

文章编号:1000-582X(2002)01-0052-05

中压配电系统可靠性评估^{*}

谢开贵¹, 尹春元², 周家启¹

(1.重庆大学 电气工程学院电力系统研究所,重庆 400044;2.中国长江三峡工程开发总公司 筹建处,宜昌 443133)

摘要:提出一种中压配电系统可靠性评估算法。该算法利用前向搜索法确定断路器动作影响范围,用双向搜索法确定故障范围,用后向搜索法确定切换开关的有无,从而确定节点的故障类型。根据节点的类型,可以很容易地计算出节点、馈线和系统的可靠性指标,提高了计算效率。文中还给出电压和线路越限的负荷削减算法,这为计及潮流约束的可靠性计算奠定了基础。以 RBTS68 节点网络、RBTS37 节点网络和大量实际运行网络验证了该方法的有效性和实用性。

关键词:中压配网;可靠性评估;搜索算法;负荷削减

中图分类号:TM 732

文献标识码:A

60年代,人们开始研究可靠性时,主要侧重于发电系统或以发电和输电组成的组合电力系统的可靠性评估,而配电系统,特别是中压配电系统可靠性研究远未得到应有的重视。主要原因在于发电设备比配电设施集中,设备一次性投资大、建设周期长,且发电容量不足造成的停电给社会及环境可能带来严重和广泛后果^[1]。然而,配电系统不可靠造成的损失是非常大的,据电力公司统计:大约80%的用户故障缘于配电系统故障^[1,2]。目前,在工业发达国家,可靠性已经成为配电系统规划决策中一种常规性工作。

在国内,对配电系统可靠性的研究始于80年代初期,由于缺乏必要的统计数据 and 有效的分析方法,发展较为缓慢,近年来,由于电力供需矛盾日益突出,人们对电能质量的要求越来越高,配电系统可靠性在生产管理中的地位越来越重要,特别地,1992年,能源部发布了《关于电力可靠性管理的若干规定》后,形成了发电、输变电和配电系统在内的电力系统可靠性管理体系,进一步促进了配电系统可靠性研究的发展。

目前,中压配电系统可靠性评估的方法主要是故障模式后果分析法^[1,3,4](Failure mode and effect analysis)。该方法利用元件可靠性数据,选择某些合适的故障判据,建立故障模式后果表,查清每个基本故障事件及其后果,然后综合加以分析。当系统结构复杂时,故障模式后果表的建立将是十分复杂的。文献[5]

提出一种基于最小路的配电系统可靠性评估算法。该算法先求出每个负荷的最小路,将非最小路上元件的故障折算到最小路上,从而仅对最小路上的元件与节点进行计算即可得出负荷点的可靠性指标。该算法在进行可靠性计算时须先求许多负荷的最小路,当系统复杂时,最小路的求取要花费大量的时间,其计算复杂性较大;而且当最小路与非最小路上线路发生故障时,这种折算将变得非常困难。本文给出可靠性评估的搜索算法。

