



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103592579 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 09

(21) 申请号 201310324465. 8

CN 101324651 A, 2008. 12. 17,

(22) 申请日 2013. 07. 30

CN 102435918 A, 2012. 05. 02,

(73) 专利权人 国家电网公司

CN 102721907 A, 2012. 10. 10,

地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号

CN 102818959 A, 2012. 12. 12,

专利权人 中国电力科学研究院

审查员 王蒙

(72) 发明人 曹晶 张勤 全姗姗 梁进祥  
彭磊 李玮东

(74) 专利代理机构 武汉帅丞知识产权代理有限公司 42220

代理人 朱必武 周瑾

(51) Int. Cl.

G01R 31/12(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102914674 A, 2013. 02. 06,

DE 2545849 A1, 1977. 04. 21,

JP 特开 2009-145205 B2, 2009. 07. 02,

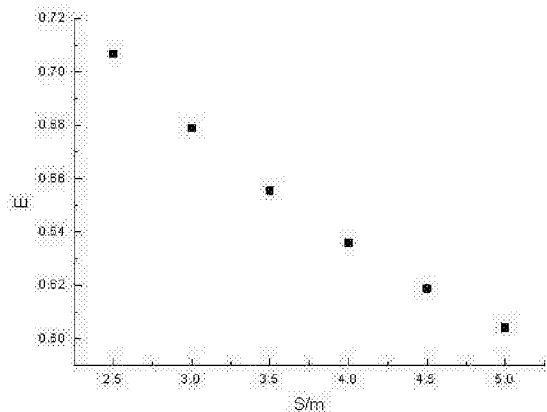
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种冲击放电电压计算模型构建方法

(57) 摘要

一种冲击放电电压计算模型构建方法, 其特征在于, 包括以下步骤: 1) 间隙放电弹性系数模型建立: 根据间隙放电电压变化率与间隙距离变化率之间的关系, 提出间隙放电弹性系数定义; 2) 间隙放电弹性系数计算: 通过在不同间隙距离下开展棒-板操作冲击放电试验研究, 计算其间隙放电弹性系数; 3) 根据计算结果进行曲线拟合: 根据棒-板间隙标准操作冲击放电弹性系数计算结果与间隙距离之间的趋势, 采用合适的曲线拟合方式, 计算相关待定系数。通过本方法提出的计算模型可开展近似电极结构标准操作冲击电压计算, 节约试验成本, 为输变电工程外绝缘设计提供参考依据。



1. 一种冲击放电电压计算模型构建方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 间隙放电弹性系数模型建立:根据间隙放电电压变化率与间隙距离变化率之间的关系,提出间隙放电弹性系数定义,即:间隙放电弹性系数 = 间隙放电电压变化率除以间隙距离变化率;

2) 间隙放电弹性系数计算:通过在不同间隙距离下开展棒-板操作冲击放电试验研究,计算其间隙放电弹性系数;

3) 根据计算结果进行曲线拟合:根据棒-板间隙标准操作冲击放电弹性系数计算结果与间隙距离之间的趋势,采用合适的曲线拟合方式,计算相关待定系数;

4) 将上述曲线拟合结果与间隙放电弹性系数定义,建立放电电压与间隙距离相关的等式连接,求解等式确定的放电电压与间隙距离之间存在的数学关系,即可计算冲击放电电压的大小。

2. 根据权利要求 1 所述的冲击放电电压计算模型构建方法,其特征在于,步骤 1) 中,间隙放电弹性系数定义方法如下:根据影响放电电压大小最直接的因素是试验间隙距离  $S$ , 据此,经过开展间隙放电电压变化率与间隙距离的变化率比值研究后,将间隙放电电压变化率  $(\frac{\Delta U}{U})$  与间隙距离的变化率  $(\frac{\Delta S}{S})$  之比定义为间隙放电弹性系数,其中  $\Delta U$ 、 $U$  分别为不同间隙距离下放电电压的变化量与某一间隙下放电电压值; $\Delta S$ 、 $S$  分别为不同间隙距离的变化量与间隙距离,其表达式如下:

$$E_1 = \frac{R_1}{R_2}$$

式中: $E_1$  一间隙放电弹性系数;

