

[高压线路]

基于不同步高压线路双端故障录波数据的故障过渡电阻计算

文/广东电力调度控制中心 焦邵麟 曾耿晖 李一泉 刘 玮
北京四方继保自动化股份有限公司 丛明一

提出了一种基于高压线路双端故障录波数据的过渡电阻计算方法,采集线路故障时两侧不同步电压/电流数据,利用傅里叶分解得到两侧电压、电流稳态与故障后相量,根据对称分量法分解得到两侧电压、电流正序、负序和零序分量。

电力系统的故障分析受过渡电阻的影响很大,容易导致保护装置的误动或拒动,而过渡电阻是不可控因素,无法定量处理,尤其是经电弧短路的故障,过渡电阻将会间歇出现,且数值在较大范围内变化,对电力系统的稳定运行产生不利影响。因此计算高压线路故障过渡电阻值,对于帮助操作人员进行故障分析、掌握过渡电阻变化的特点和提高继电保护对过渡电阻的动作特性具有重要意义。

目前有少量文献对线路故障过渡电阻的计算进行了研究。本文提出一种基于双端不同步电气量计算过渡电阻的方法,通过对集中参数模型线路短路时,两端采集的不同步数据进行同步化处理,计算短路时的过渡电阻。利用两端的同步数据,推算故障点电压,利用正序负序网络阻抗相等,计算两端录波数据不同步角度与故障距离;对不同步电流相量进行不同步修正,实现计算过渡电阻值的计算。

输电线路故障过渡电阻的计算原理

1. 稳态工况下求取两端不同步角度

双端高压线路运行示意图如图1所示。假设系统两端电压、电流数据的不同步角度为 δ ,对于短距离高压线路可以采用集中参数模型进行表示,

得到两侧电气量相量之间的关系。

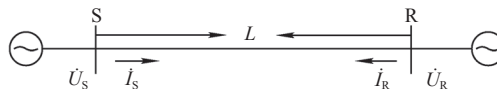


图1 双端高压线路运行示意图

1) 利用对称分量法,求线路两侧电流电压各序分量设存在 F_A 、 F_B 和 F_C 三个相量(F 可以代表电压、电流)是不对称三相相量,则

$$\begin{bmatrix} F_A \\ F_B \\ F_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{0A} + F_{1A} + F_{2A} \\ F_{0B} + F_{1B} + F_{2B} \\ F_{0C} + F_{1C} + F_{2C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, a 为运算子, $a = e^{j120^\circ}$; F_{0A} 、 F_{0B} 、 F_{0C} 为A、B、C三相相量的零序分量, $F_{0A} = F_{0B} = F_{0C} = F_0$; F_{1A} 、 F_{1B} 、 F_{1C} 为A、B、C三相相量的正序分量, $F_{1A} = F_1$, $F_{1B} = a^2 F_1$, $F_{1C} = a F_1$; F_{2A} 、 F_{2B} 、 F_{2C} 为A、B、C三相相量的负序分量, $F_{2A} = F_2$, $F_{2B} = F_2$, $F_{2C} = a^2 F_2$ 。

2) 应用故障点电压相等,列写出正序与负序分量、不同步角度以及故障距离的关系,求得两端电压不同步角度与故障距离。

设线路送端与受端为S、R,全线长度为 L ,单位长度阻抗为 Z ,故障点距离送端为 d ,始端电压为 U_s ,始端电流为 I_s ,受端不同步电压为 U_R ,受端不同步电流为 I_R 。

基金项目:广东电网公司科技项目(GDKJXM20162205)基于故障录波信息的电网故障快速诊断技术研究及高级功能应用

受端同步电压/电流为

$$U'_R = U_R \times e^{j\delta} = U_R y \quad (2)$$

$$I'_R = I_R \times e^{j\delta} = I_R y \quad (3)$$

根据两侧电压电流相量列写的故障距离表达式为

$$d = \frac{U_S - y(U_R - I_R ZL)}{I_S Z + yI_R Z} \quad (4)$$

用发生故障后正序与负序阻抗表示故障距离为

$$d_{\pm} = \frac{U_{S1} - y(U_{R1} - I_{R1} Z_1 L)}{I_{S1} Z_1 + yI_{R1} Z_1} \quad (5)$$

$$d_{\text{负}} = \frac{U_{S2} - y(U_{R2} - I_{R2} Z_2 L)}{I_{S2} Z_2 + yI_{R2} Z_2} \quad (6)$$

