

文章编号: 1005—0523(2004)02—0068—04

铁路牵引网故障测距的仿真研究

邱万英, 任才贵

(华东交通大学 基础科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要:首先介绍了铁路牵引网的故障特点, 然后针对故障特点建立考察分布电容的数学模型, 并对模型进行了简化. 在此基础上, 就单相接地故障测距的微分方程处理、测距算法、仿真数据提取等方面的问题提出了独立的见解; 最后得出了关于故障距离、过渡电阻等影响测距精度的结论.

关 键 词:故障测距; 单相接地; 牵引网; 仿真

中图分类号: TM92; U22

文献标识码: A

1 牵引网及其故障

牵引网是接触网、馈电线、轨道和回流线的统称, 属于需要保证不间断供电的一级负荷. 牵引网的故障主要是短路, 分为对称短路和不对称短路. 对称短路是指三相短路, 其余为不对称短路. 不对称短路主要有三种情况, 分别是一臂接触网接轨地短路、复线异相接触网间短路和复线异相接触网间短路并接轨地.

牵引网由于需要供给移动负荷、处于恶劣的工作环境、容易发生弓网事故以及分相绝缘器烧损等多种因素, 其故障的可能性远大于牵引变电所母线和地方电网中的输电线路. 据统计, 单相接地故障占电气化铁路牵引网短路故障的 70%~80%. 有鉴于此, 本文主要针对单相接地故障进行仿真研究.

2 数学模型

影响故障测距精度的主要因素有: 过渡电阻、移动负荷、分布电容等. 为了提高测距精度, 采用考虑分布电容影响的数学模型. 同时为了计算方便, 采用单端测距法. 其简化后的 Γ 型等效电路如图 1 所示.

3 测距算法

3.1 测距方程

假设 A 相发生单相接地短路, 可列方程组

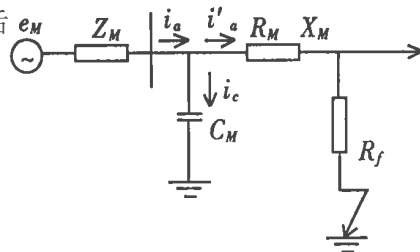


图 1 简化后的 Γ 型等效电路

收稿日期: 2003—05—07

作者简介: 邱万英(1963—), 女, 江西信丰人, 副教授.

$$\begin{cases} U_a = r * X * (i'_a + 3k_r i_0) + L * X \frac{d(i'_a + 3k_1 * i_0)}{dt} + 3k_{f0} * i_0 * R_f \\ i'_a = i_a - i_c \\ i_c = C_m \frac{d(u_a)}{dt} = C * X \frac{d(u_a)}{dt} \end{cases}$$

对上式进行简化,得到

$$u_a = -(r * c * \frac{du_a}{dt} + L * C \frac{d^2 u_a}{dt^2}) * X^2 + (r * i_a + 3k_r * r * i_0 + L \frac{di_a}{dt} + 3k_1 * L \frac{di_0}{dt}) * X + 3k_{f0} * R_f * i_0 \quad (1)$$

假设 R_f 在连续几个采样周期内的值不变,令 $3k_{f0} * R_f = K$

用差分代微分,消去方程中的过渡电阻 R_f .

$$\text{其中 } \frac{du_a(k)}{dt} = \frac{u_a(k+1) - u_a(k-1)}{2T_s}$$

$$\frac{d^2 u_a(k)}{dt^2} = \frac{u'_a(k+1) - u'_a(k)}{T_s} = \frac{u_a(k+1) - 2u_a(k) + u_a(k-1)}{T_s^2}$$

$$\frac{di_a(k)}{dt} = \frac{i_a(k+1) - i_a(k-1)}{2T_s}$$

$$\frac{di_0(k)}{dt} = \frac{i_0(k+1) - i_0(k-1)}{2T_s}$$

由此可得:

$$\begin{cases} U_{a(k)} = -\{r * c * (U_{a(k+1)} - U_{a(k-1)}) / (2T_s) + L * C * (U_{a(k+1)} - 2U_{a(k)} + U_{a(k-1)}) / T_s^2\} X^2 + [r * i_{a(k)} + 3k_r * r * i_{0(k)} + L * [i_{a(k+1)} - i_{a(k-1)})] / (2T_s) + 3k_1 * L * [i_{0(k+1)} - i_{0(k-1)})] / 2T_s + 3k_1 * L * (i_{0(k+1)} - i_{0(k-1)}) / 2T_s\} * X + k * i_{0(k)} \\ U_{a(k+1)} = -\{r * c * (U_{a(k+2)} - U_{a(k)}) / 2T_s + L * C * (U_{a(k+2)} - 2U_{a(k+1)} + U_{a(k)}) / T_s^2\} * X^2 + \{r * i_{a(k+1)} + 3k_r * r * i_{0(k+1)} + L * [i_{a(k+2)} - i_{a(k)}] / (2T_s) + 3k_1 * L * [i_{0(k+2)} - i_{0(k)}] / (2T_s)\} * X + k * i_{0(k+1)} \end{cases} \quad (2)$$

消去系数 K 得测距方程

$$AX^2 + BX + C = 0 \quad (3)$$

式(3)中

$$\begin{aligned} A &= \{r * c * [U_{a(k+2)} - U_{a(k)}] / (2T_s) + L * C * [U_{a(k+2)} - 2U_{a(k+1)} + U_{a(k)}] / T_s^2\} * i_{0(k)} - \{r * C * [U_{a(k+1)} - U_{a(k-1)}] / (2T_s) + L * C * [U_{a(k+1)} - 2U_{a(k)} + U_{a(k-1)}] / T_s^2\} * i_{0(k+1)} \\ B &= \{r * i_{a(k)} + 3k_r * r * i_{0(k)} + L * [i_{a(k+1)} - i_{a(k-1)}] / (2T_s) + 3k_1 * L * [i_{0(k+1)} - i_{0(k-1)}] / (2T_s)\} * i_{0(k+1)} - \{r * i_{a(k+1)} + 3k_r * r * i_{0(k+1)} + L * [i_{a(k+2)} - i_{a(k)}] / (2T_s) + 3k_1 * L * [i_{0(k+2)} - i_{0(k)}] / (2T_s)\} * i_{0(k)} \\ C &= U_{a(k+1)} * i_{0(k)} - U_{a(k)} * i_{0(k+1)} \end{aligned}$$

3.2 方程求解

用牛顿-拉夫逊法求解方程 $AX^2 + BX + C = 0$, 初值 $X_{(0)}$ 取不考虑分布电容支路所求得的 X 值.

牛顿-拉夫逊法的迭代公式: 设 $f(x) = A * X^2 + B * X + C$

$$\begin{cases} \Delta X_k = f[X_k] / f'[X_k] \\ X_{k+1} = X_k - \Delta X_k \end{cases} \quad (4)$$

$$f'(x) = 2AX + B \quad (5)$$

第一次迭代得

$$\begin{cases} \Delta X_{(0)} = f[X_{(0)}] / f'[X_{(0)}] = \frac{A * X_{(0)}^2 + B * X_{(0)} + C}{2A * X_{(0)} + B} \\ X_{(1)} = X_{(0)} - \Delta X_{(0)} \end{cases} \quad (6)$$

依次迭代至 $\triangle X_{(k)} < \epsilon$ (ϵ 是给定值; ϵ 越小表示 X 值越接近真值), 此时 $X_{(k+1)}$ 即为所求的解.

4 仿真研究

针对考虑分布电容的等效电路模型进行计算机编程和仿真. 用 Pspice 进行仿真, 将仿真得到的数据(电压、电流), 输入计算机以求得距离, 并与计算的结果进行比较.

在此, 仅对考虑分布电容的情况进行编程. 因直接按测距公式计算需要求解一元二次方程, 会遇到判断伪根的问题, 故用牛顿-拉夫逊法求解. 先设定一初值 X_0 , 然后进行迭代, 求出满足要求的距离 X .

因为牵引网中一供电臂至多数十 km, 故此处取线路全长 100 km. 假设分别在 20 km、40 km 和 60 km 处发生短路.

将从 Pspice 仿真得出的数据(电压、电流值)作为程序的输入参数, 得到仿真结果如表 1 和表 2 所示.