$R_1$  一间隙放电电压的变化率;

$R_2$  一间隙距离的变化率。

3. 根据权利要求 2 所述的冲击放电电压计算模型构建方法,其特征在于,步骤 2) 中,根据正极性棒-板标准操作冲击试验结果,计算得到棒-板间隙放电弹性系数和间隙距离的关系对应如下表所示,其中  $S$  为间隙距离,单位 m 为米; $E_1$  为间隙放电弹性系数。

$S_i(\text{m})$	$E_i$
2.0	1.0002
2.5	0.7069
3.0	0.6789
3.5	0.6556
4.0	0.6358
4.5	0.6188
5.0	0.6041

4. 根据权利要求3所述的冲击放电电压计算模型构建方法,其特征在于,步骤3)中,根据步骤2)的计算结果,将棒-板间隙操作冲击放电间隙弹性系数 $E_i$ 与间隙距离 $S_i$ 的观测值散点图绘出,散点分布大致呈一直线,假设 $E_i$ 与 $S_i$ 之间的关系表示为:

$$E_i = M + NS_i$$

对于上式,采用最小二乘法对曲线进行拟合计算得出 $M$ 、 $N$ 值,由此可得间隙放电弹性系数表达式为:

$$E_i = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{\Delta U}{U_i}}{\frac{\Delta S}{S_i}} = M + NS_i$$

将上式整理取积分得:

$$\int \frac{\Delta U}{U_i} = \int (M + NS_i) \frac{\Delta S}{S_i}$$

积分后可得:

$$\ln U_i = M \ln S_i + NS_i + C$$

进一步计算放电电压为:

$$U_i = e^{M \ln S_i + NS_i + C} = C e^{M \ln S_i + NS_i}$$

式中, $C$ 、 $C$ 为常数, $C$ 的计算可分别将不同间隙距离以及该间隙下的放电电压带入计算求得;考虑到不同电极放电电压差异,通过试验研究开展不同电极50%放电电压与棒-板间隙50%放电电压比值研究,得出间隙系数 $K$ ,这样标准操作冲击放电电压与间隙距离的通用表达式为:

$$U_i = KC e^{M \ln S_i + NS_i}$$

上式中,对于棒-板间隙而言, $K=1$ ;对于其他结构电极而言, $K$ 通过试验求得。

## 一种冲击放电电压计算模型构建方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种冲击放电电压计算模型构建方法,尤其涉及一种基于棒-板间隙标准操作冲击放电试验数据的计算模型构建方法,属于冲击电压计量技术领域。

### 背景技术

[0002] 由于进行断路器操作或者电力系统短路等内部原因引起系统电磁能量振荡而产生的过电压为操作过电压。其破坏性较强,且随着电力系统电压等级的不断提升,操作冲击电压下绝缘问题越来越突出,各国学者广泛深入开展了操作冲击电压下空气间隙放电特性研究。

[0003] 在操作冲击电压作用下,对于给定的自恢复绝缘的放电电压与极性相同的快波前冲击电压相比,明显呈现出较低的放电电压,随着间隙距离的增大,间隙的操作冲击放电特性出现饱和。根据大量操作冲击试验结果,空气间隙绝缘强度主要和间隙距离及间隙结构有关。在不同间隙下,对于正极性长空气间隙操作冲击电压而言,相同间隙距离条件下,棒-板间隙的放电电压具有最低值,棒-棒间隙具有最高值,而塔窗内典型间隙放电电压处于棒-板、棒-棒两种间隙之间。由于长间隙下负极性操作冲击放电电压要高于正极性放电电压,在输变电工程中,正极性操作冲击放电成为关注焦点。