1 节点故障类型的确定

图1系统中, b_1 、 b_2 为断路器, n_1 、 n_2 、 n_3 、 n_4 为常闭的隔离开关, s_1 为常开的切换开关。

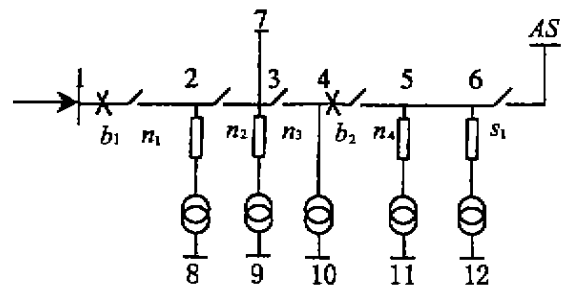


图1 简单辐射型配电网

本文结合配电系统实际,在每次故障事件发生后,搜索“动作元件”(此处包括断路器、隔离开关和切换开

* 收稿日期:2001-06-20

作者简介:谢开贵(1972-),男,四川眉山人,重庆大学讲师,博士。主要从事电力系统规划与可靠性、人工智能等领域的研究。

关等),确定节点的故障类型、进而进行配电系统可靠性评估。任何故障事件(主要考虑线路、变压器和断路器单元故障以及其组合元件故障)发生后,将节点分成 4 类:1) 正常节点,即故障事件发生后不失去负荷的节点;2) 故障时间为隔离操作时间的节点;3) 故障时间为隔离操作加切换操作时间的节点;4) 故障时间为元件修复时间的节点。节点故障类型判断思路如下:当系统中任一元件故障时,逆着正常潮流方向,搜索第一个断路器或熔断器(分支线保护),则该馈线上断路器或熔断器后的负荷发生故障,而系统中其他节点正常;从故障元件两端节点出发,分别以正向潮流方向和逆向潮流方向在主馈线上搜索第一个出现的隔离开关(以下简称正向开关、逆向开关),则两隔离开关之间的节点为 *d* 类节点;该馈线上逆向开关和断路器(或熔断器)之间的节点为 *b* 类;该馈线上正向开关后的节点如果与切换开关相连,则正向开关后的节点为 *c* 类,否则为 *d* 类。

根据任一元件故障后,各负荷的类型,很容易计算该故障状态下各节点的故障率和故障时间,从而形成各节点的指标、馈线和系统可靠性指标。

下面以图 1 为例介绍节点分类的实现方法:

当线路 2 ~ 3 故障时,断路器 b_1 动作,隔离开关 n_2 、 n_3 动作,切换开关 s_1 动作,故节点 8 为 *b* 类节点,节点 10、11、12 为 *c* 类节点,节点 7、9 为 *d* 类节点。当线路 5 ~ 6 故障时,断路器 b_2 动作,隔离开关 n_4 动作,故节点 7、8、9、10 为 *a* 类节点,节点 11、12 为 *d* 类节点。当支路 3 ~ 9 故障时,分支线保护动作,故节点 7、8、10、11、12 为 *a* 类节点,节点 9 为 *d* 类节点。在可靠性程序编制中,搜索动作元件时,只需在主馈线进行,这样将大大提高程序运行的速度。

2 电压和线路越限的负荷削减算法

在辐射型配电网中,如果某条馈线无切换开关,当该馈线上元件故障时,不会引起电压越限或 / 和线路容量越限。但是,如果馈线上存在切换开关,当该馈线上元件故障时,将馈线上部分负荷转移到其他馈线上时,可能引起电压越限或 / 和线路容量越限。

2.1 电压越限时负荷削减算法

在中压配电网中,各分支线的长度较短,且影响面较小,故可将分支线负荷转移到主馈线上进行电压越

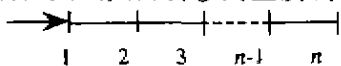


图 2 一条简单的馈线

限时的负荷削减计算。图 2 为一简单馈线:

记 $\bar{S}_{i \sim i+1}$ 表示线路 $i \sim i+1$ 的功率, \dot{U}_i 为节点 i 的电压, $y_{i \sim i+1}$ 为线路 $i \sim i+1$ 的导纳, $r_{i \sim i+1} + jx_{i \sim i+1}$ 为线路 $i \sim i+1$ 的阻抗,则有:

$$\bar{S}_{i \sim i+1} = U_i(\dot{U}_i - \dot{U}_{i+1})^* y_{i \sim i+1} = P_{i \sim i+1} + jQ_{i \sim i+1} \quad (1)$$

配电网中,各节点电压的相角一般相差不大,故可忽略电压降落横分量,再考虑到 $|\dot{U}_i| \approx 1.0$,故有:

$$\bar{S}_{i \sim i+1} \approx (\dot{U}_i - \dot{U}_{i+1})^* y_{i \sim i+1} \approx (U_i - U_{i+1})^* y_{i \sim i+1} \quad (2)$$

$$\text{所以, } P_{i \sim i+1} \approx (U_i - U_{i+1}) \frac{r_{i \sim i+1}}{r_{i \sim i+1}^2 + x_{i \sim i+1}^2} \quad (3)$$

记 $K_i = \frac{r_{i \sim i+1}^2 + x_{i \sim i+1}^2}{r_{i \sim i+1}}$, 则有:

$$U_1 - U_2 \approx P_{12} K_1, U_2 - U_3 \approx P_{23} K_2, \dots, U_{n-1} - U_n \approx P_{n-1-n} K_{n-1}$$

以上各式相加,得

$$U_1 - U_n \approx P_{12} K_1 + P_{23} K_2 + \dots + P_{n-1-n} K_{n-1} \quad (4)$$

忽略线路中功率损耗,将 $P_{i \sim i+1}$ 表示为负荷有功 P_L 的形式,则有: $P_{12} = P_{L2} + P_{L3} + \dots + P_{Ln}$, $P_{23} = P_{L3} + P_{L4} + \dots + P_{Ln}$, ..., $P_{n-1-n} = P_{Ln}$

