DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.04.025

# 主动干预型消弧装置的附加电阻故障选相方法

王鹏[1]，张贺军[2]，徐凯[3]，徐铭铭[1]，石访[3]
（1. 国网河南省电力公司电力科学研究院，河南 郑州 450006；2. 国家电网有限公司设备管理部，北京 100031；3. 山东大学电气工程学院，山东 济南 250061）

**摘　要**：正确选定故障相是主动干预型消弧装置正确动作的前提和基础，误选将引发更严重的相间短路故障。为提高故障选相准确率，文中提出了一种中性点附加电阻的选相方法。该方法通过投切附加电阻，实现线路对地参数的快速估计；进而利用系统正常状态和故障状态下各相对地参数的变化差异，精确辨别故障相。仿真结果表明，该方法性能优于传统的相电压幅值比较法，在发生高阻接地和电弧接地时仍具有较高的选相准确率。

**关键词**：主动干预型消弧装置；单相接地故障；中性点附加电阻；故障选相；高阻接地
**中图分类号**：TM72　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2096-3203(2020)04-0180-07

## 0　引言

我国广大农村地区配电网仍主要采用小电流接地方式，单相接地故障点处弧光电流过大难以自熄；对于电缆线路，中性点多采用消弧线圈接地，随着电容电流的不断增大（甚至超过 200 A），尽管消弧线圈具有一定补偿作用，故障点残流仍旧很大，甚至超过配电网运行导则推荐的 10 A 以下的运行要求，导致瞬时性故障下的电弧难以自熄[1—2]。

主动干预型消弧装置作为电压型消弧装置的一种，当配电网发生单相接地故障时，装置通过闭合母线处的故障相快速接地开关，将故障点处弧光接地故障转化为变电站内金属性接地故障，从而钳制故障点电压，降低故障点电流，有效阻止故障点电弧重燃以及弧光过电压的产生[3—6]。

单相接地故障选线技术近些年得到广泛关注[7—13]，但对故障选相的研究较少。提高故障选相可靠性是主动干预型消弧装置的关键环节，若选相错误，该装置动作后将会引发更为严重的相间短路且具有将故障引入站内的风险[14]。传统的配电网故障选相方案主要是利用母线处三相电压幅值信息[15—20]。文献[19]分析了三相电压幅值在单相接地故障前后的变化，认为在过补偿系统中，电压幅值最高相的超前相为故障相；欠补偿系统中，电压幅值最高相的滞后相为故障相。文献[20]提出根据系统各相电压的波形信息，利用扩展 Prony 算法提取工频分量值，通过频数分布处理选出故障相的方法，但该方法应用于多分支线系统时效果不佳。传统选相方案忽略了电力系统不对称度的影响并未考虑电弧接地的情况，在实际应用中存在选相准确率较低的问题，难以应用于主动干预型消弧装置。

文中引入了中性点附加电阻，人为增加系统的不平衡度，使中性点电压发生变化。利用中性点电压的变化量可以实现对地参数的测量，当系统发生单相接地故障时，只有故障相的对地参数发生变化，由此可判断出故障相。PSCAD 仿真表明文中方法可准确判断出故障相，在高阻接地和电弧接地故障情况下也有较好的适用性。

收稿日期：2020-02-18；修回日期：2020-03-29
基金项目：国家电网有限公司总部科技项目“主动干预型消弧装置应用技术研究”

## 1　主动干预型消弧装置技术

在配电网系统中，主动干预型消弧装置安装在变电站母线上，其转移电弧技术的原理为：在三相母线上分别安装快速接地开关，正常运行时快速接地开关均处于断开状态；当线路发生单相弧光接地故障时，通过母线分相断路器主动地将故障相接地，将故障点不稳定接地转化为站内稳定的金属接地，故障相的对地电压降为零，故障点电弧难以维持而熄灭，避免故障点接地电流引发的相间短路及人体触电等事故。

图 1 为主动干预型消弧装置的工作原理，$I_{arc1}$ 为原弧光接地电容电流，$I_{arc2}$ 为装置主动接地后的电容电流。即通过分相断路器主动接地，从而将线路故障转移为站内金属接地。

准确选出故障相是主动干预型消弧装置动作的核心和关键步骤。传统的相电压幅值比较法认为在不接地系统中，电压幅值最小的一相为故障相。但在高阻接地故障时三相电压幅值相近，具体如图 2 所示，进入高阻死区，传统方法无法准确判断出故障相，不满足主动干预型消弧装置的要求。

