

DTS 中网络拓扑快速形成与局部修正的实用方法

谭海龙,常鲜戎,项 丽,王冬辉

(华北电力大学 电气工程学院,河北 保定 071003)

摘要: 在调度员培训系统 DTS(Dispatcher Training System)中提出了一种快速实用的形成网络拓扑与局部修正的方法。在网络拓扑形成中采用两步分析策略:第一步归并物理结点,第二步形成关联电气岛。将离线数据组织成物理结点-元件关联分层链表结构。开关动作引起网络拓扑的变化可在此结构上采用局部的广度优先局部搜索,进行网络拓扑的快速修正,搜索范围不超过动作开关所在的电压等级。通过局部搜索后可以直接修正导纳矩阵。该方法不受接线方式和初始条件的影响。

关键词: 电力系统; 调度员培训系统; 网络拓扑; 实时

中图分类号: TM 743 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2005)03-0091-03

虽然在调度员培训系统 DTS(Dispatcher Training System)培训开始时会对整个网络做一次拓扑分析,需要占用较长的时间,但和 DTS 运行性能密切相关的却是在网络拓扑发生局部变化时如何处理^[1~8],而这时网络的变化是局部的,可以不用重新分析整个网络,只对网络拓扑做局部的修正即可^[2,3]。本文从网络拓扑离线数据准备、数据存储、算法实现等方面提出了一种简便、实用的网络拓扑快速形成以及当网络发生局部变化的快速处理方法。

1 电力网络的拓扑模型及拓扑分析策略

将电网看作由各个元件和相应物理结点组成,网络拓扑分析的目的就是将网络模型化简成由逻辑结点和元件组成的网络形式,通过以下两步来实现:首先将物理结点归并形成逻辑结点,其次将逻辑结点归并形成关联电气岛。

1.1 逻辑结点的分析策略与算法实现

某电力系统的网络模型如图 1 所示。

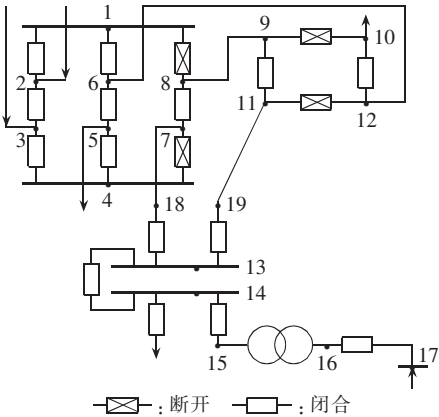


图 1 模型系统

Fig.1 Model system

图 1 中标注的数字即为原始结点的编号。先假设所有原始结点的逻辑编号与原始编号相同,定义一个一维数组 $OTN[N]$ 保存原始结点对应的逻辑结点编号(N 表示系统中原始结点的个数)。

归并物理结点具体算法如下:

- a. 认为原始结点编号等于逻辑结点编号,给 $OTN[]$ 数组赋初值,即 $OTN[i]=i$ (编号没有使用 0);
- b. 遍历所有开关,如果开关闭合则执行以下步骤,否则不执行。

步骤 1: 如果开关两端的原始结点 I, J 的编号 $OTN[I], OTN[J]$ 相等,则不作处理。

步骤 2: 如果开关两端的原始结点 I, J 的编号 $OTN[I], OTN[J]$ 不相等,消去编号较大的编号,具体做法为假设 $OTN[I]>OTN[J]$,则 $OTN[I]=OTN[J]$,将大于 $OTN[I]$ 的编号全部减 1。

图 1 的物理结点经过归并,形成的逻辑结点编号如图 2 所示。

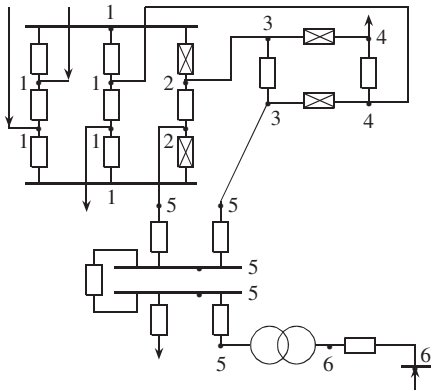


图 2 物理结点分析结果

Fig.2 The result of physical node analysis

1.2 电气岛的分析策略与算法实现

通过变压器、线路将逻辑结点联系在一起,形成

一个个电气岛。采用以支路(线路和变压器)为核心,扫描一遍支路数据进行电气岛分析。图 3 为当前开关状态下电气岛分析结果。

具体算法为定义 $\text{Island}[N]$ (N 表示逻辑结点个数), $\text{Island}[i]$ 表示第 i 个逻辑结点的电气岛号, $n\text{Net}$ 表示电气岛个数。依次扫描支路表作如下处理:

- 支路两端结点没有电气岛号, 则增加一个电气岛号, 赋给这两个结点;
- 若支路的一端有电气岛号, 另一端没有, 则把两端的电气岛号置成相同;
- 若支路两端电气岛号相同, 则不作任何处理;
- 若支路两端电气岛号不同, 则把大的电气岛号改为小的电气岛号, 电气岛数减 1, 同时把数组 $\text{Island}[]$ 中的所有大于这个大电气岛号的减 1, 等于大电气岛号的改为小电气岛号;
- 支路扫描结束后, 扫描一遍 $\text{Island}[N]$ 数组, 对仍然没有电气岛号的逻辑节点依次赋予电气岛号, 同时统计各个电气岛所包含的逻辑结点个数;
- 调整编号, 将孤立节点编号排在非孤立节点的后面。

2 局部拓扑变化的快速处理

2.1 离线数据准备

在电力系统培训仿真中, 对于局部拓扑变化的快速修正的要求往往高于整体网络拓扑的形成。在仿真过程中网络的拓扑常常会不断变化, 如倒闸操作、保护动作等引起逻辑网络的相应变化, 但它们通常是局部的。本文通过物理结点-元件关联分层链表可以快速找到开关动作所影响到的局部物理结点, 以减少拓扑修正的搜索范围, 提高处理速度。

本文所提出分层的链表结构, 将某结点所有的开关信息存放在一个开关信息结构体内, 而一个设备信息结构体只存放一个非开关元件的设备信息。图 4 中 $\text{topo}[]$ 是一个 N (系统物理结点数) 维指针数组, 指向 Struct Jswitch (开关元件信息结构体), 如果该结点连有其他设备, 则该结构体内的指针不为空,

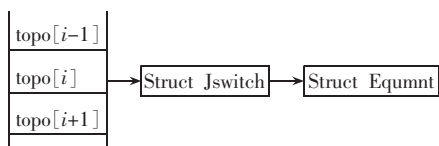


图 4 物理结点-元件分层链表结构

Fig.4 The hierarchical physical node-element chain structure

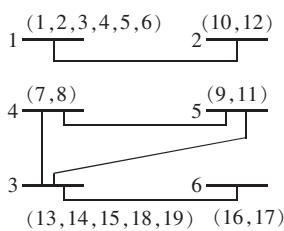


图 3 逻辑结点分析结果
Fig.3 The result of logic node analysis

指向下一个设备信息结构体 Struct Equmnt , 如果还连有其他设备则该设备信息结构体指向下一个设备信息结构体, 直至包含该物理结点所连的所有设备。由于该分层链表结构反映的是网络的原始拓扑关系, 因此它在程序运行过程中一直保持不变。

2.2 拓扑变化的局部搜索

本文以物理结点-元件分层链表结构为基础, 采用局部的广度优先局部搜索, 其中搜索范围不超过动作开关所在的电压等级。通过动作开关获得开关两端的物理结点, 接着通过物理结点-元件关联分层链表可以快速找到开关动作所影响到的其他物理结点。这时局部搜索采用广度优先搜索算法, 只搜索通过闭合开关相关联的物理结点。局部搜索后, 根据搜索信息判断电网结构是否发生变化, 如果变化则直接修改节点导纳矩阵, 并判断是否需要再进行电气岛分析。

对于开断操作, 处理步骤如下:

- 分别获取与开断开关两端通过其他闭合开关相连在一起的所有物理结点以及相关的线路等设备;
- 根据上步的信息判断是否会形成新的逻辑结点, 如果不会形成新的逻辑点则可以返回;
- 若形成新的逻辑结点则根据相关支路等设备与新逻辑结点的连接关系修正节点导纳矩阵;
- 进行网络组态分析, 获得孤岛划分情况, 判断是否存在系统解列或区域失电。

对于闭合操作, 处理步骤如下:

- 同断开操作步骤 a;
- 判断两端物理结点是否属于同一个逻辑结点, 如果是则可以返回;
- 合并两个逻辑结点, 判断开关两端物理结点从属于哪个电气岛, 合并电气岛, 判断是否存在同期并网或区域恢复供电。

3 程序步骤与算例

本文提出的网络拓扑快速形成与局部拓扑修正快速算法的步骤如下:

- 读入相关数据, 扫描一遍闭合开关, 形成归并后的逻辑结点;
- 扫描支路数据, 划分关联电气岛;
- 若有开关操作, 需要执行拓扑局部修正, 其处理步骤见前节。

其中 a, b 只做一次, 若有开关操作则执行 c。

以某省电网为例, 系统规模为 4 037 个开关、117 座厂站、2 947 个结点、210 条线路、205 台变压器、93 台发电机、171 个负荷。采用 PC 机 CPU 主频为 1.5 GHz, 内存为 256 M。程序采用 C++ 编制。

