



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110632396 A

(43)申请公布日 2019. 12. 31

(21)申请号 201911071295.0

(22)申请日 2019.11.05

(71)申请人 国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院

地址 150030 黑龙江省哈尔滨市香坊区建北街61号

申请人 国家电网有限公司

(72)发明人 张德文 朱学成 张洪达 朱广城
冯海涛 梁建权 尚书磊 许敏虎
张朋 张可心 陈世玉

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 董玉娇

(51)Int.Cl.

G01R 27/26(2006.01)

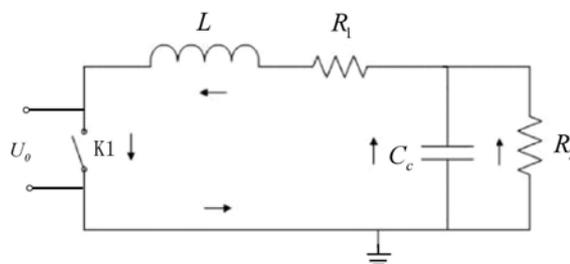
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种电缆介质损耗测量方法

(57)摘要

一种电缆介质损耗测量方法,属于变电领域和测量测试领域。解决现有技术中无法对电缆的绝缘状态做出诊断,无法评估电缆的绝缘老化水平,导致对线缆的检测效率低的问题。发明构建了衰减系数 β 与介质损耗 $\tan \delta$ 之间的关系,并利用衰减系数 β 表征介质损耗 $\tan \delta$,从阻尼正弦电压波的衰减特性导出介质损耗 $\tan \delta$,消除偏移电压的影响,避免由于电压偏移引起的不准确性,对介质损耗 $\tan \delta$ 的影响。本发明主要用于对电缆绝缘性能进行诊断。



1. 一种电缆的介质损耗测量方法,其特征在于,该方法采用电缆震荡波测试系统实现,所述测试系统包括直流电源 U_0 、开关 K_1 、系统电感 L 和系统内阻 R_1 ;

直流电源 U_0 的高压输出端与系统电感 L 的一端和开关 K_1 的一端同时连接,系统电感 L 的另一端与系统内阻 R_1 的一端连接,系统内阻 R_1 的另一端作为测试系统的一个测量端;

直流电源 U_0 的接地端与开关 K_1 另一端连接后,接入电源地,开关 K_1 另一端作为测试系统的另一个测量端;

该测量方法包括如下步骤:

步骤一、将被测电缆等效成电容 C_c 和电阻 R_2 ,二者并联后,串联在测试系统的两个测量端之间;

步骤二、开关 K_1 处于断开状态,通过直流电源 U_0 给电容 C_c 充电,充电完成后,闭合开关 K_1 ,被测电缆与测试系统构成振荡回路,此时,电容 C_c 进行放电;

步骤三、根据电容 C_c 放电情况,获得振荡回路的等效电压振荡波形,根据等效电压振荡波形获得衰减系数 β 和角频率 ω 的值;

步骤四、由于振荡回路中,存在如下关系:

$$R_2 = \frac{L}{2\beta LC_c - R_1 C_c} \quad (\text{公式一});$$

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega R_2 C_c} \quad (\text{公式二});$$

将公式一代入公式二中,获得如下关系式:

$$\tan \delta = \frac{2\beta}{\omega} - \frac{R_1}{\omega L} \quad (\text{公式三});$$

其中, $\tan \delta$ 表示被测电缆的介质损耗;

δ 表示被测电缆的介质损耗角;

步骤五、由于 R_1 和 L 均为已知,将步骤三获得的衰减系数 β 和角频率 ω 的值代入公式三中,从而获得被测电缆的介质损耗 $\tan \delta$ 的值,从而完成了对电缆的介质损耗测量。

2. 根据权利要求1所述的一种电缆的介质损耗测量方法,其特征在于,振荡回路的等效电压振荡波形的函数关系式为:

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\beta t} \left\{ \cos(\omega t) + \frac{\alpha - \beta}{\omega} \sin(\omega t) \right\} \quad (\text{公式四});$$