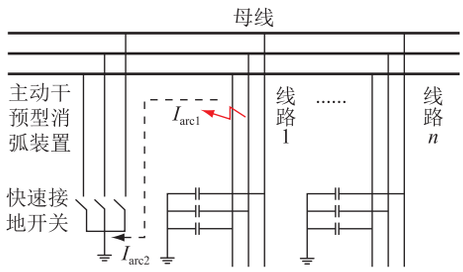



图 1 主动干预型消弧装置示意

Fig.1 Schematic diagram of active intervention arc suppression device

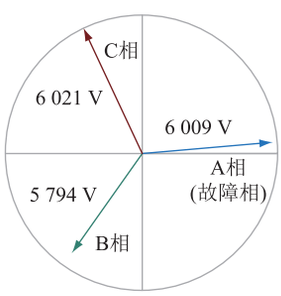



图 2 高阻接地时的三相电压幅值

Fig.2 Three phase voltage amplitude of high resistance grounding

## 2 基于中性点附加电阻的选相方案

### 2.1 系统正常运行情况下线路对地参数计算

在研究弧光或高阻接地故障时,配电网线路长度较短,因此可忽略线路阻抗,系统线路的简化模型如图 3 所示。其中 $\dot{E}_A$,$\dot{E}_B$,$\dot{E}_C$为三相电源电压;$C_A$,$C_B$,$C_C$为三相对地电容;$G_A$,$G_B$,$G_C$为三相对地电导;$R_1$为中性点附加的量测电阻;K 为量测电阻的投切开关。

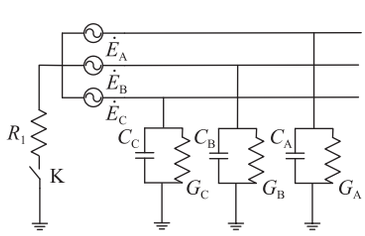



图 3 正常运行情况下对地参数测量电路

Fig.3 Circuit diagram for measuring ground parameters under normal operation

未接入附加量测电阻 $R_1$时,中性点电压为:

$$\dot{U}_0 = -\frac{Y_A\dot{E}_A + Y_B\dot{E}_B + Y_C\dot{E}_C}{G_T + j\omega C_T} \tag{1}$$

接入附加量测电阻 $R_1$后,中性点电压为:

$$\dot{U}_1 = -\frac{Y_A\dot{E}_A + Y_B\dot{E}_B + Y_C\dot{E}_C}{(G_T + G_1) + j\omega C_T} \tag{2}$$

式中:$G_1 = 1/R_1$;$Y_A$,$Y_B$,$Y_C$分别为 A,B,C 三相对地导纳,即有 $Y_A = G_A + j\omega C_A$,$Y_B = G_B + j\omega C_B$,$Y_C = G_C + j\omega C_C$;$C_T$,$G_T$分别为线路对地电容之和与线路对地电导之和,即有 $C_T = C_A + C_B + C_C$,$G_T = G_A + G_B + G_C$。

利用快速傅立叶变换提取中性点电压的工频分量,并将接入 $R_1$前后中性点电压幅值分别记为 $U_0$,$U_1$,相角分别记为 $\varphi_0$,$\varphi_1$,则有:

$$\frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_1} = \frac{(G_T + G_1) + j\omega C_T}{G_T + j\omega C_T} \tag{3}$$

由式(3)可得幅值和相角的关系:

$$\frac{U_0}{U_1} = \sqrt{\frac{(G_T + G_1)^2 + \omega^2 C_T^2}{G_T^2 + \omega^2 C_T^2}} \tag{4}$$

$$\tan(\varphi_0 - \varphi_1) = -\frac{\omega C_T G_1}{G_T(G_T + G_1) + \omega^2 C_T^2} \tag{5}$$

令:

$$\begin{cases} U_0^2/U_1^2 = A \\ \tan(\varphi_0 - \varphi_1) = B \\ B^2(A+1)^2 + (A-1)^2 = C \\ 2(A+1)G_1B^2 - 2G_1(A-1) = D \\ B^2G_1^2 - (A-1)G_1^2 = E \end{cases} \tag{6}$$

可解出线路对地电导和电容为:

$$G_T = \frac{-D + \sqrt{D^2 - 4CE}}{2C} \tag{7}$$

$$C_T = \frac{\sqrt{U_1^2(G_T + G_1)^2 - U_0^2G_T^2}}{\omega\sqrt{U_0^2 - U_1^2}} \tag{8}$$

