文章编号: 1001-0920(2003)01-0116-04

配电网自动化—变结构耗散网络新算法

陈勃红[1], 郝培锋[2], 张 薇[2]
(1. 沈阳大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110044; 2. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 在配电变结构耗散网络中引入顶点负荷、弧负荷、顶点状态、网形、网基、耗散网络、开环变结构网络等新概念。通过研究弧结构矩阵、负荷矩阵、额定负荷矩阵、归一化负荷矩阵、网基结构矩阵、顶点状态矩阵、源点分布矩阵等数据结构, 建立了基形变换和形基变换两种处理变结构的计算方法。

关键词: 配电网自动化; 变结构耗散网络; 网形; 网基
中图分类号: TP391.9 **文献标识码**: A

New algorithm of distribution net automation — Variable structure dissipated net

CHEN Bo-hong[1], HAO Pei-feng[2], ZHANG Wei[2]
(1. School of Information Science and Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China;
2. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: New concepts of top point load, arc load, top point state, net shape, net base, dissipated net and open circuit variable structure net are introduced into distribution net. Based on data's frame in matrixes of arc structure, net load, limit-load, unitary load, base net structure, top point state and source point distribution, two new algorithms of base-shape transformation and shape-base transformation for treating variable structure nets are presented.

Key words: Distribution net automation; Variable structure dissipated net; Net shape; Net base

1 引 言

随着国民经济的迅速发展和人民物质文化生活水平的不断提高, 用户对电力的需求和对供电质量的要求越来越高。特别是随着社会高度信息化和电气化的发展, 传统的技术和管理手段无法适应新形势的要求, 配电自动化已经迫在眉睫。配电网络自动化是配电系统自动化最重要的环节。虽然配电自动化/配电管理系统(DA/DMS)目前在我国尚处于起步阶段, 但已有不少网络实现了重合器与智能负荷开关配合的自动化功能[1~3]。基于配电网络自动化的诸多优化问题, 应找出一种最有效的算法, 作为实现DA/DMS的有力工具[4,5]。

配电网络实际上可以抽象为一种图, 以配电网络中的馈线开关为顶点, 相邻开关间的馈线为一条边(弧)。如将馈线上流过的潮流方向作为相应边的方向, 则馈线可以看作一条有向边(弧)。传统的图论和网络理论讨论的是保守网络的最大流问题和固定结构的网络问题, 没有考虑网络顶点和弧的耗散及顶点状态改变引起网络拓扑结构的变化[6,7]。为此, 本文提出一种能随网络顶点变化而变化的数学模

收稿日期: 2002-01-15; **修回日期**: 2002-04-10。
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69974008)。
作者简介: 陈勃红(1962—), 女, 辽宁沈阳人, 副教授, 从事人工智能、专家系统等研究; 郝培锋(1963—), 男, 河南汤阴人, 教授, 博士, 从事计算机仿真、数学建模等研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

型, 用于解决配电网络变结构耗散网络的各类优化问题。

研究表明, 配电网络是一种变结构耗散网络[6]。在这种网络中引入顶点负荷、弧的负荷、顶点状态、网形、网基、耗散网络、开环变结构网络等新概念, 对于研究弧结构矩阵、负荷矩阵、额定负荷矩阵、归一化负荷矩阵、网基结构矩阵、顶点状态矩阵、源点分布矩阵等数据结构具有重要意义。本文基于上述研究结论, 建立了基形变换和形基变换[6]两种处理变结构的新算法。

2　耗散网络

2.1　耗散网络的概念与性质

设网络中各条弧 a 所对应的参数为 $f(a)$, 有向图 D 中以顶点 v 为起点和以顶点 v 为终点的弧的集合分别为 $\alpha(v)$ 和 $\beta(v)$。对于非源点和汇点的顶点, 如果 $\sum_{\alpha(v)} f(a) \neq \sum_{\beta(v)} f(a)$, 则为耗散网络。在耗散网络中, 弧的负荷为与弧对应的参数 $l(a)$, 网络的总负荷为所有 $l(a)$ 之和, 记为 L。

定义耗散网络各顶点的负荷为 $l(v)$, 如果一组弧的起点为 v_m, 终点分别为 $v_i, v_j, \cdots, v_k$, 则称 v_m 为 $v_i, v_j, \cdots, v_k$ 的父顶点, 称 $v_i, v_j, \cdots, v_k$ 为 v_m 的子顶点, 称具有公共起点的弧为同父弧。

