

# 基于层次分析的局部电压紧急分域新方法

赵彩虹<sup>1</sup>, 李秀卿<sup>1</sup>, 姜克志<sup>2</sup>

(1. 东北电力学院, 吉林 132012; 2. 吉林电业局, 吉林 132001)

**摘要:** 提出了一种基于层次分析的局部电压紧急分域新方法, 经实例仿真, 方法有效可行, 仿真效果理想。

**关键词:** 层次分析法; 最佳序列; 灵敏度; 无功电压分域

中图分类号: TM714.2

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)02-0012-02

## 1 引言

基于电力系统电压稳定的局部性质、对电压进行局部控制是可行的。而确定局部电压紧急控制域是电压局部控制的关键环节。目前关于电力系统局部电压紧急分域的方法、大致有如下几种:

首先是 J. Zaborszkg 等人提出的 Cluster 方法, 其分域思想是, 以故障节点为中心, 根据无功电压灵敏度, 形成局部电压控制域<sup>[1]</sup>。在此基础上有人利用图论理论把 cluster 方法中因耦合紧密、分域过大, 不利于控制的缺点加以改进, 分裂成较小的区域<sup>[2]</sup>。应用多阈值分域方法和多阈值分级方法, 在寻找控制域上也有突破。但都存在计算量大、控制区域有待继续分裂的不足。最近, 模糊理论、聚类分析方法也被用于局部电压紧急分域<sup>[3]</sup>, 使分域更加符合实际、更具合理性。但阈值的选取仍要反复试验比较才能确定。而文献<sup>[4]</sup>提出的逐次扩展环域法, 事实上是一种综合排序方法。

本文采用层次分析法(AHP)<sup>[5]</sup>对电力系统局部电压紧急分域。采用广义最小偏差排序方法(GLDM)<sup>[6]</sup>, 以控制节点对故障节点电压控制的灵敏度、控制节点调节裕度相对大小及反映控制节点性质的优先级相对大小, 为控制节点的排序准则, 确定控制节点的最佳排序。以最小的控制设备、最有效的控制手段, 实现对故障节点电压的紧急分域控制。本方法无需确定阈值, 无功电压调整过程, 即是分域的过程, 故障节点电压恢复分域即告结束。

## 2 基于层次分析的无功电压分域

设:  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  为电力系统节点集、当系统

中某一个(或多个)节点电压越限成为故障节点后, 针对故障节点电压恢复、存在一个控制节点的最佳调整序列。即以控制节点对故障节点电压控制的灵敏度、控制节点调节裕度相对大小及节点优先级的相对大小为准则的控制节点的最佳序列, 如此, 局部无功电压分域问题可归结为组合优化问题。

根据层次分析法原理, 以确定关于故障节点  $n_i$  的控制节点最佳序列为目标; 以控制节点对故障节点电压控制的灵敏度、控制节点调节裕度及节点优先级为准则; 以电力系统控制节点集为待排序对象, 建立递接层次模型如图 1。

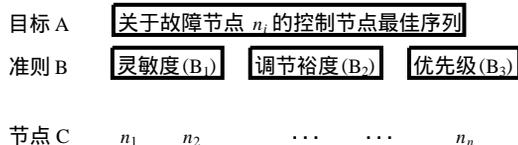


图1 确定控制节点最佳序列的递接层次模型

对目标 A 来说, 准则  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  的相对重要程度, 是构成判断矩阵  $A-B$  的信息基础。然而这种相对重要程度本身具有一定的模糊性, 很难准确地度量。层次分析法中两两比较的 1~9 比例标度法可较好地解决这个问题。根据电力系统实际, 经分析认为  $B_2$  与  $B_3$  具有相同的重要程度,  $B_1$  与  $B_2$ 、 $B_3$  相比,  $B_2$ 、 $B_3$  为明显重要。以比例标度法建立判断矩阵  $A-B$  如下:

$$A = [a_{ij}]_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/5 \\ 5 & 1 & 1 \\ 5 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

判断矩阵排序采用广义最小偏差方法。此方法在判断矩阵排序过程中无需求解最大特征根, 而是直接求解判断矩阵的最佳排序向量、且一致性检验效果好。

节点层中各控制节点关于三项准则的排序向量分别为: (1) 由广义特勒根定理<sup>[7]</sup>计算得到的关于故障节点电压的灵敏度指标。(2) 反映控制能力的调

