

基于暂态小波能量的小电流接地故障选线新方法

吴乐鹏,黄 纯,林达斌,朱智军,蒋洪涛

(湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要:为解决小电流接地系统在相电压过零点附近发生故障选线不准确的问题,在详细分析小电流接地系统暂态零序网络故障特性后,提出了一种新的基于暂态小波能量的小电流接地系统选线新方法。首先将各馈线暂态零序电流进行小波变换;再利用小波系数计算小波高频能量和小波低频能量;最后根据相电压峰值附近故障和过零点附近故障时故障信号能量谱特征不同,通过比较小波高频能量或小波低频能量极大值进行选线。采用 EMTP 进行大量仿真,结果表明,该方法不受故障合闸角、故障距离、过渡电阻、电弧及系统运行方式等因素的影响,在线路末端发生单相高阻接地或在相电压过零点附近发生故障时均可以准确可靠选线。

关键词:小电流接地系统;单相接地故障;故障选线;小波能量;EMTP;接地;仿真

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.05.013

0 引言

我国中低压(3~66 kV)配电网多采用小电流接地^[1-2],主要有中性点不接地、中性点经高阻接地、中性点经消弧线圈接地 3 种接地方式。前 2 种方式的故障馈线零序电流的幅值等于非故障馈线零序电流的幅值之和而方向相反,基于这一故障特性提出了多种工频稳态量分析的选线方法^[3-5];但是,中性点经消弧线圈接地方式中,由于消弧线圈的补偿作用,故障馈线零序电流的幅值和相位均发生改变,基于工频稳态量选线方法不再适用。

近年来,基于故障暂态信号分析的选线方法^[6-15]得到研究人员的特别关注。基于故障暂态信号分析的选线方法适用于 3 种小电流接地方式;其原理大多是利用小波变换对故障突变量作精细分析,小波变换依据其良好的时频特性,并通过小波函数的伸缩和平移获得移动时间窗,使小波工具在分析暂态信号和非平稳信号时具有良好的优越性。但是,在相电压过零点附近或者线路末端发生高阻接地故障时,由于其故障暂态分量小,暂态时间短,目前的小波选线方法很难准确判断故障馈线。

本文分析故障暂态零序电流特征,并依据相电压峰值附近故障和过零点附近故障时故障信号能量谱特征的不同,分别对小波系数的高频分量和低频分量计算小波高频能量和小波低频能量,根据故障馈线暂态小波能量最大原理进行选线。该选线方法

充分利用零序电流信号,不受消弧线圈和不稳定电弧影响,可以有效解决线路末端发生单相高阻接地故障或相电压过零点附近发生故障时选线不准确的问题,选线速度快、可靠性高。

1 故障暂态零序电流特征分析

小电流接地系统发生单相接地故障时,其零序网络如图 1 所示。K 闭合时,中性点经消弧线圈接地;K 断开时,中性点不接地。架空线路等效为 π 型等值网络, L_{0i} 、 R_{0i} 、 C_{0i} 分别为第 i 条线路的零序线路电感、电阻和分布电容; U_0 为母线零序电压; L_N 为消弧线圈零序电感; R_{f0} 为零序过渡电阻; U_{f0} 为故障接地点位置虚拟电源在零序网络上的压降; n 为馈线出线数。

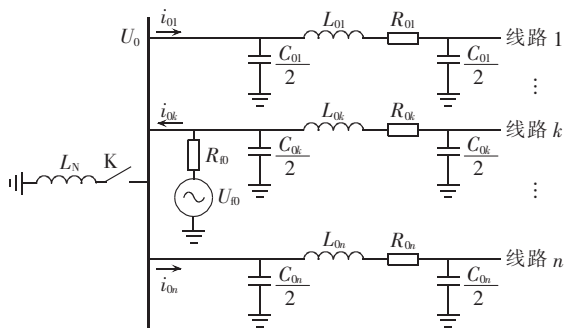


图 1 发生单相接地故障时零序网络图

Fig.1 Zero-sequence network with single-phase grounding fault

由图 1 可知,流过任意健全馈线的零序电流可通过方程表示为:

$$R_{0i}i_{0i} + L_{0i} \frac{di_{0i}}{dt} + \frac{1}{C_{0i}} \int_0^t i_{0i} dt = U_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

