

5-26-2022

A faulty feeder selection method for adjustable arc-suppression coil system based on phase-to-phase current mutation feature

Qiaoshan CHEN

Hunan Provincial Engineering Research Center of Electric Transportation and Smart Distributed Network, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China

Yuanyuan WANG

Hunan Provincial Engineering Research Center of Electric Transportation and Smart Distributed Network, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China

Tao FANG

Jiangmen Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Jiangmen 529200, China

Gen WEI

Nanning Power Supply Bureau, Guangxi Power Grid Co., Ltd., Nanning 530029, China

Yue HUANG

Changsha Power Supply Bureau, State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd., Changsha 410015, China

Follow this and additional works at: <https://jepst.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

CHEN, Qiaoshan; WANG, Yuanyuan; FANG, Tao; WEI, Gen; and HUANG, Yue (2022) "A faulty feeder selection method for adjustable arc-suppression coil system based on phase-to-phase current mutation feature," *Journal of Electric Power Science and Technology*. Vol. 37: Iss. 2, Article 6.

DOI: 10.19781/j.issn.1673-9140.2022.02.006

Available at: <https://jepst.researchcommons.org/journal/vol37/iss2/6>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electric Power Science and Technology. It has been accepted for inclusion in Journal of Electric Power Science and Technology by an authorized editor of Journal of Electric Power Science and Technology.

基于相间电流突变特征的可调消弧线圈 接地系统选线方法

陈桥山¹, 王媛媛¹, 方涛², 韦根³, 黄跃⁴

(1. 长沙理工大学湖南省电动交通与智能配网工程技术研究中心, 湖南长沙 410114; 2. 广东电网有限责任公司
江门供电分公司, 广东江门 529000; 3. 广西电网有限责任公司南宁供电分公司, 广西南宁 530000;
4. 国网湖南省电力有限公司长沙供电分公司, 湖南长沙 410015)

摘要:为提高中性点经消弧线圈接地系统故障选线的准确性, 详细分析单相接地故障时故障线路与非故障线路相间电流分布特征。发现过渡电阻不大时故障线路相间电流在故障前、后变化量与非故障线路相间电流变化量差别较大, 但在高阻接地故障时差别不明显; 故障后主动调整消弧线圈补偿度, 发现高阻接地故障时故障线路相间暂态电流突变量等于零序电感电流变化量, 特征表现明显。为此, 提出综合利用故障发生与补偿度调整后的相间电流突变特征的无整定故障选线方法, 并借助欧式距离定义各线路故障特征距离, 故障线路表征出最大值。大量仿真结果表明, 所提新判据具有免整定、耐高过渡电阻和小故障角故障等优点。

关键词:故障选线; 谐振接地系统; 单相接地故障; 相间电流变化量

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2022.02.006 中图分类号:TM862 文章编号:1673-9140(2022)02-0047-07

A faulty feeder selection method for adjustable arc-suppression coil system based on phase-to-phase current mutation feature

CHEN Qiaoshan¹, WANG Yuanyuan¹, FANG Tao², WEI Gen³, HUANG Yue⁴

(1. Hunan Provincial Engineering Research Center of Electric Transportation and Smart Distributed Network, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Jiangmen Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Jiangmen 529200, China; 3. Nanning Power Supply Bureau, Guangxi Power Grid Co., Ltd., Nanning 530029, China; 4. Changsha Power Supply Bureau, State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd., Changsha 410015, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of faulty feeder selection when the single-phase-grounding fault occurs in a resonant earthed system, the distribution features of phase-to-phase current in both faulty lines and non-faulty lines are analyzed in detail. It is found that in a small fault resistance rather than a high fault resistance, there is a significant difference between the variation of phase-to-phase current in faulty feeder and non-faulty feeder. If the compensation degree of arc-suppression coil is adjusted after the occurrence of the fault, the mutation of phase-to-phase transient current would be equal to the change of zero-sequence inductor current, which is more overt in the case of high

收稿日期:2019-12-23; 修回日期:2020-04-10

基金项目:国家自然科学基金(51777014); 湖南省重点研发项目(2018GK2057); 湖南省教育厅重点项目(18A124); 长沙市科技计划项目(kq1901104)

通信作者:王媛媛(1980-), 女, 博士, 教授, 主要从事电力系统保护与控制等研究; E-mail: wyy_1202@163.com

impedance grounding faults. Therefore, a non-setting faulty line selection method is proposed, which integrates the mutation features of phase-to-phase current mutation in each line with compensation adjustment after the fault. The fault feature distance can also be defined by Euclidean distance so that the line with maximum value can be distinguished as the faulty line. Simulation results show that the proposed criteria requires no setting, and can fit in the scenarios with high transition resistance or small inception angle fault.