将以上各式代入(4)可知:

$$U_1 \approx U_n + (P_{L2} + P_{L3} + \dots + P_{Ln}) K_1 + (P_{L3} + \dots + P_{Ln}) K_2 + \dots + P_{Ln} K_{n-1} \approx U_n + P_{Ln} (K_1 + K_2 + \dots + K_{n-1}) + P_{Ln-1} (K_1 + \dots + K_{n-1}) + \dots + P_{L2} K_1 \quad (5)$$

(5) 式即为电源点电压与最低电压之间的关系式。从(5)可以看出,越到馈线末端,电压越低,而且末端同样大小的负荷增量引起的电压降也越大,同样负荷增量时电压降比值为 $K_1 : K_2 : \dots : (K_1 + \dots + K_{n-1}) : (K_1 + K_2 + \dots + K_{n-1})$; 所以负荷削减时,从末端削减对提高系统最低电压是最明显的。

$$\begin{aligned} \text{记 } \Delta_n &= (K_1 + K_2 + \dots + K_{n-1}) P_{Ln} + (K_1 + K_2 + \dots + K_{n-2}) P_{Ln-1} + \dots + K_1 P_{L2} \\ \Delta_{n-1} &= (K_1 + K_2 + \dots + K_{n-2}) P_{Ln-1} + \dots + K_1 P_{L2}, \dots, \Delta_2 = K_1 P_{L2}, \Delta_1 = 0 \end{aligned}$$

$$\text{记 } \Delta' = \frac{U_1 - U_{\min}}{U_1 - U_n}, \Delta_0 \quad (6)$$

设系统要求的最低电压为 U_{\min} ,显然当 $U_n < U_{\min}$ 时需要削减负荷,此时 $\Delta_1 \leq \Delta' < \Delta_n$,由(6)式可知,存在一个整数 $t (1 \leq t \leq n-1)$,满足 $\Delta_t \leq \Delta' < \Delta_{t+1}$,

则负荷 $P_{L_{i+1}}, \dots, P_{L_n}$ 全部削减为 0, P_{L_i} 部分削减, 其削减量为 $\frac{\Delta' - \Delta_i}{\Delta_{i+1} - \Delta_i} P_{L_i}$; 当 $U_n \geq U_{\min}$ 时不需要削减负荷。事实上, 当用(5)式估计节点 n 的电压时, 忽略了一些因素, 所以估计值存在一定误差, 但是, 当用(6)式时, Δ' 的求解是用电压差的比值, 这样将大大提高负荷削减的精度。同时, 由(6)知, 当 $U_{\min} = U_1$ 时, $\Delta' = 0$, 此时 P_{L_1}, \dots, P_{L_2} 全部削减为 0; 当 $U_{\min} \leq U_n$ 时, $\Delta' \geq \Delta_n$, 此时不需削减负荷。

显然, 当知道每个节点的有功负荷削减量后, 根据每个节点负荷的功率因数, 容易求得相应的无功削减量。事实上, 负荷削减计算只是为可靠性评估中哪些节点失去负荷作评价之用。

2.2 线路容量越限时负荷削减算法

在中压配网可靠性中, 当故障事件发生后, 需要进行网络重构, 重构后的线路可能存在容量超限。

假设馈线 F_j 中存在线路容量超限, 超限的线路有 l_1, l_2, \dots, l_k (k 为馈线 F_j 上线路容量超限的条数), 超限的线路对应的超限功率分别为: P_1, P_2, \dots, P_k 。再假设 $P_{\alpha} = \max_{i \in \{1, 2, \dots, k\}} |P_i|$ 。由上一节的推导可知, 线路容量越限时从末端开始削减负荷, 对提高电压质量是最有利的。负荷削减时, 从末端开始逆着潮流方向, 削减负荷, 直到削减的负荷总量等于 P_{α} 为止。

3 中压配网可靠性评估算法

综上所述可得到中压配网可靠性评估算法:

1) 读入原始数据, 并计算正常运行时的潮流^[6];

2) 枚举一故障事件;

3) 用搜索算法确定故障范围, 确定节点故障类型; 如果故障元件所在的馈线存在切换, 则在线路中添加相应的切换开关;

4) 计算故障条件下的潮流, 并进行线路容量和电压越限检查; 如果存在越限, 进行削负荷;

5) 根据网络各节点的故障类型和削负荷量进行可靠性指标计算;

6) 检查故障事件是否枚举完毕; 如果未完, 转第 3) 步;