4.1 故障距离对测距精度的影响(见表 1)

表 1 不同故障点的测量距离和精度($R_f=5\Omega$)

实际距离(km)		20	40	60
各采样时刻 电压值	$u_{a(k-1)}(V)$	3 857.3	4 597.401	11 119.0
	$u_{a(k)}(V)$	4 057.29	4 797.4	13 119.2
	$u_{a(k+1)}(V)$	4 257.28	4 997.399	15 119.5
	$u_{a(k+1)}(V)$	4 457.31	5 197.398	17 119.4
	$i_{a(k+1)}(V)$	161.517	177.597	138.171
	$i_{ak}(A)$	159.845	174.687	136.234
	$i_{a(k+1)}(A)$	157.987	171.301	134.978
	$i_{a(k+2)}(A)$	155.002	168.926	131.875
	$i_{a(k-1)}(A)$	-16.376	-45.351	-77.875
	$i_{0k}(A)$	-14.708	-44.052	-75.612
各采样时刻 零序电流值	$i_{0(k+1)}(A)$	-12.398	-42.753	-73.215
	$i_{0(k+2)}(A)$	-10.235	-41.451	-71.392
	$X(km)$	20.1143	39.759	60.457
测量精度	$u(\%)$	0.57%	0.6%	0.76%

4.2 过渡电阻对测距精度的影响(见表 2)

表 2 不同过渡电阻时的测量距离和精度($X=40\text{ km}$)

过渡电阻 $R_f(\Omega)$		1	5	10
各采样时刻 电压值	$u_{a(k-1)}(V)$	9 787.01	4 597.401	4 118.5
	$u_{a(k)}(V)$	9 987.03	4 797.4	4 318.53
	$u_{a(k+1)}(V)$	10 187.02	4 997.399	4 518.52
	$u_{a(k+1)}(V)$	10 387.04	5 197.398	4 718.49
	$i_{a(k+1)}(V)$	186.295	177.597	172.842
	$i_{ak}(A)$	183.564	174.687	169.497
	$i_{a(k+1)}(A)$	181.156	171.301	167.399
	$i_{a(k+2)}(A)$	178.323	168.926	163.732
	$i_{0(k-1)}(A)$	-49.891	-45.351	-43.96
	$i_{0k}(A)$	-48.1	-44.052	-42.052
各采样时刻 零序电流值	$i_{0(k+1)}(A)$	-45.98	-42.753	-40.753
	$i_{0(k+2)}(A)$	-43.33	-41.451	-38.451
	$X(km)$	40.0956	39.759	40.3715
测量精度	$u(\%)$	0.3%	0.6%	0.928%

5 结 论

由仿真结果可知,考虑分布电容的算法具有较好的测距精度,能够满足一般的现场要求.虽然随着距离 X 的加长,定位误差有所增大,但考控制在 1.5%左右.

参考文献:

[1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,1996.

[2] 何人望. 谐振过电压的计算机监测与消谐系统研究[J]. 铁道学报. 2001, (4):114~116.

[3] 尹项根,等. 电力系统继电保护原理与应用(上册)[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2001.

[4] Scott Bricker et al. Substation Automation Technologies and Advantages[J]. IEEE Computer Application in Power, Volume 14, Number 3, July 2001,31~37.

[5] A.J. Mazon, et al. Selecting ANN Structure to Find Transmission Faults[J]. IEEE Computer Applications in Power, Volume 14, Number 3, July 2001,44~48.

[6] 何人望. 电力贯通线故障测距方法的适应性分析[J]. 华东交通大学学报. 2003, (1):16~19.

Simulation Study of Fault Location in Railway Traction Power Networks

QIU Wan-ying, REN Cai-gui

(School of Natural Science, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper introduces the characteristics of the faults in railway traction power networks, establishes and sim-
plifies an equivalent circuit of single-phase-to-earth fault, independently gives original opinions on solving the differential
equations, fault location algorithm and the acquisition of simulation data, and finally draws conclusions about the influ-
ence of the fault distance and the transient resitance on the precision of fault, and finally location.

Key words: fault location; single-phase-to-earth fault; traction power network; simulation