Key words: faulty feeder selection; resonant grounding system; single-phase-grounding fault; phase-to-phase current mutation

中国配电网中性点大多采用非有效接地方式,发生故障后消弧线圈自动接入,利用其电感电流补偿故障点的电容电流,降低故障电流幅值,且具有易于熄灭电弧和减小过电压冲击等优势。配电系统大多数故障为单相接地故障,在中性点经消弧线圈补偿时,接地电流更为微弱,故障区分度小,故障检测和故障选线准确度低^[1]。

近年来,为了避免单相接地故障进一步引发相间短路故障,而导致大面积停电,国内外已经提出了多种选线方法。如暂态能量法^[2]、注入法^[3]、行波法^[4]、小波分析^[5]、灰关联度^[6]等。但由于中性点非有效接地方式仅通过对地电容形成回路、过渡电阻高、故障初始角小、故障特征不明显,上述方法具有一定的局限性。综合利用多种故障特征实现准确的故障识别,克服了单一故障特征数据的不足,在配电网故障选线中具有良好的应用效果。目前,聚类分析^[7]、证据融合^[8]、神经网络^[9]等信息融合技术已应用在选线中,但上述方法需要处理大量的数据样本,数据冗余较大,在现场应用效果有待验证。故障暂态过程因其幅值大、蕴含丰富的特征信息,学者们尝试将暂态特征融入多判据的方法进行故障选线,文献^[10]利用特征频带求取故障零模电流的幅值和相位差异,融合数学形态谱表征故障线路;文献^[11]综合利用相电流突变量和重心频率,建立二维故障选线判据选线;文献^[12]综合暂态与工频信息解决了现场变压器极性反接的问题,但仅考虑了故障暂态特征,特征维度单一;文献^[13]通过对接地故障全过程分阶段处理,融合暂态能量特征和零序有功功率,提高了单一选线的灵活性,但故障特征数据处理困难,现场应用效果不佳。随着自动跟踪补偿消弧线圈成套装置的日益发展,文献^[14]提出故障后主动改变消弧线圈的电抗值引起线路上零序电流模值变化来区分故障线路。消弧线圈装置上故障暂态信息

易提取,为综合故障暂态与稳态特征融合方法提供了有利条件。

本文在详细分析各线路相间电流特征分布的基础上,于故障发生后的一个周期内主动调整消弧线圈补偿度,综合利用故障后的相间电流变化量和补偿度调整后的相间电流突变特征,计算各条线路到坐标基准点的故障特征距离。最后,基于无整定保护判别的方法,实时比较每条线路的故障距离大小,故障线路表征出最大值,从而选择出故障线路。

1 相间电流变化特性分析

1.1 单相接地故障的相间电流变化特征

中性点经可调消弧线圈接地的小电流接地系统如图1所示,系统中包含 N 条馈线支路供给配电网负荷供电,系统经可调消弧线圈 L 接地。中性点电压为 u_0 ,三相电压为 E_p ,母线电压为 U_p , p 表示A、B、C三相;流过线路首端的相电流为 $I_{p,N}$, N 表示线路 $1,2,\dots,N$;各线路每相对地电容为 C ;各相负荷电流分布为 I_{Dp} ,各相电容电流为 I_{cp} 。为简单起见,故障发生后各电气量用上标“'”表示。

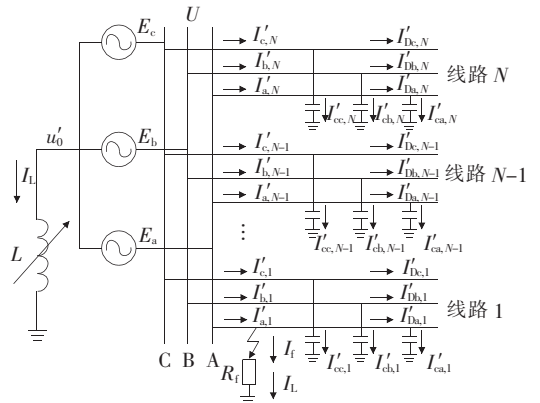


图1 单相接地故障时的相电流

Figure 1 Distribution of phase current with single-phase-grounding fault

在正常运行时,流过线路 1 首端的三相电流分别为电容、负荷电流的叠加:

$$I_{p,1} = I_{cp,1} + I_{Dp,1} = j\omega C(u_0 + e_p) + I_{Dp,1} \quad (1)$$

当线路 1 的 A 相发生接地故障时,故障后三相线电压依然保持对称,但每相对地电压发生变化,中性点电压 u_0 变为 u'_0 。在线路首端可以测量到故障相电流为

$$I'_{a,1} = I'_{ca,1} + I'_{Da,1} + I_f = j\omega C(u'_0 + e_p) + I'_{Da,1} + I_f \quad (2)$$

而对于故障线路 1 及健全线路的非故障相,有

$$I'_p = I'_{cp} + I'_{Dp} = j\omega C(u'_0 + e_p) + I'_{Dp} \quad (3)$$

故障时通常假设负荷侧电流在故障前、后均保持为恒定值,即 $I'_{Dp} = I_{Dp}$ 。故障线路故障相电流变化量为

$$\Delta I_{a,1} = I'_{a,1} - I_{a,1} = j\omega C(u'_0 - u_0) + I_f \quad (4)$$

故障线路 1 及健全线路的非故障相电流变化量为

$$\Delta I_p = I'_p - I_p = j\omega C(u'_0 - u_0) \quad (5)$$

根据式(4)、(5)分析可知,故障线路的相间电流变化量为

$$[\Delta I_{ab}, \Delta I_{bc}, \Delta I_{ca}] = [I_f, 0, -I_f] \quad (6)$$

健全线路的相间电流变化量为

$$[\Delta I_{ab}, \Delta I_{bc}, \Delta I_{ca}] = [0, 0, 0] \quad (7)$$

中性点经消弧线圈接地系统发生单相接地故障,故障点电流为系统对地分布电容、零序电感电流之和,结合图 1 分析可知,接地点故障电流为

$$I_f = \frac{u'_0}{j3\omega L} - j\omega C_\Sigma(u'_0 + e_p) = \frac{u'_0 + e_a}{R_f} \quad (8)$$

一般故障条件下,根据相间电流变化特征能有效判别出故障馈线;非故障线路的相间电流变化特征等于零;而故障线路的变化量为故障点接地电流 I_f ,相间差较大。随着过渡电阻 R_f 的增加,故障特征电气量不断减弱,基于稳态信号特征难以检测如树障、导线坠地等过渡电阻在 1 kΩ 以上的高阻接地故障。

故障后自动跟踪补偿消弧线圈成套装置,按设定补偿参数补偿系统电容电流。此时若主动调整消弧线圈补偿度,在短时间内会有一较大的突变值,此过程包含丰富的暂态故障特征,为故障选线提供了有利条件。

1.2 消弧线圈补偿度调整后的相间电流突变特征

为了消除过渡电阻对故障选线的影响,本文融

合系统补偿度调整后相间电流暂态突变特征。针对谐振接地系统高阻接地故障分析,文献[15]给出了较为清晰的解释,如图 2 所示, $u_f = u_m \sin(\omega t + \theta)$ 为故障点虚拟电源, u_m 为故障相电压幅值, ω 为工频频率, θ 为故障初始角; R_f 为 3 倍的接地点过渡电阻; L_Σ 、 R 分别为故障点到母线间线路的等效电感、电阻; Z_C 为所有线路对地容抗; Z_L 为消弧线圈零序等效电抗。

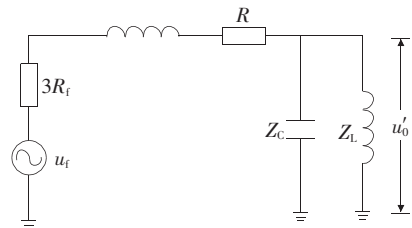


图 2 经消弧线圈接地系统单相接地故障暂态等值电路

Figure 2 Transient equivalent circuit of single-phase earth fault for neutral grounded by Peterson coil

为了避免系统产生谐振过电压,消弧线圈补偿度在调整前、后均保持过补偿状态,补偿度调整后的各电气量用上标“'”表示。由图 2 可知,改变消弧线圈电抗值,故障点电流会有较小的改变,若接地点过渡电阻较高,则其电压占比也相应较高,母线电压可近似认为不随补偿度调整而变动,即 $u''_0 = u'_0$ 。

