

DOI:10.12158/j.2096-3203.2021.01.016

基于正序电流故障分量相位比较的电压暂降扰动源分界

孙东¹, 张昊², 任伟³, 仇志华², 韩国强⁴, 李炜¹

(1. 中国石化股份胜利油田分公司技术检测中心, 山东 东营 257000;

2. 中国石油大学(华东)新能源学院, 山东 青岛 266580;

3. 西南油气田分公司重庆气矿开州采输气作业区, 重庆 405400;

4. 山东胜利通海集团东营天蓝节能科技有限公司, 山东 东营 257200)

摘要: 准确判断电压暂降扰动源的相对位置, 对界定供用电双方责任以及制定治理措施提高供电质量具有重要意义。文中提出了基于正序电流故障分量相位比较原理的配电网电压暂降扰动源分界方法。通过建立不同位置发生不同类型故障时的正序故障分量等值网络, 分析变电站内所有进出线的正序电流故障分量相位分布与故障位置间的关联关系, 进而构建基于正序电流故障分量相位比较的电压暂降扰动源分界判据及其动作边界。该方法进行电压暂降扰动源分界时仅利用站端进出线的电流信息, 测量信息获取方便, 具有很好的工程应用前景。基于PSCAD建模仿真, 验证了短路故障、相位跳变以及负荷扰动情况下, 文中所提电压暂降扰动源分界方法效果更佳。

关键词: 电压暂降; 扰动源分界; 正序电流故障分量; 相位比较; 电能质量

中图分类号: TM73

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2021)01-0115-08

0 引言

电力是油田生产的主要动力来源, 是稳定原油生产的重要保障^[1]。现今油田配电网受天气等外部因素的影响较大, 瞬时性故障几率较高, 由此造成的电压暂降会引起设备停机、线路跳闸等事故, 严重影响油田安全稳定生产^[2-3]。目前, 油田不同电压等级的电网归属不同的责任单位, 10 kV 以上电网通常由油田电力公司运维, 10 kV 及其以下的中低压配电网由采油单位管理。电压暂降扰动具有沿线传播的特点, 确定电压暂降扰动源的相对位置, 对明确不同管理单位责任、制定电压暂降治理措施具有重要意义^[4]。

目前, 国内外提出的经典电压暂降扰动源区段定位方法主要有单变量法、功率和能量法、阻抗计算法、故障成因法等。单变量法主要有电压量法和电流量法^[5]。文献[6]提出了利用电压及其相角跳变特性来确定暂降源位置的方法, 但未考虑两侧均为输电系统的情况。文献[7]提出了适用于监测点两端都是输电系统场合的方法, 但该方法未考虑变压器传播对电压暂降的影响。文献[8]利用电流正序分量的相角变化进行电压暂降源定位, 但该方法仅适用于放射性电网结构。功率和能量法最早利用扰动功率、能量初始峰值进行暂降源定位^[9], 但

一定情况下定位结果可信度低; 文献[10]是对该方法的改进, 使其能同时处理向系统注入和释放能量的扰动; 文献[11]引入增量无功功率和无功能量, 对该方法进行了拓展; 文献[12]利用小波分析的优势计算扰动能量, 对该方法进行了改进。判断系统轨迹斜率法和电流实部极性法是基于阻抗计算提出的暂降源追溯方法, 但该2种方法判断不对称性扰动源的准确度较低^[13-15]。空间矢量法利用Clark变换对上述2种算法进行改进, 提高了不对称性扰动源的追溯准确度, 但效果仍欠佳^[16]。基于不同电压暂降成因的定位方法, 是先进行暂降源识别, 然后针对不同暂降源类型采用前述类似方法进行暂降源定位^[17]。

文中基于油田配电网拓扑结构与管理架构特点, 提出基于正序电流故障分量相位比较原理的配电网电压暂降扰动源分界方法。该方法仅利用了站端进出线的电流信息, 测量信息获取方便, 且不受系统运行方式、短路故障类型、短路过渡电阻、电压暂降相位跳变等因素的影响。仿真验证了在短路故障、相位跳变及负荷扰动情况下, 该方法均能进行暂降扰动源的识别与定位, 具有很好的工程应用前景。

1 不同故障位置下正序电流故障分量相位分布特征

短路故障、大电机起动、电容的投切等均可能引起不同程度的电压暂降。以图1所示的油田配电

收稿日期: 2020-07-02; 修回日期: 2020-08-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51977220); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2019MEE057)

网简化模型为例进行分析。其中, E_s 为上游系统的等效电源电压; f_1, f_2, f_3 为不同位置的故障点。油田电能质量在线监测系统能够监测 10 kV 母线电压、母线进线与所有馈线的电流, 如图中 M_0, M_1, M_2, M_3 所示。结合图 1 配电网结构, 分析监测点上游、母线以及不同馈线侧发生短路故障时, 正序电流故障分量的相位分布特征。

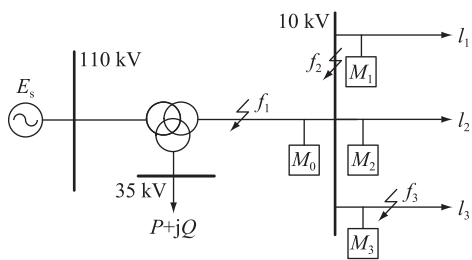


图 1 油田配电网简化分析模型
Fig.1 Simplified analysis model for oilfield distribution network

