

雷电干扰对方向行波保护的影响

山东工业大学 厉吉文 王广延

摘要:

本文利用数值计算方法对雷电波经避雷器放电的过程进行了模拟仿真计算,分析了此种情况对方向行波保护的影响。

关键词: 雷电干扰; 行波保护。

一 绪 论

目前的常规保护都是以故障的稳态量做为判断故障的信息,由于动作时间较长,可以不考虑开关操作和大气过电压所产生的干扰。但是随着电力系统容量的增大和电等级的提高,对继电保护的動作速度提出了更高的要求,为了满足这一要求,人们提出了以故障暂态量作为判别故障信息的保护,这就是目前受到世界各国关注的行波保护,(也有称之为突变量保护的),它的動作速度极快(例如A SEA生产的RALDA方向行波保护可在1~3ms内检测出各种故障)[1]。那么,开关操作和大气过电压所产生的干扰对它是否有影响呢?在快速保护的设计中是否需要考虑这个因素的影响?尤其是防雷装置的击穿放电过程与短路接地似乎无什么区别。苏联学者B·Φ拉楚金等人认为,随着超高压架空线路电压等级的提高,在雷电现象下线路故障的几率降低,而不伴随短路的干扰开始占优势,所以躲不过雷电干扰(主要是躲不过防雷保护装置的击穿)的保护装置的不正确动作的百分数可能增加,根据估算,对于500kV架空线路,这个百分数为0.14,而对于750kV的架空线则为0.23[2]。本文利用贝瑞隆方法对大气过电压引起的避雷器放电过程进行了数值仿真计算,分析了此种情况下方向行波保护的動作特性。

二 系统各元件的数学模型

1. 贝瑞隆法的传输线,电感、电容,电阻各元件的等值电路和数学模型的推导,许多文献都有论述,可参考文献[3]
2. 避雷器的线性化数学模型避雷器的伏安特性相当于一非线性电阻,可表示为:

$$U = CI^\alpha \quad (1)$$

式中 C, α 为非线性电阻系数

把(1)式写成:

$$I = U^{1/\alpha} / C^{1/\alpha} \quad (2)$$

令 U_k 和 U_{k+1} 表示第 k 次和 $(k+1)$ 次的电压值, 相应的电流为 I_k 和 I_{k+1} , 把 $I_{k+1} = f(U_{k+1})$ 在 U_k 附近展开为泰勒级数, 并略去高次项得:

$$\begin{aligned} I_{k+1} &= F(U_k) + \left. \frac{df}{dU} \right|_{U_k} (U_{k+1} - U_k) \\ &= I_k + G_k U_{k+1} - G_k U_k \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $G_k = \left. \frac{dU}{dU} \right|_{U_k} = \frac{U_k(1/\alpha - 1)}{\alpha C_k^2}$ 是非线性元件在 U_k 点的动态电导。

(3) 式可用一个电流为 $I_k - G_k U_k$ 的等值电流源和电导 G_k 相并联的电路来表示。如图 1 所示。

当把避雷器用线性化模型代替后, 求解电路就可用一般的方法。对每一时刻的 U_k 在给定初值的基础上进行迭代求解, 直到满足 $|U_{k+1} - U_k| < \epsilon$ 为止 (ϵ 为所允许的误差)。

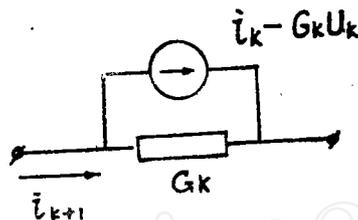


图 1

三 雷电流波形和过电压的形成

根据各国测得的雷电流波形和我国的实测情况, 我国在直击雷的防雷设计中采取 $2.6/40\mu s$ 的波形 (即波头 $\tau_1 = 2.6\mu s$, 波长 $\tau = 40\mu s$), 雷电流的幅值见图 2 (文献 [4])。

