



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108680795 A

(43)申请公布日 2018.10.19

(21)申请号 201810460248.4

(22)申请日 2018.05.15

(71)申请人 石家庄科林电气股份有限公司

地址 050222 河北省石家庄市红旗大街南  
降壁路段(南院)

(72)发明人 孙海宁 陈贺 王欣 王永  
屈国旺 董彩宏 刘海涛 孔江涛  
王强 刘少波 陆志远 王建  
李玉峰 孙浩 王志辉 李阳  
王聪聪

(74)专利代理机构 石家庄众志华清知识产权事  
务所(特殊普通合伙) 13123  
代理人 王苑祥 聂旭中

(51)Int.Cl.  
G01R 27/26(2006.01)

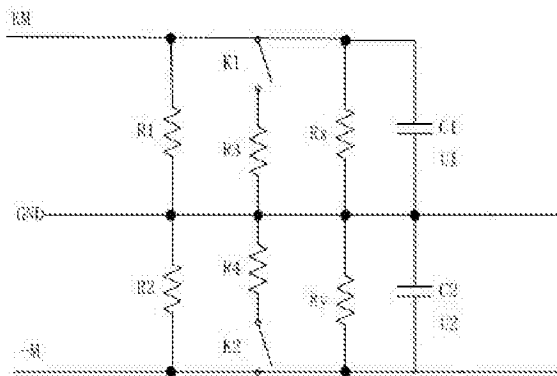
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

基于一阶电路全响应的直流系统对地电容  
计算方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于一阶电路全响应的直流系统对地电容计算方法,涉及直流电源系统检测技术领域,包括以下步骤:步骤A、在直流系统的直流母线的正负极间建立不平衡桥电路;步骤B、闭合开关K1,得到电容C1的全响应电路;步骤C、闭合开关K2,重复步骤B中的过程在K2闭合后1S和2S各采集一个点联立方程得;步骤D、根据两次开关闭合测出的 $U_2(\infty)$ ,代入绝缘电阻计算公式得出对地电阻 $R_x$ 和 $R_y$ 和电容C1和C2的值。本发明通过一阶电路全响应理论构建直流系统电容、不平衡桥模型,通过电容的放电特性,构建直流系统的RC电路,使系统具有复合阻抗;并根据电容两次放电特性建立RC电路的一阶电路全响应模型,并根据电路的时间电容特性曲线计算系统对地电容。



1. 一种基于一阶电路全响应的直流系统对地电容计算方法,其特征在于包括以下步骤:

步骤A、在直流系统的直流母线的正负极间建立不平衡桥电路,其中直流母线的正极与接地端以及直流母线的负极与接地端的对地电容分别C1和C2,所述不平衡桥电路包括并联在直流母线的正极与接地端的电阻R1、R3、Rx以及电阻R3配套的开关K1和以及并联在直流母线的负极与接地端的电阻R2、R4、Ry以及电阻R4配套的开关K2,其中R1和R2的电阻值相等、R3和R4的电阻值相等、Rx和Ry的电阻值未知;

步骤B、闭合开关K1,电容C1全响应电路为:

$$(U1(0_+) > U1(\infty))$$

$$U1(t) = U1(\infty) + [U1(0_+) - U1(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \dots\dots\dots (1),$$

其中 $\tau = (R1//R3//Rx) * C1$ , U1为电容C1的电压;

由于C1、C2并联在控母上,电容C2全响应电路为:

$$U2(t) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \dots\dots\dots (2),$$

其中 $U2(0_+) < U2(\infty)$ ,  $\tau = (R2//R4//Ry) * C2$ ;

在K1闭合后1S和2S各采集一个点联立方程得:

$$U2(t1) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t1}{\tau}} \dots\dots\dots (3)$$

$$U2(t1) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t1}{\tau}} \dots\dots\dots (4), \text{并解得}$$

$$e^{-\frac{t1}{\tau}} = \frac{U2(t1) - U2(\infty)}{U2(0_+) - U2(\infty)} \dots\dots\dots (5)$$

$$U2(t2) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{2t1}{\tau}} \dots\dots\dots (6), \text{将公式(5)代入公式(6)后解得:}$$

$$U2(\infty) = \frac{[U2(t1)]^2 - U2(0_+) * U2(t2)}{2 * U2(t1) - U2(0_+) - U2(t2)} \dots\dots\dots (7)$$