1.1 监测点上游故障

设 Z_s 为系统的等效阻抗; $Z_{l_1}, Z_{l_2}, Z_{l_3}$ 分别为 3 条负荷线路的等效线路阻抗; $Z_{D_1}, Z_{D_2}, Z_{D_3}$ 分别为 3 条线路的等效负荷阻抗。当 f_1 处故障时, 建立对应的正序故障分量等值网络, 如图 2 所示。

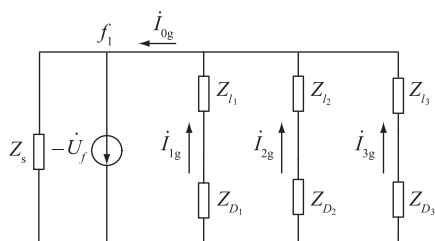


图 2 f_1 处故障时的正序故障分量等值网络
Fig.2 Positive sequence fault component equivalent network when failure occurs at point f_1

图中, $i_{0g}, i_{1g}, i_{2g}, i_{3g}$ 分别为故障发生后站端监测点 M_0, M_1, M_2, M_3 处提取的正序电流故障分量。考虑负荷及线路阻抗角差异、电流互感器传变及计算误差等因素的影响, 且配电网等值电阻大于电抗、阻抗角接近 0, 得出监测点处进线与馈线的正序电流故障分量相位满足:

$$\begin{cases} -90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{1g}) < 90^\circ \\ -90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{2g}) < 90^\circ \\ -90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{3g}) < 90^\circ \end{cases} \quad (1)$$

1.2 母线故障

f_2 处故障时, 对应的正序故障分量等值网络如图 3 所示。

以 i_{0g} 为基准, 监测点处进线与馈线的正序电流

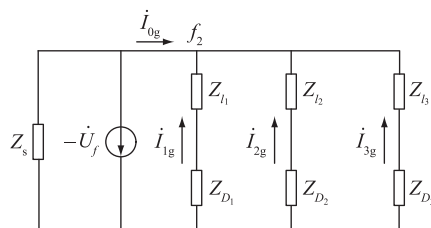


图 3 f_2 处故障时的正序故障分量等值网络

Fig.3 Positive sequence fault component equivalent network when failure occurs at point f_2

故障分量相位满足:

$$\begin{cases} 90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{1g}) < 270^\circ \\ 90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{2g}) < 270^\circ \\ 90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{3g}) < 270^\circ \end{cases} \quad (2)$$

1.3 馈线侧故障

f_3 处故障时, 对应的正序故障分量等值网络如图 4 所示。

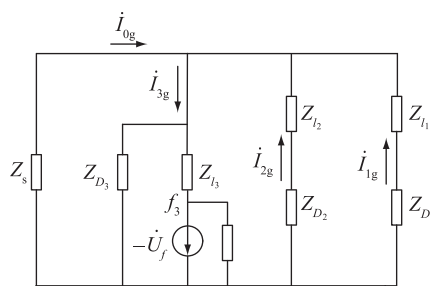


图 4 f_3 处故障时的正序故障分量等值网络

Fig.4 Positive sequence fault component equivalent network when failure occurs at point f_3

以 i_{0g} 为基准, 监测点处进线与馈线的正序电流故障分量相位满足:

$$\begin{cases} 90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{1g}) < 270^\circ \\ 90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{2g}) < 270^\circ \\ -90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{3g}) < 90^\circ \end{cases} \quad (3)$$

假设配电网共有 n 条馈线, 其中第 i 条为故障馈线, 其他 $n-1$ 条为非故障馈线, 则任一馈线发生短路故障时母线进线与各馈线出口处的正序电流故障分量相位满足:

$$\begin{cases} -90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{ig}) < 90^\circ & 1 \leq i \leq n \\ 90^\circ < \arg(i_{0g}/i_{jg}) < 270^\circ & 1 \leq j \leq n, j \neq i \end{cases} \quad (4)$$

2 基于正序电流故障分量相位比较的电压暂降扰动源分界方法

由第 1 章的理论分析可知, 电压暂降扰动源出

现在电源侧、母线、不同馈线时,母线进线与所有馈线出口处的正序电流故障分量相位存在各自的分布特征,据此提出基于正序电流故障分量相位比较原理的电压暂降扰动源分界方法,如图5所示。

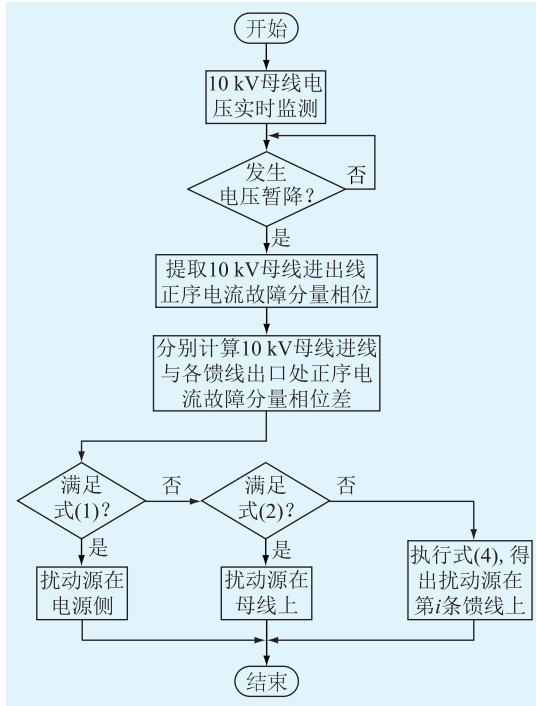


图5 电压暂降扰动源分界方法

Fig.5 Demarcation method of voltage sag disturbance source

(1) 通过电能质量在线监测系统对10 kV母线电压进行实时监测,判断系统是否发生电压暂降;