系统补偿度调整前流过故障线路始端的故障相电流为

$$i'_{a,1} = C \frac{d(u'_0 + e_p)}{dt} + i'_{Da,1} + i_f \quad (9)$$

而对于故障线路 1 及健全线路的非故障相,有

$$i'_p = C \frac{d(u'_0 + e_p)}{dt} + i'_{Dp} \quad (10)$$

由上述分析可知,补偿度调整后认为母线电压保持恒定值,而健全线路各相及故障线路 1 的非故障相均为电容、负荷电流,电流突变量 $\Delta i'_p = 0$;故障相电流突变特征恰好为接地点故障电流 i_f 的突变量,其值为补偿电流的改变值

$$\Delta i'_{a,1} = i'_f - i_f = \Delta i_L \quad (11)$$

系统补偿度调整后电感电流的变化量为

$$\Delta i_L = \frac{u''_0}{j3\omega L_2} - \frac{u'_0}{j3\omega L_1} \approx u'_0 \left(\frac{1}{j3\omega L_2} - \frac{1}{j3\omega L_1} \right) \quad (12)$$

与故障后的相间电流变化特征类似,调整系统补偿度,故障线路的相间电流突变量为

$$[\Delta i'_{ab}, \Delta i'_{bc}, \Delta i'_{ca}] = [\Delta i_L, 0, -\Delta i_L] \quad (13)$$

健全线路的相间电流突变量为

$$[\Delta i'_{ab}, \Delta i'_{bc}, \Delta i'_{ca}] = [0, 0, 0] \quad (14)$$

基于补偿度调整的相间暂态电流差突变特征:故障、健全线路的非故障相电流基本保持恒定值,变化量等于零;而故障线路相间电流差突变量为电感电流变化量,在某种程度上能消除高阻接地故障难以准确判别故障线路的缺陷,但在相电压过零点时暂态分量的幅值最小,特征值表现不明显。

2 无整定的故障选线方法

为了提高选线的准确度,本文提出综合故障前、后的相间电流差特征与补偿度调整后相间暂态电流突变特征融合的故障选线方法,利用故障前、后各线路的相间电流差求取稳态特征,然后调整系统补偿度进一步计算其暂态突变量特征,2个特征值互相补充,消除了高阻接地故障难以判别的缺陷。

设 $x_1(n)$ 、 $x_2(n)$ 分别为某相电流在时域上故障发生前、后 1 个周期的采集信号, $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 为补偿度调整前、后的 1 个周期的采集信号, n 为信号序列的长度。在同一数据窗下,定义各线路故障后相间电流变化特征数组 $[J_{oab}, J_{obc}, J_{oca}]$ 为

$$J_o = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_1(n) - x_2(n)) \quad (15)$$

系统补偿度调整后各线路相间电流变化特征数组 $[J_{pab}, J_{pbc}, J_{pca}]$ 为

$$J_p = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (y_1(n) - y_2(n)) \quad (16)$$

由上述分析可知,非故障线路相间变化特征值等于零,相间电流变化特征数组接近坐标基准点 $(0, 0, 0)$;而故障线路在故障后相间电流变化量等于接地点电流 I_f ,补偿度调整后故障线路突变为电感电流 Δi_L ,故障线路相间电流突变特征 $[I_f, 0, -I_f]$ 和 $[\Delta i_L, 0, -\Delta i_L]$ 均远离坐标基准点。因此,若以各线路数据三相电流变化量建立三维坐标系,综合利用故障发生后及补偿度调整后的相间电流变化特征,可以根据欧氏距离定义各线路到坐标基准点的故障特征距离:

$$d_k(i) = \sqrt{(J_o - 0)^2 + (J_p - 0)^2} \quad (17)$$

通过比较各线路的故障距离大小,故障线路表

征出最大值。该方法只需要采集电感电流、三相电压和三相电流量,适合就地测量的 FTU 装置上实现,且无需人为设定选线阈值,具有很高的选线可靠性和鲁棒性。故障选线流程如图 3 所示,选线步骤:

1) 在线检测可调消弧线圈接地系统的三相电压并计算零序电压 U_0 有效值,当大于限定阈值 $0.15U_N$ 后,判定为系统发生故障,记录故障时刻为 t_1 ,启动选线判断方案;