步骤C、闭合开关K2,重复步骤B中的过程在K2闭合后1S和2S各采集一个点联立方程得:

$$U2(\infty) = \frac{[U2(t1)]^2 - U2(0_+) * U2(t2)}{2 * U2(t1) - U2(0_+) - U2(t2)} \dots\dots\dots (8);$$

步骤D、根据两次开关闭合测出的 $U2(\infty)$ ,代入绝缘电阻计算公式得出对地电阻Rx和Ry和电容C1和C2的值,

$$Rx = \frac{R1 * (R1 // R3) * (U2(\infty1) - U2(\infty2))}{R1 * U2(\infty2) - (R1 // R3) * U2(\infty2)} \dots\dots\dots (9)$$

$$Ry = \frac{R2 * (R2 // R4) * (U2(\infty2) - U2(\infty1))}{R2 * (U2(\infty2) - U) + (R2 // R4) * (U - U2(\infty2))} \dots\dots\dots (10);$$

公式(6)-公式(3)得:

$$\Delta U = [U2(0_+) - U2(\infty)] \left( e^{-\frac{t1}{\tau}} - e^{-\frac{2t1}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{对}\Delta U \text{求导得: } \Delta U = [U2(0_+) - U2(\infty)] \left( -\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t1}{\tau}} + \frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t1}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (12)$$

当 $\Delta U = 0$ 时,为 $\Delta U$ 最大值

$$-\frac{\lambda}{\tau} e^{-\frac{t_1}{\tau}} + \frac{\lambda}{\tau} e^{-\frac{2t_1}{\tau}} = 0 \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{\lambda}{\tau} e^{-\frac{2t_1}{\tau}} = \frac{\lambda}{\tau} e^{-\frac{t_1}{\tau}} \dots\dots\dots (14)$$

$$\ln \frac{\lambda}{\tau} - \frac{2t_1}{\tau} = \ln \frac{\lambda}{\tau} - \frac{t_1}{\tau} \dots\dots\dots (15)$$

$$\ln \frac{\lambda}{\tau} - \ln \frac{\lambda}{\tau} = \frac{t_1}{\tau} \dots\dots\dots (16)$$

$$t_1 = \tau \ln 2 \dots\dots\dots (17)$$

$$t_1 = (R_2 // R_4 // R_y) * C_2 * \ln 2 \dots\dots\dots (18)$$

$$C_2 = \frac{t_1}{(R_2 // R_4 // R_y) * \ln 2};$$

重复上述过程,解出C1得:  $C_1 = \frac{t_3}{(R_1 // R_2 // R_x) * \ln 2}^\circ$

## 基于一阶电路全响应的直流系统对地电容计算方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及直流电源系统检测技术领域,具体涉及一种基于一阶电路全响应的直流系统对地电容计算方法。

### 背景技术

[0002] 由于电路的分布特点而具有的电容叫分布电容。线圈的相邻两匝之间、两个分立的元件之间、两根相邻的导线间、一个元件内部的各部分之间、都有一定的分布电容。它对电路的影响等于给电路并联上一个电容器,这个电容值就是分布电容值。由于分布电容的数值一般很小,在低频的交流电路中,分布电容的容抗很大,对电路的影响不大,因此在低频交流电路中,一般可以不考虑分布电容的影响。但随着高频技术的发展,相关谐波及对地问题尤为突出,在理想状态下直流回路中的对地电容是不会影响直流的安全运行,所以往往被人们所忽视。

[0003] 发电厂及变电站的控制回路、继电保护装置及信号回路,某些动力设备,直流系统中的功能模块均由直流电源供电。直流系统的回路繁多、分布广泛、运行环境复杂,容易发生各种故障,最典型的故障就是接地故障。随着电网电压等级的不断提高,变电站规模的不断扩大,变电站存在的分布电容也随之增大,若此时发生接地故障,则分布电容的充放电会使变电站系统发生误动。所以有必要对系统分布电容进行评估和计算,进而避免由于一点接地的情况下由于分布电容引起的保护误动。

