

基于网络化简的计及开关故障配电网可靠性评估

林济铿¹, 王旭东¹, 郑卫洪², 林昌年³

(1. 天津大学电力系统仿真控制教育部重点实验室, 天津市 300072; 2. 天津市电力公司调度中心, 天津市 300010;
3. 中国电力科学研究院, 北京市 100192)

摘要: 提出一种基于区域网络(区域元件)的等效网络,并将其用于配电系统可靠性评估。该方法以各类开关为边界,根据区域边界开关手动或自动性质的不同,定义了 2 种区域元件,并组成相应的用于系统可靠性指标评估的 2 类等效网络;提出了对等效网络进行化简的有效命题;通过将开关故障的影响计入区域元件中,避免对开关故障单独考虑,在以区域负荷为评估对象以及区域元件为分析单元的基础上,对等效网络采用分级评估的策略,从而减少了遍历及分析单元的数目,也避免了同类负荷点的重复遍历。算例表明,与现有方法相比,文中算法具有更高的计算效率。

关键词: 配电网可靠性评估; 等效网络; 区域元件; 开关故障; 分级评估策略

中图分类号: TM732; TM727.2

0 引言

故障模式后果分析法^[1]在配电网可靠性分析中得到广泛应用。但随着系统规模和故障模式的增加,建立故障模式后果表将变得很困难。如何简化其分析及计算过程,一直备受关注^[2-3]。

许多文献提出了有效且新颖的配电网可靠性分析方法。文献[4]提出基于 Petri 网的配电网可靠性评估算法。文献[5]提出计及自动重合闸的基于预测方式的配电网可靠性评估方法。文献[6]提出以开关元件为研究对象的配电网可靠性评估方法。文献[7]提出处理可靠性评估不确定性的联系数方法。但上述方法均未考虑开关故障的影响。文献[8]通过判别开关、母线故障对负荷的影响类型,进而得到相应的可靠性指标。文献[9]基于区域网络模型获得计及开关故障的系统可靠性评估。文献[10]采用双层同构贝叶斯网络模型进行了计及开关故障的配电网可靠性评估。由于文献[8-10]都将开关和设备的故障影响分开考虑,计算过程过于繁琐。文献[11]把开关故障的影响分配到与其相连的前后 2 个“局部网络块”加以考虑,具有一定的新意。

本文提出了一种基于区域元件等效网络的计及开关故障的配电系统可靠性评估新方法。算例验证了它的有效性。

1 等效网络模型

在配电系统中,开关装置可分为自动开关装置

(如断路器、熔断器)和手动开关装置(如隔离开关) 2 类。若以各类开关为边界把待评估网络划分成众多区域网络,则区域网络内的设备对负荷点的故障影响类型都一样^[12]。首先以自动开关装置(或联络开关)为边界将系统划分为多个区域网络,称此类区域网络为 A 类;在此基础上进一步以所有开关装置为边界将系统划分为多个区域网络,称此类网络为 M 类。在上述划分过程中电源侧的开关装置被划归到相应区域网络中。

1) A 类等效网络

将每个 A 类区域网络等效为 A 类区域元件,记为 E_A 。每个 E_A 内部有且仅有唯一的自动开关。由 E_A 组成的网络称为 A 类等效网络,记为:

$$N_A = \{ E_A \ i, i = 1, 2, \dots, S_A \} \quad (1)$$

式中: S_A 为系统中自动开关装置的数目。

2) M 类等效网络

将每个 M 类区域网络等效为 M 类区域元件,记为 E_M 。 E_M 内部有且仅含有一个开关。由 E_M 组成 M 类等效网络,记为:

$$N_M = \{ E_M \ i, j, i = 1, 2, \dots, S_A; \\ j = 1, 2, \dots, S \} \quad (2)$$

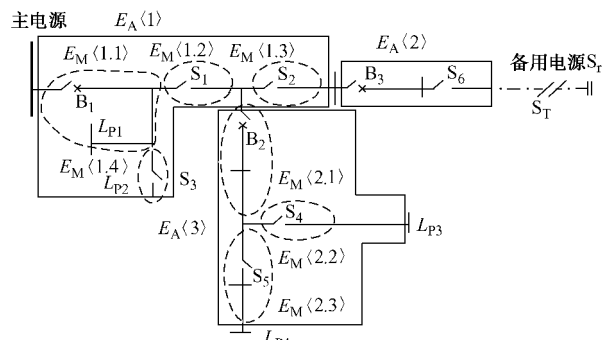
式中: S 为 $E_A \ i$ 范围内的开关装置的数目。

在上述区域划分的过程中,将开关包括在各个区域网络内,从而便于将开关故障与其他元件的故障影响统一考虑。图 1 为对一配电系统进行分区之后的示意图(图中的点划线代表省略的网络,下文各图也是如此)。