当系统发生单相接地故障时,流过故障线路的暂态零序电流 i_{0k} 等于暂态电感电流 i_L 和暂态电容电流 i_C 之和:

收稿日期:2012-03-28;修回日期:2013-03-01

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2010-AA0522555001);湖南省自然科学基金资助项目(10JJ5055);教育部留学回国人员科研启动基金资助项目([2010]1174)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2010AA-0522555001),the Natural Science Foundation of Hunan Province(10JJ5055) and the Scientific Research Foundation for Returned Scholars,Ministry of Education of China([2010]1174)

$$i_{0k} = i_L + i_C \quad (2)$$

$$i_L = i_{Ldc} + i_{Lst} = I_{Lm} [\cos \varphi e^{t/\tau_L} - \cos(\omega t + \varphi)] \quad (3)$$

$$i_C = i_{Cst} + i_{Cst} = I_{Cm} \left[\left(\frac{\omega_f}{\omega} \sin \varphi \sin \omega_f t - \cos \varphi \cos \omega_f t \right) \times e^{-\delta t} + \cos(\omega t + \varphi) \right] \quad (4)$$

其中, i_{Ldc} 为电感电流暂态直流分量, i_{Lst} 为电感电流稳态工频分量, φ 为故障时相电压初相角, I_{Lm} 为电感电流的幅值, τ_L 为电感回路时间常数, i_{Cst} 为电容电流暂态自由振荡分量, i_{Cst} 为电容电流稳态工频分量, I_{Cm} 为电容电流的幅值, δ 为自由振荡分量的衰减系数, ω_f 为暂态自由振荡分量的角频率。

系统发生单相接地故障时,故障线路产生衰减较慢的暂态电感电流 i_L 和衰减较快的暂态电容电流 i_C 。当相电压峰值附近发生故障时,由于暂态电感电流较暂态电容电流小得多,消弧线圈在故障初期不能及时补偿,因此,系统中性点不接地或经消弧线圈接地时,故障线路与非故障线路的零序电流的暂态特性均由暂态电容电流确定,其能量主要集中在高频段 300~1500 Hz^[12](暂态电容电流自由振荡高频段由式(4)确定)。然而,当故障发生在相电压过零点附近时,由于暂态电容电流中的自由振荡分量为零,而基频分量较大,因此非故障线路暂态零序电流的能量主要集中在低频段 0~50 Hz;由式(2)可知,暂态电感电流是由直流分量和工频分量构成的,因此故障线路暂态零序电流的能量同样也集中在低频段 0~50 Hz。

2 小波能量法原理

2.1 小波变换简介

小波变换是一种多尺度的信号分析方法,具有良好的时频局部化特性,非常适合分析非平稳信号的瞬态和时变特性。配电网发生单相接地故障时,线路零序电流是非线性的、非常复杂的非平稳信号,由于小波变换多分辨率的特点,其非常适用于对零序电流进行暂态特征提取。

多分辨率分析(MRA)理论作为小波分析中的基本框架,满足二尺度方程:

$$\varphi(t) = \sqrt{2} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h(n) \varphi(2t-n) \quad (5)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} g(n) \varphi(2t-n) \quad (6)$$

其中, $\varphi(t)$ 为尺度函数; $\psi(t)$ 为小波函数; $h(n)$ 和 $g(n)$ 为小波分解滤波器组系数。

在所有的离散小波基函数中,通过 Mallat 算法快速将原始信号进行小波变换,其实现过程相当于重复使用一组高通和低通滤波器,高通滤波器获得

信号的高频分量,低通滤波器获得信号的低频分量。滤波器得到的 2 个细节分量各占信号频带的 1/2。每次分解将信号的采样频率减小一半,对信号低频分量重复上述分解过程,获得下一层的高频分量和低频逼近分量。

2.2 小波能量

离散时间信号 $f(t)$ 利用 Mallat 算法经过 J 层离散小波分解,得到小波系数高频分量为 $D_j(k)$ 和小波系数低频分量为 $A_j(k)$ (其中 $j=1,2,\dots,J$)。单一尺度下的小波能量为该尺度下小波系数的平方和,则原始信号小波高频能量为 $E_h = \|D_j(k)\|^2$,低频能量为 $E_l = \|A_j(k)\|^2$ 。