$U(t)$ 表示随时间 t 变化的电容 C_c 两端的电压;

e 表示自然对数;

α 表示比例系数,且 $\alpha = \frac{R_1}{L}$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种电缆的介质损耗测量方法,其特征在于,步骤三中,根据等效电压振荡波形获得衰减系数 β 的值的实现方式为:

通过指数拟合方法对等效电压振荡波形进行曲线拟合,从而获得衰减系数 β 。

4. 根据权利要求1所述的一种电缆的介质损耗测量方法,其特征在于,步骤三中,根据

等效电压振荡波形获得角频率 ω 的值实现方式为:

根据等效电压振荡波形的传播周期,获得等效电压振荡波形的频率 f ,根据频率 f ,从而获得角频率 ω 的值。

5. 根据权利要求2所述的一种电缆的介质损耗测量方法,其特征在于,

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\frac{L + R_1 R_2 C_c}{R_2 L C_c} \right) \quad (\text{公式五});$$

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2 L C_c} - \left[\frac{1}{2} \left(\frac{L + R_1 R_2 C_c}{R_2 L C_c} \right) \right]^2} \right)} \quad (\text{公式六}).$$

一种电缆介质损耗测量方法

技术领域

[0001] 本发明属于变电领域和测量测试领域。

背景技术

[0002] 交联聚乙烯 (XLPE) 电缆以其良好的电气性能和机械物理性能逐渐成为电力电缆中的主流产品。存在多种原因会导致 XLPE 电缆产生一些潜在的绝缘缺陷,如果不能及时发现这些缺陷并予以排除,会给电力系统的安全稳定运行带来严重威胁。对比当前较为成熟的电缆绝缘检测手段,发现都存在设备体积大、不便于携带等问题,同时检测技术单一,导致不能对电缆的绝缘状态作出综合的诊断,更是严重影响到检测的效率。

发明内容

[0003] 本发明是为了解决现有技术中无法对电缆的绝缘状态做出诊断,无法评估电缆的绝缘老化水平,导致对线缆的检测效率低的问题,本发明提供了一种电缆介质损耗测量方法。

[0004] 一种电缆的介质损耗测量方法,该方法采用电缆震荡波测试系统实现,所述测试系统包括直流电源 U_0 、开关 K_1 、系统电感 L 和系统内阻 R_1 ;

[0005] 直流电源 U_0 的高压输出端与系统电感 L 的一端和开关 K_1 的一端同时连接,系统电感 L 的另一端与系统内阻 R_1 的一端连接,系统内阻 R_1 的另一端作为测试系统的一个测量端;

[0006] 直流电源 U_0 的接地端与开关 K_1 另一端连接后,接入电源地,开关 K_1 另一端作为测试系统的另一个测量端;

[0007] 该测量方法包括如下步骤:

[0008] 步骤一、将被测电缆等效成电容 C_c 和电阻 R_2 ,二者并联后,串联在测试系统的两个测量端之间;

[0009] 步骤二、开关 K_1 处于断开状态,通过直流电源 U_0 给电容 C_c 充电,充电完成后,闭合开关 K_1 ,被测电缆与测试系统构成振荡回路,此时,电容 C_c 进行放电;

[0010] 步骤三、根据电容 C_c 放电情况,获得振荡回路的等效电压振荡波形,根据等效电压振荡波形获得衰减系数 β 和角频率 ω 的值;

[0011] 步骤四、由于振荡回路中,存在如下关系:

$$[0012] \quad R_2 = \frac{L}{2\beta LC_c - R_1 C_c} \quad (\text{公式一});$$

$$[0013] \quad \tan \delta = \frac{1}{\omega R_2 C_c} \quad (\text{公式二});$$

[0014] 将公式一代入公式二中,获得如下关系式:

$$[0015] \quad \tan \delta = \frac{2\beta}{\omega} - \frac{R_1}{\omega L} \quad (\text{公式三});$$

[0016] 其中, $\tan \delta$ 表示被测电缆的介质损耗;