(2) 若发生电压暂降,通过监测系统提取10 kV母线进出线正序电流故障分量相位,分别计算10 kV母线进线与各馈线出口处正序电流故障分量相位差,并进行相位分布特征比较。若满足式(1),则扰动源出现在电源侧;若满足式(2),则扰动源出现在母线上;若式(1)、式(2)皆不满足,则扰动源位于某条馈线上,此时执行式(4)便可确定扰动源位于第*i*条馈线上。

3 仿真分析与验证

为验证所提暂降扰动源分界方法的有效性,基于图1搭建仿真模型,按现场实际设置接地方式为中性点不接地系统,配电网仿真模型的相关参数如表1所示。

3.1 监测点上游故障仿真分析

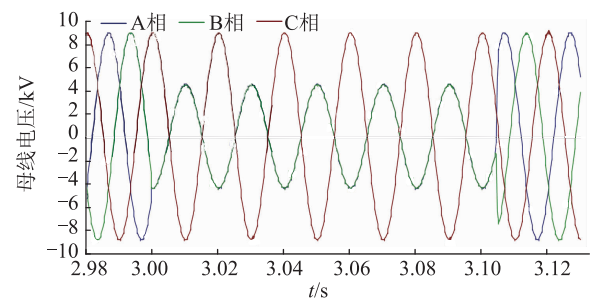
如图2所示,当监测点上游发生故障时,以AB相间短路故障为例。设 $t=3\text{ s}$ 时发生故障,持续时间为 0.1 s ,不考虑过渡电阻,系统运行方式为最大运行方式。仿真得到母线电压波形、母线进线与所

表1 仿真模型参数

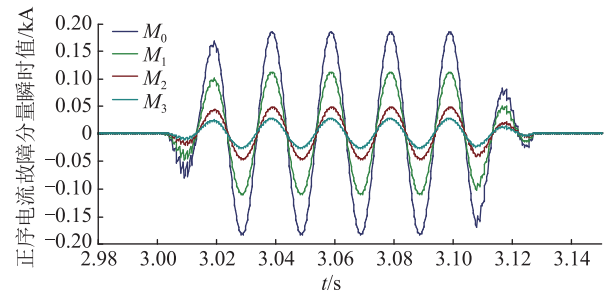
Table 1 Simulation model parameters

参数	数值
电源电压/kV	112∠0°
最大、最小运行方式电源内阻抗/Ω	j9.734, j39.25
变压器容量/(MV·A)	40
变压器空载损耗/kW	28.03
变压器短路损耗/kW	175.94
线路等值阻抗/Ω	0.125+j0.078 5
线路 l_1 负荷阻抗/Ω	222.5+j101.42
线路 l_2 负荷阻抗/Ω	297.91+j79.44
线路 l_3 负荷阻抗/Ω	78.73+j30.77

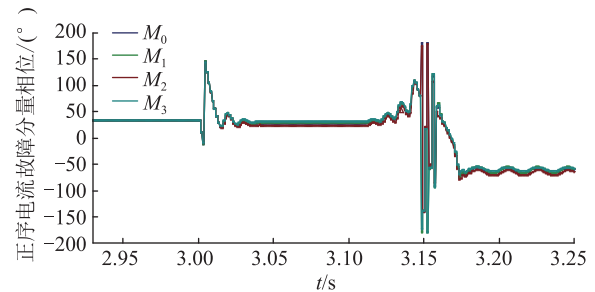
有馈线出口处正序电流故障分量瞬时值波形及相位波形如图6所示。



(a) 10 kV母线电压



(b) 正序电流故障分量瞬时值



(c) 正序电流故障分量相位

图6 f_1 处故障时监测点正序电流故障分量及母线电压

Fig.6 Positive sequence current fault component and bus voltage at monitoring points when failure occurs at point f_1

由图6可知,当监测点上游位置发生AB相间短路时,电压暂降深度为50%,在监测点提取到的母线进线与所有馈线出口处的正序电流故障分量

相位差较小,为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,满足电压暂降扰动源分界判据式(1)。考虑短路故障过渡电阻时,分别设置过渡电阻为 $0.5 \Omega, 1 \Omega, 1.5 \Omega, 2 \Omega$,仍以 AB 相间短路为例,仿真得到上述过渡电阻情况下,各测量点处正序电流故障分量的相位,记录故障后 2 个工频周波的稳态相位,如表 2 所示。

表 2 相间短路故障下各监测点处正序电流故障分量相位(监测点上游故障)

Table 2 Phase of positive sequence current fault component at each monitoring point when phase-to-phase short circuit fault occurs (fault at upstream of the monitoring point)

过渡电阻 / Ω	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
0	-13.23	-9.31	-18.86	-12.34
0.5	18.09	22.04	12.46	18.98
1	35.38	39.29	29.74	36.26
1.5	44.65	48.55	39.02	45.52
2	50.14	54.05	44.52	51.03

由表 2 可知,当发生经过渡电阻短路故障时,各测量点的正序电流故障分量相位差为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,满足判据式(1),即短路故障考虑过渡电阻的情况,并不会对扰动源分界判据产生定性影响。

当考虑配电网不同运行方式对分界方法可靠性的影响时,将系统运行方式调整为最小运行方式,仿真得到发生相间金属性短路、经过渡电阻短路故障时,各测量点处正序电流故障分量的相位,记录故障后 2 个工频周波的稳态相位,如表 3 所示。

表 3 最小运行方式下各监测点处正序电流故障分量相位(监测点上游故障)