[0004] 传统的直流系统对地电容的检测方法有电容电桥法及交流信号注入法等。电容电桥法的运行环境是基于将蓄电池及充电机退出直流系统,在直流系统断电情况下,通过电容电桥搭建系统仿真模型计算系统对地电容。由于变电站直流系统是为继电保护装置及控制系统提供稳定的直流电源,任何情况下不允许直流系统失电,顾此方法不适用于直流系统。交流系统注入法是通过低频信号发生器产生一个正弦波信号通过无极性电容耦合到直流系统的正极或负极上,从而测量系统的对地电容。由于将交流注入到直流系统会引起保护误动,所以此方法亦不应使用到直流系统对地电容的测量上。

### 发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是提供一种基于一阶电路全响应的直流系统对地电容计算方法,响应速度快,测量值准确。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种基于一阶电路全响应的直流系统对地电容计算方法,其特征在于包括以下步骤:

步骤A、在直流系统的直流母线的正负极间建立不平衡桥电路,其中直流母线的正极与接地端以及直流母线的负极与接地端的对地电容分别 $C_1$ 和 $C_2$ ,所述不平衡桥电路包括并联在直流母线的正极与接地端的电阻 $R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_x$ 以及与电阻 $R_3$ 配套的开关 $K_1$ 和以及并联在直流母线的负极与接地端的电阻 $R_2$ 、 $R_4$ 、 $R_y$ 以及与电阻 $R_4$ 配套的开关 $K_2$ ,其中 $R_1$ 和 $R_2$ 的电阻值相等、 $R_3$ 和 $R_4$ 的电阻值相等、 $R_x$ 和 $R_y$ 的电阻值未知;

步骤B、闭合开关K1, 电容C1全响应电路为:

$$(U1(0_+) > U1(\infty))$$

$$U1(t) = U1(\infty) + [U1(0_+) - U1(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \dots\dots\dots (1),$$

其中 $\tau = (R1//R3//R_x) * C1$ , U1为电容C1的电压;

由于C1、C2并联在控母上, 电容C2全响应电路为:

$$U2(t) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \dots\dots\dots (2),$$

其中 $U2(0_+) < U2(\infty)$ ,  $\tau = (R2//R4//R_y) * C2$ ;

在K1闭合后1S和2S各采集一个点联立方程得:

$$U2(t1) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t1}{\tau}} \dots\dots\dots (3)$$

$$U2(t1) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t1}{\tau}} \dots\dots\dots (4), \text{并解得}$$

$$e^{-\frac{t1}{\tau}} = \frac{U2(t1) - U2(\infty)}{U2(0_+) - U2(\infty)} \dots\dots\dots (5)$$

$$U2(t2) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{2t1}{\tau}} \dots\dots\dots (6), \text{将公式(5)代入公式(6)后解得:}$$

$$U2(\infty) = \frac{[U2(t1)]^2 - U2(0_+) * U2(t2)}{2 * U2(t1) - U2(0_+) - U2(t2)} \dots\dots\dots (7)$$

步骤C、闭合开关K2, 重复步骤B中的过程在K2闭合后1S和2S各采集一个点联立方程得:

$$U2(\infty) = \frac{[U2(t2)]^2 - U2(0_+) * U2(t1)}{2 * U2(t2) - U2(0_+) - U2(t1)} \dots\dots\dots (8);$$

步骤D、根据两次开关闭合测出的 $U2(\infty)$ , 代入绝缘电阻计算公式得出对地电阻 $R_x$ 和 $R_y$ 和电容C1和C2的值,

$$R_x = \frac{R_1 + (R_1/R_3) * (U2(\infty_1) - U2(\infty_2))}{R_1 * U2(\infty_2) - (R_1/R_3) * U2(\infty_1)} \dots\dots\dots (9)$$

$$R_y = \frac{R_2 + (R_2/R_4) * (U2(\infty_2) - U2(\infty_1))}{R_2 * (U2(\infty_2) - U) + (R_2/R_4) * (U - U2(\infty_2))} \dots\dots\dots (10);$$

公式(6)-公式(3)得:

$$\Delta U = [U2(0_+) - U2(\infty)] \left( e^{-\frac{t1}{\tau}} - e^{-\frac{2t1}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{对}\Delta U \text{求导得: } \Delta U' = [U2(0_+) - U2(\infty)] \left( -\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t1}{\tau}} + \frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t1}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (12)$$

