用电流方波源对所述感应线圈进行方波响应试验,获取所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的第一方波

响应特性参数,并根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源。

[0095] 优选地,其中所述感应线圈的动态特性溯源单元803,根据所述第一方波响应特性参数确定所述感应线圈在测量冲击电流时的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源,包括:

[0096] 利用积分电路对所述第一方波响应波形参数与不同的待测冲击电流波形对应的波形参数进行卷积积分,以确定所述感应线圈在测量不同的预设冲击电流波形时的峰值和时间参数测量,并根据所述峰值和时间参数测量确定所述感应线圈的动态特性,实现所述感应线圈的动态特性的溯源。

[0097] 优选地,其中所述电流方波源的上升时间小于5ns,脉宽大于500ns,平顶部分下降程度小于2%。

[0098] 优选地,所述二次测量设备的冲击刻度因数溯源单元804,用于利用冲击电压标准波源输入预设幅值的冲击电压信号至所述二次测量设备,获取所述二次测量设备输出的第二电压信号,并分别根据所述第二电压信号和冲击电压信号的电压值和时间参数确定所述二次测量设备的第二冲击刻度因数和第二时间参数测量,实现所述二次测量设备的冲击刻度因数和时间参数的溯源。

[0099] 优选地,所述二次测量设备的动态特性溯源单元805,用于利用电压方波源对所述二次测量设备进行方波响应试验,获取所述二次测量设备在测量不同的预设冲击电压波形时的第二方波响应特性参数,并根据所述第二方波响应特性参数确定所述二次测量设备在测量冲击电压时的动态特性,实现所述二次测量设备的动态特性的溯源。

[0100] 优选地,其中所述冲击电流标准波源和冲击电压标准波源输出波形的波形参数均包括:(4/10)us、(8/20)us,且峰值测量不确定度小于0.2%,时间参数不确定度 $<0.5\%$;冲击电压标准波源和冲击电流标准波源的量值可溯源至国家电阻、电容标准以及直流电压国家标准。

[0101] 优选地,其中所述系统还包括:

[0102] 设置二次测量设备的电源通过UPS电源或隔离电源提供,并在隔离电源的后端设置滤波器。

[0103] 本发明的实施例的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源系统800与本发明的另一个实施例的基于感应线圈的冲击电流测量装置的量值溯源方法400相对应,在此不再赘述。

[0104] 已经通过参考少量实施方式描述了本发明。然而,本领域技术人员所公知的,正如附带的专利权利要求所限定的,除了本发明以上公开的其他的实施例等同地落在本发明的范围内。

[0105] 通常地,在权利要求中使用的所有术语都根据他们在技术领域的通常含义被解释,除非在其中被另外明确地定义。所有的参考“一个/所述/该[装置、组件等]”都被开放地解释为所述装置、组件等中的至少一个实例,除非另外明确地说明。这里公开的任何方法的步骤都没必要以公开的准确的顺序运行,除非明确地说明。

[0106] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实

施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0107] 本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0108] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0109] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0110] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