7) 形成系统和各条馈线的可靠性指标, 并输出计算结果。

在计算第 4) 步前, 可根据系统的无功装置的分布采取相应的补偿措施, 然后才计算故障状态潮流。

4 算例及分析

以 RBTS - BUS4^[2,7] 的配电系统为例, 应用本文提出的方法对该系统进行可靠性评估。该系统有 33 kV 变电所 3 座, 出线 7 条, 负荷点 38 个, 用户 4 779 户, 总平均负荷 24.58 MW。系统接线图、系统电气参数和可靠性参数见文献[2]。

1) 电压越限削减实例

文中给出线路 5 ~ 6 故障后, 将馈线 F7 的负荷转移到馈线 F1 后, 系统的电压和负荷削减情况。事实上, 当线路 5 ~ 6 故障后, 系统最低电压点是 LP32 (Load point, LP32 表示第 32 个负荷, 其它类推) 对应的节点, 此时电压幅值为 0.873 3088。在不同的最低电压条件下, 用本文方法进行削减负荷后的结果见表 1:

表 1 不同最低电压下, 负荷的削减结果

给定的最低电压值(p.u)	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
LP32	0.152 86	0.482 81	0.545 00	0.545 00	0.545 00	0.545 00	0.545 00	0.545 00	0.545 00
LP33	0.00	0.00	0.294 76	0.545 00	0.545 00	0.545 00	0.545 00	0.545 00	0.545 00
LP34	0.00	0.00	0.00	0.064 64	0.262 45	0.455 45	0.545 00	0.545 00	0.545 00
LP35	0.00	0.00	0.00	0.064 64	0.262 45	0.455 45	0.545 00	0.545 00	0.545 00
LP36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.334 34	0.500 00	0.500 00
LP37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.192 44	0.415 00
LP38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.192 44	0.500 00
LP6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.026 99
LP7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.026 99
实际电压值	0.879 12	0.889 79	0.901 32	0.911 32	0.921 96	0.931 69	0.942 39	0.952 01	0.961 77
百分误差 %	0.099 51	0.024 07	0.147 22	0.144 62	0.213 21	0.181 74	0.255 06	0.211 72	0.184 92

注: 表中实际电压值是指按表 1 中负荷削减量进行负荷削减后系统的最低电压值。

从表 1 可以看出, 在给定的电压条件下, 应用本文

算法削减负荷时, 其削减精度是比较高的(0.3% 以

下)。

2) 可靠性计算

应用本文方法对 RBTS - BUS4 的 68 节点配电系统进行可靠性计算。计算中,系统的接线方式考虑 4 个方面:主馈线上装隔离开关、分支线保护、备用电源和变压器备用,以下用二进制简单表示上述 4 个方面(1 表示选用上述方式,0 表示不选上述方式),比如:1001 表示主馈线上装有隔离开关、无分支线保护、无备用电

源、变压器有备用,其它以此类推。文中考虑如下接线方式:A 接线方式 1110;B 接线方式 0000;C 接线方式 0100;D 接线方式 1010;E 接线方式 1111;F 接线方式 1000;G 接线方式 1011;H 接线方式 0001;I 接线方式 1100;J 接线方式 1101;K 主馈线上每段线路仅有前端装有隔离开关,其它同方式 A(其中前 6 种方式与文[2]相同)。计算结果见表 2:

表 2 不同接线方式下系统可靠性指标

接线方式	SAIFI /次·(户·a) ⁻¹	SAIDI /h·(户·a) ⁻¹	CAIDI /h·(户·a) ⁻¹	ASAI	ASUI	ENS /kW·h·a ⁻¹	AENS /kW·h(户·a) ⁻¹
A	0.299 7	3.476	11.600	0.999 603	0.000 397	54 562.15	11.57
B	0.682 1	24.642	36.126	0.997 187	0.002 813	374 085.22	79.32
C	0.299 7	4.418	14.742	0.999 496	0.000 504	74 012.45	15.69
D	0.682 1	5.480	8.034	0.999 374	0.000 626	89 930.23	19.07
E	0.299 7	0.632	2.108	0.999 928	0.000 072	13 009.15	2.76
F	0.682 1	12.282	18.007	0.998 598	0.001 402	225 985.01	47.92
G	0.682 1	1.208	1.771	0.999 862	0.000 138	23 421.16	4.97
H	0.682 1	3.955	5.798	0.999 549	0.000 451	71 785.72	15.22
I	0.299 7	3.990	13.316	0.999 544	0.000 456	67 248.36	14.26
J	0.299 7	1.146	3.823	0.999 869	0.000 131	25 695.36	5.45
K	0.299 7	3.642	12.155	0.999 584	0.000 416	58 275.63	12.36

