

基于 CIM 和配电自动化系统的配网快速潮流计算

徐华月¹, 章坚民¹, 王跃强²

(1. 杭州电子科技大学电子信息学院, 浙江 杭州 310018; 2. 珠海供电局, 广东 珠海 519000)

摘要: 针对配电自动化系统的特点, 为了更好解决交换数据模型, 在基于 IEC61970 系列标准中的公共信息模型 (CIM) 基础上, 提出了基于开关状态的配电网网络拓扑设计。根据此网络拓扑, 采用目前流行的前推回代法对配电网进行潮流计算。该方法充分利用辐射配电网的结构特点, 在开关变位时, 自动对节点、支路和断路器进行简单编号, 并根据节点负荷功率和支路阻抗, 自动生成代数方程, 并采用前推回代迭代计算计算节点电压和功率分布。根据提出的算法开发了相应的计算程序, 并用算例验证了算法和程序的正确性。

关键词: 配电网; CIM; 前推回代法; 网络拓扑; 潮流计算

A fast algorithm of load flow calculation in distribution systems based on CIM and distribution automation

XU Hua-yue¹, ZHANG Jian-min¹, WANG Yue-qiang²

(1. Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhuhai Electric Power Bureau, Zhuhai 519000, China)

Abstract: According to the character of distribution automation system, the distribution network topology based on switch states is designed by CIM, as the problem of better exchanging system data has been solved by the common information model (CIM) of IEC61970 standard. On the basis of analyzing the network topology, the backward / forward sweep algorithm is applied to the flow calculation. Taking fully use of characteristics of distribution networks, this algorithm makes automated algebraic equation computes power and node voltage through node power and branch impedance as parameters with automatically generating simple network labeling of node, branch and its impedance. A program is developed according to the proposed algorithm, and the correctness of the proposed algorithm and program is verified by the case.

Key words: distribution network; CIM; backward / forward sweep algorithm; network topology; flow calculation

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)07-0045-04

0 引言

随着配电网的负荷快速增长, 大规模的城市电网改造后, 配电网的结构更为合理, 大多实现了“闭环结线、开环运行”的供电方式, 同时随着通信、计算机和智能装置等技术的发展, 配电网的技术装备也逐步在增强, 主要体现在现场采集终端的逐步扩大使用; 为配电网的监视、运行、管理增加了许多不同采集位置和时间频度的电气量和故障量, 从而为逐步配电网精细化监视与运行管理提供了数据来源。

配电网的在线潮流计算是配电自动化系统的基础组成部分, 其计算结果反映了通过给定网络结构及运行条件来确定整个网络的运行状态(主要是各节点电压幅值和相角、网络中功率分布及功率损耗等), 是运行方式合理性、可靠性及经济性定量分析的重要依据。

由于开关位置直接决定网络的配电网的连通性, 因此配网模型也称为变结构网络。当开关状态改变时, 进行局部拓扑可以大大提高拓扑的速度, 但是很多情况下必须进行全局拓扑, 因此, 提高全局拓扑的速度对于潮流计算是十分重要的。

从传统潮流算法^[1-13]的角度对算法进行分类, 包括: 隐式 Zbus 高斯法^[13]、前推回推法^[11]、回路阻抗法^[5]、牛顿法(包括改进牛顿法)^[4]、改进快速解耦法^[9]等。收敛速度而言, 前推回推法速度最快, 而在网孔处理能力上, 前推回推法存在不收敛的问题^[7]。由于配电网不同于输电网, 配电网大多属于辐射状结构, 在现有方法中, 前推后代法更适用于配电网, 从而使精度、计算速度和收敛性达到最优化。

1 CIM 与潮流计算

电力系统出于经济、安全等考虑, 常常需要对

多个系统模型进行交互操作,比如大电网联合仿真、配电网潮流计算等。而控制中心的不同应用功能是由不同厂家提供,数据模式不尽一致,这就需要—个通用的转换接口。

CIM^[14,15]是一个抽象模型,它包括了地区电网DMS中的所有主要对象类,其中大部分是对系统元件的描述,如变压器、线路、开关、互感器,另外一部分为数据结构安排表、或动态测量数据等。这些都是DMS应用程序所需要的信息和数据。CIM运用统一的建模语言(UML)定义每个类的名称、属性,以及该类与其他类相互之间的关系。它被设计成一个完整的数据字典,可以给系统提供一个全面的逻辑视图。

CIM拓扑包用于定义如何连接配电网各设备,设备连接关系通过“导电设备(ConductingEquipment)—终端(Terminal)—联结点(ConnectivityNode)”的关联关系来表现。终端是设备的终点,一个设备可以有多个终端,联结点根据网络运行状态,把相关的终端无阻抗地连接在一起。一个导电设备有多个终端,和其它设备的终端联结在一起,形成一个联结点,多个联结点类聚合成一个设备容器类。这些类都继承了Naming类属性。