### 2.2 系统发生单相故障时线路对地参数计算

假设系统 A 相发生单相接地故障,接地电阻为 $R_d$,其线路等值电路如图 4 所示,故障后只有 A 相的对地参数发生改变,记此时 A 相的对地参数为 $Y'_A$($Y'_A = Y_A + 1/R_d$),通过控制开关 K 实现对中性点附加量测电阻的投切,开关闭合前后中性点电压幅值分别为 $U'_0$,$U'_1$,相位分别为 $\varphi'_0$,$\varphi'_1$,线路对地电容记为 $C'_T$,对地电导记为 $G'_T$。

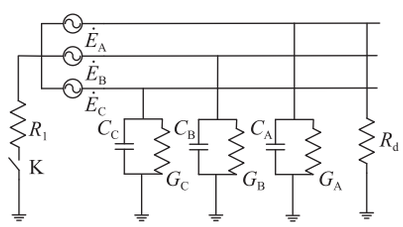



图 4 单相接地故障时对地参数测量电路

Fig.4 Circuit diagram for measuring ground parameters undersingle-phase ground

故障发生后,中性点未接入附加量测电阻 $R_1$时,中性点电压为:

$$\dot{U}'_0=-\frac{Y'_A\dot{E}_A+Y_B\dot{E}_B+Y_C\dot{E}_C}{G'_T+j\omega C'_T} \tag{9}$$

接入附加量测电阻 $R_1$ 后，中性点电压为：

$$\dot{U}'_1=-\frac{Y'_A\dot{E}_A+Y_B\dot{E}_B+Y_C\dot{E}_C}{(G'_T+G_1)+j\omega C'_T} \tag{10}$$

其余公式及计算过程与 2.1 节相同，均是利用电阻投切前后的中性点电压进行幅值和相位的运算，因此可对式(3)—式(6)作相应的替换，得到 $C'$，$D'$，$E'$，从而求出单相接地故障情况下线路对地电导和对地电容分别为：

$$G'_T=\frac{-D'+\sqrt{D'^2-4C'E'}}{2C'} \tag{11}$$

$$C'_T=\frac{\sqrt{U'^2_1(G'_T+G'_1)^2-U'^2_0G'^2_T}}{\omega\sqrt{U'^2_0-U'^2_1}} \tag{12}$$

### 2.3 利用对地参数变化判别故障相

在单相故障发生后，只有故障相的对地电阻值发生了改变，正常相对地电阻值不变，因此可通过对地导纳值的改变量以及中性点电压的变化量确定故障相。假设 A 相发生接地故障，将式(1)和式(9)相减并整理可得：

$$\dot{U}_0(j\omega C_T+G_T)-\dot{U}'_0(j\omega C'_T+G'_T)=\dot{E}_A(Y'_A-Y_A) \tag{13}$$

又因为 $Y'_A-Y_A=j\omega(C'_T-C_T)+G'_T-G_T$，式(13)可改写为：

$$\dot{U}_0(j\omega C_T+G_T)-\dot{U}'_0(j\omega C'_T+G'_T)=\dot{E}_A[j\omega(C'_T-C_T)+G'_T-G_T] \tag{14}$$

令：

$$\dot{e}=\frac{\dot{U}_0(j\omega C_T+G_T)-\dot{U}'_0(j\omega C'_T+G'_T)}{j\omega(C'_T-C_T)+G'_T-G_T} \tag{15}$$

当 A 相发生接地故障，理想情况下有 $\dot{e}=\dot{E}_A$，即 $\dot{e}$ 为故障相电源电压的计算值。故可利用计算值 $\dot{e}$ 的相位和三相电源电压的相位进行比较，相位与 $\dot{e}$ 最接近的相即为故障相。

### 2.4 故障选相实现流程

系统发生单相接地故障后，由于故障相存在过渡电阻，会导致该相的对地电阻值发生改变，而正常相的电阻值不发生变化，因此可以通过计算系统的对地导纳值辨识出故障相。根据上述公式推导，具体方法为：通过中性点电压的变化量，构造出故障相电源电压的计算值 $\dot{e}$，利用 $\dot{e}$ 的相位判断出故障相，考虑测量误差与模型误差，将相电动势 $\dot{E}_A$，$\dot{E}_B$，$\dot{E}_C$ 相位±10°的范围作为该相接地开关的动作区域。控制流程如图 5 所示。