将式(5)和式(6)联立, 消去故障距离 d , 整理得到

$$ay^2 + by + c = 0 \quad (7)$$

其中, $a = U_{R1} I_{R2} - U_{R2} I_{R1}$, $b = U_{S2} I_{R1} - (U_{R2} - I_{R2} ZL)$

$I_{S1} - U_{S1} I_{R2} + (U_{R1} - I_{R1} ZL) I_{S2}$, $c = U_{S2} I_{S1} - U_{S1} I_{S2}$ 。

解得线路两侧数据的不同步角度为

$$y_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (8)$$

解得不同步角度后, 就可以进而计算故障距离为

$$d = \frac{U_{S1} - y(U_{R1} - I_{R1} Z_1 L)}{I_{S1} Z_1 + yI_{R1} Z_1} \quad (9)$$

2. 过渡电阻的计算

对高压线路受端电压/电流同步化处理为

$$\begin{aligned} U'_R &= U_R e^{j\delta} = U_R y \\ I'_R &= I_R e^{j\delta} = I_R y \end{aligned} \quad (10)$$

最终计算得到过渡电阻值为

$$R_g = \frac{U_S - dU_S Z}{I_S + I_R} \quad (11)$$

通过两侧电压电流不同步数据, 基于故障点电压相等的方法, 列写正序负序故障距离表达式, 求解不同步角度, 对受端电压、电流相量修正, 最后计算得到故障过渡电阻值。

仿真验证

基于图1双端高压线路运行示意图, 为验证所提算法的正确性和有效性, 采用PSCAD/EMTDC仿真软件, 搭建如图2所示的220 kV双端电源系统, 线路采用 π 型集中参数模型, 长度为80 km, 其中故障测距为50 km, 基准容量为100 MV·A。线路参数为: $Z_1 = 0.00011 + j0.00038$, $Z_0 = 0.00047 + j0.0011$, 设故障发生时刻为1.0 s, 故障持续时间为0.05 s, 本文就这0.05 s的时域信号进行过渡电阻计算, 采样频率为20 000 Hz。

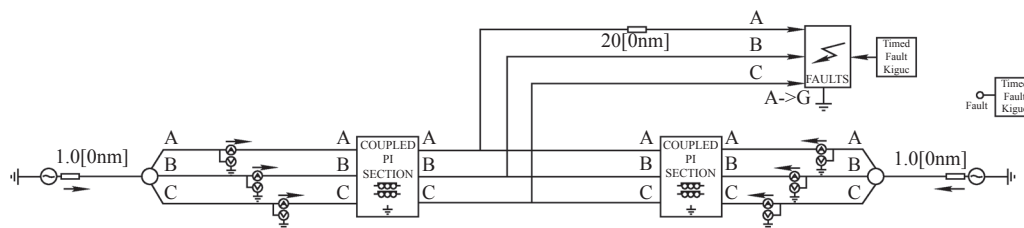


图2 基于PSCAD/EMTDC建立的仿真计算模型图

设置故障类型为A相经50 Ω 过渡电阻接地, 故障点距离线路M侧母线50 km, 右侧延时0.005 s (90°)。

1) PSCAD采集左右两端故障后电压电流数据。

2) 电压电流相量提取, 通过FFT提取左右两端故障前与故障后电压电流相量如表1所示。

3) 根据对称分量法, 求解故障后两端电压电流序分量如表2所示。

表1 高压线路两侧故障前后电压电流相量

相线	故障前		故障后	
	送端电压	受端电压	送端电压	受端电压
A相	$-0.592 - j93.266$	$-92.915 + j0.254$	$-0.737 - j93.881$	$-93.906 + j0.442$
B相	$-80.958 + j47.578$	$47.337 + j81.080$	$-80.955 + j47.579$	$47.336 + j81.083$
C相	$81.689 + j46.301$	$46.570 - j81.529$	$81.692 + j46.302$	$46.569 - j81.526$

