



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107167726 A

(43)申请公布日 2017.09.15

(21)申请号 201710335098.X

(22)申请日 2017.05.12

(71)申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区100084信箱82
分箱清华大学专利办公室

(72)发明人 王宾

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务
所 61215

代理人 段俊涛

(51) Int. Cl.

G01R 31/327(2006.01)

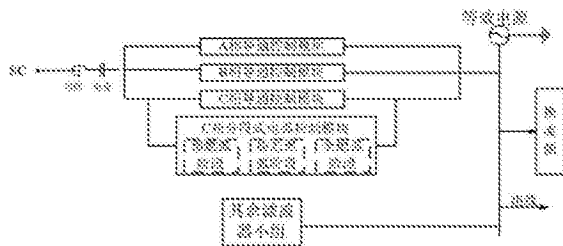
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种断路器内部击穿电弧建模方法

(57)摘要

一种断路器内部击穿电弧建模方法,属于电力系统故障检测和保护技术领域,该方法基于传统时变电阻模型和Mayr电弧模型,根据不同时刻电弧电流的变化,以及多次燃弧的特性,将预燃弧阶段分为起弧阶段和不完全燃弧阶段,将全熄弧阶段分为准熄弧阶段和熄弧阶段,建立了改进的三段式电弧模型。本发明方法能够实现断路器燃弧故障预警与识别提供更为可靠地保证,对于实际的工程应用具有良好的指导意义。



1. 一种断路器内部击穿电弧建模方法,其特征在于,具体包括以下步骤:

步骤(1)当电弧处于预燃弧阶段时,利用Mayr模型和传统时变电阻模型的加权来构建预燃弧阶段的动态电弧电阻 $R_y(t)$,具体计算式如下:

$$R_y(t) = w_1 \frac{10}{g_p} + w_2 r_0 + w_2 R_0 e^{-t/T}$$

$$\frac{dg_p}{dt} = \frac{1}{T_p} (G_p - g_p)$$

上式中, g_p 为电弧瞬时电导, G_p 为电弧稳态电导, T_p 为电弧时间常数, i 为电弧电流, w_1 、 w_2 为权重系数, r_0 表示稳态燃弧阶段等效电阻,为一个可整定的常量,取值 0.5Ω , R_0 为起弧前等效电阻,为一个可整定的常量,取值 $10^{12} \Omega$,权重系数的取值为 $w_2 = 1 - 1/2^{k-1}$, $w_1 = 1/2^{k-1}$,其中 k 为燃弧次数;

步骤(2)当电弧处于稳态燃弧阶段时,稳态电弧电阻 r_0 始终为可整定的常量,取值 0.5Ω ;

步骤(3)当电弧处于全熄弧阶段时,基于Mayr电弧模型的高频特性,得到全熄弧阶段的电弧电阻 $R_q(t)$,计算式如下:

$$R_q(t) = \frac{1}{g_p}。$$

一种断路器内部击穿电弧建模方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统故障检测和保护技术领域,特别涉及一种断路器内部击穿电弧建模方法。

背景技术

[0002] 换流站正常运行时,按照日调度计划输出有功功率,该功率一般在70%~100%范围内波动。为了维持动态无功平衡,需要频繁动作断路器投切交流滤波支路电容器组。投切高压容性电路易诱发暂态过电压问题,目前已有多起报道,高压直流换流站断路器开断高压容性电路后再次击穿,导致断路器爆炸恶性事故。

[0003] 实时监测和预警高压直流输电换流站交流滤波器用断路器燃弧故障的关键在于对故障电弧动态特征的分析 and 掌握,其核心在于交流滤波器用断路器电弧的动态建模。

[0004] 最为著名的动态电弧模型为Cassie模型(1939年提出)和Mayr模型(1943年提出),Cassie模型动态比较的是瞬态电弧电压与电弧稳态电压的大小,适合用于大电流情况下的电弧建模,而交流滤波器支路的阻抗较大,电流较小;Mayr模型动态比较的是电弧瞬时功率与热传导功率的大小,在工频条件下做电弧仿真建模效果令人满意,然而对于断路器的燃弧来说,产生的电弧电流为高频,在高频电弧电流每一次过零时刻,均导致一个明显的电弧电阻局部极大值,这势必加大电弧电流的衰减速度,与实际录波数据不符。另外,基于传统非线性电弧电阻模型建立了三段式高频电弧模型,诸多学者对隔离开关的电弧建模进行了研究,其关注点在于提高隔离开关快暂态过电压(VFTO)的计算精度,然而该高频电弧模型不能反应断路器的高频熄弧特性。