Table 3 Phase of positive sequence current fault component at each monitoring point in minimum operation mode (fault at upstream of the monitoring point)

过渡电阻 / Ω	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
0	-18.77	-14.85	-24.4	-17.89
0.5	2.82	6.75	-2.81	3.76
1	17.93	21.85	12.33	18.82
1.5	27.75	37.70	22.17	28.64
2	34.33	38.22	28.66	35.19

由表 3 可知,当系统处于最小运行方式时,各测量点的正序电流故障分量相位差仍为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,满足判据式(1)。即配电网运行方式的改变,并不会对扰动源分界判据产生定性影响。

为进一步验证结论的准确性,充分考虑其他短路故障类型,如三相短路、两相短路接地及单相接地故障仿真分析,如表 4 所示。

表 4 不同短路故障下各监测点处正序电流故障分量相位(监测点上游故障)

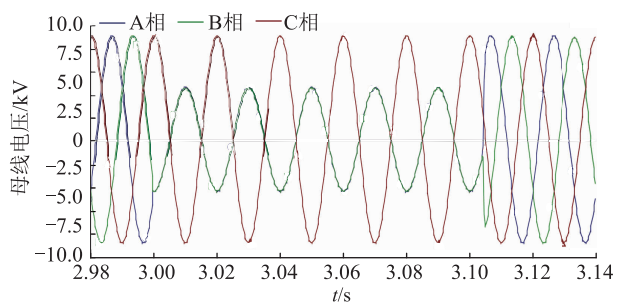
Table 4 Positive sequence current fault component phase at each monitoring point under different short circuit faults (fault at upstream of the monitoring point)

故障类型	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
三相短路	-77.32	-71.01	-86.43	-77.07
两相短路接地	-30.34	-26.39	-31.83	-25.30
单相接地	0.86	4.78	-4.84	1.65

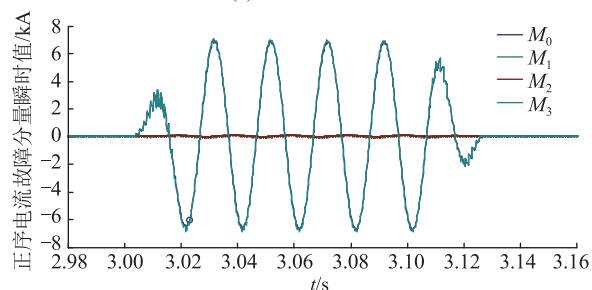
由表 4 可知,当监测点上游发生各种类型的短路故障时,各测量点处得到的正序电流故障分量相位分布特征均满足判据式(1)。

3.2 母线故障仿真分析

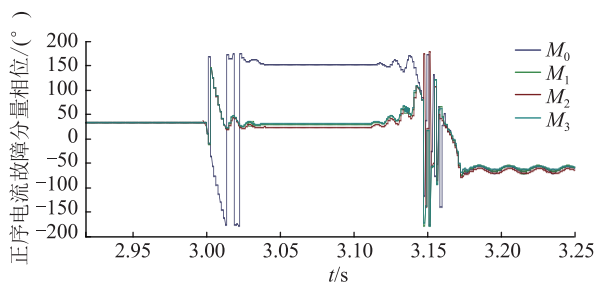
当母线上发生故障时,以 AB 相间短路故障为例,不考虑过渡电阻。仿真得到母线电压波形、母线进线与所有馈线出口处正序电流故障分量瞬时值波形及相位波形,如图 7 所示。



(a) 10 kV 母线电压



(b) 正序电流故障分量瞬时值



(c) 正序电流故障分量相位

图 7 f_2 处故障时监测点处正序电流故障分量及母线电压

Fig.7 Positive sequence current fault component and bus voltage at monitoring points when failure occurs at point f_2

由图 7 可知,当母线发生 AB 相间短路时,电压暂降深度为 50%,各测量点处正序电流故障分量满足电压暂降扰动源分界判据式(2)。考虑短路故障过渡电阻时,在仿真模型中设置过渡电阻同 3.1 节,仍以 AB 相间短路故障为例,仿真得到各测量点处正序电流故障分量的相位,记录故障后 2 个工频周期的稳态相位,如表 5 所示。

表 5 相间短路故障下各监测点处正序电流故障分量相位(母线故障)

Table 5 Phase of positive sequence current fault component at each monitoring point under phase-to-phase short circuit fault(fault on the bus)

过渡电阻 / Ω	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
0	153.3	-9.31	-18.86	-12.34
0.5	163.1	-29.03	-32.72	-32.06
1	166.5	-21.88	-31.44	-24.91
1.5	169.1	-31.54	-22.36	-15.84
2	169.7	-13.62	2.28	-16.63

由表 5 可知,当发生经过渡电阻的短路故障时,各测量点处的正序电流故障分量相位关系同样满足电压暂降扰动源分界判据式(2)。即短路故障考虑过渡电阻的情况下,并不会对扰动源分界判据产生定性影响。

将系统运行方式调整为最小运行方式,仿真发生金属性、经过渡电阻的相间短路故障时,各测量点处正序电流故障分量的相位如表 6 所示。

表 6 最小运行方式下各监测点处正序电流故障分量相位(母线故障)

Table 6 Phase of positive sequence current fault component at each monitoring point under minimum operation mode(fault on the bus)

过渡电阻 / Ω	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
0	150.2	-14.85	-24.40	-17.88
0.5	159.4	-32.86	-42.38	-35.95
1	158.4	-37.75	-40.17	-33.63
1.5	159.7	-25.11	-38.68	-32.17
2	161.4	-29.17	-38.71	-32.20