一个耗散网络应具有如下性质: 父顶点的负荷等于其所有子顶点的负荷之和加上其所有同父弧的负荷之和, 即

$$l(v_m) = \sum_{v_n \in \alpha(v)} l(v_n) + \sum_{v_n \in \alpha(v)} l(v_m, v_n) \tag{1}$$

2.2　耗散网络的数据结构

1) 耗散网络的弧结构矩阵 C 为 N 行 N 列方阵, N 为耗散网络 Diss 中顶点的个数; 弧结构矩阵 C 的对角线元素的值为 0, 即 $C_{ii} = 0 (1 \leq i \leq N)$。如果存在从顶点 v_i 到顶点 v_j 的弧, 则弧结构矩阵 C 中的元素 $C_{ij} = 1$, 否则 $C_{ij} = 0$; 如果弧结构矩阵中第 i 行元素全为 0, 即 $\sum_{k=1}^{N} C_{ik} = 0$, 则顶点 i 为一个汇点; 如果弧结构矩阵第 i 列元素全为 0, 即 $\sum_{k=1}^{N} C_{ki} = 0$, 则顶点 i 为一个源点。

2) N 点耗散网络的负荷矩阵 L 为 N 行 N 列方阵, 负荷矩阵 L 的对角线元素为各顶点的负荷, 即 $l_{ii} = l(v_i) (1 \leq i \leq N)$, 弧上的负荷 $l(v_i, v_j)$ 为 l_{ij}; 负荷矩阵 L 中其他元素为 0。

3) 耗散网络的弧结构矩阵 C 与负荷矩阵 L 满足 $C = \| L \|$, 即当 L 中的元素 $l_{ij} \neq 0 (i \neq j)$ 时, C 取 1; 反之, C 取 0。

4) 负荷矩阵 L 中的元素满足

$$\begin{cases} l_{ii} = \sum_{k=1}^{N} C_{ik} (l_{ik} + l_{kk}) \\ l_{ij} = C_{ij} \Big(l_{ii} - \sum_{k=1}^{N} C_{ik} l_{kk} - \\ \qquad \sum_{k=1}^{j-1} C_{ik} l_{ik} - \sum_{k=j+1}^{N} C_{ik} l_{jk} \Big) \end{cases} \tag{2}$$

5) 对于一个区域 $P(v_i, v_j, \cdots, v_k)$, 区域负荷与其端点负荷的关系为 $l(v_i, v_j, \cdots, v_k) = l_{ii} - \sum_{m \in \alpha} l_{mm}$, 区域负荷与区域内弧的负荷关系为 $l(v_i, v_j, \cdots, v_k) = \sum_{\alpha \in \beta} l_\alpha$。其中: α 为区域 P 末点的集合, β 为区域 P 内弧的集合。如果区域 P 所有内点的负荷均未知, 则可将该区域的负荷平均分配到区域内各条弧上, 即

$$l_\alpha = \frac{1}{n} l(v_i, v_j, \cdots, v_k) = \frac{1}{n} \Big(l_{ii} - \sum_{m \in \alpha} l_{mm} \Big) \tag{3}$$

其中 n 为区域 P 内弧的条数。

6) 额定负荷矩阵 R 反映了 N 点耗散网络的额定负荷, 即负荷矩阵中顶点 (r_{ii}) 和弧 (r_{ij}) 的限制条件, 而对不存在的弧取非零值。

7) N 点耗散网络的归一化负荷矩阵 L_n 中的元素分别为

$$l_{nii} = \frac{100 l_{ii}}{r_{ii}}, \quad l_{nij} = \frac{100 l_{ij}}{r_{ij}} \tag{4}$$

3　变结构网络

网络中的顶点 v_m 具有"合"与"分"两种状态。处于合状态时, 允许通过电流; 处于分状态时, 它只能是汇点, 且顶点的出度为 0。

定义 N 点网络的顶点状态矩阵 T 为 1 行 N 列矩阵, 即 $T = [t_1, t_2, \cdots, t_N]$。如果顶点 v_i 处于合状态, 则 $t_i = 1$; 如果顶点 v_i 处于分状态, 则 $t_i = 0$。如果顶点 v_i 为耦合点, 则 $t_i = 1$。对于固定结构网络, T 是不变的; 对于变结构网络, T 会发生变化。

3.1　网形和网基

网形是变结构网络中各种允许的结构形态; 网基是所有网形中弧的并集对应的基础图。如果一个变结构网络的所有网形均为树状网络, 则称其为开环变结构网络, 它对应于开环配电网络。