[0017] δ 表示被测电缆的介质损耗角；

[0018] 步骤五、由于 R_1 和 L 均为已知，将步骤三获得的衰减系数 β 和角频率 ω 的值代入公式三中，从而获得被测电缆的介质损耗 $\tan\delta$ 的值，从而完成了对电缆的介质损耗测量。

[0019] 优选的是，振荡回路的等效电压振荡波形的函数关系式为：

$$[0020] \quad U(t) = U_0 \cdot e^{-\beta t} \left\{ \cos(\omega t) + \frac{\alpha - \beta}{\omega} \sin(\omega t) \right\} \quad (\text{公式四});$$

[0021] $U(t)$ 表示随时间 t 变化的电容 C_c 两端的电压；

[0022] e 表示自然对数；

[0023] α 表示比例系数，且 $\alpha = \frac{R_1}{L}$ ；

[0024] 优选的是，步骤三中，根据等效电压振荡波形获得衰减系数 β 的值的实现方式为：

[0025] 通过指数拟合方法对等效电压振荡波形进行曲线拟合，从而获得衰减系数 β 。

[0026] 优选的是，步骤三中，根据等效电压振荡波形获得角频率 ω 的值实现方式为：

[0027] 根据等效电压振荡波形的传播周期，获得等效电压振荡波形的频率 f ，根据频率 f ，从而获得角频率 ω 的值。

[0028] 优选的是， $\beta = \frac{1}{2} \left(\frac{L + R_1 R_2 C_c}{R_2 L C_c} \right)$ （公式五）；

$$[0029] \quad \omega = \sqrt{\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2 L C_c} - \left[\frac{1}{2} \left(\frac{L + R_1 R_2 C_c}{R_2 L C_c} \right) \right]^2} \right)} \quad (\text{公式六}).$$

[0030] 本发明带来的有益效果是，本发明构建了衰减系数 β 与介质损耗 $\tan\delta$ 之间的关系，并利用衰减系数 β 表征介质损耗 $\tan\delta$ ，从阻尼正弦电压波的衰减特性导出介质损耗 $\tan\delta$ ，获得高精度的检测结果，且衰减系数 β 的获取过程通过波形拟合办法获得，消除偏移电压的影响，进一步避免由于电压偏移引起的不准确性，对介质损耗 $\tan\delta$ 的影响。

[0031] 本发明通过振荡波为电压源测量电缆的介质损耗，以评估电缆的绝缘老化水平。

[0032] 本发明通过分析振荡波波形衰减情况进行电缆介质损耗计算。

附图说明

[0033] 图1为本发明所述电缆震荡波测试系统的原理示意图；

[0034] 图2为电压振荡波形图；该振荡波下方的1，表示第一个周期波的波谷；振荡波上方的1，表示第一个周期波的波峰；振荡波下方的2，表示第一个周期波的波谷；振荡波上方的2，表示第一个周期波的波峰；振荡波下方的3，表示第一个周期波的波谷；振荡波上方的3，表示第一个周期波的波峰；振荡波下方的4，表示第一个周期波的波谷；振荡波上方的4，表示第一个周期波的波峰；振荡波下方的5，表示第一个周期波的波谷；振荡波上方的5，表示第一个周期波的波峰；

[0035] 图3为不同电压偏置下，3种不同算法，获得的10kV电缆的 β 值的对比图，其中，标记A表示利用图2中前两正峰计算获得的 β 随偏置电压变化的曲线，标记B表示利用图2中后两负峰计算获得的 β 随偏置电压变化的曲线，标记C表示利用本发明波形拟合方法获得的 β 随偏置电压变化的曲线。

具体实施方式

[0036] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0037] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0038] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明,但不作为本发明的限定。

[0039] 参见图1说明本实施方式,本实施方式所述的一种电缆的介质损耗测量方法,该方法采用电缆震荡波测试系统实现,所述测试系统包括直流电源 U_0 、开关 K_1 、系统电感 L 和系统内阻 R_1 ;