从表 2 可以看出,不同接线方式,其可靠性指标相差较大。

表中方式 B 的可靠性是最差的,这是因为该方式下没有采取任何提高可靠性的措施;表中方式 E 的可靠性是最好的,这是因为该方式下采取了 4 种提高可靠性的措施。

将方式 B 分别与方式 C、F、D、H 进行比较,可以看到增加任何一种措施都可提高系统的可靠性。事实上,增加分支线保护后,减少了保护区内故障对区外负荷点的影响;增加隔离开关后,减少了 d 类节点的数目,使得有些负荷通过隔离或切换就能恢复供电;增加备用电源后,是负荷转移成为可能,这样可以使许多 d 类节点转化为 c 类节点;由于变压器的修复时间和替换时间相差较大,所以变压器有无备用对可靠性指标影

响是比较大的。比较方式 A 和 K 可知,它们都有熔断器、备用电源以及无备用变压器,它们不同之处在于隔离开关的个数不同,每次故障后被隔离的范围不同,所以其可靠性指标也有一定差距。用同样的分析方法,可以对上述其它方式进行分析。

通过以上分析可以看出:对于可靠性较低的网络可以采取一些增强措施,如添加隔离开关、加分支线保护、增加备用电源、增加备用变压器等提高网络的可靠性。

以上结果未考虑电压越限条件下求得的结果,表 3 和表 4 分别给出在最低电压约束下节点的可靠性指标(只给出最低电压为 0.93 的情形)和系统得可靠性指标(限于篇幅,只对接线方式 1 进行研究)。

表 3 RBTS68 节点系统的节点可靠性指标(最低电压 0.93 p.u.)

可靠性指标	LP1	LP2	LP3	LP8	LP9	LP12	LP18	LP26	LP29	LP32
λ /次/a	0.294 5	0.304 3	0.294 5	0.182 0	0.191 8	0.294 5	0.301 7	0.188 5	0.191 7	0.301 0
r/h/次	12.328	12.776	13.740	1.881	2.062	12.990	11.903	2.057	1 835	12.256
U/h/a	3.631	3.887	4.047	0.342	0.395	3.825	3.699	0.388	0.352	3.689
ENS/kW·h	1 978.6	2 118.6	2 205.4	342.3	414.9	2 084.9	2 015.8	387.82	351.79	2 010.5

表 4 不同最低电压下系统可靠性指标

最低电压	SAIFI /次·(户·a) ⁻¹	SAIDI /h·(户·a) ⁻¹	CAIDI /h·(户·次) ⁻¹	ASAI	ASUI	ENS /kW·h·a ⁻¹	AENS /kW·h·(户·a) ⁻¹
0.86	0.299 7	3.476 2	11.600	0.999 603 2	0.000 396 8	54 562.15	11.570
0.90	0.299 7	3.582 5	11.955	0.999 591 0	0.000 409 0	56 011.95	11.877
0.93	0.299 7	3.798 8	12.677	0.999 566 3	0.000 433 7	59 107.86	12.533

比较表 3、表 6 和文献[2] 的结果可以得到:当增加最低电压约束后,某些馈线首端的部分节点(切换后变成末端)故障率增大,故障时间变长;而且线路 1 故障时,LP1、LP2、LP3 需要削减,线路 2 故障时,LP2、LP3 需要削减,线路 3 故障时,LP3 需要削减,所以 LP3 指标变化最大,LP2 次之,LP1 最小。从表 4 可以看出,当系

统的最低电压越高(电压质量较高),系统的可靠性越差。

当考虑不同故障阶数时,计算结果也有一定差别。表 5 给出计算中故障事件模拟至一阶和二阶的系统可靠性指标(限于篇幅,只对接线方式 1 进行比较研究)。

表 5 不同阶数系统可靠性指标

模拟阶数	SAIFI /次·(户·a) ⁻¹	SAIDI /h·(户·a) ⁻¹	CAIDI /h·(户·次) ⁻¹	ASAI	ASUI	ENS /kW·h·a ⁻¹	AENS /kW·h·(户·a) ⁻¹
一阶	0.299 7	3.476	11.600	0.999 603 2	0.000 396 8	54 562.15	11.570
二阶	0.300 0	3.477	11.592	0.999 603 1	0.000 396 9	54 577.61	11.573