由表 6 可知,当系统处于最小运行方式时,各测量点处的正序电流故障分量相位关系仍满足电压暂降源分界判据式(2)。即配电网运行方式的改变,不会对扰动源分界判据产生定性影响。考虑其他短路故障类型,如三相短路、两相短路接地及单相接地故障,仿真结果如表 7 所示。由表 7 可知,当 10 kV 母线上发生各种类型的短路故障时,各测量点处得到的正序电流故障分量相位分布特征均满

足暂降扰动源分界判据式(2)。

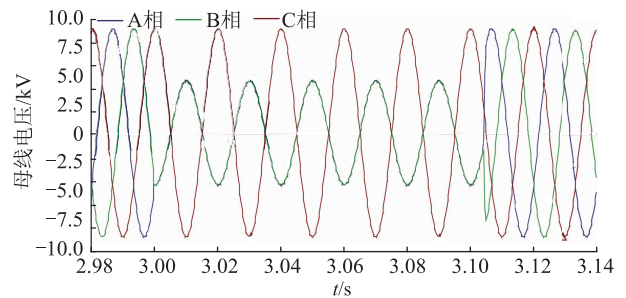
表 7 不同短路故障下各监测点处正序电流故障分量相位(母线故障)

Table 7 Positive sequence current fault component phase at each monitoring point under different short circuit faults(fault on the bus)

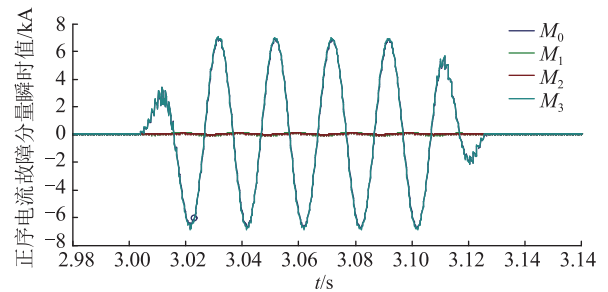
故障类型	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
三相短路	158.9	-86.77	-96.26	-96.58
两相短路接地	159.9	-36.67	-46.21	-39.70
单相接地	160.9	-3.31	-12.81	-6.38

3.3 馈线侧故障仿真分析

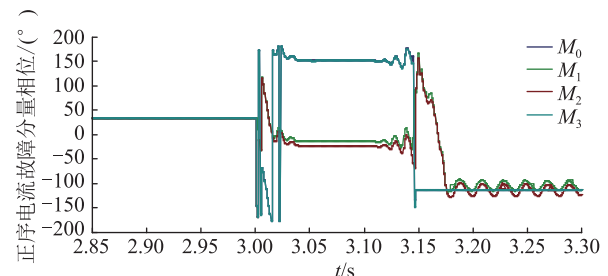
当馈线侧发生 AB 相间金属性短路故障时,仿真得到母线电压、母线进线与所有馈线出口处正序电流故障分量瞬时值波形及相位波形见图 8。



(a) 10 kV 母线电压



(b) 正序电流故障分量瞬时值



(c) 正序电流故障分量相位

图 8 f_3 处故障时监测点处正序电流故障分量及母线电压

Fig.8 Positive sequence current fault component and bus voltage at monitoring points when failure occurs at point f_3

由图 8 可知,当馈线 f_3 发生 AB 相间短路时,电压暂降深度为 50%,各测量点处得到的正序电流故障分量相位关系满足电压暂降扰动源分界判据式

(3)。考虑短路故障过渡电阻时,在仿真模型中设置过渡电阻同3.1节,仍以AB相间短路为例,仿真得到各测量点处正序电流故障分量的相位,记录故障后2个工频周波的稳态相位,如表8所示。

表8 相间短路故障下各监测点处正序电流故障分量相位(馈线侧故障)

Table 8 Phase of positive sequence current fault component at each monitoring point under phase-to-phase short circuit fault (fault on the feeder)

过渡电阻 / Ω	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
0	153.4	-9.36	-18.91	153.3
0.5	164.9	-29.12	-32.78	165.4
1	170.0	-22.10	-42.84	165.3
1.5	168.3	-13.11	-41.45	168.2
2	168.9	-14.03	2.03	169.2

由表8可知,当发生经过渡电阻的短路故障时,监测点处的正序电流故障分量相位分布特征同样满足电压暂降扰动源分界判据式(3)。即短路故障考虑过渡电阻的情况下,不会对扰动源分界判据产生定性影响。

将系统运行方式调整为最小运行方式,仿真最小运行方式下,发生相间金属性短路、经过渡电阻短路故障时,各测量点处正序电流故障分量的相位,仿真结果如表9所示。

表9 最小运行方式下各监测点处正序电流故障分量相位(馈线侧故障)

Table 9 Phase of positive sequence current fault component at each monitoring point under minimum operation mode (fault on the feeder)

过渡电阻 / Ω	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
0	150.1	-14.85	-24.41	149.9
0.5	159.2	2.91	-47.12	161.6
1	158.1	12.92	-47.46	161.2
1.5	160.9	27.02	-49.53	160.9
2	161.1	33.16	-53.69	160.9

由表9可知,当系统处于最小运行方式下时,各测量点处的正序电流故障分量相位关系仍满足电压暂降源分界判据式(3)。即运行方式的改变,不会对扰动源分界判据产生定性影响。针对其他短路故障类型,仿真分析不同短路故障下各测量点处正序电流故障分量相位,如表10所示。

由表10可知,当馈线侧发生各种类型的短路故障时,各测量点处得到的正序电流故障分量相位分布特征均满足暂降扰动源分界判据式(4)。

表10 不同短路故障下各监测点处正序电流故障分量相位(馈线侧故障)