当 $\Delta U' = 0$ 时, 为 $\Delta U$ 最大值

$$-\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t1}{\tau}} + \frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t1}{\tau}} = 0 \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t1}{\tau}} = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t1}{\tau}} \dots\dots\dots (14)$$

$$\ln \frac{2}{\tau} - \frac{2t1}{\tau} = \ln \frac{1}{\tau} - \frac{t1}{\tau} \dots\dots\dots (15)$$

$$\ln \frac{2}{\tau} - \ln \frac{1}{\tau} = \frac{t1}{\tau} \dots\dots\dots (16)$$

$$t1 = \tau \ln 2 \dots\dots\dots (17)$$

$$t1 = (R2//R4//R_y) * C2 * \ln 2 \dots\dots\dots (18)$$

$$C2 = \frac{t2}{(R2//R4//Ry) * \ln 2};$$

重复上述过程,解出C1得:  $C1 = \frac{t1}{(R1//R3//Rx) * \ln 2}。$

[0007] 本发明的有益效果是:(1)、以一阶电路全响应理论为依托,通过一阶电路全响应理论构建直流系统电容、不平衡桥模型,通过电容的放电特性,构建直流系统的RC电路,使系统具有复合阻抗;(2)、根据电容两次放电特性建立RC电路的一阶电路全响应模型,并根据电路的时间电容特性曲线计算系统对地电容;(3)、由于部分直流系统电容较大,放电时间较长,本方法通过模型的导数关系,直接求出系统放电完成后的终止电压,进而求出系统的对地电容;(4)、此方法可在线测量直流系统的对地电容,使系统不进行脱网运行而且响应速度快,测量值准确,并在各个等级的变电站直流系统(35KV~500KV)均现场测试,通过此方法计算的系统电容值与实际测量值相比,准确度较高,数据离散型较好。

[0008] 下面结合附图对本发明进行详细说明。

**附图说明**

[0009] 图1是本发明基于一阶电路全响应的直流系统对地电容的分布模型;

图2是电容C1的放电曲线图;

图3是电容C2的充电曲线图。

**具体实施方式**

[0010] 本发明提供了一种基于一阶电路全响应的直流系统对地电容计算方法,附图1是直流系统对地电容的分布模型,其中KM和M分别代表控母正电压和控母负电压,相当于直流母线的正负极电压。模型中设有不平衡桥电路,不平衡桥电路包括并联在直流母线的正极与接地端的电阻R1、R3、Rx以及与电阻R3配套的开关K1和以及并联在直流母线的负极与接地端的电阻R2、R4、Ry以及与电阻R4配套的开关K2,其中R1和R2的电阻值相等、R3和R4的电阻值相等、Rx和Ry的电阻值未知,并且上述各电阻(除Rx和Ry)的阻值已知。

[0011] 本发明的方法在计算对地电容时包括以下步骤:

步骤A、在直流系统的直流母线的正负极间建立不平衡桥电路,其中直流母线的正极与接地端以及直流母线的负极与接地端的对地电容分别C1和C2,所述不平衡桥电路包括并联在直流母线的正极与接地端的电阻R1、R3、Rx以及与电阻R3配套的开关K1和以及并联在直流母线的负极与接地端的电阻R2、R4、Ry以及与电阻R4配套的开关K2,其中R1和R2的电阻值相等、R3和R4的电阻值相等、Rx和Ry的电阻值未知;

步骤B、闭合开关K1,电容C1全响应电路为:

$$(U1(0+) > U1(\infty))$$

$$U1(t) = U1(\infty) + [U1(0+) - U1(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \dots \dots \dots (1),$$

其中  $\tau = (R1//R3//Rx) * C1$ , U1为电容C1的电压;

由于C1、C2并联在控母上,电容C2全响应电路为:

$$U2(t) = U2(\infty) + [U2(0+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \dots \dots \dots (2),$$

其中  $U2(0+) < U2(\infty)$ ,  $\tau = (R2//R4//Ry) * C2$ ;

在K1闭合后1S和2S各采集一个点联立方程得：

$$U2(t1) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t1}{\tau}} \dots\dots\dots (3)$$

$$U2(t1) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{t1}{\tau}} \dots\dots\dots (4), \text{并解得}$$

$$e^{-\frac{t1}{\tau}} = \frac{U2(t1) - U2(\infty)}{U2(0_+) - U2(\infty)} \dots\dots\dots (5)$$