从本文算法上来看闭合开关的个数越多, 该算法的运算量也越大, 因此假设最坏情况下, 所有的开关

都闭合作为初始状态。经过拓扑分析后,此时系统具有 339 个逻辑结点,415 条支路,所占用 CPU 时间约为 70 ms。在通常状态下经过拓扑分析,所占用 CPU 时间约为 60 ms。对于常见的开断线路、切发电机等事件采用本文方法对开关操作局部拓扑分析处理,修正节点导纳矩阵平均所花时间在 12 ms 以内。

4 结论

以物理结点-元件关联分层链表组织数据,在开关动作引起网络拓扑局部变化时,以此结构为基础对网络变化进行局部搜索,搜索范围不超过动作开关所在的电压等级,通过简单的搜索即可对网络拓扑变化进行局部修正。本文提出了一种新的网络拓扑形成与局部修正的快速、实用算法。算法实现上十分简单,易于理解,便于实现。

参考文献:

- [1] 万 华,李乃湖,陈 珩,等. 用于培训仿真的快速网络拓扑形成与跟踪、修正算法[J]. 电力系统自动化,1995,19(5):12-16.
WAN Hua,LI Nai-hu,CHEN Heng, *et al.* Fast forming network topology & tracking, modifying method for simulation [J]. **Automation of Electric Power Systems**, 1995,19(5):12-16.
- [2] 朱文东,刘广一,于尔铿,等. 电力网络局部拓扑的快速算法[J]. 电网技术,1996,20(3):30-33.
ZHU Wen-dong,LIU Guang-yi,YU Er-keng, *et al.* The fast calculation method of local power network topology [J]. **Power System Technology**, 1996,20(3):30-33.
- [3] 刘晓鹏,李建华. 调度员培训仿真系统中的快速网络拓扑程序[J]. 中国电力,1998,31(6):18-20.
LIU Xiao-peng,LI Jian-hua. Fast network topology for power dispatcher's training simulator[J]. **Electric Power**, 1998,31(6):18-20.
- [4] 吴文传,张伯明. 基于图形数据库的网络拓扑及其应用[J]. 电网技术,2002,26(2):14-18.

- WU Wen-chuan,ZHANG Bo-ming. A graphic database based network topology and its application [J]. **Power System Technology**, 2002,26(2):14-18.
- [5] PRAIS M,BOSE A. A topology processor that tracks network modifications over time [J]. **IEEE on PWRs**, 1983,3(3):28-31.
- [6] 竺 炜,李卫国,周有庆. 用于 DTS 的实用电力网络拓扑分析方法[J]. 华北电力技术,1998,(8):10-12.
ZHU Wei,LI Wei-guo,ZHOU You-qing. A practical method of power network topology analysis [J]. **North China Electric Power**, 1998,(8):10-12.
- [7] 竺 炜,穆大庆. 电力网络实时拓扑分析的两种算法的实现[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版),2001,16(2):23-25.
ZHU Wei,MU Da-qing. Two methods of power network topology analysis [J]. **Journal of Changsha University of Electric Power(Natural Science)**, 2001,16(2):23-25.
- [8] 张金平,伍永刚,魏守平,等. 调度员培训仿真系统中的网络拓扑[J]. 水电能源科学,2000,18(3):32-34.
ZHANG Jin-ping,WU Yong-gang,WEI Shou-ping, *et al.* The network topology of a dispatcher training simulator [J]. **Water Resources and Power**, 2000,18(3):32-34.
- [9] 于尔铿. 电力系统状态估计[M]. 北京:水利水电出版社,1985.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

谭海龙(1980-),男,新疆米泉人,硕士研究生,研究方向为电力系统分析和稳定控制(E-mail: tanhailong1980@tom.com);

常鲜戎(1956-),男,吉林长春人,教授,博士,研究方向为非线性系统控制、电力系统分析和稳定控制、电机故障监测与控制等;

项 丽(1977-),女,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为电力系统分析和稳定控制;

王冬辉(1977-),男,河北唐山人,硕士研究生,研究方向为电力系统分析和稳定控制。

Applicable method of fast network topology generation and partial modification for DTS

TAN Hai-long, CHANG Xian-rong, XIANG Li, WANG Dong-hui

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: An applicable method of fast network topology generation and partial modification for DTS (Dispatcher Training System) is presented. Two-step scheme is adopted for network topology generation: uniting physical nodes and forming electrical island. A hierarchical physical node-element chain structure is formed with off-line data, based on which, the topological change caused by switch operation can be partially modified quickly using breadth-first search. Its search range is within the voltage grade of the operated switch. By local search, the admittance matrix is directly modified. The proposed method is independent of wiring pattern and initial conditions.

Key words: power system; DTS; network topology; real-time