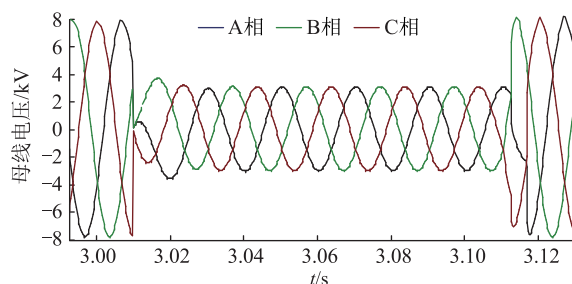
Table 10 Positive sequence current fault component phase at each monitoring point under different short circuit faults (fault on the feeder)

故障类型	相位/ $(^\circ)$			
	M_0	M_1	M_2	M_3
三相短路	151.11	27.24	22.46	152.16
两相短路接地	152.06	28.19	23.40	153.11
单相接地	-157.04	79.06	74.30	-155.99

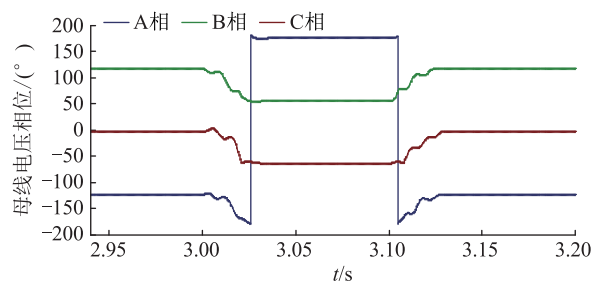
3.4 电压暂降相位跳变对分界方法可靠性影响仿真分析

电压暂降过程伴随着电压、电流相位跳变,可能会对所提分界方法产生影响。经仿真分析发现,当系统发生三相短路故障且处于最小运行方式下时,短路故障过渡电阻越小,10 kV 母线电压相位跳变越严重,对正序电流故障分量相位影响越大。以10 kV 母线上 $t=3\text{ s}$ 时发生三相短路、过渡电阻为 $0.5\ \Omega$ 为例,仿真得到母线电压相位跳变、母线进线与所有馈线出口处正序电流相位跳变、正序电流故障分量相位关系波形,如图9所示。

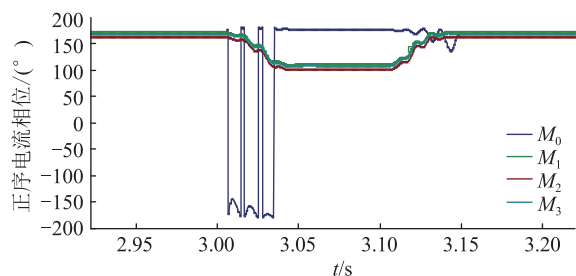
由图9可知,当系统因短路故障出现电压暂降,且电压、电流相位跳变时,各测量点处正序电流故



(a) 10 kV 母线电压



(b) 10 kV 母线电压相位跳变



(c) 各监测点处正序电流相位

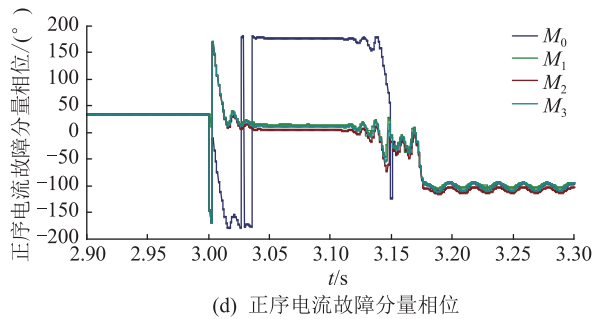


图9 母线电压、各监测点处正序电流相位及正序电流故障分量相位

Fig.9 Phase waveform of bus voltage, positive sequence current and positive sequence current fault component at monitoring points

故障分量相位关系仍满足所提电压暂降扰动源分界判据,故电压暂降发生时产生的相位跳变对所提分界方法的准确性无影响。

3.5 仿真对比分析

传统的配电网电压暂降源定位多采用功率方向法,以文献[4]为例,基于序增量功率电流方向追溯电压暂降源的方法,需要利用监测装置同时提取电压、电流量,相较于文中方法,该方法客观上增大了定位复杂度,同时此类考虑功率方向的暂降源定位精度受电压暂降深度的影响。基于图1配电网简化分析模型,按文献[4]所述方法,当10 kV母线发生相间接地短路故障时,各馈线出口监测点处负序功率电流增量应大于0,即故障点位于监测点上游。

当 f_2 处发生相间接地短路故障且过渡电阻为 0.5Ω 时,电压暂降深度为84%,各馈线出口测量点处负序功率电流波形如图10所示。

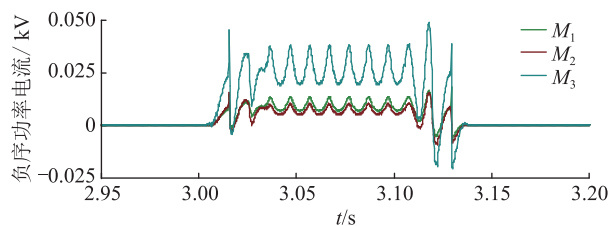


图10 f_2 处发生相间接地短路故障监测点处负序功率电流波形

Fig.10 Negative sequence power current at monitoring points when phase-to-phase earth fault occurs at point f_2