$U2(t2) = U2(\infty) + [U2(0_+) - U2(\infty)]e^{-\frac{2t1}{\tau}} \dots\dots\dots (6)$ ，将公式(5)代入公式(6)后解得：

$$U2(\infty) = \frac{[U2(t1)]^2 - U2(0_+) \cdot U2(t2)}{2 \cdot U2(t1) - U2(0_+) - U2(t2)} \dots\dots\dots (7)$$

步骤C、闭合开关K2,重复步骤B中的过程在K2闭合后1S和2S各采集一个点联立方程得：

$$U2(\infty) = \frac{[U2(t1)]^2 - U2(0_+) \cdot U2(t2)}{2 \cdot U2(t1) - U2(0_+) - U2(t2)} \dots\dots\dots (8) ;$$

步骤D、根据两次开关闭合测出的 $U2(\infty)$ ，代入绝缘电阻计算公式得出对地电阻 $R_x$ 和 $R_y$ 和电容 $C1$ 和 $C2$ 的值，

$$R_x = \frac{R_1 + (R_1 // R_2) \cdot (U2(\infty 1) - U2(\infty 2))}{R_1 \cdot U2(\infty 2) - (R_1 // R_2) \cdot U2(\infty 1)} \dots\dots\dots (9)$$

$$R_y = \frac{R_2 + (R_2 // R_4) \cdot (U2(\infty 2) - U2(\infty 1))}{R_2 \cdot (U2(\infty 1) - U) + (R_2 // R_4) \cdot (U - U2(\infty 2))} \dots\dots\dots (10) ;$$

将上述各值代入公式(9)和(10)中求得 $R_x$ 和 $R_y$ 。

[0012] 公式(6)-公式(3)得：

$$\Delta U = [U2(0_+) - U2(\infty)] \left( e^{-\frac{t1}{\tau}} - e^{-\frac{2t1}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{对}\Delta U \text{求导得: } \Delta U = [U2(0_+) - U2(\infty)] \left( -\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t1}{\tau}} + \frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t1}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (12)$$

当 $\Delta U=0$ 时,为 $\Delta U$ 最大值

$$-\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t1}{\tau}} + \frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t1}{\tau}} = 0 \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t1}{\tau}} = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t1}{\tau}} \dots\dots\dots (14)$$

$$\ln \frac{2}{\tau} - \frac{2t1}{\tau} = \ln \frac{1}{\tau} - \frac{t1}{\tau} \dots\dots\dots (15)$$

$$\ln \frac{2}{\tau} - \ln \frac{1}{\tau} = \frac{t1}{\tau} \dots\dots\dots (16)$$

$$t1 = \tau \ln 2 \dots\dots\dots (17)$$

$$t1 = (R2 // R4 // R_y) \cdot C2 \cdot \ln 2 \dots\dots\dots (18)$$

$$C2 = \frac{t1}{(R2 // R4 // R_y) \cdot \ln 2} ;$$

$$\text{重复上述过程,解出} C1 \text{得: } C1 = \frac{t2}{(R1 // R2 // R_x) \cdot \ln 2} .$$

[0013] 下面具体解释下求解过程,首先要示解 $R_x$ 和 $R_y$ (正常状态时,直流系统的正极或负极对大地的绝缘应该是无穷大的。当直流系统的正极或负极与大地之间的绝缘水平降到某一整定值或低于某一规定值时,成为直流系统接地。当正极绝缘水平低于某一规定值时成

为正接地。当负极绝缘水平低于某一规定值时成为负接地。直流系统接地的原因一般可能为两个方面：1、电缆绝缘层老化或电缆铺设过程中不慎损伤电缆。2、设备在制造过程中绝缘部分受损或绝缘材料质量低，经过一段时间后，如空气潮湿就会产生直流接地故障。当直流系统接地时，就有可能导致保护拒动或者误动。这时候就需要计算直流系统正极对地电阻 $R_x$ 或者负极的对地电阻 $R_y$ ，来判断是否超越设定门槛，能否引起保护误动或者拒动，设控母电压为 $U$ ； $C_1$ 电容的电压为 $U_1$ ；设 $C_2$ 电容的电压为 $U_2$ ；根据一阶电路全响应：