用网基结构矩阵 D 来描述 N 点变结构网络的网基结构: 1) D 为 N 行 N 列方阵; 2) D 的对角线元素的值为 0, 即 $d_{ii} = 0 (1 \leq i \leq N)$; 3) 如果存在从顶点 v_i 到顶点 v_j 的边, 则 $d_{ij} = d_{ji} = 1$; 否则, $d_{ij} = d_{ji} = 0$。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

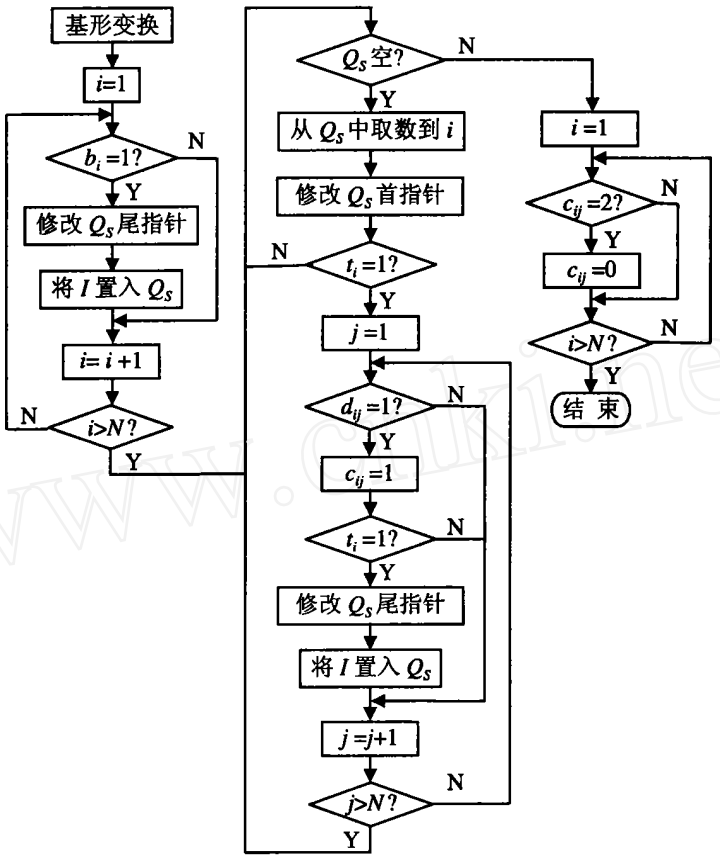

图 1 基形变化的程序框图

定义 N 点变结构网络的源点分布矩阵 B 为 1 行列矩阵, 即 $B = [b_1, b_2, \cdots, b_N]$。如果顶点 v_i 是源点, 则 $b_i = 1$; 否则, $b_i = 0$。

对于一个给定的 N 点开环变结构网络, 其网基结构矩阵 D 和源点分布矩阵 B 是确定的, 而其顶点状态矩阵 T 是变化的。每种 T 矩阵形式对应一种网形, 即对应一种弧结构矩阵 C。因此, C 可认为是 D 和 B 在 T 作用下的变换, 称为基形变换, $C = T[D, B, T]$。反之, 已知 C, D, B, 求解 T 和 B 的变换称为形基变换, $[T, B] = T^{-1}[D, C]$。

开环配电网络的弧具有下列两个性质:

1) 处于分状态的顶点只能作为弧的终点;

2) 处于合状态的非耦合顶点只能作为弧的起点。

3.2 基形变换

基形变换的步骤如下:

1) 首先根据源点分布矩阵 B, 将网络中源点的序号填入起点列队 Q_S。

2) 从 Q_S 中取出一个顶点作为当前起点, 并判断该顶点是否处于合状态, 是则进行 3) 的内容, 否则判断起点矩阵是否为空; 若空则退出, 不空则再取顶点。

3) 查阅网基结构矩阵 D, 搜寻是否存在以当前起点为端点的边, 若存在, 则考察弧结构矩阵 C, 看边的方向是否已明确; 若尚未明确, 则网形中一定存在从当前起点出发的弧, 将这些弧填入弧结构矩阵, 并将终点中处于合状态的顶点的序号填入起点队列。

基形变换的程序框图如图 1 所示。

3.3 形基变换

1) 由 C 推出 B 的具体计算方法如下:

若 $\sum_{i=1}^{N} C_{im} = 0$ 且 $\sum_{i=1}^{N} C_{mi} \neq 0$, 则 $b_m = 1$; 若 $\sum_{i=1}^{N} C_{im} = 0$ 且 $\sum_{i=1}^{N} C_{mi} = 0$, 则 $b_m = 0$。

2) 由 C 推出 T 的具体计算方法如下:

出度不为 0 的顶点的状态为合, 若 $\sum_{i=1}^{N} C_{mi} \neq 0$, 则 $t_m = 1$;

出度为 0 的顶点的状态为分, 若 $\sum_{i=1}^{N} C_{mi} = 0$, 则 $t_m = 0$;

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

入度大于 1 的顶点的状态为分, 若 $C_{mi} = C_{jm} = 1$ 且 $i \neq j$, 则 $t_m = 0$。

4　结　　语

本文提出一种变结构耗散网络的新算法。该算法借助于线路现场终端 FTU 的数据采集与监控装置 SCADA 和通讯网络提供的丰富的决策支持, 可以实现配电网络改变运行方式时负荷的再分配, 计算配电网络的实际线损, 分析配电系统供电的可靠性, 解决配电网络正常运行时负荷均衡和配电网络故障隔离后的优化恢复问题。

目前, 还有一些较为先进的方法, 用以解决配电系统的网络重构(变结构) 的优化问题, 例如:

1) 建立以可靠性指标最优为目标函数的数学模型, 采用 Tabu 搜索方法寻优;

2) 建立以降低电能损耗最优为目标函数的数学模型, 采用遗传算法进行求解。

参考文献(References):

[1] 刘健, 倪建立. 银川城区配电网自动化工程[J]. 电力系统自动化, 1998, 22(8): 56-60.
(Liu Jian, Ni Jianli. Distribution net automation engineering in Yinchuan city[J]. *Autom Electr Power Syst*, 1998, 22(8): 56-60.)

[2] 王泉根. 配电自动化综述[J]. 电世界, 2001, 42(8): 4-6.
(Wang Quangen. Comprehensive description of distribution automation[J]. *Electric World*, 2001, 42(8): 4-6.)

[3] 王秀丽. 以提高系统可靠性为目标的配电网络重构[J]. 中国电力, 2001, 34(9): 40-43.
(Wang Xiuli. Distribution system reliability and network reconfiguration[J]. *Electric Power*, 2001, 34(9): 40-43.)

[4] Marija Ilic, Petter Skantze. Electric power system operation by decision and control[J]. *IEEE Control Systems Society*, 2000, 20(4): 25-40.

[5] Wei Zhang, Michael S Branicky, Stephen M Phillips. Stability of networked control systems[J]. *IEEE Control Systems*, 2001, 21(1): 84-99.

[6] 刘健. 变结构耗散网络[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.

[7] 张炜. 电力系统分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.

(上接第 112 页)

[5] 韩京清. 非线性状态误差反馈控制律- NLSEF[J]. 控制与决策, 1995, 11(3): 221-225.
(Han Jing-qing. Nonlinear states errors feedback control—NLSEF[J]. *Control and Decision*, 1995, 11(3): 221-225.)

[6] 万德均. 惯性导航初始对准[M]. 南京: 东南大学出版社, 1990.

[7] 王恩平. 线性控制系统理论在惯性导航系统中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1984.

[8] 秦永元. 卡尔曼滤波与组合导航原理[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998.

(上接第 115 页)

[3] Sung-woo Kim, Ju-jang Lee. Design of a fuzzy controller with fuzzy sliding surface[J]. *Fuzzy Sets and System*, 1995, 71(3): 359-367.

[4] Yi A Y, Chang M J. A robust fuzzy logic controller for robot manipulators with uncertainties[J]. *IEEE Trans SMC*, 1997, 27(4): 706-713.

[5] 马勇, 许晓鸣, 李辉. 基于模糊逻辑系统的变结构控制[J]. 电气自动化, 2000, 22(1): 4-6, 13.
(Ma Yong, Xu Xiaoming, Li Hui. Variable structure control based on fuzzy logic system[J]. *Electr Autom*, 2000, 22(1): 4-6, 13.)

[6] 李少远, 席裕庚. 模糊滑动模态控制系统的性质分析[J]. 控制理论与应用, 2000, 17(1): 14-18.
(Li Shaoyuan, Xi Yugeng. Analysis of fuzzy sliding mode control systems[J]. *Control Theory Appl*, 2000, 17(1): 14-18.)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net