由图10可知,当电压暂降深度较小时,各馈线出口监测点处负序功率电流增量较小,影响该定位方法的可靠性。在完全相同的仿真设置下,文中所提方法各测量点正序电流故障分量相位关系波形如图11所示。

由图11可知,各测量点正序电流故障分量相位

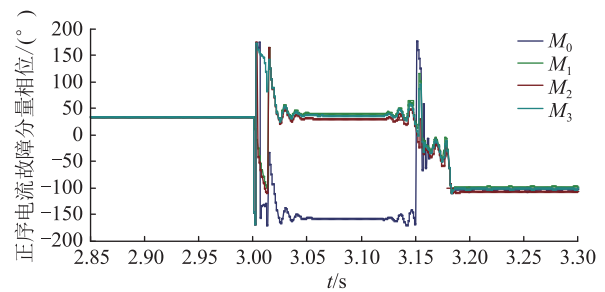


图11 f_2 处发生相间接地短路故障正序电流故障分量相位

Fig.11 Positive sequence current fault component phase when phase-to-phase earth fault occurs at point f_2

分布特征满足扰动源分界判据式(2)。且结合3.1节—3.3节仿真分析可知,所提方法判定扰动源位置的精度不受电压暂降深度的影响。

4 结语

文中提出了一种新型电压暂降扰动源分界方法,结合配电网拓扑结构及变电站内所有进出线量测信息,得到母线进线与所有馈线出口处正序电流故障分量相位分布特征。若母线进线与所有馈线出口处正序电流故障分量相位差为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,则扰动源位于监测点上游;若相位差为 $90^\circ \sim 270^\circ$,则扰动源位于母线上;若母线进线与第 i 条馈线出口处正序电流故障分量相位差为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,而与其他馈线出口处正序电流故障分量相位差为 $90^\circ \sim 270^\circ$,则扰动源位于第 i 条馈线上。

同时文中针对系统运行方式、短路故障类型、过渡电阻、电压暂降相位跳变等因素进行了仿真分析,验证了所提电压暂降扰动源分界方法的可靠性。所提方法与实际配电网联系紧密,仅依赖于站端进出线的电流量测信息,工程实施方便。所提方法同样适用于电容投切、变压器投切、大电机启动等小扰动工况。

参考文献:

- [1] 武晓蒙,费汪浩,封园,等. 含时变抽油机负荷的油田配电网网络重构[J]. 电力系统及其自动化学报,2017,29(11):61-66.
WU Xiaomeng, FEI Wanghao, FENG Yuan, et al. Reconfiguration of oil-field distribution network considering time-varying oil pumping loads [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2017, 29(11):61-66.
- [2] 孙东,仇志华,邹兵. 基于负荷矩模型的油田配电网电压暂降源定位方法[J]. 电力工程技术,2019,38(4):118-123.
SUN Dong, ZHANG Zhihua, ZOU Bing. Positioning method for voltage sag source of oil field distribution network based on load moment model [J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(4):118-123.

- [3] 汪颖,周杨,肖先勇,等. 电压暂降问题研究现状及面临的挑战[J]. 供用电,2018,35(2):2-9.
WANG Ying,ZHOU Yang,XIAO Xianyong,et al. Research status and challenges of voltage sag issue[J]. Distribution & Utilization,2018,35(2):2-9.
- [4] 唐轶,陈嘉,樊新梅,等. 基于扰动有功电流方向的电压暂降源定位方法[J]. 电工技术学报,2015,30(23):102-109.
TANG Yi,CHEN Jia,FAN Xinmei,et al. A method for detecting voltage sag sources based on disturbance active current direction [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30 (23):102-109.
- [5] 刘颖英,王同勋,冯丹丹,等. 基于多重判据的电压暂降故障源定位方法[J]. 中国电机工程学报,2015,35(1):103-111.
LIU Yingying,WANG Tongxun,FENG Dandan,et al. Multiple criterions based voltage sag location method[J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(1):103-111.
- [6] 杨志超,詹萍萍,严浩军,等. 电压暂降原因分析及其源定位综述[J]. 电力系统及其自动化学报,2014,26(12):15-20.
YANG Zhichao,ZHAN Pingping,YAN Haojun,et al. Review on cause analysis and source location for voltage sag[J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2014,26(12):15-20.
- [7] 吕干云,蒋小伟,郝思鹏. 基于半监督支持向量机的电压暂降源定位[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(18):76-81.
LYU Ganyun,JIANG Xiaowei,HAO Sipeng. Location of voltage sag source based on semi-supervised SVM[J]. Power System Protection and Control,2019,47(18):76-81.
- [8] 司新跃,陈青,高湛军,等. 基于电流相角突变量方向的有源配电网保护[J]. 电力系统自动化,2014,38(11):97-103.
SI Xinyue,CHEN Qing,GAO Zhanjun,et al. Protection scheme for active distribution system based on directions of current phase angle variation [J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(11):97-103.
- [9] 林涌艺,邵振国,张嫣,等. 基于多测点正序电压相关性与典型模式匹配寻优的电压暂降源定位[J]. 电工技术学报,2017,32(17):35-46.
LIN Yongyi,SHAO Zhenguo,ZHANG Yan,et al. Voltage sag source location based on the correlation of multipoint positive sequence voltage and the typical pattern matching optimization [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32 (17):35-46.
- [10] 朱珂,王怡轩,刘文华. 基于改进增益阻抗实部的配电网电压跌落源定位方法[J]. 电工技术学报,2015,30(16):194-202.
ZHU Ke,WANG Yixuan,LIU Wenhua. Distribution network voltage-sag-source detection method based on modified incremental impedance[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2015,30(16):194-202.
- [11] 戴锋,刘贞瑶,李丹奇,等. 基于正序电压变化量的故障电压暂降源定位算法[J]. 电力工程技术,2020,39(4):68-76.
DAI Feng,LIU Zhenyao,LI Danqi,et al. Fault source location method for distribution network based on positive sequence voltage[J]. Electric Power Engineering Technology,2020,39(4):68-76.
- [12] 储佳伟,袁晓冬,陈兵,等. 结合小波分析和改进型 DTW 距离的配电网电压暂降源辨识方法[J]. 电网技术,2018,42(2):637-643.
CHU Jiawei,YUAN Xiaodong,CHEN Bing,et al. A method for distribution network voltage sag source identification combining wavelet analysis and modified DTW distance [J]. Power System Technology,2018,42(2):637-643.
- [13] 赵晨雪,陶顺,肖湘宁. 基于电能质量检测系统电压暂降信息的故障定位估计方法[J]. 电网技术,2016,40(2):642-648.
ZHAO Chenxue,TAO Shun,XIAO Xiangning. Fault location estimation based on voltage sag information of PQMS [J]. Power System Technology,2016,40(2):642-648.
- [14] 王珂. 基于综合判据的电压暂降源定位方法研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2018.
WANG Ke. Research on voltage sag source location method based on comprehensive criterion[D]. Xuzhou:China University of Mining and Technology,2018.
- [15] 时响,倪冰,宋思松,等. 基于单端口网络内电阻极性的电压暂降溯源方法[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(23):170-176.
SHI Yun,NI Bing,SONG Sisong,et al. Voltage sag source location method based on the polarity of single port network internal resistance [J]. Power System Protection and Control,2016,44(23):170-176.
- [16] 唐轶,魏瑞鹏,李鹏,等. 基于序增量功率电流方向追溯电压暂降源的方法[J]. 电力系统自动化,2017,41(6):86-91.
TANG Yi,WEI Ruipeng,LI Peng,et al. Method of tracing voltage sag source based on sequence incremental power current direction[J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(6):86-91.
- [17] 魏鹏,吕干云,俞明,等. 一种新的电压暂降源精确定位方法[J]. 南京工程学院学报,2019,17(2):68-71.
WEI Peng,LYU Ganyun,YU Ming,et al. A new precise location method for voltage sag source[J]. Journal of Nanjing Institute of Technology,2019,17(2):68-71.