收稿日期: 1999-06-07; 改回日期: 1999-08-20

作者简介: 赵彩虹(1956-), 女, 本科, 副教授, 现从事电力系统研究和应用电子教学工作。

节裕度指标。(3)反映控制节点性质的优先级指标。由于此三项指标已是具体的量化指标,可直接用于总排序,但需对原始数据进行归一化处理。总排序结果即是关于故障节点  $n_i$  的控制节点最佳序列。

控制节点的排序过程,即是局部无功电压紧急分域过程。按控制节点最佳序列,依次调整,直至故障节点电压恢复,分域结束。所调整的节点范围即是无功电压紧急控制域。

### 3 分域步骤

根据层次分析原理具体分域步骤如下:

(1)确定故障节点,建立递接层次模型如图1。

(2)以比例标度法建立准则层对目标层的判断矩阵 A—B、应用广义最小偏差排序方法对准则层进行排序。判断矩阵为  $A = [a_{ij}]_{3 \times 3}$ ;其排序向量为  $W = [W_1, W_2, W_3]^T$ ;构造广义偏差函数为:

$$G(W) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 [(a_{ij} \frac{W_j}{W_i} + a_{ji} \frac{W_i}{W_j} - 2)] \quad (2)$$

0;当  $G(W)$  时,  $W = W^* = [W_1^*, W_2^*, W_3^*]^T$  为判断矩阵 A 的最佳排序向量。同时对其进行一致性检验。

$$CI = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i < j} [a_{ij} \frac{W_j}{W_i} + a_{ji} \frac{W_i}{W_j} - 2] \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.10 \quad (4)$$

CI 为判断矩阵一致性指标;RI 为平均随机一致性指标对于三阶判断矩阵  $RI = 0.58$ , (取文献<sup>[5]</sup>之值);CR 为判断矩阵的随机一致性比率。

(3)利用广义特勒根定理计算控制节点对故障节点电压的灵敏度,根据各控制节点的具体情况确定调节裕度相对大小及优先级相对大小指标。然后将上述三项指标进行归一化处理。

(4)总排序。确定关于故障节点  $n_i$  的控制节点最佳序列。按此最佳序列依次调整,直至故障节点电压恢复。

### 4 算例

为对比验证本方法的有效性,本文以文献<sup>[4]</sup>所采用的 IEEE—16 节点系统为例,仍取 1 节点为故障节点,16 节点为平衡节点并采用其部分原始数据。根据图 1 所示递接层次模型,首先以广义最小偏差排序方法对 A—B 判断矩阵进行排序及一致性检验,其结果见表 1。将控制节点(除故障节点与平衡节点外的全部节点都看做控制节点)对故障节点的

电压灵敏度,调节裕度相对大小及优先级相对大小三项指标的原始数据进行归一化处理,并进行总排序其结果见表 2。

表 1 判断矩阵 A—B 及其排序

A	B1	B2	B3	W	= ±1
B1	1	1/5	1/5	0.0886	
B2	5	1	1	0.4558	
B3	5	1	1	0.4556	
CI = 0.0003					RI = 0.58
					CR = 0.0005 < 0.1

表 2 三项指标及总排序

节点序号	B1	B2	B3	总排序指标	总排序
2	0.0783	0.1017	0.1373	0.1158	4
3	0.0188	0.1017	0.1373	0.1106	5
4	0.2096	0.1017	0.0980	0.1096	6
5	0.1146	0.0848	0.0980	0.0935	7
6	0.0065	0.0678	0.0392	0.0493	8
7	0.0087	0.0339	0.0196	0.0252	9
8	0.0174	0.0169	0.0196	0.0182	13
9	0.0544	0.0169	0.0196	0.0215	11
10	0.0573	0.0169	0.0196	0.0217	10
11	0.0305	0.0169	0.0196	0.0193	12
12	0.0109	0.0169	0.0196	0.0176	14
13	0.0130	0.1356	0.1177	0.1166	2
14	0.0232	0.1356	0.1177	0.1175	1
15	0.0116	0.1356	0.1177	0.1165	3

表 2 所列总排序结果,即为关于 1 号故障节点的控制节点最佳序列。以 1 号故障节点为中心,依此排序逐级选取控制措施,当故障节点电压恢复时,所对应的调整节点范围即是无功电压控制域如表 3。