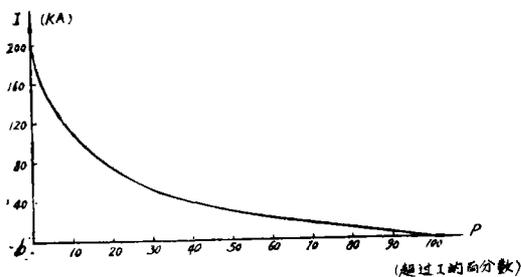


图 2 雷电流幅值概率分布

由于超高压输电线路都有良好的避雷线, 直击雷的可能性很小, 主要是由反击, 绕击和感应三种形式在输电线路产生过电压, 造成避雷器动作。在这三种形式的过电压中, 以反击最为严重。根据清华大学高压教研室“侵入 500kV 变电所雷电流波形的分析与计算”一文中的研究结果, 典型的 500kV 变电站, 由反击在变电站入口处所产生的过电压不超过 2.2 兆伏, 波长较标准波长短。根据上述情况, 可取波长 $\tau = 50\mu s$ (留有一定的裕度), 等效的电流幅值分别为 10kA 和 20kA 两种情况的斜角波形进行仿真计算。

四 计算结果与分析

根据上述各电路元件的数学模型, 对图 3 所示的两端具有避雷器的双电源 500kV 网络进行了数值仿真计算。线路参数取自平武姚双线。因为行波保护只反映故障的突变量, 所以在暂态计算中, 只计算雷电干扰和避雷器续流所产生的暂态信号 $\Delta u, \Delta i$,

Δi 的参考方向为从母线指向线路。

设雷电击于靠近N侧的导线上,使N侧避雷器击穿放电。图4是取计算步长 $\Delta t = 0.01 \text{ ms}$,计算0.5 ms内的 Δu 与 Δi 。

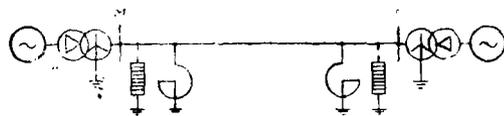


图3 双电源500kV网络

图4 a是不考虑母线电容时计算输出结果;图4 b是考虑母线电容时的计算输出结果。由图4看出考虑母线电容后, Δu 与 Δi 是一个振荡的波形,且 Δi 比不考虑母线电容时的情况大的多(图4 b的电流坐标是 $\text{kA}/10$),但0.1 ms后,两种情况下的 Δu 、 Δi 变化曲线本相似(图4 b由于电流坐标选的较大,0.1 ms后的电流值较小已画不出)。