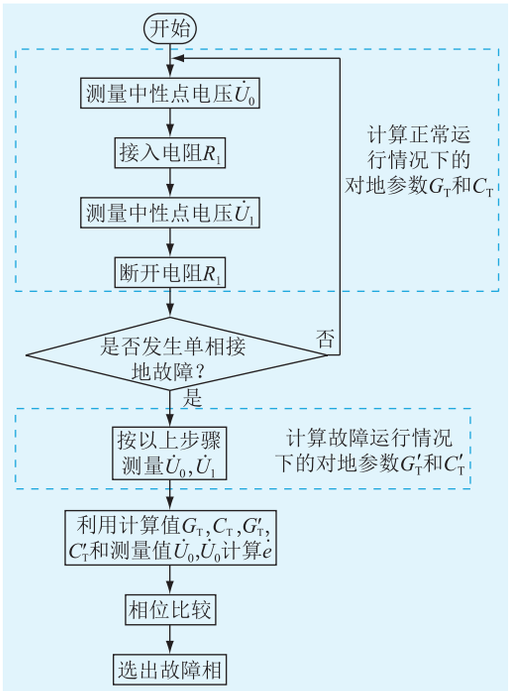



图 5 基于对地参数测量的选相流程

Fig.5 Phase selection flow chart based on measurement of groundparameters

## 3 仿真分析

为验证该选相方法的可行性，利用 PSCAD/EMTDC 软件建立某 10 kV 配电网模型，如图 6 所示，仿真分析系统发生单相接地故障及主动干预型消弧装置的故障选相过程。

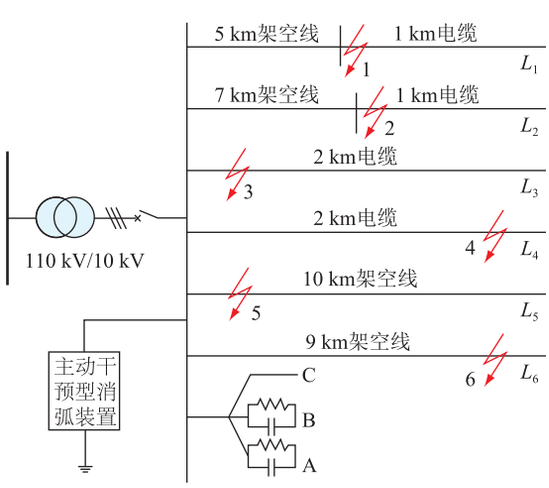



图 6 测试用配电网拓扑

Fig.6 Distribution network diagram for testing

架空线路和电缆线路的具体参数如表 1 所示。

为了模拟实际系统的不平衡度，在 A 相上并联 1 个 12 MΩ 电阻和 1 个 0.2 μF 的电容，且在 B 相上并联 1 个 6 MΩ 电阻和 1 个 0.3 μF 的电容。该系统

表 1 架空线路和电缆线路参数

Table 1 Parameters of overhead lines and cable lines

| 项目 | 架空线路 | 电缆线路 |
|---|---|---|
| 正序电阻/($\Omega\cdot km^{-1}$) | 0.17 | 0.27 |
| 零序电阻/($\Omega\cdot km^{-1}$) | 0.32 | 2.7 |
| 正序电感/($mH\cdot km^{-1}$) | 1.017 | 0.255 |
| 零序电感/($mH\cdot km^{-1}$) | 3.56 | 1.109 |
| 正序电容/($\mu F\cdot km^{-1}$) | 0.115 | 0.376 |
| 零序电容/($\mu F\cdot km^{-1}$) | 0.006 2 | 0.276 |

的总电容为 6.044 6 μF,系统电容电流约为 11.5 A。

### 3.1 电阻接地故障算例

系统正常运行情况下,通过投切中性点的附加电阻,可实现对地参数的测量。附加量测电阻设置为 100 Ω,系统正常运行情况下对地参数测量情况如表 2 所示,其中误差为文中方法的计算电容值与真实值之间的差值。线路对地电阻为 MΩ 级别,换算成电导值极小,可近似认为 $G_T\approx0$。

表 2 正常运行情况下对地参数计算

Table 2 Calculation of ground parameters under normal operating conditions

| 参数 | | 数值 |
|---|---|---|
| $U_0$ | 幅值/V | 255.48 |
| | 相位/(°) | 8.21 |
| $U_1$ | 幅值/V | 47.67 |
| | 相位/(°) | 6.04 |
| $C_T$/μF | | 6.04 |
| 误差/% | | 0.08 |

设置线路 1 的 A 相发生单相接地故障(即故障点 1),接地电阻 $R_f$分别设置为 50 Ω,100 Ω,200 Ω,500 Ω,1 500 Ω,2 000 Ω。通过投切阻值为 100 Ω 的附加量测电阻,实现系统故障运行情况下对地参数的测量,测量结果如表 3 所示。