CIM模型利用设备容器模式描述配电网中各设备的关系。图1是CIM的拓扑模型。

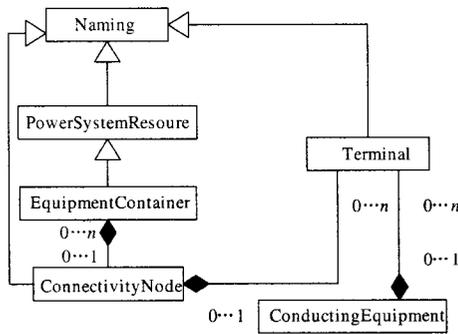


图1 CIM拓扑模型 Fig.1 CIM topology model

2 潮流计算的网络拓扑分析

基于图形的网络拓扑子系统的特点是当开关状态变化时可以自动调用拓扑程序,进行网络接线分析,自动进行节点编号,更新拓扑结果资料。系统的网络自动跟踪功能,可以实现在网络接线图上进行开关的分、合,以及线路、变压器等电气设备的投、切操作,并自动进行网络的带电状态分析、动态网络着色、区域分割等。针对配电网多为辐射状结构的特点,对每一个开关变位,首先检查该开关

是变电站开关还是馈线开关。如果是变电站开关变位,则在变电站内搜索,以确定站内是否发生节点变化。如果是馈线开关断开,则为该开关一侧的节点分配一条新母线,如果馈线开关闭合,则将开关两侧节点的母线合并为一条母线。这样可大大提高网络接线分析的速度和效率。图2是配电网的网络拓扑。

在配电网潮流计算的网络拓扑系统中,当断路器或联络开关的状态发生变化时,网络拓扑紧接着变化,配电网的潮流因此发生变化。其网络拓扑变化的过程如下:

第一步,将该支线由主干线到各级支线从0级开始标号,然后对同一级别的支线由靠近上级节点的先后顺序再进行排序;接着,标明各断路器的序号和状态以及电源点和联络开关的标志位和状态。

第二步,找到供电状态的电源点标志位,若为原电源点,则保持原有的拓扑结构,反之则进行拓扑变换。

第三步,当联络开关在原主干线末梢上时,则保持原有主干线0级支线不变,所有1级支线重新逆向排序,找出阻抗值、断路器的编号和状态,并将其赋给该级别的下一序号的支线;其它支线依次移到该表中。

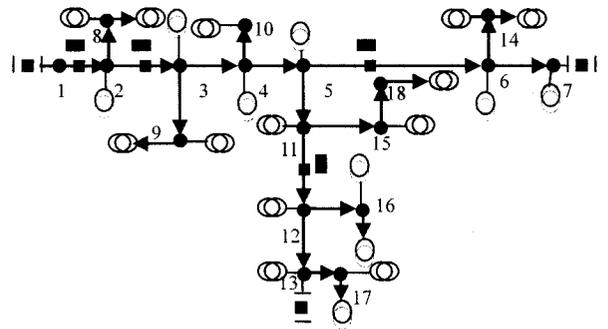


图2 配电网的网络拓扑

Fig.2 Topology of distribution network

第四步,当联络开关在1级支线上时,该支线转换成0级主线,对于该支线下的所有支线,直接拟好把数据拷到等待计算的表中,所有支线级别减少1级;对于原0级干线,要分为两段支线,再进行参数转移;余下的所有的支线都是——拷贝过来。

3 潮流计算的前推回代算法

在配电网潮流计算模型中,当三相配电系统负荷平衡时,可由等值单相系统代替。根据配电网的实际特点假设配电网为三相平衡网络,可用等值的单相网络来计算。

前推回代法以支路网损为状态量,考虑了无功功率和线路电压损失对线损的影响。在前推的过程中,通过节点的注入功率得到节点电压;在回代的过程中用新的节点电压修正线路的损耗。然后用经过修正的线路损耗求新的节点注入功率,再根据节点注入功率求新的节点电压。如此反复,直到潮流收敛。根据前后迭代的电压差小于 ε (ε 取 10^{-5})作为迭代条件。对于支路 ij (电流由 i 流向 j),其基本的支路潮流方程为:

$$P_{\text{loss}ij} = r_{ij}(P_j^2 + Q_j^2)/V_j^2 \quad (1)$$

$$Q_{\text{loss}ij} = x_{ij}(P_j^2 + Q_j^2)/V_j^2 \quad (2)$$

$$P_{ij} = P_j + P_{\text{loss}ij} \quad (3)$$

$$Q_{ij} = Q_j + Q_{\text{loss}ij} \quad (4)$$

$$P_i = PL_i + \sum_{m \in N_i} P_{im} \quad (5)$$

$$Q_i = QL_i + \sum_{m \in N_i} Q_{im} \quad (6)$$

$$V_j^2 = V_i^2 - 2(r_{ij}P_i + x_{ij}Q_i) + (r_{ij}^2 + x_{ij}^2)(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 \quad (7)$$