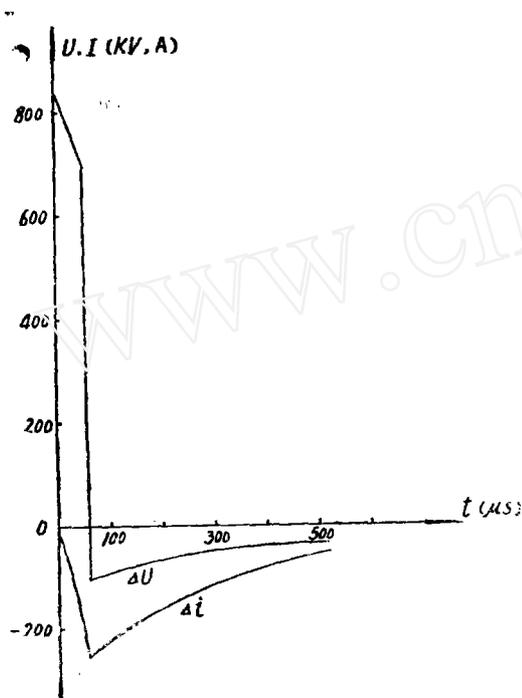


图4 a 等放雷电流幅值 $I = 10 \text{ kA}$

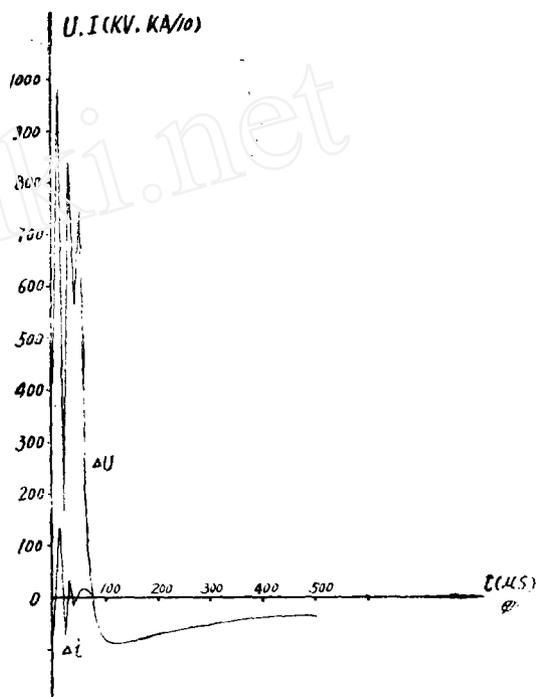


图4 b 等放雷电流幅值 $I = 10 \text{ kA}$

避雷器续流一般在半个周波内,即电流过零点时,电弧即可熄灭,整个过程时间较长,取计算步长 $\Delta t = 0.1 \text{ ms}$,根据雷电波对线路冲击所产生的初始条件,计算续流过程中 Δu 、 Δi 的变化。图(5)是在不同的雷电流幅值和不同的电压初始角下,N侧避雷器放电时的M、N两侧 Δu 、 Δi 的变化过程。

从图4的计算曲线看出,在避雷器的主放电过程中 Δu 、 Δi 的幅值可以和短路时的情况相提并论,甚至是短路时的几倍,但是它的持续时间较短,从仿真波形看出,只要保护的动作用时间不小于0.1 ms,就能躲过雷电干扰。

从图5看出,在避雷器的续流过程中, Δu 、 Δi 的幅值较小,且初始极性为同

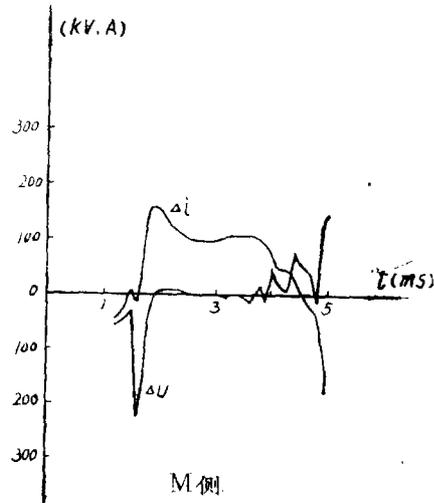
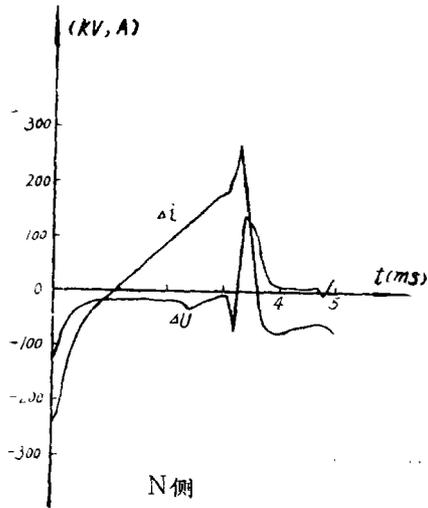