2) 计算系统故障后各馈线的三相电流变化量,并得出各线路相间电流变化特征数组 $[J_{oab}, J_{obc}, J_{oca}]$;

3) 在故障发生后 1 个周期 (20 ms) 内,调整消弧线圈补偿度,记录故障时刻为 t_2 ,计算各线路相间电流变化特征数组 $[J_{pab}, J_{pbc}, J_{pca}]$;

4) 计算线路 i 的故障特征距离 $d_k(i)$,故障距离最大的为故障线路。理论上非故障线路的特征距离为 0,但由于保护装置的测量精度和干扰信号的影响,会有一个较小的值。

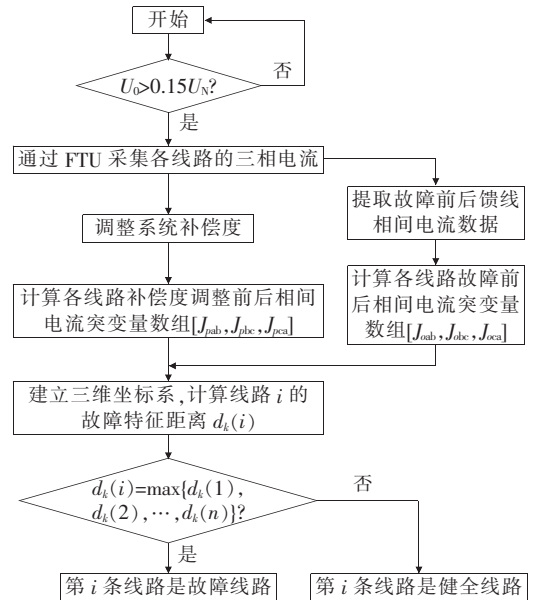


图 3 故障线路选线流程

Figure 3 Flow chart of faulty line selection

3 仿真分析

3.1 仿真模型

为验证本文所提利用各线路相间电流突变特征的选线方法,基于 PSCAD 仿真软件搭建含 5 条馈线的 10 kV 小电流接地系统模型,如图 4 所示,并设

置有架空、电缆和缆线混合线路等多种复杂的线路结构。可调消弧线圈 L 经 Z 型变压器接地,配电网系统各线路参数如表 1 所示。

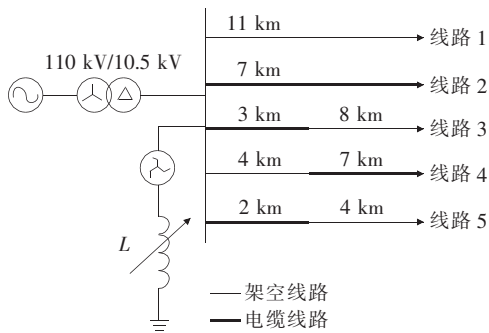


图 4 10 kV 配电网仿真模型

Figure 4 Simulation model of 10 kV distribution system

表 1 架空、电缆线路参数

Table 1 Parameters of overhead line and cable lines

相序	架空线路			电缆线路		
	$R/(\Omega/\text{km})$	$L/(\text{mH}/\text{km})$	$C/(\mu\text{F}/\text{km})$	$R/(\Omega/\text{km})$	$L/(\text{mH}/\text{km})$	$C/(\mu\text{F}/\text{km})$
正序	0.185 0	1.210 0	0.007 2	0.270 0	0.255 0	0.339 0
零序	0.235 0	3.700 0	0.005 4	2.700 0	1.049 0	0.280 0

仿真模型构建了 5 条线路,其中线路 1、2 分别由 11 km 纯架空和 7 km 纯电缆线路组成;线路 3~5 为缆线混合线路。各条线路的负荷采用 $100+j20 \Omega$ 的阻抗经三角形接线以消除零序分量;消弧线圈的补偿度初始值取 $\rho = 10\%$,电感值等于 0.56 H。

3.2 仿真分析

本文针对线路结构、故障点接地电阻及故障位置、故障初始角、补偿度调整程度等对所提基于相间电流突变特征选线方案的影响,进行详细的仿真测试,仿真情况如下:

- 1)故障线路 L_m 为 1~5;
- 2)故障电阻 R_f 为 1~5 000 Ω ;
- 3)故障位置 X_f 为线路长度的 0%~100%,间隔为线路长度的 10%;
- 4)故障初始角 θ 为 $0^\circ \sim 90^\circ$;
- 5)补偿度 ρ 调整。