$$\alpha_j = \arctan \frac{P_j r_{ij} + Q_j x_{ij}}{V_j^2} \quad (8)$$

其中: $P_{\text{loss}ij}$ 、 $Q_{\text{loss}ij}$ 为支路 ij 的有功和无功功率损耗; P_{ij} 、 Q_{ij} 为支路 ij 首端的有功和无功功率; P_i 、 Q_i 为节点 i 的注入有功和无功功率(节点 i 的负荷+节点 i 后续所有节点的功率之和+节点 i 后续所有支路功率损耗); PL_i 、 QL_i 为节点 i 的有功和无功负荷, V_i 为节点 i 的电压幅值, α_i 为节点 i 的电压相角, N_i 是以 i 为始节点的支路的终节点集,对于末端节点, N_i 为空集。图3给出了算法的程序流程图。

4 算例

采用 pl/sql 对上述算法进行了程序编制,并对图1所示的一个27节点的配电网进行了计算。利用提出的配电网潮流计算方法,对图1所示配电网进行潮流计算,该网络含有节点27个。并假设根节点(起始节点)的电压幅值为10 kV,相角为0。图1网络支路参数和节点负荷功率以及通过三次迭代后计算结果如表1所示,其中电压幅值为各节点电压标么值,相角单位为度,节点有功单位为 kW,无功单位为 kvar。

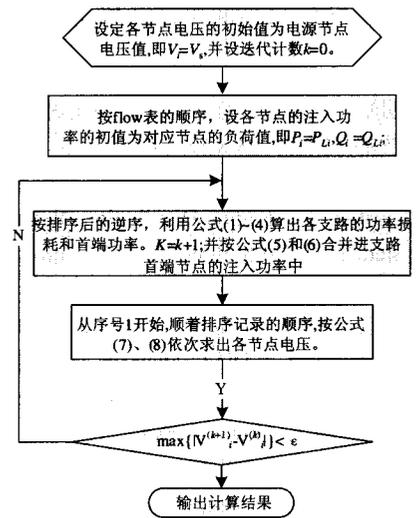


图3 潮流计算程序的流程图

Fig.3 Flow chart of flow calculation

表1 算例基础数据及计算结果

Tab.1 Base data and calculation results of example

zx	zxjb	r	x	r0	x0	p_pb0	p	q	v	angle
1	0					3.51	14.46	11.87	10	0
2	1	42.32	23.92			0.2	10.86	9.19	9.93	1.46
3	1	23.46	13.26			0.88	10.46	8.88	9.89	1.31
4	1	37.72	21.32			0.63	8.98	7.46	9.84	1.4
5	1	25.76	14.56			2.06	8.25	6.99	9.81	1.31
6	1	30.36	17.16			1.26	1.98	1.73	9.8	1.32
7	1	68.54	38.74	52.78	19.6	0.32	0.42	0.48	9.79	1.13
8	2	80.08	29.74	15.47	5.75	0.1	0.2	0.16	9.93	1.48
9	2	94.64	35.15	198.38	73.68	0.5	0.6	0.76	9.88	1.5
10	2	83.3	28.9	40.95	15.21	0	0.1	0	9.84	1.47
11	2	40.94	23.14			0.5	4.2	3.7	9.78	1.38
12	2	0	0			0.63	1.31	1.07	9.78	0
13	2	0	0			0.16	0.42	0.36	9.78	0
14	2	49.77	25.44	9	4.98	0.2	0.3	0.3	9.8	0.98
15	3	109.65	30.6	8.01	3.04	0.16	0.26	0.24	9.78	0.54
16	3	47.17	17.91			1.56	2.38	2.25	9.76	1.22
17	3	87.06	46.52	25.2	12.88	0.16	0.26	0.24	9.78	1.04
18	4	47.25	24.15	50.4	25.76	0.72	0.82	1.08	9.75	1.05

5 结论

本文提出的潮流计算方法主要是用于辐射配电网网络。该方法的优点在于:充分利用辐射配电网网络的结构特点,在配网开关变位时,采用干线支路类推进行分级,以数据库中的表作为队列,不需要形成导纳矩阵,避免了形成因子表所花费的时间,也无需对网络节点进行复杂编号;用 pl/sql 语言开发实现,程序简单清晰,计算效率高;直接采用支路阻抗参数进行计算;使用代数迭代方程进行节点