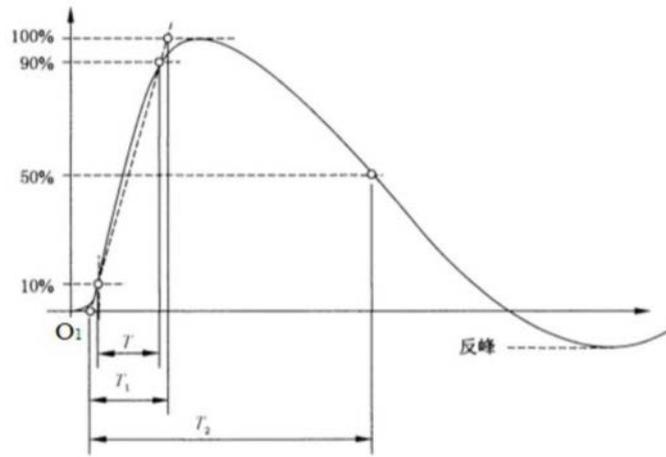


图1

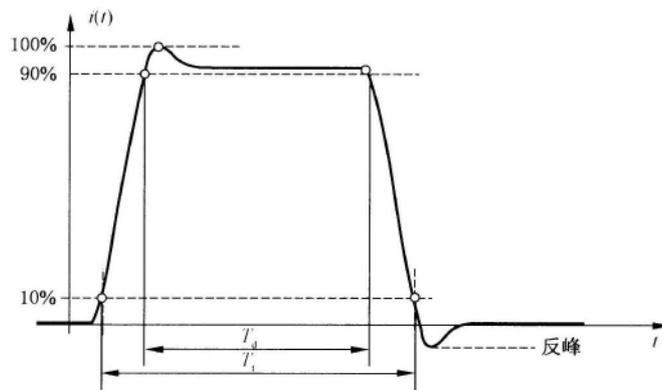


图2

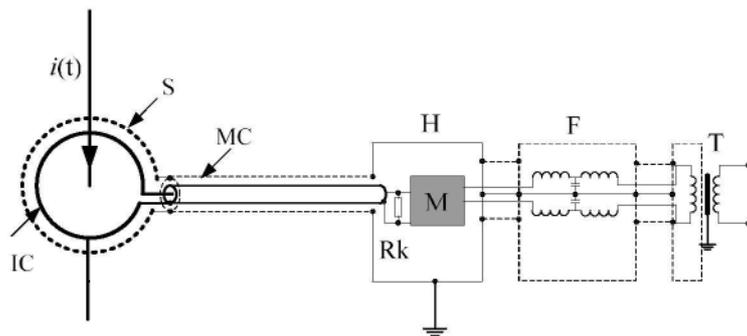


图3

400

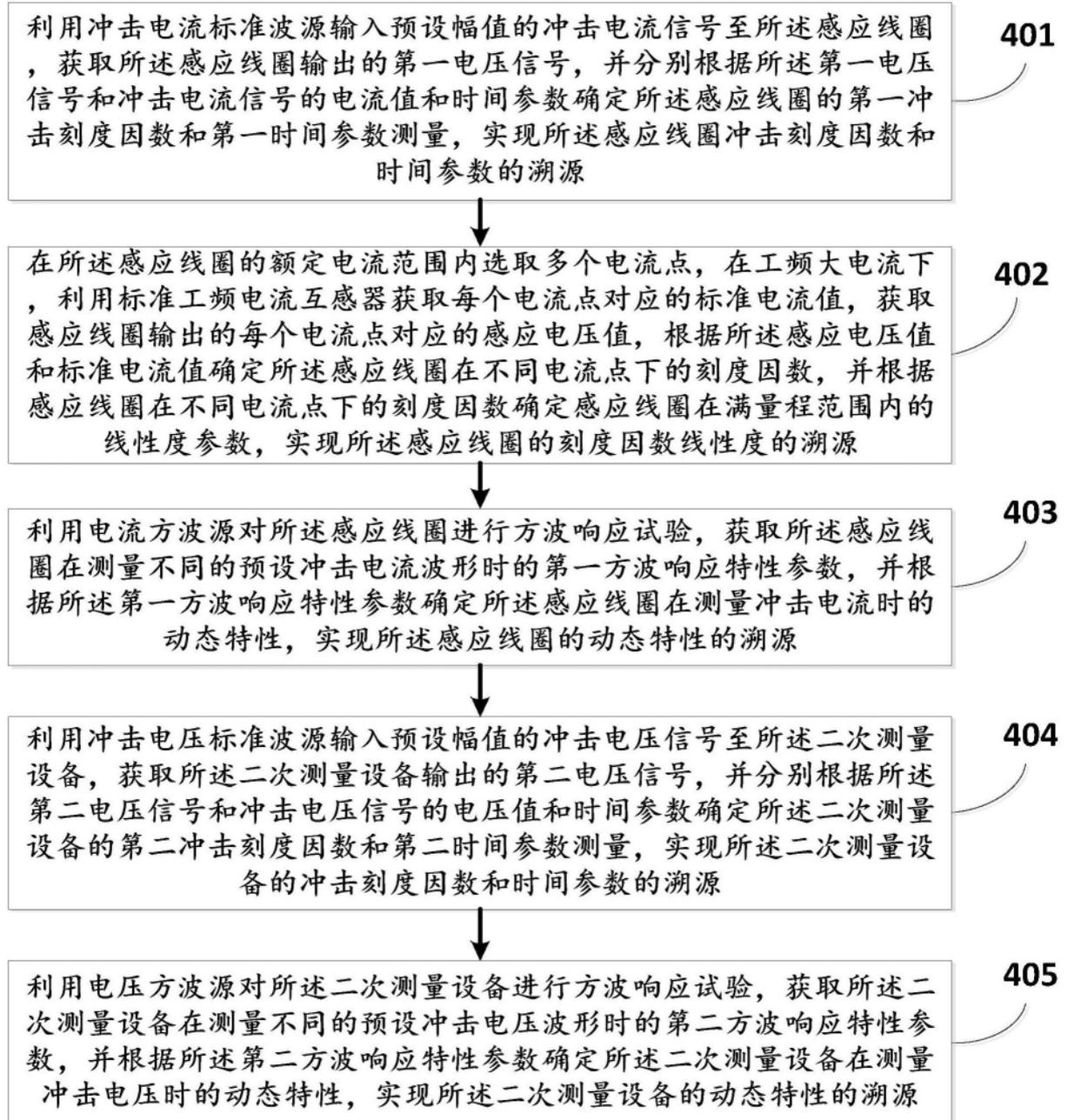