$$\text{根据一阶电路全响应：} f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}},$$

闭合开关 $K_1$ ，电容 $C_1$ 构成全响应电路得 ( $U_1(0_+) > U_1(\infty)$ )：

$$U_1(t) = U_1(\infty) + [U_1(0_+) - U_1(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \dots \dots \dots (1),$$

$$\text{其中 } \tau = (R_1 // R_3 // R_x) * C_1,$$

电容 $C_1$ 的放电曲线图如图2所示；

设控母电压为 $U$ ，电容 $C_2$ 全响应电路为：

$$U_2(t) = U - U_1(t)$$

$$U_2(t) = U - U_1(\infty) - [U_1(0_+) - U_1(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \dots \dots \dots (2)$$

电容 $C_2$ 的充电曲线图如图3所示；

在 $K_1$ 闭合后 $1S$ 和 $2S$ 各采集一个点联立方程得：

$$U_2(t_1) = U_2(\infty) + [U_2(0_+) - U_2(\infty)]e^{-\frac{t_1}{\tau}} \dots \dots \dots (4)$$

$$U_2(t_2) = U_2(\infty) + [U_2(0_+) - U_2(\infty)]e^{-\frac{t_2}{\tau}} \dots \dots \dots (5)$$

(5)可转换为

$$U_2(t_2) = U_2(\infty) + [U_2(0_+) - U_2(\infty)]e^{-\frac{2t_1}{\tau}} \dots \dots \dots (6)$$

由(4)得

$$e^{-\frac{t_1}{\tau}} = \frac{U_2(t_1) - U_2(\infty)}{U_2(0_+) - U_2(\infty)} \dots \dots \dots (7)$$

将(7)代入(6)得

$$U_2(t_2) = U_2(\infty) + [U_2(0_+) - U_2(\infty)] \left( \frac{U_2(t_1) - U_2(\infty)}{U_2(0_+) - U_2(\infty)} \right)^2 \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{解得：} U_2(\infty) = \frac{[U_2(t_1)]^2 - U_2(0_+) * U_2(t_2)}{2 * U_2(t_1) - U_2(0_+) - U_2(t_2)} \dots \dots \dots (9)$$

同理，在 $K_2$ 闭合后 $1S$ 和 $2S$ 各采集一个点联立方程得

$$U_2(\infty) = \frac{[U_2(t_2)]^2 - U_2(0_+) * U_2(t_1)}{2 * U_2(t_2) - U_2(0_+) - U_2(t_1)} \dots \dots \dots (10)$$

根据两次开关闭合测出的 $U_2(\infty)$ ，代入绝缘电阻计算公式得出对地电阻 $R_x$ 和 $R_y$ 和电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的值，

当闭合开关 $K_1$ 时，

$$\frac{R_x // R_y}{R_x // R_x // R_y + R_x // R_y} = \frac{U_2(\infty_1)}{U} \dots \dots \dots (11)$$

当闭合开关 $K_2$ 时



$$\frac{R_2//R_4//R_y}{R_1//R_3+R_2//R_4//R_y} = \frac{U2(\infty1)}{U} \dots\dots\dots (12)$$

联立公式 (11) 和 (12) 解得Rx和Ry:

$$R_x = \frac{R_1*(R_1//R_3)*(U2(\infty1)-U2(\infty2))}{R_1*U2(\infty2)-(R_1//R_3)*U2(\infty1)} \dots\dots\dots (13)$$

$$R_y = \frac{R_2*(R_2//R_4)*(U2(\infty2)-U2(\infty1))}{R_2*(U2(\infty2)-U)+(R_2//R_4)*(U-U2(\infty2))} \dots\dots\dots (14)$$

公式 (6)-公式 (4) 得:

$$\Delta U = [U2(0_+) - U2(\infty)] \left( e^{-\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{2t}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (15)$$

对ΔU求导得:

$$\dot{\Delta U} = [U2(0_+) - U2(\infty)] \left( -\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (16)$$