图 5 a $I = 10\text{kA}$, $\varphi = 45^\circ$

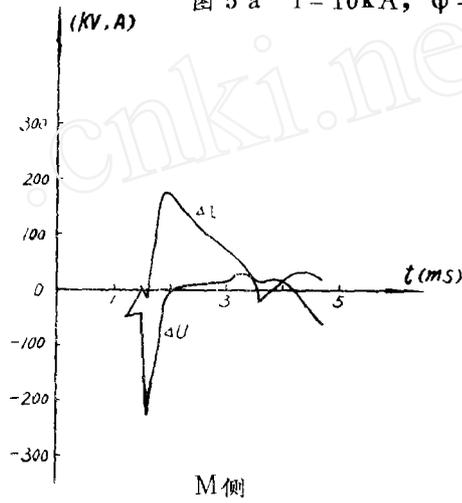
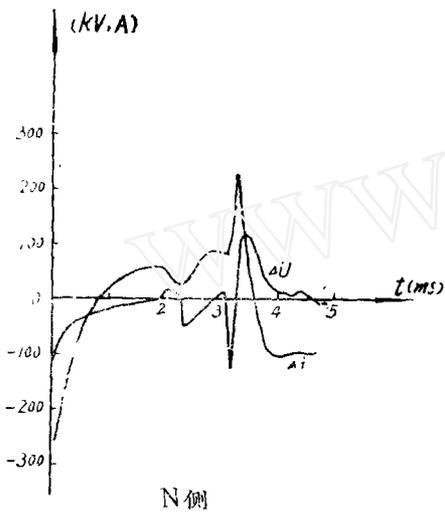


图 5 b $I = 10\text{kA}$, $\varphi = 90^\circ$

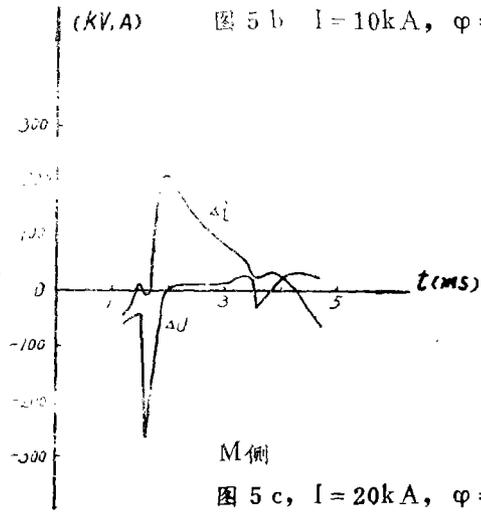
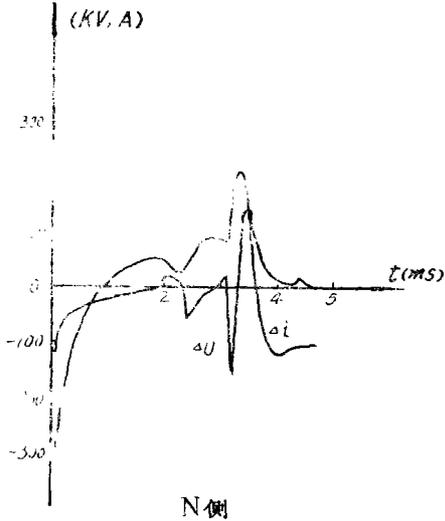