由于 db 系列小波的正交性、紧支性,对不规则信号较为敏感,所以本文选用 db6 小波进行小波变换。

3 小波能量极大值法选线原理

由于故障馈线暂态零序电流的幅值等于非故障馈线暂态零序电流幅值之和,小波能量为小波系数的平方和,因此,通过比较各线路小波能量极大值,可以有效拉大故障馈线与非故障馈线判断量的差距,提高选线的准确性,因此本文提出小波能量极大值法的选线原理。其实现步骤如下。

a. 当母线零序电压瞬时值 $u_0(t)$ 大于 KU_N (其中 K 一般取值为 0.35, U_N 为母线额定电压) 时,故障选线装置立即启动,记录下故障前半个工频周期和故障后 1.5 个工频周期的各出线零序电流。

b. 将各出线零序电流采用 db6 小波进行小波分解,用分解后的小波高频系数和低频系数分别计算小波高频能量 E_h 和小波低频能量 E_l 。本文仿真验证结果采样频率为 10 kHz,对零序电流进行 5 层分解,提取系数 d_4 (对应频率 625~1250 Hz) 计算高频小波能量 E_h ,采用系数 a_5 (对应频率 0~312.5 Hz) 计算低频小波能量 E_l ,时间窗为 10 ms。

c. 当小波高频能量的最小值小于设置的阈值 E_{set} 时,视故障发生在电压过零点附近,比较各馈线小波低频能量,反之,比较小波高频能量。 E_{set} 可根据工程现场及检测装置的精度设定,本文仿真取 $E_{set}=10$ 。

d. 比较各馈线小波能量,找出小波能量最大馈线,再将最大小波能量与其他馈线能量进行比较;当最大能量大于等于其他能量之和 ($\max E_j \geq \sum_{i=1, i \neq j}^n E_i$)

时,能量最大馈线 j 发生单相接地故障。反之,如果所有线路的暂态小波能量相差不大,即为母线故障。

实现故障选线的流程如图 2 所示。

4 仿真验证

配电网单相接地故障示意图如图 3 所示,该系

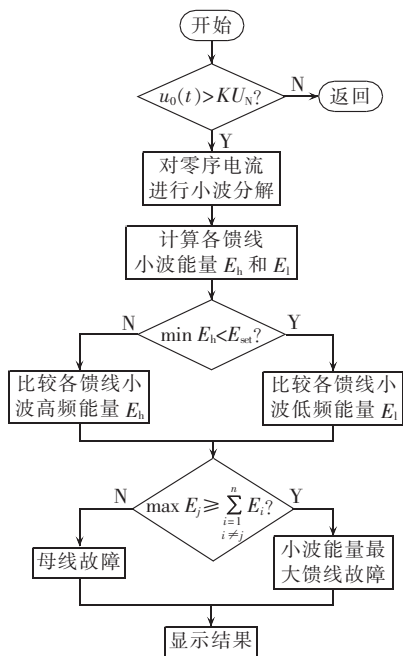


图 2 故障选线算法流程图

Fig.2 Flowchart of faulty line selection algorithm

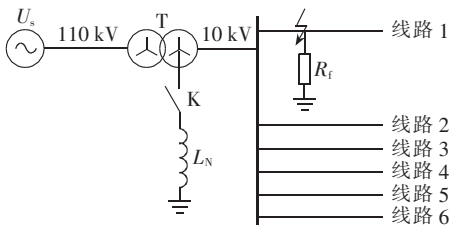


图 3 配电网单相接地故障示意图

Fig.3 Sketch map of single-phase grounding fault in distribution network

统为一个有 6 条线路的 110 kV / 10 kV 变电所, 变压器为 Y / Y₀ 接线。线路参数如下: $r_1 = 0.17 \text{ } \Omega / \text{km}$, $l_1 = 0.38 \times 10^{-3} \text{ H / km}$, $c_1 = 9.69 \times 10^{-9} \text{ F / km}$, $r_0 = 0.23 \text{ } \Omega / \text{km}$, $l_0 = 1.72 \times 10^{-3} \text{ H / km}$, $c_0 = 6 \times 10^{-9} \text{ F / km}$ 。线路 1 至线路 6 长度分别为 3 km、6 km、9 km、12 km、15 km 和 20 km, 线路等效负荷统一采用 $Z_L = 400 + j 200 \text{ } \Omega$ 。低压侧中性点开关 K 断开时系统不接地, 开关 K 闭