表 3 分域结果

分域级	包含域内节点集
1	14
2	14 13
3	14 13 15
4	14 13 15 2
:	:
14	14 13 15 2 3 4 5 6 7 10 9 11 8
15	14 13 15 2 3 4 5 6 7 10 9 11 8 12

### 5 结束语

本文基于层次分析原理,将故障情况的无功电压紧急分域问题归结为控制节点即控制措施的组合优化问题。从分域结果看,本方法具有分域的合理性和控制的有效性。由本文的排序结果,第 2 级控制域内包含节点集为 14、13 节点, (下转第 27 页)

复合序网络如图7:

设  $\dot{E}_{BC} = 10500 \quad 0^\circ \text{V}$

$$\begin{aligned} \dot{I}_d &= \frac{3 \times 10500 \quad 0^\circ}{3 \times 2(0.1 + j1.3 + 0.5 + j0.8 + 30) + 2.295 + j6.6} \\ &= 168 - j17 = 168.6 \quad -5.9^\circ \text{A} \end{aligned}$$

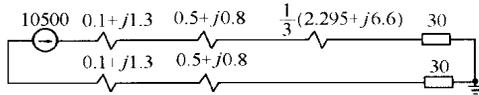


图7

## 4 小结

由上面两例分析可知,小接地系统两相两点接地短路的短路电流小,母线残压高。本人分析了所在单位几次保护拒动扩大事故后,建议校验保护装置灵敏度时应列入两相两点接地短路故障,以杜绝拒动。灵敏度不满足要求时,可采取以下措施:

- 解除电流、电压联锁保护的电压元件。
- 在多支配电线路较长的支线加装柱上断路器或跌落开关保护。
- 负载电流较大的线路设置负序电流保护。

## Analysis of two-phase short circuit fault in the power system with floating neutral

YU Shui-zhong

(Jiayang Electric Power Corporation of Fujian Province, 354200, China)

(上接第13页) 而文献<sup>[4]</sup>中第2级控制域内包含节点集为14、15节点。分析13、15两节点情况,二者的调节裕度( $B_2$ )和优先级( $B_3$ )均无差别,而13节点的灵敏度( $B_1$ )却优于15节点的灵敏度,(文献<sup>[4]</sup>中的特征指标  $x_1$  也体现了这一点)所以第2级控制域中包含13节点更具合理性。再分析2节点与3节点,以及8、9、10、11、12节点的分域结果与上述情况相同,从而证实本文方法合理、有效。

关于故障节点的控制节点最佳排序过程,即是无功电压紧急分域过程,无需选择阈值。事实上文献<sup>[4]</sup>中  $1, 2 \dots n$  与本文中的控制节点最佳序列具有相同的物理意义。

### 参考文献:

[1] Zaborsky J, Hnuang G and Lu S Y. Control of Reactive Power

and Voltage in Emergency. Automatic, 1985, 21(3): 237 ~ 246.

- [2] 孙锦鑫. 电力系统电压稳定分析与控制. 哈尔滨工业大学与华北电力学院博士论文, 1990.
- [3] 鲁宝春, 郭志忠, 柳焯, 孟祥萍. 电力系统局部电压紧急分域的新方法. 中国电力, 1998, 31(1): 36 ~ 38.
- [4] 鲁宝春, 郭志忠, 柳焯. 逐次扩展环域法. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十四届学术年会论文集, 884 ~ 889.
- [5] 王连芬, 许树柏. 层次分析法引论. 北京中国人民大学出版社, 1990.
- [6] 王应明, 傅国伟. 广义最小偏差排序方法. 清华大学学报, 1993, 33(3): 10 ~ 17.
- [7] 鲁宝春. 基于广义特勒根定理的灵敏度计算. 辽宁工业学院学报, 1996, (4).

## Method of forming local voltage control regions based on analytic hierarchy process

ZHAO Cai-hong<sup>1</sup>, LI Xiu-qing<sup>1</sup>, JIANG Ke-zhi<sup>2</sup>

(1. Northeast Power College, Jilin 132012; 2. Jilin Power Bureau, Jilin 132001, China)

**Abstract:** This paper presents a new method to divide voltage control regions based on analytic hierarchy process. Through analog example, the method proves effective and feasible and analog results are ideal.

**Keywords:** analytic hierarchy process; optimal sequence; sensitivity; reactive power and voltage region