图 5 c, $I = 20\text{kA}$, $\varphi = 90^\circ$

极性，对于方向行波保护来说，判断为反向“1”，与同一地点发生接地短路的情况有明显区别（图6为同一系统N侧出口单相接地时两侧突变量 Δu 、 Δi 的计算曲线）。

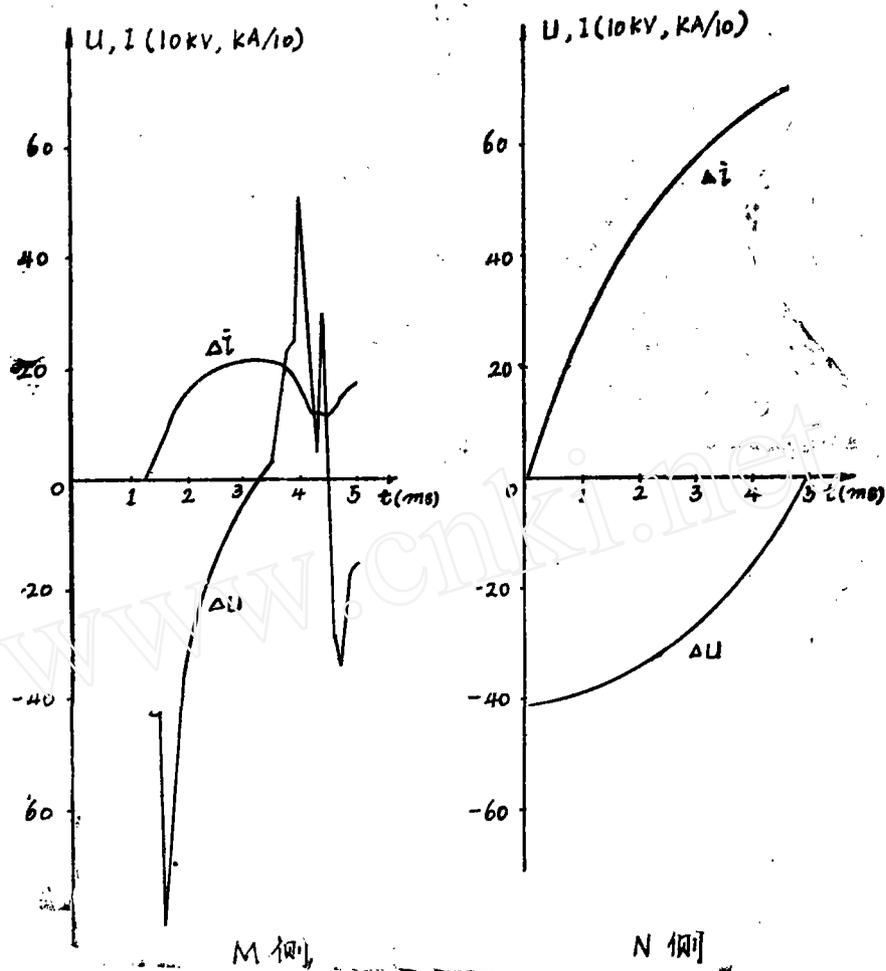


图6 N侧出口单相接地时M, N两侧的暂态电压电流

因此，就目前使用的方向行波保护来看，完全有能力区分短路和雷电引起的避雷装置击穿所造成的干扰。如遇雷电连击的情况，保护有可能误动作，但这种概率毕竟是比较小的，因此，行波保护是一种非常有前途的保护。

五 结 论

1. 只要方向行波保护的动作时间不小于0.1 ms，保护就能区分雷电干扰和短路。
2. 如遇雷电连击，保护有可能误动，但这种概率较小。
3. 避雷器的续流过程不会引起方向行波保护误动。

大型汽轮发电机低励故障的仿真计算 及其保护的動作分析初探

湖北电力试验研究所 肖逸

摘 要

本文针对某系统中一台200MW汽轮发电机严重的低励失步故障进行了仿真分析，较好地说明了故障发生的起因及其过程，并就防止发生类似故障提出了继电保护改进措施。

一 引 言

低励失步是同步发电机常见的故障。据统计，低励失步和失磁故障占大型发电机各类故障的一半以上。1985年，一台容量为200MW的汽轮发电机因低励失步而严重超速，导致机组毁灭性损坏。鉴于近年还将有七、八十台同类机组投入运行，构成我国电力系统主力机组之一，有必要针对本事故进行电气量的仿真分析，为提高国产200MW汽轮发电机的可靠性提供依据。

二 事故前运行工况及事故经过

事故前运行工况见图1。发电机变压器组经286公里长线及受端变压器接入大系统，机端带厂用电负荷，变压器高压侧带地区负荷，发电机总出力为 $140 + j49\text{MVA}$ 。

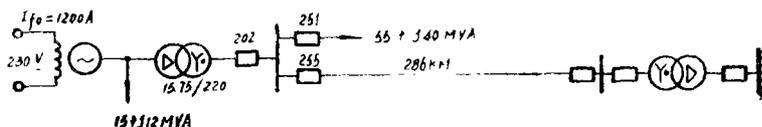


图1 事故前运行工况

参考文献:

1. 《平武500kV输变电工程》系统调试总结，第二篇(上)，PP46—98
2. B·Φ拉楚金“对超高压输电线路继电保护波过程的研究”《继电器译丛》1984年第3期。
3. Dommel, H·W: “Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single and Multi-phase Network” IEEE PAS—88, No. 4, April 1969, PP. 388—399.
4. 《电力系统过电压》，解广润主编，水利电力出版社，1985，PP139—145