合时系统经消弧线圈接地, L_N 计算公式为:

$$L_N = \frac{1 \times 10^6}{3(1 + v\%)(2\pi f_N)^2 l C_0} \tag{7}$$

其中, l 为系统线路总长; f_N 为工频 50 Hz; C_0 为馈线零序电容; v 为失谐度, $v = (I_C - I_L) / I_{C0}$ 。

对图 3 所示系统在 PSCAD/EMTP 中搭建模型, 在不同馈线、补偿度、过渡电阻、故障点、合闸角的情况进行大量仿真, 将仿真得到的数据导入 MATLAB 7.1 中进行分析, 分析结果如表 1 所示。

当故障合闸角较大时, 其能量主要集中在高频段 300~1 500 Hz, 通过提取小波变换系数 d_4 (625 ~ 1 250 Hz) 计算小波高频能量, 比较各馈线暂态高频小波能量 E_h 能够可靠选线; 当故障合闸角在相电压过零点附近时, 暂态电容电流中的自由振荡分量为零, 而基频分量较大, 暂态零序电流的能量主要集中在低频段 0~50 Hz, 通过提取小波变换系数 a_5 (0 ~ 312.5 Hz) 计算小波低频能量, 比较各馈线暂态低频小波能量 E_l 能够可靠选线。由表 1 可知, 基于暂态小波能量极大值法方法不受接地方式、过渡电阻、合闸角的影响, 可靠性高, 能够准确选出故障线路和母线。

5 仿真对比分析

当馈线 4 的末端发生高阻接地故障, 其故障合闸角为 90°, 接地电阻为 1 000 Ω , 补偿度为过补偿 6%, 故障发生时间为 0.32 s, 故障时各馈线零序电流仿真波形如图 4 所示, 图中标注数字对应线路编号, 后同。对图 4 中各馈线零序电流进行小波变换, 利用小波系数计算各馈线高频小波能量 E_h , 计算结果如图 5 所示。

由图 5 可以判断故障发生在馈线 4, 选线准确。而文献[11]计算故障后零序暂态能量, 按线路编号排列分别为[22.58, 23.16, 32.54, 33.65, 29.07, 19.98], 按其选线判据将误判为母线故障。

故障发生相电压过零点附近时, 各馈线零序电

表 1 故障选线结果

Tab.1 Results of faulty line selection

故障线路	R_f / Ω	$\theta / (^\circ)$	补偿方式	X_f / km	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	结果
1	5	0	过补偿 8%	1	374	20	17	15	13	11	正确
	100	60	不接地	1.5	935	45	43	42	31	28	正确
	1000	90	欠补偿 8%	2	2248	90	91	93	87	88	正确
4	5	90	不接地	6	755	654	604	14268	476	404	正确
	100	30	过补偿 15%	2	31	35	30	757	31	25	正确
	1000	0	欠补偿 18%	8	88	83	82	2155	80	76	正确
6	5	45	欠补偿 4%	12	27	23	22	21	14	514	正确
	100	0	不接地	10	5776	5749	5721	5684	5650	142867	正确
	1000	90	过补偿 20%	4	65	66	72	58	70	1655	正确
母线	5	0	过补偿 5%	0	35	31	26	22	18	14	正确
	100	90	不接地	0	89	97	92	80	72	60	正确
	1000	60	欠补偿 9%	0	65	60	59	75	68	55	正确

注: R_f 为过渡电阻; θ 为故障合闸角; X_f 为故障点到母线距离; $E_i (i = 1, 2, 3, \dots, 6)$ 为小波能量。

流以基频分量为主。在馈线 3 距离母线 3 km 处发生单相接地故障,合闸角为 0°,接地电阻为 1000 Ω,补偿度为过补偿 12%,故障发生在 0.315 s 时,故障时各馈线零序电流的仿真波形如图 6 所示。

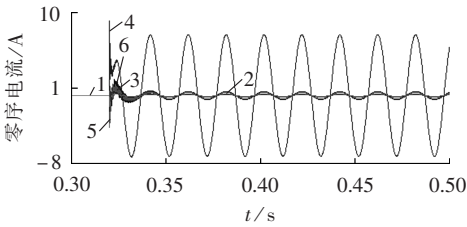


图 4 馈线 4 末端高阻接地时各馈线零序电流波形
Fig.4 Zero-sequence current waveform of each feeder for single-phase grounding fault with high resistance at end of feeder 4