表2 高压线路故障前后两侧电压电流各序分量

	送端电压			受端电压		
	正序分量	负序分量	零序分量	正序分量	负序分量	零序分量
A	-0.73-j93.83	-80.95+j47.55	81.62+j46.37	-93.84+j0.42	47.30+j81.04	46.54-j81.56
B	-0.02+j0.07	-0.09-j0.06	0.02-j0.06	-0.01-j0.02	0.006-j0.010	0.05+j0.01
C	-2.11e-07	-2.11e-07	-2.11e-07	-1.84-j6.15	-1.82e-05	-1.84e-05
	-6.78e-j06	-6.78e-j06	-6.78e-j06		-6.15e-j07	-6.19e-j07
	送端电流			受端电流		
	正序分量	负序分量	零序分量	正序分量	负序分量	零序分量
A	-1.6922e-06-j0.0001	-9.607e-05+5.742e-j05	9.776e-05+5.449e-j05	-0.0001-1.840e-j06	8.016e-05+j0.0001	8.334e-05-j0.0001
B	1.042e-06+3.000e-j05	-2.650e-05-1.410e-j05	2.546e-05-1.59e-j05	7.01e-05+1.419e-j06	-3.62e-05+6.00e-j05	-3.3e-05-6.15e-j05
C	2.181e-07+6.798e-j06	2.181e-07+6.798e-j06	2.181e-07+6.798e-j06	1.82e-05+6.150e-j07	1.824e-05+6.150e-j07	1.82e-05+6.150e-j07

4) 利用故障点等电压, 列写出正序与负序分量、不同步角度和故障距离的关系, 求得两端电压不同步角度与故障距离, 并对受端电流相量进行同步化处理。求解不同步角度为0.0032+j0.9993, 即右侧采样不同步角度为90°, 与假设相符。根据故障点电压等电压, 求得故障距离为49.72 km, 与假定的50 km误差较小。

5) 依据送端电压相量, 与两侧电流相量计算过渡电阻值。

通过对受端电流修正, 根据

$$R_g = \frac{U_s - dI_s Z}{I_s + I_R} \tag{13}$$

计算得过渡电阻值为: 51.44+j1.998Ω。

结束语

本文提出了一种基于高压线路双端故障录波数据的过渡电阻计算方法, 采集高压线路两侧不同步电压电流数据, 利用傅里叶分解得到两侧电压、电流稳态与故障后相量, 根据对称分量法分解得到两次电压、电流正序、负序和零序分量。根据故障点电压相等, 列写正序与负序等值网络故障距离表达式, 求取故障距离与不同步角度, 对受端电流相量进行不同步角度修正, 通过送端电压电流相量与受端电流相量计算过渡电阻值。基于PSCAD/EMTDC建模仿真, 验证了方法的有效性。EA

(收稿日期: 2018.12.28)

(编辑: 朱金凤)

(上接第42页)

乙线为A、B、C相。地线采用负的保护角, 由于线路靠电源侧为丘陵地区, 雷电活动比较强烈。2015年改造前雷击跳闸次数4次, 同跳次数2次。2015年9月初进行改造, 至今雷击跳闸次数1次, 没有发生同跳, 相比2015年跳闸次数明显减少。改造前后线路雷击跳闸情况见如表5所示。

表5 改造前后雷击跳闸对比

指标	2015年 (改造前)	2016年 (改造后)	2017年
地闪 (/次×km ⁻² ×a ⁻¹)	4.68	2.12	0.69
雷击跳闸次数/次	4	1	0
同跳次数	2	0	0

从表5中可以看出110 kV的线路改造后雷击跳闸次数呈现出明显的下降趋势, 出现这一问题的主要原因是在进行改造后的防雷改造区的长度所占比重大。通过上述的结论得以看出在展开针

对性的线路改造后, 对有效应对雷电天气, 减少雷击造成跳闸现象有着重要的帮助, 但在整个试验过程中由于缺少更加详细的数据, 因此不能对雷击防治效果有更加直观的说明。

结束语

综上所述, 在110 kV同塔线路雷击跳闸情况分析研究过程中, 输电线路出现故障造成跳闸情况是时有发生, 也正是因为输电线路的跳闸, 严重危害了电网的安全运行, 从而给人们日常生活带来了极大的不便。因此, 本文对雷击跳闸的情况进行分析, 通过案例分析研究, 说明了造成跳闸的关键因素, 旨在为提升我国电力行业水平, 减少因雷击造成的故障而做出贡献。EA

(收稿日期: 2018.11.08)

(编辑: 朱金凤)