发明内容

[0005] 为了克服现有的电弧模型在模拟交流滤波器用断路器燃弧过程中存在的精度不够,同时也为了实现断路器燃弧故障预警与识别,本发明的目的在于提供一种断路器内部击穿电弧建模方法,该方法基于传统时变电阻模型和Mayr电弧模型,根据不同时刻电弧电流的变化,以及多次燃弧的特性,将预燃弧阶段分为起弧阶段和不完全燃弧阶段,将全熄弧阶段分为准熄弧阶段和熄弧阶段,建立了改进的三段式电弧模型,更好地实现电弧故障预警和电弧故障检测的理论基础。

[0006] 为了达到上述目的,本发明的技术方案为:

[0007] 一种断路器内部击穿电弧建模方法,具体包括以下步骤:

[0008] 步骤(1)当电弧处于预燃弧阶段时,利用Mayr模型和传统时变电阻模型的加权来构建预燃弧阶段的动态电弧电阻 $R_y(t)$,具体计算式如下:

$$[0009] \quad R_y(t) = w_1 \frac{10}{g_p} + w_2 r_0 + w_2 R_0 e^{-t/T}$$

$$[0010] \quad \frac{dg_p}{dt} = \frac{1}{T_p} (G_p - g_p)$$

[0011] 上式中, g_p 为电弧瞬时电导, G_p 为电弧稳态电导, T_p 为电弧时间常数, i 为电弧电流, w_1 、 w_2 为权重系数, r_0 表示稳态燃弧阶段等效电阻, 为一个可整定的常量, 取值 0.5Ω , R_0 为起弧前等效电阻, 为一个可整定的常量, 取值 $10^{12} \Omega$, 权重系数的取值为 $w_2 = 1 - 1/2^{k-1}$, $w_1 = 1/2^{k-1}$, 其中 k 为燃弧次数;

[0012] 步骤 (2) 当电弧处于稳态燃弧阶段时, 稳态电弧电阻 r_0 始终为可整定的常量, 取值 0.5Ω ;

[0013] 步骤 (3) 当电弧处于全熄弧阶段时, 基于 Mayr 电弧模型的高频特性, 得到全熄弧阶段的电弧电阻 $R_q(t)$, 计算式如下:

$$[0014] \quad R_q(t) = \frac{1}{g_p}。$$

[0015] 本发明的特点及效果:

[0016] 本发明基于汤逊离子碰撞和高频熄弧理论, 将建模过程分为三个阶段, 包括预燃弧阶段、稳态燃弧阶段和全熄弧阶段, 提出了一种断路器内部击穿电弧建模方法, 将预燃弧阶段分为起弧阶段和不完全燃弧阶段, 其中, 起弧阶段表征初始燃弧的动态变化, 不完全燃弧则反应了初始高频熄弧对电弧的阻碍作用, 另外, 以传统时变电导和改进 Mayr 电弧电阻的加权值作为预燃弧阶段的电弧电阻。通过与实测波形对比, 结果表明本发明提出的电弧模型更符合实际电弧重燃特性, 建模精度高。

附图说明

[0017] 图1为应用本发明的改进的三段式电弧模型示意图。

具体实施方式

[0018] 本发明提出的高压直流输电换流站交流滤波器用断路器电弧建模方法, 结合附图及实施例详细说明如下。

[0019] 本发明的实施例是基于 PSCAD 中国际大电网会议提出的高压直流输电标准模型, 搭建交流滤波器用断路器控制模块模拟换流站 2 次燃弧故障。在建立的交流滤波器用断路器动态电弧模型中, 故障滤波器支路的三相被分开且支路的无关设备被简化处理, 着重突出燃弧的滤波器支路。假设该支路的断路器 C 相发生燃弧故障, 交流滤波器燃弧控制模型示意图如图 1 所示。