[0040] 直流电源 U_0 的高压输出端与系统电感 L 的一端和开关 K_1 的一端同时连接,系统电感 L 的另一端与系统内阻 R_1 的一端连接,系统内阻 R_1 的另一端作为测试系统的一个测量端;

[0041] 直流电源 U_0 的接地端与开关 K_1 另一端连接后,接入电源地,开关 K_1 另一端作为测试系统的另一个测量端;

[0042] 该测量方法包括如下步骤:

[0043] 步骤一、将被测电缆等效成电容 C_c 和电阻 R_2 ,二者并联后,串联在测试系统的两个测量端之间;

[0044] 步骤二、开关 K_1 处于断开状态,通过直流电源 U_0 给电容 C_c 充电,充电完成后,闭合开关 K_1 ,被测电缆与测试系统构成振荡回路,此时,电容 C_c 进行放电;

[0045] 步骤三、根据电容 C_c 放电情况,获得振荡回路的等效电压振荡波形,根据等效电压振荡波形获得衰减系数 β 和角频率 ω 的值;

[0046] 步骤四、由于振荡回路中,存在如下关系:

$$[0047] \quad R_2 = \frac{L}{2\beta LC_c - R_1 C_c} \quad (\text{公式一});$$

$$[0048] \quad \tan \delta = \frac{1}{\omega R_2 C_c} \quad (\text{公式二});$$

[0049] 将公式一代入公式二中,获得如下关系式:

$$[0050] \quad \tan \delta = \frac{2\beta}{\omega} - \frac{R_1}{\omega L} \quad (\text{公式三});$$

[0051] 其中, $\tan \delta$ 表示被测电缆的介质损耗;

[0052] δ 表示被测电缆的介质损耗角;

[0053] 步骤五、由于 R_1 和 L 均为已知,将步骤三获得的衰减系数 β 和角频率 ω 的值代入公式三中,从而获得被测电缆的介质损耗 $\tan \delta$ 的值,从而完成了对电缆的介质损耗测量。

[0054] 本发明构建了衰减系数 β 与介质损耗 $\tan \delta$ 之间的关系,并利用衰减系数 β 表征介质损耗 $\tan \delta$,从阻尼正弦电压波的衰减特性导出介质损耗 $\tan \delta$,消除偏移电压的影响,避免由于电压偏移引起的不准确性,对介质损耗 $\tan \delta$ 的影响。

[0055] 进一步的,振荡回路的等效电压振荡波形的函数关系式为:

[0056]
$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\beta t} \left\{ \cos(\omega t) + \frac{\alpha - \beta}{\omega} \sin(\omega t) \right\} \quad (\text{公式四});$$

[0057] U(t) 表示随时间 t 变化的电容 C_c 两端的电压;

[0058] e 表示自然对数;

[0059] α 表示比例系数, 且 $\alpha = \frac{R_1}{L}$;

[0060] 进一步的, 步骤三中, 根据等效电压振荡波形获得衰减系数 β 的值的实现方式为:

[0061] 通过指数拟合方法对等效电压振荡波形进行曲线拟合, 从而获得衰减系数 β。

[0062] 本实施方式中, 衰减系数 β 的获取过程通过波形拟合办法获得, 消除偏移电压的影响, 避免由于电压偏移引起的不准确性, 对介质损耗 tanδ 的影响。

[0063] 进一步的, 步骤三中, 根据等效电压振荡波形获得角频率 ω 的值实现方式为:

[0064] 根据等效电压振荡波形的传播周期, 获得等效电压振荡波形的频率 f, 根据频率 f, 从而获得角频率 ω 的值。

[0065] 进一步的,

[0066]
$$\beta = \frac{1}{2} \left(\frac{L + R_1 R_2 C_c}{R_2 L C_c} \right) \quad (\text{公式五});$$

[0067]
$$\omega = \sqrt{\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2 L C_c} - \left[\frac{1}{2} \left(\frac{L + R_1 R_2 C_c}{R_2 L C_c} \right) \right]^2} \right)} \quad (\text{公式六}).$$