表 3 故障运行情况下对地参数计算

Table 3 Calculation of ground parameterunder fault operation

| $R_f$/Ω | $U_0'$ | | $U_1'$ | | $G_T$/μs | 误差/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 幅值/V | 相位/(°) | 幅值/V | 相位/(°) | | |
| 50 | 5 717 | 81.17 | 3 780 | 81.70 | 19 502 | −2.49 |
| 100 | 5 664 | 75.87 | 2 842 | 80.31 | 9 890 | −1.10 |
| 200 | 5 430 | 65.89 | 1 906 | 78.97 | 4 977 | −0.50 |
| 500 | 4 306 | 43.44 | 974 | 77.81 | 1 999 | −0.05 |
| 1 500 | 2 121 | 17.24 | 393 | 77.76 | 667 | 0.15 |
| 2 000 | 1 691 | 13.05 | 311 | 78.00 | 502 | 0.40 |

由表 2 和表 3 可知,系统正常运行和故障运行情况下,电容值和电导值的计算值与实际值的误差均小于 5%,表明文中所提对地参数跟踪测量方法具有较高的精度和可行性。

将故障前后的对地参数值以及中性点电压值代入式(15),可得故障相电源电压的计算值 $\dot{e}$,通过和三相电源电压相位值($\varphi_A=-90°$,$\varphi_B=150°$,$\varphi_C=30°$)进行比较,可判断出故障相。具体判定情况见表 4。可见,在过渡电阻处于不同阻值时,基于中性点附加电阻的选相方法均有较好的准确性。

表 4 电阻接地故障相判断情况

Table 4 Fault phase judgment of resistance ground

| $R_f$/Ω | 故障相 | $\dot{e}$ | | 选相结果 |
|---|---|---|---|---|
| | | 幅值/V | 相位/(°) | |
| 50 | A | 5719.79 | −93.32 | 正确 |
| 100 | A | 5 719.32 | −93.37 | 正确 |
| 200 | A | 5 715.99 | −93.43 | 正确 |
| 500 | A | 5 700.10 | −93.52 | 正确 |
| 1 500 | A | 5 683.62 | −93.44 | 正确 |
| 2 000 | A | 5 664.46 | −93.46 | 正确 |

### 3.2 电弧接地故障算例

为验证文中方法在电弧接地情况下也有较高的适用性和准确率,在 PSCAD 中建立电弧模型[21—23],电弧电阻波形如图 7 所示,呈强非线性,零休熄弧期间阻值较大,稳定燃烧期间阻值较小,接近于零;稳定燃弧时间较长,约占大半个周期,因此可提取稳定燃弧期间的相关数据进行故障相判别。设故障点 1 处的 A 相发生电弧接地故障,利用所提故障选相方法判断故障相的情况如下:故障提取时刻为燃弧,故障相为 A 相,$\dot{e}$ 的幅值为 5 715.46 V,相位为−92.06°,选相结果正确。当发生电弧接地故障时,提取燃弧时刻的相关参数进行运算,可准确判断出故障相。

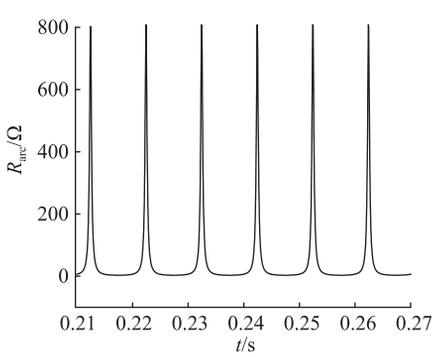



图 7 电弧电阻波形

Fig.7 Arc resistance waveform

### 3.3 选相方法可行性分析

为进一步验证该选相方法的可行性,对不同故障点位置、故障相的不同故障工况进行分析,并与

传统的选相方法进行对比分析。

设置故障点1—6的A,B,C三相分别发生单相接地故障,部分仿真结果如表5所示。由仿真结果可知,该选相方法在故障点位置和故障相别变化的情况下也可准确判断出故障相。

表5 不同故障工况下故障相判断

Table 5 Faulty phase judgment under different fault conditions

| 故障位置 | $R_f$/Ω | 故障相 | $\dot{e}$ | | 选相结果 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 幅值/V | 相位/(°) | |
| 1 | 50 | A | 5 719.79 | −93.32 | 正确 |
| 2 | 100 | B | 5 670.00 | 146.31 | 正确 |
| 3 | 200 | C | 5 840.12 | 27.39 | 正确 |
| 4 | 500 | A | 5 791.30 | −92.49 | 正确 |
| 5 | 1 500 | B | 5 675.36 | −147.50 | 正确 |
| 6 | 2 000 | C | 5 677.01 | 27.56 | 正确 |