[0004] 棒-板间隙作为典型不均匀电场,关于其放电特性各国学者已开展大量的试验研究工作,并且基于试验研究给出多种棒-板典型间隙距离与临界放电电压之间的关系。由于不同的临界波前时间下,棒-板、棒-棒、导线-导线、环-环等结构的间隙放电电压亦有不同,为统一比较方便,在开展具体电压冲击放电强度研究时,建议采用相同电压波形,如标准操作波,国际电工委员会(IEC)和我国国家标准均对标准操作波的波形、幅值等参数做了明确规定。

[0005] 目前国内还没有适用于棒-板间隙标准操作冲击放电试验数据的计算模型构建方法的相关文献报道。有鉴于此,有必要提供一种冲击放电电压计算模型构建方法,以解决上述问题。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是:提出一种基于间隙放电弹性系数的标准操作冲击电压计算模型构建方法,该模型是一种基于棒-板间隙标准操作冲击放电试验数据的计算模型,该模型可为不同结构类型的空气间隙操作冲击放电电压计算提供参考依据。

[0007] 本发明的技术方案是:一种冲击放电电压计算模型构建方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0008] 1)间隙放电弹性系数模型建立:根据间隙放电电压变化率与间隙距离变化率之间的关系,提出间隙放电弹性系数定义;

[0009] 2)间隙放电弹性系数计算:通过在不同间隙距离下开展棒-板操作冲击放电试验研究,计算其间隙放电弹性系数;

[0010] 3)根据计算结果进行曲线拟合:根据棒-板间隙标准操作冲击放电弹性系数计算结果与间隙距离之间的趋势,采用合适的曲线拟合方式,计算相关待定系数。

[0011] 如上所述的冲击放电电压计算模型构建方法,其特征在于,步骤1)中,间隙放电弹性系数定义方法如下:根据影响放电电压大小最直接的因素是试验间隙距离 $S$ ,据此,经过开展间隙放电电压变化率与间隙距离的变化率比值研究后,将间隙放电电压变化率( $\frac{\Delta U}{U_1}$ )与间隙距离的变化率( $\frac{\Delta S}{S_1}$ )之比定义为间隙放电弹性系数,其表达式如下:

下:

[0012]

$$E = \frac{R_1}{R_2}$$

[0013] 式中: $E$ —间隙放电弹性系数;

[0014]  $R_1$ —放电电压的变化率;

[0015]  $R_2$ —间隙距离的变化率。

[0016] 如上所述的冲击放电电压计算模型构建方法,其特征在于,步骤2)中,根据正极性棒-板标准操作冲击试验结果,计算得到棒-板间隙放电弹性系数和间隙距离的关系对应如下表所示,其中 $S$ 为间隙距离,单位 $m$ 为米; $E$ 为间隙放电弹性系数;

[0017]

$S$ (m)	$E$
2.0	1.0002
2.5	0.7069
3.0	0.6789
3.5	0.6556
4.0	0.6358
4.5	0.6188
5.0	0.6041

[0018] 如上所述的冲击放电电压计算模型构建方法,其特征在于,步骤3)中,根据步骤2)的计算结果,将棒-板间隙操作冲击放电间隙弹性系数 $E_1$ 与间隙距离 $S_1$ 的观测值散点图绘出,散点分布大致呈一直线,假设 $E_1$ 与 $S_1$ 之间的关系表示为:

[0019]

$$E_1 = M + NS_1$$

[0020] 对于上式,采用最小二乘法对曲线进行拟合计算得出 $M$ 、 $N$ 值,由此可得间隙放电弹性系数表达式为:

[0021]

$$E = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{\Delta U}{U_1}}{\frac{\Delta S}{S_1}} = M + NS_1$$

[0022] 将上式整理取积分得：

[0023]

$$\int \frac{dU}{U_1} = \int (M + NS_1) \frac{dS}{S_1}$$

[0024] 积分后可得：

[0025]

$$\ln U = M \ln S + NS + C$$

[0026] 进一步计算放电电压为：

[0027]

$$U = e^{M \ln S + NS + C} = C' e^{M \ln S + NS}$$

[0028] 式中， $C$ 、 $C'$ 为常数， $C'$ 的计算可分别将不同间隙距离以及该间隙下的放电电压带入计算求得；考虑到不同电极放电电压差异，通过试验研究开展不同电极 50% 放电电压与棒 - 板间隙 50% 放电电压比值研究，得出间隙系数  $K$ ，这样标准操作冲击放电电压与间隙距离的通用表达式为：