从表 5 可以看出,模拟至二阶后,可靠性指标略有变化,系统可靠性略变小。由于配电网中更多的故障事件是线路故障,而配网中线路一般较短,二阶事件的故障概率非常低,所以在通常情形下,只计算一阶事件,基本能满足工程要求。

同时,还用本文算法对 RBTS - BUS2 的 37 节点配电系统以及重庆电力公司城区、綦南部分中压配电网进行了可靠性计算。

5 结 论

通过以上分析,可以得出如下结论:

1) 本文提出了一种中压配电系统可靠性评估算法。该方法对不带子馈线的配电网络非常有效,当网络带有子馈线时,可用文献[1] 的等值法进行,再用文中方法,即可得到系统的可靠性指标。提出的搜索算法在确定动作断路器的位置、隔离开关的隔离范围以及确定切换开关,都是非常有效的。本文提出的电压和线路越限时的负荷削减算法,经实例验证,其负荷削减的精度是非常高的。同时,文中用实例证实了可靠性评估算法的有效性和实用性。

2) 该方法考虑了中压配电系统的实际,如:断路器、分支线保护、隔离开关的配置、备用电源、备用变压器的影响等,程序的通用性和实用性较强。

3) 接线方式对可靠性指标的影响较大,因此要根据网络的实际运行、经济条件、人员素质等,确定有效、合理的网络结构,以提高系统的可靠性。

参考文献:

- [1] R BILLINTON, P WANG. Reliability - network - equivalent approach to distribution - system - reliability evaluation[J]. IEE proceeding - G.T.D., 1998, 145(2): 149-153
- [2] R N ALLAN, R BILINTON, P. K. V. et al. A reliability test system for education purposes: basic distribution system data and results[J]. IEEE trans. on power system, 1991, 6(2): 813-820.
- [3] R BILLINTON, W Y LI. Reliability assessment of electric power systems using Monte Carlo methods[M]. New York and London: Plenum Press, 1994, 209-254.
- [4] 陈文高. 配电系统可靠性实用基础[M]. 北京:中国电力出版社, 1998, 111-138.
- [5] 别朝红,王锡凡. 配电系统的可靠性分析[J]. 中国电力, 1997, 30(5): 10-13.
- [6] 张尧,王琴,宋文南,等. 树状网的潮流算法[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(3): 217-220.
- [7] R BILINTON, S KUMAR, N CHOWDHURY, et al. A reliability test system for education purposes: basic data[J]. IEEE trans. on power system, 1989, 4(3): 1238-1244.

(下转第 69 页)

Robust Adaptive Control Based on On-line Identification to Multi-parameters

YANG Zhi-ping, FENG Su-mei

(Department of Photo and Engineering, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: In system controlled, Sampling these parameters and with parameters for controller in time, it is an object to adaptive control. The article presents a scheme that the structure parameters on it's model and model parameters is robust identified by on-line, while to optimal of algorithm on adaptive control is fulfilled. In control scheme, method of intelligent identifying to the structure parameters(levels of model) and algorithm of robust pole-placement are introduced also. It is advancer for already mentioned scheme. Whole scheme presents new model on adaptive control.

Key words: structure parameters of system model; model parameters of system; on-line identification; robust pole-placement; self-tuning control

(责任编辑 吕赛英)

~~~~~  
(上接第 56 页)

## Reliability Evaluation of Middle Voltage Distribution Networks

*XIE Kai-gui<sup>1</sup>, YIN Chun-yuan<sup>2</sup>, ZHOU Jia-qi<sup>1</sup>*

(1. Electric Power System Research Institute of Electrical Engineering College,  
Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Three Gorges Hydro Power Plant of CTGPC, Yichang 443133)

**Abstract:** A reliability evaluation algorithm for middle voltage radial distribution network is presented. The algorithm applied ahead-searching-method to determining the area of breaker influencing, applied bidirectional-searching-method to determining faulting area, and applied behind-searching-method to determining connection switch. Then the type of nodes is determined. The reliability index of nodes, feeders and system can be easily computed by the type of nodes. So the computing efficiency is improved. At the same time, the curtailing load algorithms for low-voltage of buses and over-capacity of lines are presented and the foundation for the reliability assessment is established considering the power flow restriction. From the RBTS68-bus and other middle radial distribution networks, the effectiveness and availability of the method are verified.

**Key words:** middle voltage distribution networks; reliability evaluation; searching algorithm; load curtailing

(责任编辑 陈移峰)