为了防止系统电容、消弧线圈电感电流产生谐振现象,消弧线圈装置应采用过补偿运行方式,按国家电网公司技术标准^[16]规定系统补偿度设定为 5%~20%,实际应用中一般不超过 15%;本文中仿真设定补偿度范围为 5%~10%。

为了方便分析,假设线路 5 的 50%处发生单相

接地故障,当消弧线圈装置按设定值 10%自动接入补偿系统对地电容电流后,主动调整消弧线圈电抗值至 5%。根据各条馈线在故障前、后和系统补偿度改变前、后相间电流突变量,计算得到相应的相间电流突变特征数组,再利用 Matlab 软件分析出故障、健全线路一个周期内的故障特征距离变化曲线,如图 5、6 所示。健全线路故障特征距离接近于 0,而故障线路故障特征距离远高于健全线路。

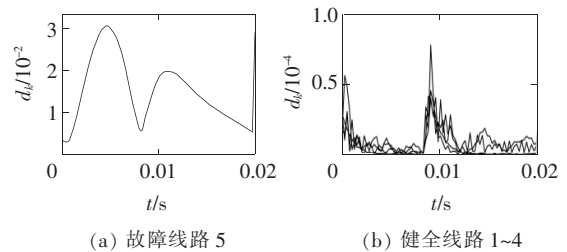


图 5 故障电阻为 100 Ω 的各馈线故障特征距离

Figure 5 The fault feature distance of each feeders when the grounding resistance is 100 Ω

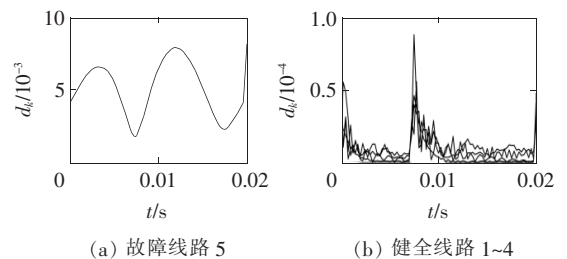


图 6 故障电阻为 1 000 Ω 的各馈线故障特征距离

Figure 6 The fault feature distance of each feeders when the grounding resistance is 1 000 Ω

在文 1 中分析了高阻接地故障难以判别和相电压过零点时暂态分量较小的情况。仿真时特别地分析单一特征判据和所提综合故障特征在故障初始角为 0° 、接地电阻为 5 000 Ω 的各馈线相间电流故障特征,如图 7 所示。基于稳态特征的判据 1 在高阻接地故障情况下幅值较小,且在过零点 S_1 处存在判别死区;基于暂态特征的判据 2 在调整系统补偿度的前 1/2 周期内暂态分量幅值较小,过零点 S_2 处存在判别死区。而本文所提出的综合故障特征距离的判据相比单一故障特征选线幅值较大,不含过零点,具有较好的选线效果。

为进一步验证故障选线方案的准确性,仿真时详细分析不同故障条件下各馈线相间电流的故障特征距离,如表 2 所示,可以看出,即使过渡电阻增大至 5 000 Ω ,使得故障电气量减弱,在故障、非故障线路的故障特征区分度降低的情况下,故障线路的故

障特征距离仍能远大于非故障线路。可知无论在何种故障条件下,基于融合故障、补偿度调整后的相间电流突变特征的故障选线方法能准确判定故障线路,且区分度较高。

为了符合工程实际需求,仿真分析系统补偿度调整范围对故障选线方案的影响(如线路4设置故障),如表3所示,数据表明,补偿度的调整程度对故障线路的识别影响不大,在工程实践中只需调整较小值就能有效地判定故障线路。

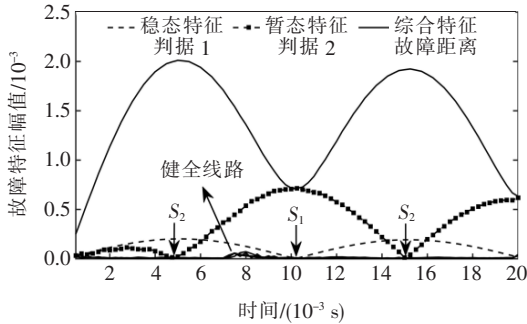


图7 故障电阻为5 000 Ω的选线方案对比

Figure 7 Comparison of faulty feeder selection when the grounding resistance is 5 000 Ω