[0029]

$$U = KC' e^{M \ln S + NS}$$

[0030] 上式中，对于棒 - 板间隙而言， $K=1$ ；对于其他结构电极而言， $K$ 通过试验求得。

[0031] 本发明的有益效果是：通过本发明提出的计算模型可开展近似电极结构标准操作冲击电压计算，节约试验成本，为输变电工程外绝缘设计提供参考依据。

## 附图说明

[0032] 图 1 是本发明的棒 - 板间隙操作冲击放电弹性系数与间隙距离散点图。

## 具体实施方式

[0033] 为了更好地理解本发明，下面结合实施例进一步阐明本发明的内容，但本发明的内容不仅仅局限于下面的实施例。本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改，这些等价形式同样在本申请所列权利要求书限定范围之内。

[0034] 弹性系数的概念最早应用于经济领域，反应出某一确定时间阶段内有关联的两个经济指标增长速度的比率，也表示一个经济变量的增长幅度对另一个经济变量增长幅度的依存关系。通过大量试验研究发现，对同一试品在相同环境条件下进行间隙放电电压试验研究，影响放电电压大小最直接的因素是试验间隙距离  $S$ ，据此，可以开展间隙放电电压变

化率与间隙距离的变化率比值研究，将间隙放电电压变化率  $(\frac{\Delta U}{U_1})$  与间隙距离的变化率

$(\frac{\Delta S}{S})$  之比定义为间隙放电弹性系数,其表达式如下:

[0035]

$$E = \frac{R_1}{R_2}$$

[0036] 式中:  $E$ —间隙放电弹性系数;

[0037]  $R_1$ —放电电压的变化率;

[0038]  $R_2$ —间隙距离的变化率。

[0039] 根据间隙放电弹性系数的定义可知,其可能存在以下 4 种情况:

[0040] (1) 完全无弹性:  $E = 0$ , 表示自变量的变化将不会引起因变量的任何变化,即无论间隙距离如何变化,放电电压恒定不变;

[0041] (2) 缺乏弹性:  $0 < E < 1$ , 表示自变量的变化率大于因变量的变化率,即间隙距离的变化率大于放电电压的变化率;

[0042] (3) 单一弹性:  $E = 1$ , 表示自变量的变化率等于因变量的变化率,即任何间隙距离的变动将引起放电电压同等程度的变动;

[0043] (4) 富有弹性:  $E > 1$ , 表示自变量的变化率小于因变量的变化率,即间隙距离的变化率小于放电电压的变化率。

[0044] 根据正极性棒 - 板标准操作冲击试验结果,计算对应参数见表 1 所示。表 1 是棒 - 板间隙放电弹性系数和间隙距离的关系,其中  $S$  为间隙距离(单位 m 为米);  $E$  为间隙放电弹性系数。

[0045] 表 1 棒 - 板操作冲击放电弹性系数

[0046]

$S$ (m)	$E$
2.0	1.0002
2.5	0.7069
3.0	0.6789
3.5	0.6556
4.0	0.6358
4.5	0.6188
5.0	0.6041

[0047] 根据表 1 计算结果可知,随着间隙距离的增大,间隙放电弹性系数随之减小,考虑到 2m 间隙下的计算步长(2m)与其它间隙步长(0.5m)差距较大,该点下相应计算结果暂不考虑。根据计算结果,将棒 - 板间隙操作冲击放电间隙弹性系数  $E_1$  与间隙距离  $S_1$  的观测值散点图绘于图 1 所示。由图 1 可见,散点分布大致呈一直线,假设  $E_1$  与  $S_1$  之间的关系表示

为：

[0048]

$$E_1 = M + NS_1$$

[0049] 对于上式,可采用最小二乘法对曲线进行拟合计算得出  $M$ 、 $N$  值。由此可得间隙放电弹性系数表达式为：

[0050]

$$E = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{\Delta U}{U_1}}{\frac{\Delta S}{S_1}} = M + NS_1$$