[0068] 图2中给出了一种典型的电压振荡波形图, 从图中可看出电压随时间的衰减情况, 且电压波形逐渐衰减, 衰减周期相同。

[0069] 而现有技术中为了计算衰减系数 β, 取任意两个峰值 U₁、U₂, 对应的时间 t₁, t₂ 根据公式七, 得到 β:

[0070]
$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}{(t_1 - t_2)} \quad (\text{公式七});$$

[0071] 图3中给出了不同电压偏置下, 3种不同算法, 获得的10kV电缆的β值的对比图, 其中, 3种不同算法分别为: 利用图2中前两个正峰(波峰)计算获得β、利用图2中前两个负峰(波谷)计算获得β和本发明进行曲线拟合的方法获得β; 图3中, 除本发明方法外, 均是使用公式七获得的β。

[0072] 对图3进行分析, 图3中理论上可以任意选择两个电压峰值, 利用公式七来获得β。然而, 在实践中, 外部影响如噪声和零偏置可能使β的值依赖于峰值选择。取前两个正峰或负峰会给出相对佳的信噪比, 因为, 这些是最大的峰。但是, 零偏置会更多对β造成大的影响。从图3中即可看出。

[0073] 本发明中β的获取过程, 利用波形拟合办法, 对振荡波形进行拟合, 拟合出的β值可以去除零偏置的影响, 也可以提供最稳定的结果。图3中显示30kV, 0.5μFXLPE电缆样品的β值, 如果使用两个最大峰值或者最小两个峰值进行计算, 计算结果随偏置电压的变化β值随之变化, 而通过波形拟合方法, 无论偏执电压如何变化, β值维持7.57s⁻¹, 基本恒定。施加的电压为30kV。

[0074] 本发明介质损耗 $\tan\delta$ 值可以从阻尼正弦电压波的衰减特性导出。为了避免由于电压偏移引起的不准确性,本发明衰减系数 β 的获取过程通过波形拟合办法获得,消除偏移电压的影响。

[0075] 虽然在本文中参照了特定的实施方式来描述本发明,但是应该理解的是,这些实施例仅仅是本发明的原理和应用的示例。因此应该理解的是,可以对示例性的实施例进行许多修改,并且可以设计出其它的布置,只要不偏离所附权利要求所限定的本发明的精神和范围。应该理解的是,可以通过不同于原始权利要求所描述的方式来结合不同的从属权利要求和本文中所述的特征。还可以理解的是,结合单独实施例所描述的特征可以使用在其它所述实施例。