[0020] 设定仿真模型的燃弧条件和时长, 其中, 第 1 次燃弧历时 3ms (预燃弧阶段为 0.5ms, 稳态燃弧阶段为 2ms, 全熄弧阶段 0.5ms), 距离第一次燃弧 6ms 后, 电弧发生重燃, 重燃时长 5.1ms (预燃弧阶段为 0.5ms, 稳态燃弧阶段为 4.1ms, 全熄弧阶段 0.5ms), 仿真模型的采样频率 $f = 10^4 \text{Hz}$ 。仿真总时长 0.5s, 第一次燃弧故障发生于 0.2484s。

[0021] 对于第一次燃弧故障, 当处于预燃弧阶段时, 根据步骤 (1), 可得权重系数分别为

$w_1 = 1, w_2 = 0$, 可得该阶段的电弧电阻表达式 $R_q(t) = \frac{10}{g_p}$; 根据步骤 (2), 稳态燃弧阶段的燃弧

电阻为 0.5Ω ; 根据步骤 (3), 全熄弧阶段的电弧电阻 $R_q(t) = \frac{1}{g_p}$ 。将上述不同阶段的电弧电

阻模型按时间顺序依次组合并串联于滤波器支路中, 根据第一次燃弧设定的燃弧条件和仿

真时长,得到的第一次电弧电压和电弧电流如下表1和表2所示:

[0022] 表1断路器第一次燃弧过程的电弧电流

时间 t(s)	电流值 (kA)	时间 t(s)	电流值 (kA)	时间 t(s)	电流值 (kA)
0.2484	0.0059	0.2495	1.0508	0.2506	-0.897
0.2485	0.476	0.2496	0.5185	0.2507	-0.227
0.2486	6.196	0.2497	-0.755	0.2508	0.4061
0.2487	1.976	0.2498	-0.643	0.2509	0.1232
[0023] 0.2488	-1.457	0.2499	0.4982	0.251	-0.539
0.2489	-1.984	0.25	0.6364	0.2511	-0.413
0.249	0.3013	0.2501	-0.464	0.2512	0.1093
0.2491	1.3661	0.2502	-0.853	0.2513	0.0974
0.2492	0.0278	0.2503	0.1387	0.2514	0
0.2493	-1.227	0.2504	0.7379		
0.2494	-0.371	0.2505	-0.111		

[0024] 表1断路器第一次燃弧过程的电弧电压

时间 t(s)	电压值 (kV)	时间 t(s)	电压值 (kV)	时间 t(s)	电压值 (kV)
0.2484	576.3822	0.2495	0.525397	0.2506	-0.44863
0.2485	548.5237	0.2496	0.25923	0.2507	-0.1135
0.2486	121.1907	0.2497	-0.37772	0.2508	0.203071
0.2487	22.9038	0.2498	-0.3215	0.2509	0.061595
[0025] 0.2488	-98.4935	0.2499	0.249104	0.251	-0.26957
0.2489	-0.00973	0.25	0.318221	0.2511	-0.20674
0.249	0.150634	0.2501	-0.2319	0.2512	10.10551
0.2491	10.683027	0.2502	-0.42631	0.2513	3.919432
0.2492	0.013905	0.2503	0.069357	0.2514	0
0.2493	-0.61361	0.2504	0.368974		
0.2494	-0.18554	0.2505	-0.05543		

[0026] 对于第二次燃弧故障,当处于预燃弧阶段时,根据步骤(1),可得权重系数分别为 $w_1 = 1/2, w_2 = 1/2$,可得该阶段的电弧电阻表达式 $R_y(t) = \frac{1}{2} \frac{10}{g_p} + 0.25 + 5 \times 10^{11} e^{-t/T}$;根据步骤

(2),稳态燃弧阶段的燃弧电阻为 0.5Ω ;根据步骤(3),全熄弧阶段的电弧电阻 $R_q(t) = \frac{1}{g_p}$ 。

将上述不同阶段的电弧电阻模型按时间顺序依次组合并串联于滤波器支路中,根据第一次燃弧设定的燃弧条件和仿真时长,得到的第二次电弧电压和电弧电流如下表3和表4所示:

[0027] 表3断路器第二次燃弧过程的电弧电流

[0028]