通过上述划分,每个 A 类区域元件均包括多个

收稿日期: 2008-11-07; 修回日期: 2009-02-12。

M类区域元件,而当系统中自动开关较少,尤其对于配电网中T接线较多时,A类区域元件相对较少,因而由A类元件组成的系统较简单,有利于可靠性评估问题复杂性的降低。



$E_A(1) \sim E_A(3)$ 均包括一个断路器,为A类区域元件; $E_M(1.1) \sim E_M(1.4)$ 为包括在 $E_A(1)$ 里面的M类区域元件,均包括一个开关;其他区域元件的结构与之类似; $B_1 \sim B_3$ 为自动开关; $S_1 \sim S_6$ 为隔离开关; S_T 为联络开关; $L_{P1} \sim L_{P4}$ 为负荷点; S_T 为备用电源

图1 带分支线的复杂配电系统区域划分

Fig.1 Zone partition of a complex distribution network with sub-feeder

2 相关定义及多端口元件的化简

2.1 相关定义

1) 父节点和子节点

对于区域元件,若潮流从其一端节点 T_N 流向节点 T_R ,则称节点 T_N 为节点 T_R 的父节点,节点 T_R 为节点 T_N 的子节点。

2) 最小通路

在等效网络中,节点 P_i 与节点 P_j 之间的最小通路 $P_{\min}(P_i, P_j)$ (简记为 $P_{\min}$),满足如下条件:

从 P_i 经过一系列元件后到达 P_j ;去掉这一系列元件中的任意一个则无法形成 P_i 到 P_j 的通路。最小通路的长度为其中所包含的元件数,记为 $d(P_i, P_j)$ 。

3) 最小路和共同通路

最小路:在 N_A 中,节点 A_i 与电源点 P 之间的最小通路 $P_{\min}$ 称为节点 A_i 的A类最小路,记为 P_A 。同理定义M类最小路,记为 P_M 。

备用最小路:在 N_M 中,节点 M_i 与备用电源点 B 之间的最小通路 $P_{\min}$ 称为节点 M_i 的备用最小路,记为 P_B 。

共同通路: P_M 与 P_B 之间相交的部分称为节点 M_i 的共同通路,记为 P_C 。

4) 转移节点和转移元件

在 N_M 中,若负荷点 L_i 有且仅有一条备用最小路,其转移节点 P_T 满足下式:

$$d(L_i, P_T) = \max_{P_N} \min_{P_C(L_i)} d(L_i, P_N) \quad (3)$$

式(3)说明, P_T 即为 L_i 的 P_C 上离 L_i 最远的节点。

当 L_i 有多条(以 l 计)备用最小路时,对应 l 个转移节点 P_{Tj} ,其转移节点 P_T 应满足:

$$d(L_i, P_T) = \min_{1 \leq j \leq l} d(L_i, P_{Tj}) \quad (4)$$

定义以 P_T 为 T_R 点的 E_M 为转移元件,记为 E_{TP} 。

2.2 多端口元件的化简

由于区域网络的边界为开关装置,所以在A类和M类等效网络中,均会出现如图2所示的三端口,甚至多端口区域元件。本文将其中的 T_R 合并,得到只含二端口的等效网络,可以证明图2中的 T_{R1} 和 T_{R2} 的合并对于负荷点 P_i 的可靠性评估没有影响。相应命题及证明详见附录A。

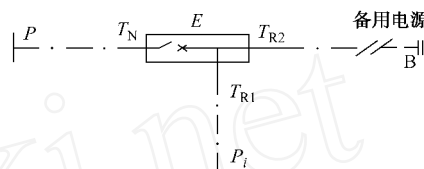


图2 含多端口元件网络

Fig.2 Network with multi-port elements

3 计及开关故障的区域元件故障后果分类

根据故障对负荷点造成影响的不同,可以将设备分为4类^[8]:a类,故障造成负荷点的停运时间为设备故障修复时间;b类,故障造成负荷点的短时停运时间为故障隔离和开关切换时间 R_p ;c类,故障造成负荷点的短时停运时间为故障隔离时间 T_s ;d类,故障不对负荷点造成影响。