表2 基于不同故障条件下各线路的故障特征距离

Table 2 Results of the fault feature distance based on different fault conditions

L_m	$X_f / \%$	R_f / Ω	$\theta / (^\circ)$	$d_{ki} [d_{k1}, d_{k2}, d_{k3}, d_{k4}, d_{k5}] / 10^{-3}$	选线
1	10	5	0	[74.987, 0.020, 0.017, 0.013, 0.014]	正确
	50	500	45	[10.603, 0.019, 0.014, 0.011, 0.012]	正确
	90	5 000	90	[1.379, 0.019, 0.017, 0.011, 0.013]	正确
2	10	5	0	[0.011, 74.073, 0.015, 0.010, 0.012]	正确
	50	500	45	[0.011, 10.768, 0.015, 0.010, 0.012]	正确
	90	5 000	90	[0.012, 1.466, 0.012, 0.015, 0.012]	正确
3	10	5	0	[0.014, 0.020, 74.276, 0.013, 0.014]	正确
	50	500	45	[0.012, 0.020, 10.528, 0.011, 0.013]	正确
	90	5 000	90	[0.012, 0.017, 1.355, 0.013, 0.013]	正确
4	10	5	0	[0.013, 0.020, 0.017, 74.793, 0.014]	正确
	50	500	45	[0.011, 0.019, 0.015, 10.752, 0.012]	正确
	90	5 000	90	[0.011, 0.020, 0.013, 1.439, 0.012]	正确
5	10	5	0	[0.011, 0.019, 0.015, 0.011, 75.236]	正确
	50	500	45	[0.012, 0.017, 0.014, 0.011, 10.971]	正确
	90	5 000	90	[0.012, 0.021, 0.015, 0.012, 1.497]	正确
母线	—	10	0	[0.012, 0.018, 0.016, 0.011, 0.013]	正确
—	—	100	90	[0.013, 0.019, 0.017, 0.014, 0.014]	正确

注:各线路 $\Delta\rho$ 为10%→5%

表3 基于系统补偿度调整范围下各线路综合故障特征距离

Table 3 Results of the fault feature distance based on different compensation degree adjustment

$\Delta\rho$	$X_f / \%$	R_f / Ω	$\theta / (^\circ)$	$d_{ki} [d_{k1}, d_{k2}, d_{k3}, d_{k4}, d_{k5}] / 10^{-3}$	选线
10%	10	5	0	[0.013, 0.019, 0.016, 75.745, 0.014]	正确
	↓	50	500	45	[0.010, 0.017, 0.013, 12.477, 0.012]
8%	90	8 000	90	[0.013, 0.019, 0.014, 0.818, 0.012]	正确
8%	10	5	0	[0.014, 0.020, 0.017, 74.077, 0.015]	正确
	↓	50	500	45	[0.012, 0.021, 0.015, 12.432, 0.013]
5%	90	8 000	90	[0.013, 0.018, 0.015, 0.827, 0.013]	正确

4 结语

本文根据可调消弧线圈接地系统单相接地故障时各线路相间电流突变特征,提出了一种无整定保护判据的故障选线方法。该方法综合利用故障线路与健全线路故障后以及消弧线圈补偿度调整后的相间电流突变变量的差异构造二维选线判据,并建立故障特征距离坐标来刻画各线路相间电流差值突变特征,故障线路表征出最大值。该方法具有如下特点:

1)详细分析了各条线路在故障发生前后的相间电流差值变化特点,将其与消弧线圈补偿度调整后的相间电流突变特征结合,与单一特征判据相比,受过渡电阻和故障初始角影响较小,故障线路辨识度较高。

2)利用欧氏距离结合了故障后及补偿度调整后的相间电流差判据,根据故障特征距离的大小判别故障线路和健全线路,无需人为设定选线阈值,选线准确率高。

参考文献:

- [1] 徐丙根,薛永端,冯光,等. 配电网接地故障保护若干问题的探讨[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(20): 1-7.
XU Bingyin, XUE Yongduan, FENG Guang, et al. Discussion on several problems of earthing fault protection in distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(20): 1-7.
- [2] 方毅,薛永端,宋华茂,等. 谐振接地系统高阻接地故障暂态能量分析与选线[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(19): 5636-5645.
FANG Yi, XUE Yongduan, SONG Huamao, et al. Transient energy analysis and faulty feeder identification method of high impedance fault in the resonant grounding system