时间	电流值	时间	电流值	时间	电流值	时间	电流值	时间	电流值

[0029]

t (s)	(kA)	t (s)	(kA)	t (s)	(kA)	t (s)	(kA)	t (s)	(kA)
0.2574	-0.0020	0.2585	-1.0440	0.2596	1.0504	0.2607	-0.6830	0.2618	0.6421
0.2575	-0.0720	0.2586	-1.3080	0.2597	0.6539	0.2608	-0.1380	0.2619	0.1362
0.2576	-2.8	0.2587	0.7556	0.2598	-0.5440	0.2609	0.6797	0.262	-0.329
0.2577	-4.0750	0.2588	1.4848	0.2599	-0.59	0.261	0.4545	0.2621	0.0219
0.2578	0.5792	0.2589	-0.379	0.26	0.5133	0.2611	-0.3970	0.2622	0.0613
0.2579	1.9622	0.259	-1.5070	0.2601	0.8116	0.2612	-0.36	0.2623	0.1705
0.258	0.5293	0.2591	0.0667	0.2602	-0.2030	0.2613	0.4911	0.2624	0.2264
0.2581	-1.53	0.2592	1.2274	0.2603	-0.7180	0.2614	0.576	0.2625	0
0.2582	-0.8220	0.2593	0.2711	0.2604	0.1727	0.2615	-0.108		
0.2583	1.3144	0.2594	-1.08	0.2605	0.8855	0.2616	-0.398		
0.2584	1.1019	0.2595	-0.4330	0.2606	0.1733	0.2617	0.2152		

[0030] 表4断路器第二次燃弧过程的电弧电流

[0031]

时间 t(s)	电压值 kV	时间 t(s)	电压值 kV	时间 t(s)	电压值 kV	时间 t(s)	电压值 kV	时间 t(s)	电压值 kV
0.2574	-481.70	0.2585	-0.522	0.2596	0.5252	0.2607	-0.342	0.2618	0.321
0.2575	-480.10	0.2586	- 0.6539	0.2597	0.327	0.2608	-0.069	0.2619	0.0681
0.2576	-308.90	0.2587	0.3778	0.2598	-0.272	0.2609	0.3398	0.262	-0.328
0.2577	-49.43	0.2588	0.7424	0.2599	-0.295	0.261	0.2273	0.2621	1.2439
0.2578	22.944	0.2589	- 0.1893	0.26	0.2566	0.2611	-0.198	0.2622	21.174

[0032]

0.2579	0.6551	0.259	- 0.6539	0.2601	0.4058	0.2612	-0.18	0.2623	18.776
0.258	0.1767	0.2591	0.0333	0.2602	-0.101	0.2613	0.2456	0.2624	12.322
0.2581	-0.765	0.2592	0.6137	0.2603	-0.359	0.2614	0.288	0.2625	0
0.2582	-0.411	0.2593	0.1356	0.2604	0.0863	0.2615	-0.054		
0.2583	0.6572	0.2594	-0.54	0.2605	0.4428	0.2616	-0.199		
0.2584	0.5509	0.2595	-0.217	0.2606	0.0867	0.2617	0.1076		

。

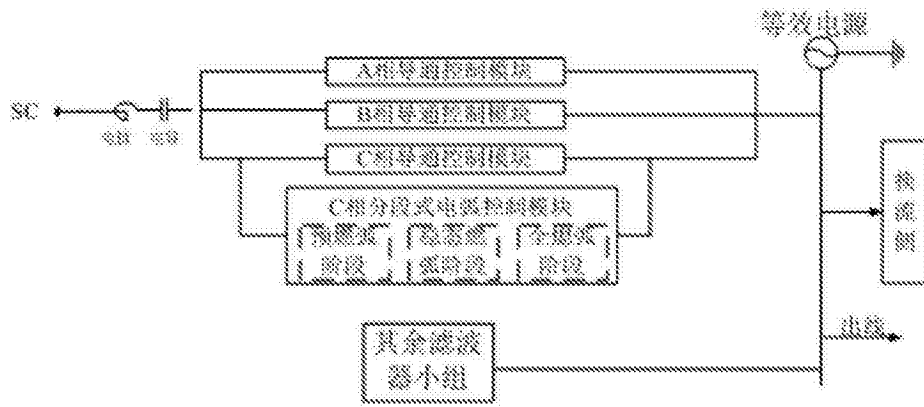


图1