当ΔU=0时,为ΔU最大值

$$-\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t}{\tau}} = 0 \dots\dots\dots (17)$$

$$\frac{2}{\tau} e^{-\frac{2t}{\tau}} = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \dots\dots\dots (18)$$

$$\ln \frac{2}{\tau} - \frac{2t}{\tau} = \ln \frac{1}{\tau} - \frac{t}{\tau} \dots\dots\dots (19)$$

$$\ln \frac{2}{\tau} - \ln \frac{1}{\tau} = \frac{t}{\tau} \dots\dots\dots (20)$$

$$t1 = \tau \ln 2 \dots\dots\dots (21)$$

$$t1 = (R2//R4//R_y) * C2 * \ln 2 \dots\dots\dots (22)$$

$$C2 = \frac{t1}{(R2//R4//R_y) * \ln 2} \dots\dots\dots (23)$$

同理,解出C1得:

$$C1 = \frac{t2}{(R1//R2//R_3) * \ln 2} \dots\dots\dots (24)$$

将上述各值代入公式 (23) 和 (24) 中分别求得对地电容值。

[0014] 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;尽管参照较佳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对部分技术特征进行等同替换;而不脱离本发明技术方案的精神,其均应涵盖在本发明请求保护的技术方案范围当中。

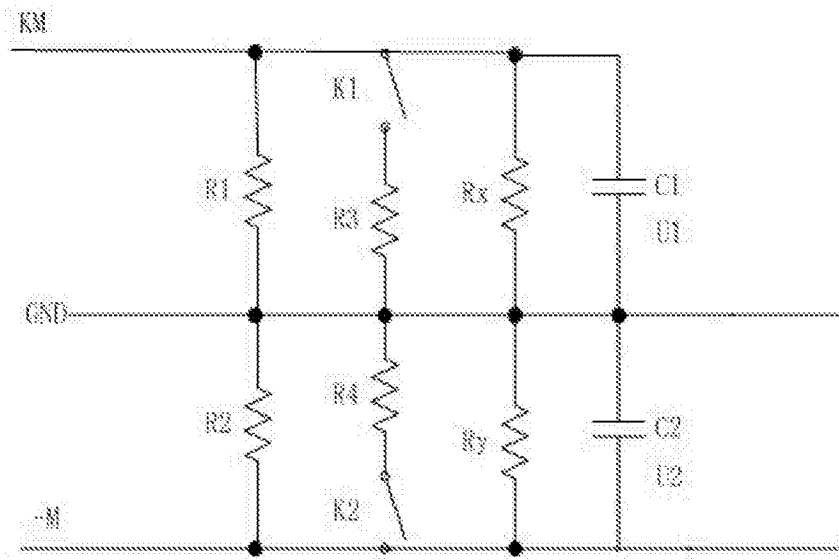


图1

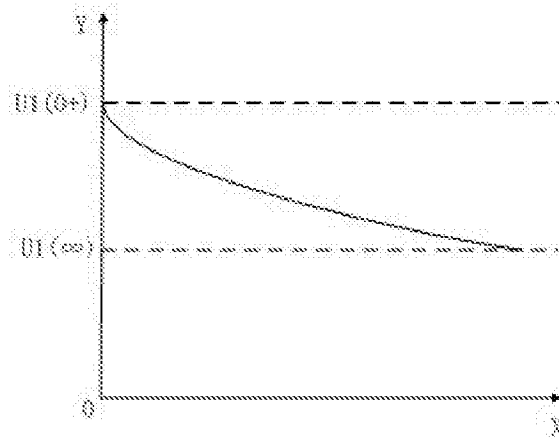


图2

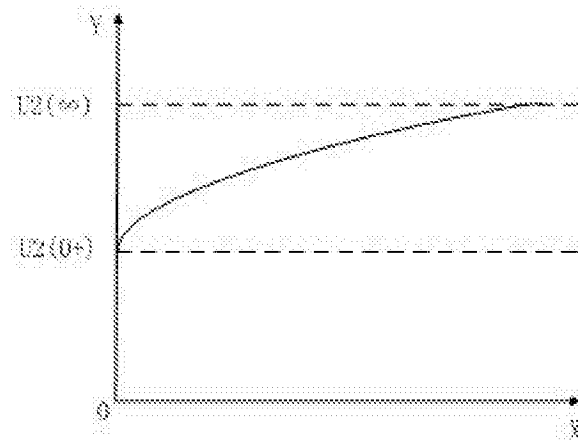


图3