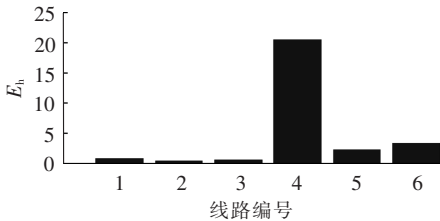


图 5 各馈线暂态高频小波能量
Fig.5 Transient high-frequency wavelet energy of each feeder

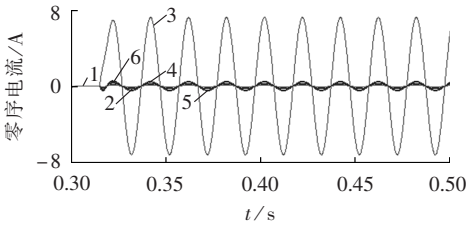


图 6 相电压过零点附近故障时馈线零序电流波形
Fig.6 Zero-sequence current waveform of each feeder for fault near zero-crossing point of phase voltage

对图 6 中各馈线零序电流进行小波变换,利用小波系数计算各馈线低频小波能量 E_l ,计算结果如图 7 所示。由图 7 可以判断故障发生在馈线 3,选线准确。由图 6 可知当故障发生在相电压过零点附近时各馈线故障暂态零序电流以基频分量为主,而文献[11]采用数字滤波器滤除零序电流的基频分量,选线将失效。

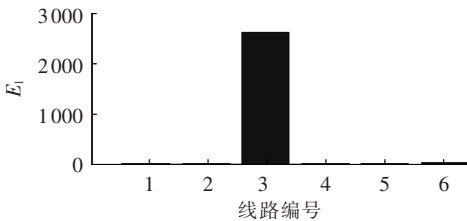


图 7 各馈线暂态低频小波能量
Fig.7 Transient low-frequency wavelet energy of each feeder

6 算法适应性分析

6.1 电弧故障

在实际运行的系统中,间歇性电弧接地故障经常发生,而且电弧熄灭与重燃的过程非常复杂,本文采用开关的开合来模拟电弧重燃和熄灭,在 1 s 内燃熄弧 100 次,当接地电弧故障发生在馈线 2 距离母线 4 km 处时,小波能量法选线结果见表 2。

表 2 线路 2 发生电弧故障选线结果
Tab.2 Results of faulty line selection for arc-grounding fault of line 2

$\theta/(^{\circ})$	补偿方式	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	结果
0	过补偿 8%	35	615	28	23	24	14	正确
30	不接地	301	5764	251	233	208	171	正确
90	欠补偿 8%	1238	23759	1029	954	866	710	正确

6.2 抗干扰能力

小波能量法在叠加噪声干扰的情况下仍能正确选线。给原始信号加入信噪比为 30 dB 白噪声进行干扰,线路 3 在距母线 3 km 处,过渡电阻为 100 Ω,在不同故障合闸角和不同补偿度情况下选线结果见表 3。

表 3 加入噪声后的故障选线结果
Tab.3 Results of faulty line selection with noise

$\theta/(^{\circ})$	补偿方式	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	结果
0	不接地	18	15	356	13	11	12	正确
45	过补偿 5%	56	43	895	36	29	24	正确
90	欠补偿 20%	117	129	2664	102	106	84	正确

6.3 线路末端高阻接地故障

当单相接地故障发生在线路末端时,过渡电阻较大的情况下,本文方法能正确选线。在线路 5 线末端发生故障,过渡电阻为 1000 Ω 时,在不同故障合闸角和不同补偿度情况下的选线结果见表 4。

表 4 线路 5 末端经高阻接地故障选线结果
Tab.4 Results of faulty line selection for grounding fault with high resistance at end of line 5

$\theta/(^{\circ})$	补偿方式	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	结果
0	过补偿 4%	68	63	59	55	1553	66	正确
45	欠补偿 15%	78	83	77	90	2068	86	正确
90	不接地	121	98	110	87	2546	95	正确