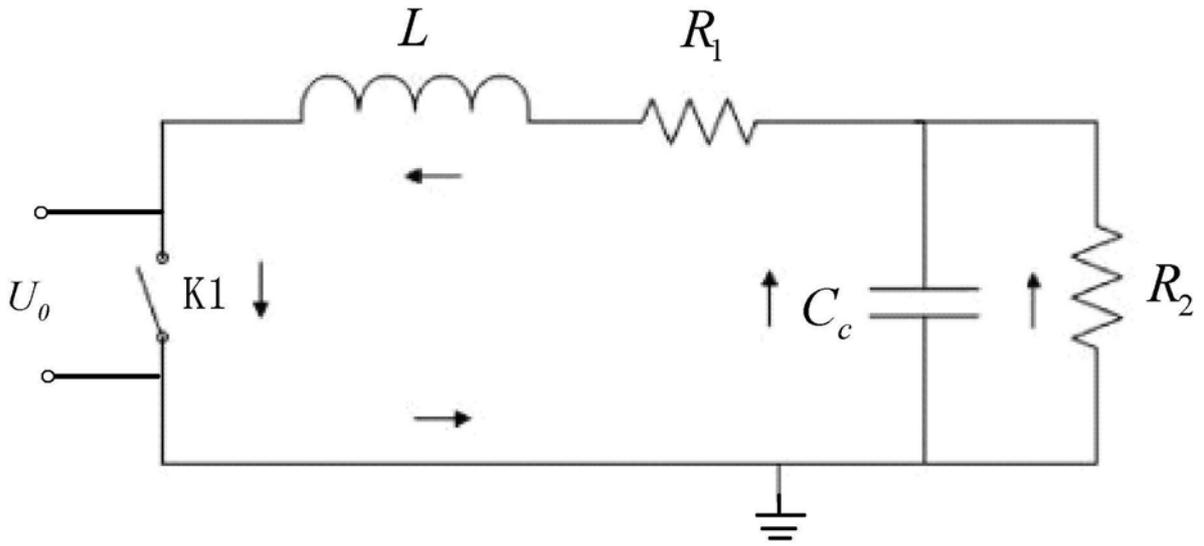


图1

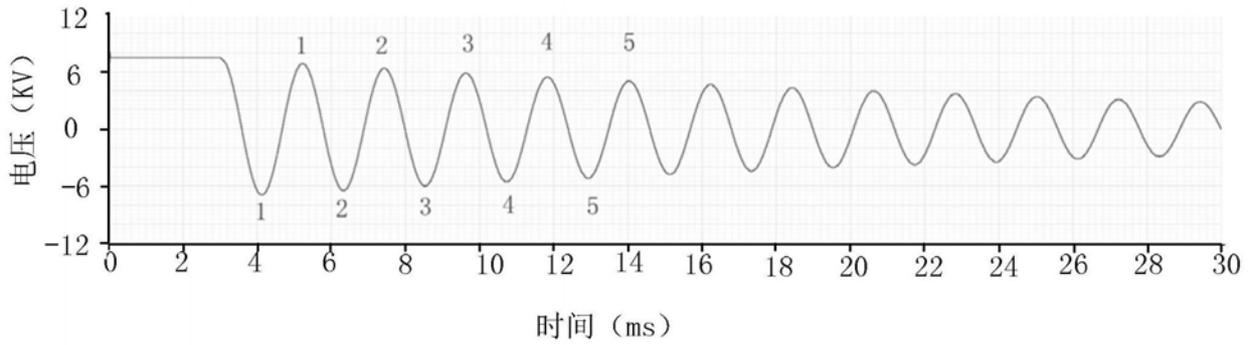


图2

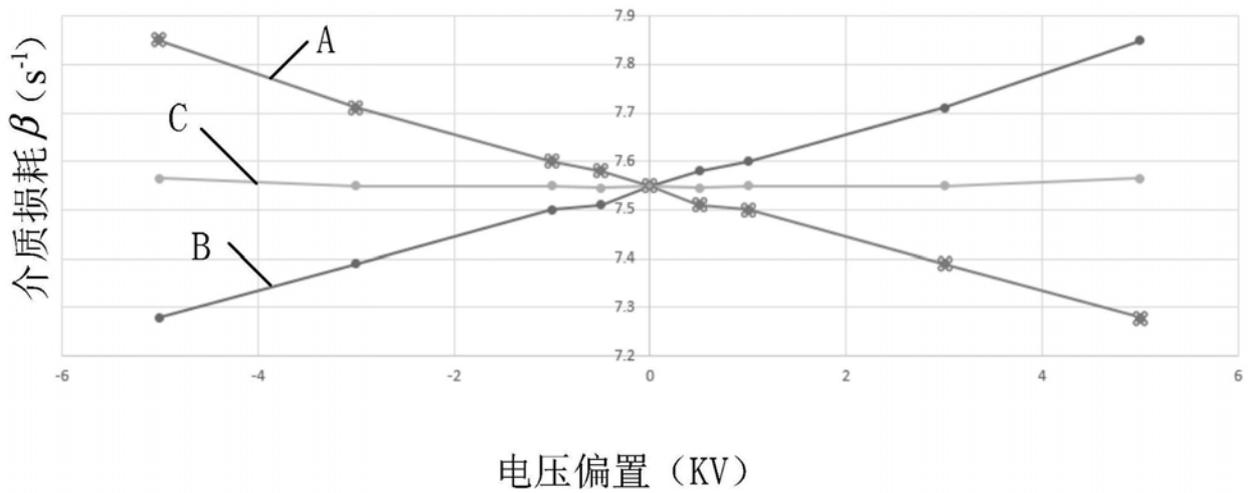


图3