目前在工程实际中较为常用的故障选相方案为电压幅值法,设置上述相同的故障工况,进行2种选相方案的仿真对比,结果如表6所示。过渡电阻较小时,利用传统的电压幅值法可准确判断出故障相,但是对于1 500 Ω以上的高过渡电阻来说,故障后三相电压幅值相近,该方法不再适用。电压幅值法利用故障发生后的三相电压幅值的大小进行故障相的判断,在不接地系统中,电压幅值的最小相即为故障相。当发生高阻接地时,三相电压幅值相近,电压幅值法不再可靠。

表6 2种选相方法对比

Table 6 Comparison of two phaseselection methods

| 故障点 | $R_f$/Ω | 故障相 | 三相电压幅值/V | | | 选相结果 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | 电压幅值法 | 附加电阻法 |
| 1 | 50 | A | 639 | 9 680 | 10 307 | 正确 | 正确 |
| 2 | 100 | B | 10 377 | 1 190 | 9 225 | 正确 | 正确 |
| 3 | 200 | C | 8 528 | 10 648 | 2 159 | 正确 | 正确 |
| 4 | 500 | A | 3 986 | 6 453 | 10 097 | 正确 | 正确 |
| 5 | 1 500 | B | 7 619 | 5 327 | 5 036 | 错误 | 正确 |
| 6 | 2 000 | C | 4 758 | 7 083 | 5 915 | 错误 | 正确 |

文中方法在高阻接地时有更好的适用性。因为过渡电阻越大对系统不平衡度的影响越小,当中性点附加一个较小的量测电阻后,系统不平衡度明显增加,中性点电压变化较大,有利于文中方法的参数计算,这一点可由表3中性点相位数据变化看出,过渡电阻越大,相位变化越明显,参数计算准确率越高,有利于后续故障相的判断。

### 3.4 主动干预型消弧装置消弧过程仿真分析

设置故障点1处于0.3 s发生单相接地故障(接地电阻为100 Ω),利用文中选相方法判断出单相接地故障后,主动干预型消弧装置在$t$= 0.45 s时闭合故障相接地开关。故障点处电流波形和母线接地开关处的电流波形如图8所示。由图可知,接地开关合闸后,故障点处电流转移至接地开关处,接地开关处电流升高,而故障点处的电流迅速减小,达到了转移电流和消弧的目的。

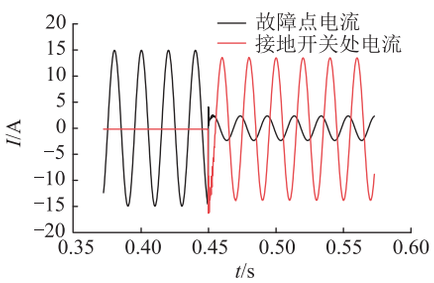



图8 主动干预型消弧装置电流转移波形

Fig.8 Current transfer waveform of active intervention type arc extinguishing device

## 4 结论

传统的故障选相方法无法满足主动干预型消弧装置对于选相准确率的高要求,因此文中提出了一种利用中性点附加电阻的选相方法。该方法能有效提高故障选相准确率,适用于主动干预型消弧装置。该方法通过人为改变系统的不平衡度来实时计算对地参数,进而利用系统正常状态和故障状态下对地参数的不同辨别出故障相。文中在多种故障工况下进行了详细的仿真,得到如下结论:

(1)传统相电压幅值比较法在高阻接地时三相电压幅值接近,进入高阻死区,容易发生误判。无法满足主动干预型消弧装置选相准确率的高要求。

(2)发生高阻接地时,因接地电阻较大,所以对系统不平衡度的影响较小。当中性点附加一个较小的量测电阻后,系统不平衡度明显增加,导致中性点电压前后变化较大,有利于文中方法的线路参数计算,使得该方法在高阻接地时也有较高的准确率。

(3)主动干预型消弧装置利用文中方法选出故障相后,相应的接地开关动作,能有效钳制故障相电压,将故障电流从故障点转移到变电站,解决了现代配电网故障点处电流过大的问题。

**参考文献:**

[1] 王磊,张贺军,徐铭铭,等. 基于同步波形与关联规则的单相接地故障诊断[J]. 智慧电力,2019,47(10):112-119.
WANG Lei,ZHANG Hejun,XU Mingming,et al. Single phase to ground fault diagnosis based on synchronous waveforms and association rules[J]. Smart Power,2019,47(10):112-119.