7 结论

本文方法根据相电压峰值附近故障和过零点附近故障时故障信号能量谱特征不同,计算小波高频能量和小波低频能量。当小波高频能量的最小值小于阈值时,视故障发生在电压过零点附近,比较各馈线低频小波能量;反之,比较高频小波能量。通过比较高频小波能量或低频小波能量极大值进行选线,对高频小波能量和低频小波能量进行充分利用,使本文方法同时具备了暂态选线和稳态选线 2 种特

性,因此对瞬时性接地故障、电弧性接地故障、间歇电弧接地故障和稳态接地故障都可以实现准确选线。通过计算各馈线小波能量,增大了故障与非故障馈线判断量的差距,同时不需要判断零序电流的极性和方向,提高了选线的准确性。

通过 EMTP 仿真系统进行了几百次电弧、金属性、低阻、高阻、不同合闸角、不同补偿度、不同线路、不同位置等类型的接地故障仿真实验,实验数据验证了本方法的准确性。

参考文献:

- [1] BALDWIN T,RENOVICH F. Fault locating in ungrounded and high-resistance grounded systems[J]. IEEE Trans on Industry Application,2001,37(4):1152-1159.
- [2] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,2001:194-197.
- [3] 曾祥君,尹项根,张哲,等. 配电网接地故障负序电流分布及接地保护原理研究[J]. 中国电机工程学报,2001,21(6):84-88.
ZENG Xiangjun,YIN Xianggen,ZHANG Zhe,et al. Study for negative sequence current distributing and ground fault protection in middle voltage power systems[J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(6):84-88.
- [4] 唐铁,陈奎,陈庆,等. 导纳互差之绝对值和的极大值法小电流接地选线研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(6):49-54.
TANG Yi,CHEN Kui,CHEN Qing,et al. Study on earthed fault location method in indirectly grounding power system using maximum value of absolute value summation of measurement admittance mutual difference[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(6):49-54.
- [5] 陈奎,唐铁,刘长江,等. 谐振接地电网单相接地故障选线的研究[J]. 高电压技术,2007,33(1):61-65.
CHEN Kui,TANG Yi,LIU Changjiang,et al. Research on detecting single-phase-to-ground faulted feeder in resonant grounded power distribution system[J]. High Voltage Engineering,2007,33(1):61-65.
- [6] 赵新红,袁洪,车伟,等. 小波变换在小电流接地电弧故障选线中的应用[J]. 高电压技术,2005,31(10):18-20.
ZHAO Xinhong,YUAN Hong,CHE Wei,et al. Study of arc-grounding fault selection based on wavelet analysis for the small current neutral grounding system[J]. High Voltage Engineering,2005,31(10):18-20.
- [7] 王耀南,霍百林,王辉,等. 基于小波包的小电流接地系统故障选线的新判据[J]. 中国电机工程学报,2004,24(6):54-58.
WANG Yaonan,HUO Bailin,WANG Hui,et al. A new criterion for earth fault line selection based on wavelet packets in small current neutral grounding systems[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(6):54-58.
- [8] 苗友忠,孙雅明,杨华. 中性点不接地配电系统馈线单相接地故障的暂态保护新原理[J]. 中国电机工程学报,2004,24(2):28-32.
MIAO Youzhong,SUN Yaming,YANG Hua. A new principle of transient current grounded relay for feeder in ungrounded distribution systems[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(2):28-32.
- [9] 赵慧梅,张保会,段建东,等. 一种自适应捕捉特征频带的配电网单相接地故障选线新方案[J]. 中国电机工程学报,2006,26(2):41-46.
ZHAO Huimei,ZHANG Baohui,DUAN Jiandong,et al. A new scheme of fault line selection with adaptively capturing the feature band for power distribution networks[J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(2):41-46.
- [10] 束洪春,肖白. 配电网单相电弧接地故障选线暂态分析法[J]. 电力系统自动化,2002,26(21):58-61.
SHU Hongchun,XIAO Bai. A transient-based fault line selection for single-phase to ground fault on distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems,2002,26(21):58-61.
- [11] 束洪春,刘娟,司大军,等. 一种自适应消弧线圈接地系统故障选线的实用新方法[J]. 电力系统自动化,2005,29(13):64-68.
SHU Hongchun,LIU Juan,SI Dajun,et al. An adaptive new method for fault line selection in little current grounding systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(13):64-68.
- [12] 戴剑峰,张艳霞. 基于多频带分析的自适应配电网故障选线研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(5):44-47.
DAI Jianfeng,ZHANG Yanxia. Study on adaptively choosing fault line under single-phase to grounded fault based on analysis of multi-frequency bands[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(5):44-47.
- [13] 贾清泉,杨奇逊,杨以涵. 基于故障测度概念与证据理论的配电网单相接地故障多判据融合[J]. 中国电机工程学报,2003,23(12):6-11.
JIA Qingquan,YANG Qixun,YANG Yihan. Fusion strategy for single phase to ground fault detection implemented through fault measures and evidence theory[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(12):6-11.
- [14] 薛永端,徐丙银,冯祖仁,等. 小电流接地故障暂态方向保护原理研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(7):51-56.
XUE Yongduan,XU Bingyin,FENG Zuren,et al. The principle of directional earth fault protection using zero sequence transient in non-solid earthed network[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(7):51-56.
- [15] 束洪春,彭仕欣,李斌,等. 利用测后模拟的谐振接地系统故障选线方法[J]. 中国电机工程学报,2008,28(16):59-64.
SHU Hongchun,PENG Shixin,LI Bin,et al. A new approach to detect fault line in resonant earthed system using simulation after test[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(16):59-64.