作者简介:



孙东

孙东(1979),男,博士,高级工程师,从事油田电网节能技术相关工作(E-mail:sundong.slyt@sinopec.com);

张昊(1996),男,硕士在读,研究方向为电力系统及其自动化;

任伟(1974),男,专科,技师,从事设备管理及节能相关工作。

Coordinated optimization of distributed power and electric vehicle charging stations considering uncertain factors

QIAN Zhonghao¹, JIANG Zhihui¹, WU Xi¹, LUO Lizi², LI Yiqi², WU Zhi²

(1. State Grid Nantong Power Supply Company of Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nantong 226001, China;
2. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: With high penetration of distributed generation and electric vehicle loads integrated into distribution systems, the safe and economic operation of power system has met an enormous challenge. Based on this background, traditional planning model of distribution system is modified which makes it applicable to the coordinated optimization of distributed generation and electric vehicle charging stations. With the uncertainties of renewable resources represented by time-sequence multi-state models, coordinated allocation model aiming at minimizing total network losses of distribution systems is constructed which subsequently implements an equivalent process on the proposed model through second-order cone relaxation. To verify the effectiveness of proposed model, IEEE 33-bus distribution system is used as the test system. The results demonstrate that the presented method can effectively involve the uncertain characteristic of renewable resources in the coordinated planning problem and thereby meets the practical application requirements.

Keywords: distributed power; electric vehicle charging station; distribution system; coordinated optimization; uncertainties; mixed integer second-order cone programming

(编辑 吴楠)

(上接第 122 页)

Demarcating method for voltage sag source of distribution network

SUN Dong¹, ZHANG Hao², REN Wei³, ZHANG Zhihua², HAN Guoqiang⁴, LI Wei¹

(1. Technical Testing Center, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, China;

2. College of New Energy, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China; 3. Southwest Oil and Gas Field Branch Chongqing Gas Mining Kaizhou Gas Extraction and Transmission Operation Zone, Chongqing 405400, China; 4. Shandong Shengli Tonghai Group Dongying Tianlan Energy Saving Technology Co., Ltd., Dongying 257200, China)

Abstract: Accurately determining the relative position of the voltage sag disturbance source is significant for defining the responsibilities of both the power supplier and the consumer and the subsequent formulation of governance measures to improve power quality. Method for demarcating voltage sag disturbance source of distribution network based on phase comparison principle of positive sequence current fault component is proposed. Positive sequence fault component equivalent networks are established when different types of fault occur in different locations. Then the correlation between phase distribution of positive sequence current fault components and fault locations of all incoming and outgoing lines in substation are analyzed. Finally, the demarcation criterion and action boundary of the method for demarcating voltage sag disturbance source based on phase comparison principle of positive sequence current fault component are constructed. The method divides the disturbance source of the voltage sag, and only uses the current measurement information of the incoming and outgoing lines at the station. The measurement information is easy to obtain and has good engineering application prospect. The effect of voltage sag disturbance source demarcation is verified by modeling and simulating based on PSCAD when short circuit faults, phase jump and load disturbance occur.

Keywords: voltage sag; disturbance source demarcation; positive sequence current fault component; phase comparison; power quality

(编辑 吴楠)