[2] 吕涛,邵文权,程远,等. 配电网有源消弧深度补偿的分析与仿真研究[J]. 智慧电力,2018,46(4):33-38.
LYU Tao,SHAO Wenquan,CHENG Yuan,et al. Analysis and simulation research on full compensation of distribution network active arc-suppression[J]. Smart Power,2018,46(4):33-38.

[3] 李新泉,齐郑,杨以涵. 一种新型消弧方法的研究及其实现[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(24):83-89.
LI Xinquan,QI Zheng,YANG Yihan,et al. Research and realization on a new tape arc-suppression method[J]. Power System Protection and Control,2008,36(24):83-89.

[4] 靳孝峰,张琦. 新型消弧及过电压保护装置[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(1):101-103.
JIN Xiaofeng,ZHANG Qi. New arc extinguishing and overvoltage protection equipment[J]. Power System Protection and Control,2009,37(1):101-103.

[5] 艾绍贵,李秀广,黎炜,等. 配电网快速开关型消除弧光接地故障技术研究[J]. 高压电器,2017,53(3):178-184.
AI Shaogui,LI Xiuguang,LI Wei,et al. Arc suppression technology based on fast switch for distribution network[J]. High Voltage Apparatus,2017,53(3):178-184.

[6] 彭沙沙,曾祥君,喻琨,等. 基于二次注入的配电网接地故障有源电压消弧方法[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(20):142-149.
PENG Shasha,ZENG Xiangjun,YU Kun,et al. Active arc-suppression method of grounding fault for distribution network based on secondary injection[J]. Power System Protection and Control,2018,46(20):142-149.

[7] PIGNATI M,ZANNI L,CHERKAOUI R,et al. Fault detection and faulted line identificationin active distribution networks using synchrophasors-based real-time state estimation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2017,32(1):381-392.

[8] 程路,陈乔夫. 小电流接地系统单相接地选线技术综述[J]. 电网技术,2009,33(18):219-224.
CHENG Lu,CHEN Qiaofu. A survey on faulty line selection technology for single-phase grounded transmission line in small current neutral grounded system[J]. Power System Technology,2009,33(18):219-224.

[9] 侯丽钢,汤向华,江辉,等. 应用于含有线-缆混合线路配电网的行波故障测距新方法[J]. 电力工程技术,2019,38(2):111-116.
HOU Ligang,TANG Xianghua,JIANG Hui,et al. Fault location method for transmission line based on the weighting of reliability[J]. Electric Power Engineering Technology,2019,38(2):111-116.

[10] 王博,谷昌瑞,吉晓筱,等. 基于多点故障行波检测的改进分布式故障测距方法研究[J]. 电力工程技术,2017,36(5):120-126.
WANG Bo,GU Changrui,JI Xiaoyou,et al. Research on improved distributed fault location method based on multi-point faults traveling wave detection[J]. Electric Power Engineering Technology,2017,36(5):120-126.

[11] 梁振锋,张晓阳,张惠智,等. 基于故障录波数据的故障线路参数计算[J]. 智慧电力,2018,46(8):39-44.
LIANG Zhenfeng,ZHANG Xiaoyang,ZHANG Huizhi,et al. Fault line parameters calculation based on fault recording data[J]. Smart Power,2018,46(8):39-44.

[12] 王旭强,杨青,张耀,等. 基于多源信息融合的配电网故障选线新方法[J]. 智慧电力,2019,47(9):97-103.
WANG Xuqiang,YANG Qing,ZHANG Yao,et al. A new fault line selection method for distribution network system based on multidimensional information fusion[J]. Smart Power,2019,47(9):97-103.

[13] 陈景文,褚恩亮,李英春,等. 基于贝叶斯分类器的谐振接地故障选线系统设计[J]. 智慧电力,2019,47(8):99-104,119.
CHEN Jingwen,CHU Enliang,LI Yingchun,et al. Design of resonant ground fault line selection system based on bayesian classifier[J]. Smart Power,2019,47(8):99-104,119.

[14] 杨文勇,戴宇,刘丽,等. 配电网开关型消弧装置选相失败的特性及对策研究[J]. 供用电,2019,36(2):78-83.
YANG Wenyong,DAI Yu,LIU Li,et al. Research on characteristics and countermeasures of phase selection failure of switch-type arc suppression device[J]. Distribution & Utilization,2019,36(2):78-83.

[15] 徐波,张建文,蔡旭,等. 电网不对称条件下小电流接地系统接地相辨识[J]. 电工技术学报,2011,26(12):175-182.
XU Bo,ZHANG Jianwen,CAI Xu,et al. Grounding phase determination in non-effective grounding systems in case of unsymmetrical voltage[J]. Transaction of China Electrotechnical Society,2011,26(12):175-182.