作者简介:

吴乐鹏(1987-),男,江西宜春人,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护、分布式发电保护与控制(E-mail:240140326@qq.com);

黄纯(1966-),男,湖南沅江人,教授,博士,研究方向为电力系统及其自动化、继电保护、电能质量分析与控制、信号处理;

林达斌(1985-),男,湖南衡阳人,硕士研究生,研究方向为电能质量分析与控制、信号处理。

Faulty line selection based on transient wavelet energy
for non-solid-earthed network

WU Lepeng,HUANG Chun,LIN Dabin,ZHU Zhijun,JIANG Hongtao

(College of Electrical and Information Engineering,Hunan University,Changsha 410082,China)

Abstract: The fault characteristics of transient zero-sequence network are analyzed in detail,which demonstrates that,the energy spectrum of fault near phase-voltage peak is different from that of fault near zero-crossing point. Aiming at the inaccurate selection of faulty line of non-solid-earthed network when fault occurs near the zero-crossing point of phase voltage,a method of faulty line selection based on transient wavelet energy is proposed,which carries out the wavelet transform of transient zero-sequence current for each feeder,calculates the high- and low-frequency wavelet energies according to the wavelet coefficients, and selects the faulty line according to the maximum value of high- or low-frequency energy. Results of EMTP simulation show that,the proposed method is immune to the closing angle,fault distance,transition resistance,arc,system operating mode,etc.,and the faulty line can be accurately and reliably selected when the single-phase grounding fault occurs with high resistance at the end of line or the fault occurs near the zero-crossing point of phase voltage.

Key words: non-solid-earthed network; single-phase grounding fault; faulty line selection; wavelet energy; EMTP; electric grounding; computer simulation

(上接第 69 页 continued from page 69)

Design of ADRC-based controller for VSC-HVDC system

FAN Bin¹,WANG Ben¹,LI Xinyu²

(1. School of Electrical Engineering,Southwest Jiaotong University,Chengdu 610031,China;

2. Department of Electrical Engineering,Langfang Polytechnic Institute,Langfang 065000,China)

Abstract: The operating principle of VSC-HVDC system is briefly discussed and its transient mathematical model is established in the synchronous rotating coordinates. The ADRC (Auto Disturbance Rejection Control) method is adopted in the design of outer loop voltage/power controller to generate the inner loop current references for rectifier and inverter. The Fal function is employed in the outer loop of sending terminal and the first-order ADRC is employed in its inner loop to track the current reference while the first-order ADRC in the outer loop of receiving terminal and the Fal function in its inner loop to track the current reference,which is applied to realize the complete decoupling of system model and the independent control of system active power and reactive power. The designed controller is simulated with MATLAB/Simulink and results show that,with satisfied control performance,system responds quickly to the variation of AC/DC system voltage and the step change of active/reactive power.

Key words: VSC; HVDC power transmission; auto disturbance rejection control; Fal function; extended state observer