电压计算; 迭代过程简单, 迭代次数较少。

参考文献

- [1] 杨明皓, 李云星. 辐射型配电网实时潮流计算[J]. 电网技术, 1999, 23 (5): 48-51.
YANG Ming-hao, LI Yun-xing. A Real-time Load Flow Algorithm for Radial Distribution Network[J]. Power System Technology, 1999, 23 (5): 48-51.
- [2] 朱见伟, 丁巧林, 杨宏, 等. 配电网 CIM 综合模型的构建与应用[J]. 继电器, 2006, 34 (10): 60-64.
ZHU Jian-wei, DING Qiao-lin, YANG Hong, et al. Construction and Application of Electrical Distribution CIM Model[J]. Relay, 2006, 34 (10): 60-64.
- [3] 曹亮, 孔峰, 陈昆薇. 一种配电网的实用潮流算法[J]. 电网技术, 2002, 26 (11): 58-60.
CAO Liang, KONG Feng, CHEN Kun-wei. A Practical Algorithm of Load Flow Calculation for Distribution Networks [J]. Power System Technology, 2002, 26(11): 58-60.
- [4] 潘毅, 周京阳, 李强, 等. 基于公共信息模型的电力系统模型的拆分与合并[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (15): 45-48.
PAN Yi, ZHOU Jing-yang, LI Qiang, et al. The Separation/combination of Power System Model Based on Cim [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (15): 45-48.
- [5] 王淳. 一种实用的辐射网潮流算法[J]. 继电器, 2005, 33 (12): 13-16.
WANG Chun. A Practical Algorithm of Power Flow Calculation for Radial Networks[J]. Relay, 2005, 33 (12): 13-16.
- [6] 谢威, 彭志炜, 张朝纲, 等. 一种基于牛顿-拉夫逊法的潮流计算方法[J]. 许昌学院学报, 2006, 25 (2): 27-30.
XIE Wei, PENG Zhi-wei, ZHANG Chao-gang, et al. Calculation Method of Power Flow Based on Newton-Raphson[J]. Journal of Xuchang University, 2006, 25 (2): 27-30.
- [7] 刘耀年, 岂小梅, 李国鹏, 等. 基于回路阻抗法的配电网潮流计算[J]. 继电器, 2004, 32 (8): 8-10.
LIU Yao-nian, QI Xiao-mei, LI Guo-peng, et al. Load Flow Algorithm for Distribution Network based on Loop-impedance Method[J]. Relay, 2004, 32(8): 8-10.
- [8] 杨仪松, 王宽, 周玲, 等. 一种配电网潮流计算的新方法[J]. 继电器, 2006, 34 (13): 46-49.
YANG Yi-song, WANG Kuan, ZHOU Ling, et al. A New Method for Load Flow Calculation in Distribution Systems[J]. Relay, 2006, 34 (13): 46-49.
- [9] 李敏, 陈金富, 段献忠, 等. 潮流计算收敛性问题研究综述[J]. 继电器, 2006, 34 (4): 76-78.
LI Min, CHEN Jin-fu, DUAN Xian-zhong, et al. A Study of Load Flow Calculation When Power Flow Does not Converge to a Solution[J]. Relay, 2006, 34 (4): 76-78.
- [10] 韩学军, 陈鹏, 国新风, 等. 基于潮流计算的配电网重构方法[J]. 电网技术, 2007, 31 (17): 60-63.
HAN Xue-jun, CHEN Peng, GUO Xin-feng, et al. A Power Flow Based Reconfiguration Method of Distribution Networks[J]. Power System Technology, 2007, 31 (17): 60-63.
- [11] 张伯明, 陈寿孙, 严正. 高等电力网络分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
ZHANG Bo-ming, CHEN Shou-sun, YAN Zheng. Higher Electricity Network Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [12] Ghosh S, Das D. Method for Load Flow Solution of Radial Distribution Networks[J]. IEE Proceeding Gener, Transm and Distrib, 1999, 146(6): 641-648.
- [13] Goswami S K, Basu S K. A New Algorithm for the Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Minimization[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7 (3): 1484-1491.
- [14] 刘健, 毕鹏翔, 董海鹏. 复杂配电网简化分析与优化[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
LIU Jian, BI Peng-xiang, DONG Hai-peng. Simplified Analysis and Optimization of Complex Distribution Network[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [15] 张学松, 柳焯, 于尔铿, 等. 配电网潮流算法比较研究[J]. 电网技术, 1998, 22(4): 45-49.
ZHANG Xue-song, LIU Zhuo, YU Er-keng, et al. Study on Comparison of Algorithms for Distribution Network Power Flow[J]. Power System Technology, 1998, 22(4): 45-49.

收稿日期: 2008-05-26; 修回日期: 2008-07-18

作者简介:

徐华月(1983-), 女, 硕士研究生, 主要从事配电网自动化的研究; E-mail: pearlxy@163.com

章坚民(1962-), 男, 教授, 主要从事电力系统自动化、信息化建模研究;

王跃强(1977-), 男, 主要从事电网运行管理技术工作。