[0051] 将上式整理取积分得：

[0052]

$$\int \frac{dU}{U_1} = \int (M + NS_1) \frac{dS}{S_1}$$

[0053] 积分后可得：

[0054]

$$\ln U = M \ln S + NS + C$$

[0055] 进一步计算放电电压为：

[0056]

$$U = e^{M \ln S + NS + C} = C' e^{M \ln S + NS}$$

[0057] 式中,  $C$ 、 $C'$  为常数。 $C'$  的计算可分别将不同间隙距离以及该间隙下的放电电压带入计算求得。考虑到不同电极放电电压差异,通过试验研究可开展不同电极 50% 放电电压与棒-板间隙 50% 放电电压比值研究,得出间隙系数  $K$ ,这样标准操作冲击放电电压与间隙距离的通用表达式为：

[0058]

$$U = KC' e^{M \ln S + NS}$$

[0059] 上式中,对于棒-板间隙而言,  $K=1$ ;对于其他结构电极而言,  $K$  可以通过试验求得。

[0060] 以上内容是结合具体的实施方式对本发明的进一步详细说明,本专利在对棒-板间隙操作冲击放电弹性系数与间隙距离拟合时采用了线性拟合的方式,不排除采用其他不同拟合方式的可能性,因此不能认定本发明的具体实施方式仅限于此,对于采用其它不同拟合方式所计算得出的任何结果都应当视为属于本发明所提交的权利要求书确定专利保护范围。

[0061] 本说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。



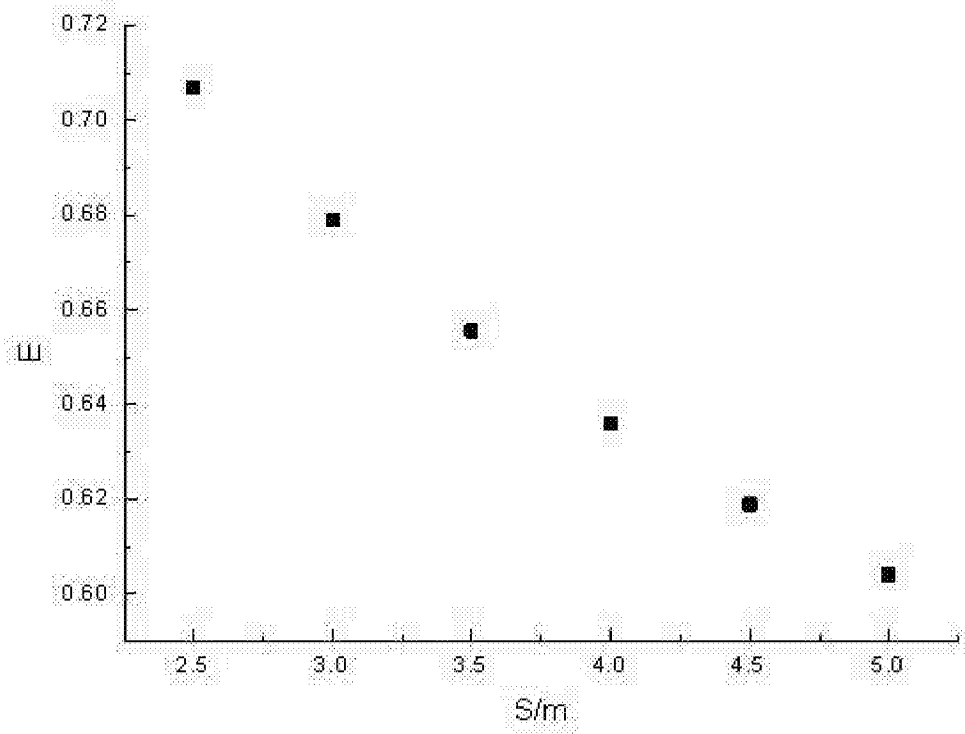


图 1