- [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(19): 5636-5645.
- [3] 张颖, 张宇雄, 容展鹏, 等. 基于中性点零序电流注入的高阻接地辨识方法[J]. 电力科学与技术学报, 2016, 31(3): 123-129.
ZHANG Ying, ZHANG Yuxiong, RONG Zhanpeng, et al. High resistance grounding fault identification method with zero sequence current injection at neutral point[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2016, 31(3): 123-129.
- [4] NAMDARI F, SALEHI M. High-speed protection scheme based on initial current traveling wave for transmission lines employing mathematical morphology[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2017, 32(1): 246-253.
- [5] 韩祥民, 刘晓波, 刘敏, 等. 基于改进 EEMD 与 GA-BP 的谐振接地故障选线方法[J]. 智慧电力, 2021, 49(12): 80-87.
HAN Xiangmin, LIU Xiaobo, LIU Min, et al. Resonant grounding fault line selection method based on improved EEMD and GA-BP model[J]. Smart Power, 2021, 49(12): 80-87.
- [6] 郝越峰. 主动干预式消弧装置故障选线方法[J]. 高压电器, 2021, 57(2): 184-188.
HAO Yuefeng. Fault line selection method of active intervention arc suppression device[J]. High Voltage Apparatus, 2021, 57(2): 184-188.
- [7] 简金宝, 王媛媛, 曾祥君, 等. 基于系统聚类分析的馈线接地保护[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(5): 111-116.
JIAN Jinbao, WANG Yuanyuan, ZENG Xiangjun, et al. Earth Fault feeder detection based on hierarchical clustering analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(5): 111-116.
- [8] 吴建辉, 刘伟, 康国庆, 等. 基于波形相似度的配网小电流接地故障选线技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(8): 38-42+49.
WU Jianhui, LIU Wei, KANG Guoqing, et al. Research on line selection technology of distribution network with small current and ground fault based on waveform similarity[J]. Power System and Clean Energy, 2020, 36(8): 38-42+49.
- [9] 王雪菲, 李京, 陈平, 等. 基于行波波综合相似度比较的电缆故障选线[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(1): 51-59.
WANG Xuefei, LI Jing, CHEN Ping, et al. Cable fault line selection based on comprehensive similarity comparison of traveling wave waveforms[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(1): 51-59.
- [10] 赵思腾, 桂林, 张琦雪, 等. 大型发电机及其机端外接元件单相接地故障定位[J]. 中国电力, 2020, 53(3): 119-125.
ZHAO Siteng, GUI Lin, ZHANG Qixue, et al. Ground fault location of large generator and external components[J]. Electric Power, 2020, 53(3): 119-125.
- [11] 刘谋海, 王媛媛, 曾祥君, 等. 基于暂态相电流特征分析的故障选线新方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2017, 29(1): 30-36.
LIU Mouhai, WANG Yuanyuan, ZENG Xiangjun, et al. Novel method of fault lineselection based on characteristic analysis of transient phase-current[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2017, 29(1): 30-36.
- [12] 薛永端, 张秋凤, 颜廷纯, 等. 综合暂态与工频信息的谐振接地系统小电流接地故障选线[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(24): 80-85.
XUE Yongduan, ZHANG Qiufeng, YAN Tingchun, et al. Faulty feeder identification based on combined transient and power-frequency components in resonant grounded systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(24): 80-85.
- [13] 张国军, 张文周, 葛群, 等. 基于补偿参数的多零序电流互感器的小电流接地系统单相接地故障选线方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(2): 1-9.
ZHANG Guojun, ZHANG Wenzhou, GE Qun, et al. Single-phase ground fault line selection method of small current grounding system of multiple zero-sequence current transformer based on compensation parameters[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(2): 1-9.
- [14] HUANG C, TANG T, JIANG Y J, et al. Faulty feeder detection by adjusting the compensation degree of arc-suppression coil for distribution network[J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2018, 12(4): 807-814.
- [15] 薛永端, 李娟, 陈筱蕾, 等. 谐振接地系统高阻接地故障暂态选线与过渡电阻辨识[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(17): 5037-5048
XUE Yongduan, LI Juan, CHEN Xiaoru, et al. Faulty feeder selection and transition resistance identification of high impedance fault in a resonant grounding system using transient signals[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(17): 5037-5048.
- [16] DL/T 1057—2007. 自动跟踪补偿消弧线圈成套装置技术条件[S].