M类、A类区域元件是各种设备和开关的组合,为与上述单纯设备分类区分,本文称区域元件的故障后果分类为区域元件分型。把仅由a类、b类、c类、d类设备组成的M类(或A类)区域元件分别称为a、b、c、d型M类(或A类)区域元件,或简称为M类(或A类)a、b、c、d型。

对于负荷节点 L_i ,根据网络中的M类、A类区域元件的故障对其可靠性指标影响的不同进一步进行相应分型。

3.1 M类区域元件

在对 E_M 进一步分型之前,给出其平均故障率和平均故障修复时间的计算公式如下:

$$\lambda_{\text{ZoneM}} = \sum_{i=1}^N \lambda_i + \lambda_{\text{MS}} \quad (5)$$

$$\gamma_{\text{ZoneM}} = \frac{\sum_{i=1}^N \gamma_i \lambda_i + \gamma_{\text{MS}} \lambda_{\text{MS}}}{\lambda_{\text{ZoneM}}} \quad (6)$$

式中: λ_i 和 λ_{MS} 分别为 E_M 中所含设备及开关装置的

平均故障率; λ_{ZoneM} 为 E_M 平均故障率; γ_i 和 γ_{MS} 分别为 E_M 中所含设备及开关装置的平均故障修复时间; γ_{ZoneM} 为各 E_M 平均故障修复时间; N 为 E_M 中的设备数目(除开关以外)。

下面给出M类区域元件的进一步分型:

1)同时处于 L_i 的 P_A 和 P_M (以下简称 P_A 和 P_M)范围内的 E_M 所包含的开关和其他设备都同属于a类或b类设备,故相应的 E_M 属于M类a(b)型。

2)处于 P_A 范围内,同时不在 P_M 上的 E_M 所包含的开关可能属于a类、b类、c类设备,而其他设备则属于c类设备。这类 E_M 有3种情况:

M类c型: E_M 中所含设备均为c类设备。

M类e型: E_M 中除开关以外的设备属于c类设备,而开关属于b类设备。 E_M 故障引起负荷点停运时间 γ_e 为:

$$\gamma_e = \frac{R_p \lambda_{MS} + T_s (\lambda_{ZoneM} - \lambda_{MS})}{\lambda_{ZoneM}} \quad (7)$$

式中: R_p 为开关切换时间; T_s 为故障隔离时间。

M类f型: E_M 中除开关以外的设备属于c类设备,而开关属于a类设备。 E_M 故障引起负荷点停运时间 γ_f 为:

$$\gamma_f = \frac{\gamma_{MS} \lambda_{MS} + T_s (\lambda_{ZoneM} - \lambda_{MS})}{\lambda_{ZoneM}} \quad (8)$$

需要指出的是, P_M 范围内的自动开关失效无需考虑。如发生此类情况,可由其上一级自动开关动作完成故障隔离,其影响可以忽略不计。

3.2 A类区域元件

P_A 范围内 E_A 的故障影响,通过它所包括的 E_M 加以考虑。由于不考虑多重故障,与 P_A 上的节点非直接相连的 E_A 内部发生的故障通过自动开关进行隔离,不会对 L_i 有影响,在分析过程中无需对其进行考虑。因此,只需对与 P_A 上的节点直接相连的非最路上的 E_A (记为 E_{Aj} , $j=1,2,\dots,S_A$)的故障影响整体分析如下。

E_{Aj} 的平均故障率 λ_{ZoneAj} 可以按下式计算:

$$\lambda_{ZoneAj} = \lambda_{AS} + (1 - p) \left[\sum_{j=1}^{N_S} \lambda_{ZoneMj} - \lambda_{AS} \right] \quad (9)$$

式中: p 为自动开关装置可靠动作率; λ_{AS} 为自动开关装置的平均故障率; λ_{ZoneMj} 为 E_{Aj} 所含 E_M 的平均故障率(其表达式见式(5)); N_S 为 E_{Aj} 所含开关数目。

记 E_{Aj} 中含有自动开关装置的 E_M 为 E_1 。对 E_{Aj} 进行如下分型:

1)A类e型: E_1 连接到 P_M 上,连接点处于 L_i 的 P_T (以下简称 P_T)与电源点之间。

2)A类f型: E_1 连接到 P_M 上,连接点处于 P_T 与负荷点之间(包括连接到 P_T 上)。

A类e型及f型区域元件故障造成负荷点的停运时间 γ_{ZoneA} 分别如式(10)、式(11)所示:

$$\gamma_{ZoneA} = \frac{1}{\lambda_{ZoneA}} \left[T_s (1 - p) \left(\sum_{j=1}^{N_2} (\lambda_j' + \lambda_{Sj}) + \sum_{i=1}^{N_1} \hat{\lambda}_i \right) + R_p \left((1 - p) \left(\lambda_1 + \sum_{i=1}^{N_1} \hat{\lambda}_{Si} \right) + \lambda_{AS} \right) \right] \quad (10)$$

$$\gamma_{ZoneA} = \frac{1}{\lambda_{ZoneA}} \left[T_s (1 - p) \left(\sum_{j=1}^{N_2} (\lambda_j' + \lambda_{Sj}) + \sum_{i=1}^{N_1} \hat{\lambda}_i \right) + (1 - p) \left(\gamma_1 \lambda_1 + \sum_{i=1}^{N_1} \hat{\gamma}_{Si} \hat{\lambda}_{Si} \right) + \gamma_{AS} \lambda_{AS} \right] \quad (11)$$

式中: λ_1 为 E_1 未考虑开关故障时的平均故障率; $\hat{\lambda}_i$ 和 $\hat{\lambda}_{Si}$ 分别为 E_{Aj} 中与 E_1 相连接的 E_M 未考虑开关故障时的平均故障率及其所含开关的平均故障率, N_1 为此类 E_M 的数目; λ_j 和 λ_{Sj} 分别为 E_{Aj} 中其他 E_M 未考虑开关故障的平均故障率及其开关的平均故障率, N_2 为此类 E_M 的数目; γ_1 为 E_1 未考虑开关故障时的平均故障修复时间; γ_{AS} 为自动开关装置平均故障修复时间; $\hat{\gamma}_{Si}$ 为 E_{Aj} 中与 E_1 相连接的 E_M 所含开关的平均故障修复时间。其他参数同式(9)。

3)A类c型: E_1 不与 P_M 直接相连。此类区域元件故障造成负荷点的停运时间为故障隔离时间。

4 区域元件故障模式影响分级分析及系统可靠性评估

下面给出负荷点 L_i 可靠性指标的具体计算过程。

1)遍历 P_A 。

2)分析 L_i 的A类非最小路故障影响:在 P_A 范围内遍历 P_M 。搜索 P_T 和 E_{TP} 。分析 E_1 与 P_M 上节点相连接的 E_{Aj} 的分型:若网络中有备用电源,且 E_1 连接到 P_T 与电源点之间,这样的 E_{Aj} 属于A类e型;其他情况 E_{Aj} 均属于A类f型。剩余 E_{Aj} (即不与 P_M 上节点相连接)都属于A类c型。

3)分析 P_A 的故障影响:分析 P_M 中 E_M 的故障影响:若网络中有备用电源,则在转移节点与电源点之间,除 E_{TP} 以外的 E_M 属于M类b型;其他情况下 P_M 中的 E_M 属于M类a型。分析 P_A 范围内剩余 E_M 的影响:若 E_M 和 P_M 上转移节点与电源点之间的节点直接连接,其属于M类e型;若 E_M 和 P_M 上转移节点与负荷点之间的节点(包括转移节

点)直接连接,其属于 M 类 f 型;其他的 E_M 属于 M 类 c 型。

从上述分析及遍历过程可以看出,对网络的遍历按 N_A 和 N_M 分级进行,避免了重复计算。由于把开关当做一个设备与其他设备一起加以考虑,只通过一次网络的遍历,所有设备的影响均已计及。因此,上述方法具有较高的效率。

在上述各个区域元件的故障影响分型基础上,经过简单的计算,即可得到负荷点 L_i 的平均停运率 λ_L 、平均停运时间 y_L 和平均年停运时间 U_L 。当 M 类区域元件中存在多个负荷点时,只需对任一负荷进行分析,即可得到此区域内所有负荷点的可靠性指标。

5 算例

采用 IEEE RBT Bus6 配电系统^[13],来校验本文的算法,其系统结构如附录 B 图 B1 所示,相应可靠性参数见文献[14]。

5.1 全系统可靠性分析(未考虑开关故障)

对于该系统,本文分析了附录 B 表 B1 中所示的 6 种情况(具体方案见文献[9]),计算结果列于附录 B 表 B2 中。原系统设备数和等效网络的 E_M 个数列于附录 B 表 B3 中。原系统负荷点个数和区域负荷的个数列于附录 B 表 B4 中。