图4

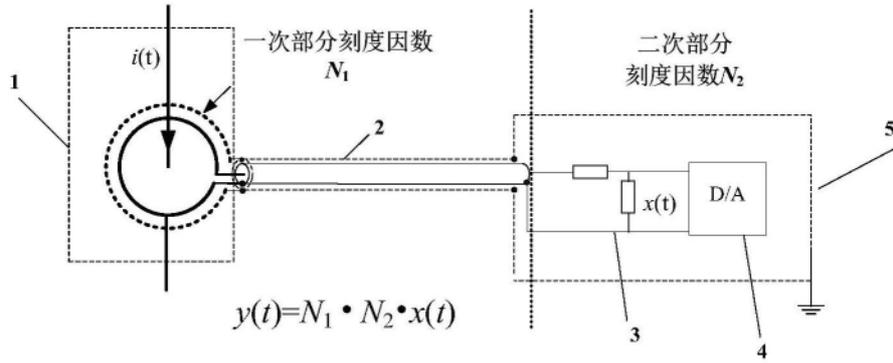


图5

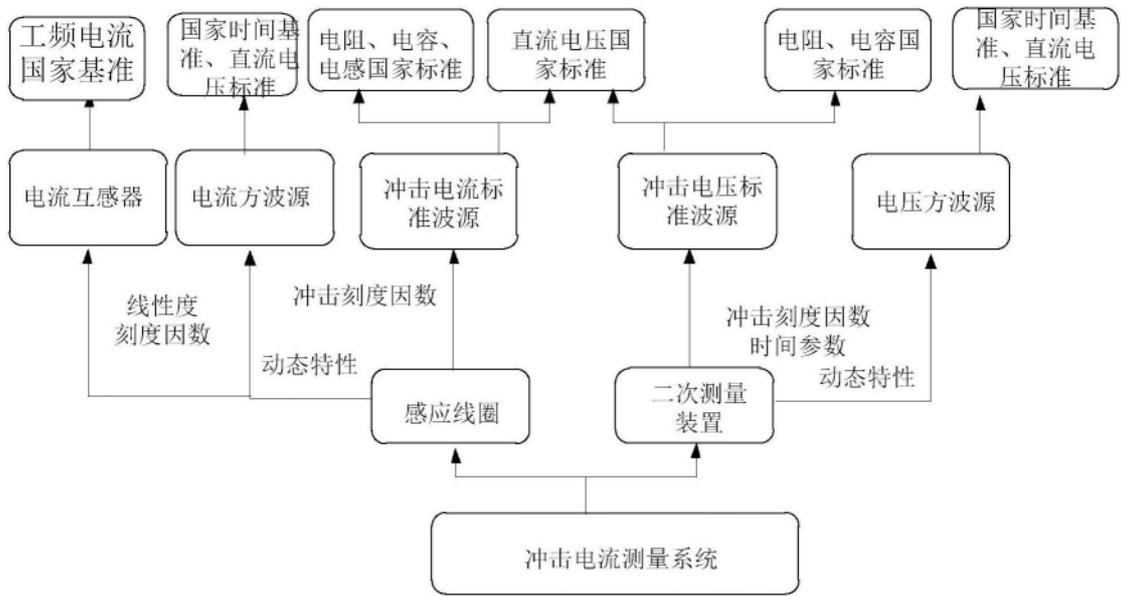


图6

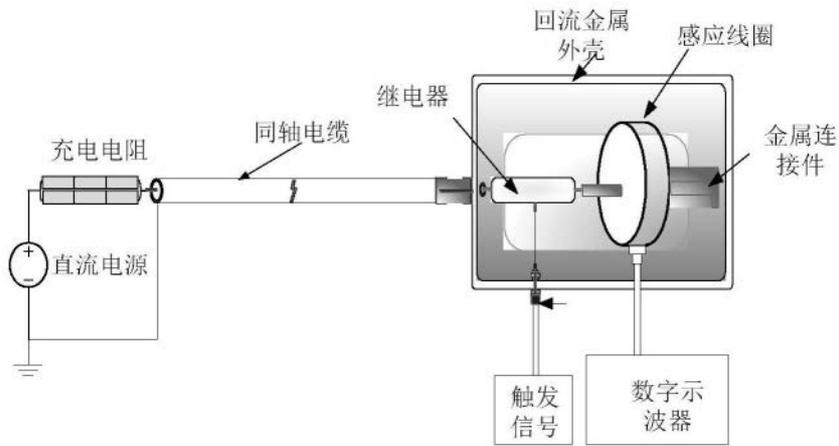


图7

800



图8