[16] 张林利,张毅,薛永端,等. 考虑系统不对称的小电流接地故障相识别[J]. 电力自动化设备,2019,39(4):24-32.
ZHANG Linli,ZHANG Yi,XUE Yongduan,et al. Fault phase identification of non-solidly grounding system considering system asymmetry[J]. Electric Power Automation Equipment,2019,39(4):24-32.

[17] 徐栋杰,刘文泽,李晓华. 开关型消弧装置的故障选相及选线方法[J]. 广东电力,2019,32(1):125-131.
XU Dongjie,LIU Wenze,LI Xiaohua. Fault phase selection and line selection methods for switch type arc suppression devices[J]. Guangdong Electric Power,2019,32(1):125-131.

[18] 刘宝稳,马宏忠. 零序电压产生机理及过渡电阻测量和选相方法[J]. 电网技术,2015,39(5):1444-1452.
LIU Baowen,MA Hongzhong. Transition resistance measurement and fault phase selection under single-phase ground fault based on producing mechanism of zero-sequence voltage[J]. Power System Technology,2015,39(5):1444-1452.

[19] 李如琦,黄欢,张振兴,等. 小电流系统单相不完全接地故障分析[J]. 广西大学学报(自然科学版),2007(4):367-370.
LI Ruqi,HUANG Huan,ZHANG Zhenxing,et al. Analysing of single-phase and indirectly grounding fault in small current system[J]. Journal of Guangxi University(Natural Science Edition),2007(4):367-370.

[20] 于群,陈志慧. 电网不对称条件下基于频数分布理论的谐振接地系统故障相辨识[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(7):96-104.
YU Qun,CHEN Zhihui. Grounding phase determination in resonant grounding systems based on frequency distributiontheory in case of unsymmetrical voltage[J]. Power System Protection and Control,2018,46(7):96-104.

[21] 许晔,郭谋发,陈彬,等. 配电网单相接地电弧建模及仿真分析研究[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(7):57-64.
XU Ye,GUO Moufa,CHEN Bin,et al. Modeling and simulation analysis of arc in distribution network[J]. Power System Protection and Control,2015,43(7):57-64.

[22] 顾荣斌,蔡旭,陈海昆,等. 非有效接地电网单相电弧接地故障的建模及仿真[J]. 电力系统自动化,2009,33(13):63-69.
GU Rongbin,CAI Xu,CHEN Haikun,et al. Modeling and simulating of single-phase are grounding fault in non-effective earthed networks[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(13):63-69.

[23] 李淑蓉,薛永端,徐丙垠,等. 小电流接地故障电弧建模及过电压分析[J]. 电力科学与技术学报,2019 (1):47-53.
LI Shurong,XUE Yongduan,XU Bingyin,et al. Arc modeling and overvoltage analysis innonr solidly earthed networks[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2019 (1):47-53.

作者简介:


王鹏

王鹏(1984),男,博士,高级工程师,从事配电网运行与控制、电力电子在配电网中的应用工作(E-mail:w-fsfe@163.com);

张贺军(1973),男,硕士,高级工程师,从事变电设备管理及特高压变电站运维管理、配电网中性点接地方式、配电网接地故障识别与处理技术相关工作;

徐凯(1995),男,硕士在读,研究方向为智能配电网。

## Additional resistance based fault phase identification method suitable for active interference arc suppression device

WANG Peng[1], ZHANG Hejun[2], XU Kai[3], XU Mingming[1], SHI Fang[3]

(1. State Grid Henan Electric Power Company Research Institute,Zhengzhou 450006,China;
2. Equipment Administration Department,State Grid Corporation of China,Beijing 100031,China;
3. School of Electrical Engineering,Shandong University,Jinan 250061,China)

**Abstract**:The accurate identification of the faulty phase is of great importance for active interference arc suppression device. When mis-selection occurs,more serious inter-phase fault occurs. In order to improve the accuracy of fault phase selection, method of phase selection using additional resistance of neutral point is presented. The method calculates the parameters of ground in real time by switching in/off the additional resistance on the neutral point,and the equivalent impedance of the network can be estimated. Then the fault phase can be identified by using the difference of parameters between normal and fault states. Simulation results show that this method performed better than the traditional phase voltage amplitude comparison method. The accuracy for faulty phase selection is high even under arcing or high resistance grounding fault scenarios.

**Keywords**:active-intervention-type arc suppression device;single-phase-to-ground fault;neutral point additional resistance;faulty phase selection;high resistance grounded

(编辑　方晶)