从附录 B 表 B3 可见, N_M 中的 E_M 个数远小于原系统的设备数。由于本文采用的是分级评估的办法,在实际计算中所涉及的 E_M 个数还要少于表中所列的各个方案的总体个数。以负荷 L_{P32} 的可靠性评估为例,在方案 A 的计算中,若不考虑自动开关装置失效,则仅需计算 $P_A(L_{P32})$ 所含区域内的 E_M 对 L_{P32} 的故障影响,相应地仅需遍历 4 个 E_M 。由附录 B 表 B4 可以看出,本文实际计算的负荷点,即区域负荷,要远少于系统总负荷点。

以附录 B 中方案 A 为例,本文及最小路算法的计算时间分别为 10 ms 和 20 ms。表明因计算过程简化,本文方法的计算速度得到显著提高。

5.2 馈线 F_4 的系统可靠性指标

馈线 F_4 的网络设置为:有隔离开关、有熔断器、变压器无备用。分别计算了如下 3 种方案。

1) 方案 A:不考虑开关故障及开关的不可靠动作。

2) 方案 B:分支线上断路器的可靠动作概率或熔断器可靠熔断的概率都为 0.8。

3) 方案 C:开关平均故障率为 0.02 次/a,平均修复时间为 5 h^[11],未考虑开关的不可靠动作。

对上述方案的计算结果如表 1 所示。表 1 中的计算结果与采用文献[9]的方法基本一样。由于本文将开关故障计入区域元件中,无需如文献[9]将区域网络和开关分开考虑,使得方案 C 的计算过程得到简化,如本文 M 类元件共计 28 个,而文献[9]由于把开关的故障分开单独考虑,需遍历的元件数为 56,即为本文方法的 2 倍,相应的计算时间也约为本文的 2 倍。

表 1 馈线 F_4 的系统可靠性指标
Table 1 System reliability indices of feeder F_4

方案	(次·(户· a) ⁻¹)	(h·(户· a) ⁻¹)	(h·(户· a) ⁻¹)	I_{ASA1}	((MW·h)· a ⁻¹)
A	1.977 81	11.074 7	5.599 45	0.998 736	57.790 4
B	2.428 09	17.834 8	7.345 22	0.997 964	93.060 4
C	2.312 44	12.506 7	5.408 45	0.998 572	65.217 2

注: I_{SAIFI} 为系统平均停电频率指标; I_{SAIDI} 为系统平均停电持续时间指标; I_{CAIDI} 为用户平均停电持续时间指标; I_{ASA1} 为平均供电可用度指标; I_{ENS} 为系统总电量不足指标。

由表 1 的计算结果可以看出,在分别考虑开关故障及自动开关失效的情况下,系统可靠性指标 I_{SAIFI} 均明显减少, I_{SAIDI} 均明显增加。由此可见,在实际系统的可靠性评估过程中,开关故障和自动开关失效对系统可靠性的影响不能忽略不计。

6 结语

本文提出了一种基于等效网络模型的配电系统可靠性评估新方法。该方法以 2 类等效网络(A 类及 M 类)为基础,进行分级分析;把开关并入区域元件中与其他设备进行统一处理,简化了分析及计算过程。算例表明了本文方法的有效性。

附录见本刊网络版 (<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] BILLINTON R, ALLAN R N. Reliability evaluation of power systems. New York, NY, USA: Plenum Press, 1984.
- [2] 谢开贵,周平,周家启,等.基于故障扩散的复杂中压配电系统可靠性评估算法.电力系统自动化,2001,25(4):45-48.
XIE Kaigui, ZHOU Ping, ZHOU Jiaqi, et al. Reliability evaluation algorithm for complex medium voltage radial distribution networks based on fault-spreading method. Automation of Electrical Power Systems, 2001, 25(4): 45-48.
- [3] 周念成,谢开贵,周家启,等.基于最短路复杂配电网可靠性评估分块算法.电力系统自动化,2005,29(22):39-44.
ZHOU Niancheng, XIE Kaigui, ZHOU Jiaqi, et al. Reliability evaluation of large scale distribution systems using the shortest path algorithm and section technique. Automation of Electric

- Power Systems, 2005, 29(22): 39-44.
- [4] VOLOVOI V, KAVALIERATOS G, WATERS M, et al. Modeling the reliability of distribution power systems using Petri nets// Proceedings of 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, September 12-15, 2004, Lake Placid, NY, USA. New York, NY, USA: IEEE, 2004: 567-572.
- [5] DA SILVA A M L, CASSULA A M, RESENDE L C, et al. Reliability evaluation of distribution systems considering automatic reclosers// Proceedings of 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, September 12-16, 2004, Ames, IA, USA: 100-105.
- [6] 谢开贵, 易武, 夏天, 等. 面向开关的配电网可靠性评估算法. 电力系统自动化, 2007, 31(16): 40-44.
XIE Kaigui, YI Wu, XIA Tian, et al. Switch-oriented reliability evaluation algorithm for electrical distribution networks. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(16): 40-44.
- [7] 万官泉, 张尧, 汪穗峰. 基于联系数的配电系统可靠性不确定性评估. 电力系统自动化, 2008, 32(4): 30-34.
WAN Guanquan, ZHANG Yao, WANG Suifeng. Uncertainly evaluation for distribution system reliability based on connection number. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(4): 30-34.
- [8] 陆志峰, 周家启. 计及开关和母线故障的配电系统可靠性评估. 电网技术, 2002, 26(4): 26-29.
LU Zhifeng, ZHOU Jiaqi. Reliability evaluation of distribution system considering faults occurred in switches and buses. Power System Technology, 2002, 26(4): 26-29.
- [9] 谢莹华, 王成山. 基于馈线分区的中压配电系统可靠性评估. 中国电机工程学报, 2004, 24(5): 35-39.
XIE Yinghua, WANG Chengshan. Reliability evaluation of medium voltage distribution system based on feeder partition method. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(5): 35-39.
- [10] 王成山, 谢莹华. 基于双层同构贝叶斯网络模型的配电网可靠性评估. 电网技术, 2005, 29(7): 41-46.
WANG Chengshan, XIE Yinghua. A new Bayesian network model for distribution system reliability evaluation based on dual isomorphic Bayesian network model. Power System Technology, 2005, 29(7): 41-46.
- [11] 谢开贵, 王小波. 计及开关故障的复杂配电系统可靠性评估. 电网技术, 2008, 32(19): 17-21.
XIE Kaigui, WANG Xiaobo. Reliability evaluation of complex distribution system taking switch faults into account. Power System Technology, 2008, 32(19): 17-21.
- [12] KERSTING W H, PHILLIPS W H, DOYLE R C. Distribution feeder reliability studies. IEEE Trans on Industry Application, 1999, 32(2): 319-323.
- [13] BILLINTON R, JOHNNAVITHULA S. A test system for teaching overall power system reliability assessment. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(4): 1670-1676.
- [14] AII R N, BILLINTON R, SJARIEF I, et al. A reliability test system for educational purpose: basic distribution system data and results. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6(2): 813-820.

林济铿(1967—),男,博士,副教授,主要研究方向:电力系统稳定性分析及控制、人工智能在电力系统中的应用。
E-mail: mejklin@126.com

王旭东(1984—),男,通信作者,博士研究生,主要研究方向:配电网重构、配电网可靠性分析。E-mail: futurep@163.com

郑卫洪(1969—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力运行管理及系统安全性、可靠性分析及研究。

Distribution Network Reliability Evaluation Based on Network Simplification and Switching Fault Analyses

LIN Jikeng¹, WANG Xudong¹, ZHENG Weihong², LIN Changnian³

(1. Key laboratory of Power System Simulation and Control of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Dispatching Center of Tianjin Electric Power Corporation, Tianjin 300010, China;

3. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: A new method based on the equivalent network namely zone-networks (zone-elements) is proposed for the reliability evaluation of distribution networks. In the method, two equivalent networks are formed by two types of zone-elements defined by the auto (or nonauto) switching to be the boundary. A valid proposition is further suggested for the simplification of the equivalent networks. During the evaluation process, the switches are treated as one of components of the relevant zone-element, avoiding the sole consideration of the switch fault. Taking zone-loads as analysis objects and the zone-elements as the analysis unit, a classification evaluation strategy is designed for the calculation of reliability indices, which greatly reduces the number of the units needing to be traversed and analyzed, and also overcomes the defect of repetitive evaluation of the same kind of loads. Test results demonstrate that the computational efficiency of the method is significantly improved compared with other methods.

Key words: reliability evaluation of distribution network; equivalent network; zone-element; switch fault; classification evaluation strategy