

电力系统整定计算中一种运行方式变化的处理方法

孙鸣¹, 孔健¹, 程小平²

(1. 合肥工业大学电气工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 安徽省电力中心调度所, 安徽 合肥 230061)

摘要: 电力系统整定计算中, 会涉及到切除一个元件, 同时考虑另一个元件相继动作这种运行方式的变化。根据支路追加法修改阻抗矩阵的基本原理, 进一步推导出电力网络断开两回支路时, 阻抗矩阵元素修正的公式, 同时考虑相继动作自身的特点, 提出了统一的等效网络模型和计算机算法。

关键词: 整定计算; 阻抗矩阵; 相继动作

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)09-0065-03

0 引言

继电保护整定计算是电力系统生产运行中的一项重要工作。随着电网规模的不断扩大, 电网结构日趋复杂, 电力系统整定计算的工作量和复杂程度也越来越大, 利用计算机技术提高整定计算的工作效率和准确性越来越受到人们的重视。

在电力系统实际运行当中, 局部的拓扑结构和参数变化方式越来越多。计算机整定中, 如何为这些运行方式变化提供合适的计算机算法是关键之一。根据整定规程规定, 在进行继电保护定值整定时, 必须满足常见运行方式(正常运行方式和一个元件检修的正常检修方式)时保护定值不变。一个元件检修的运行方式比较简单, 很多文献中对此都有详细的处理方法, 在此不再赘述。

本文讨论一种较为复杂的运行方式——一个元件(线路或者变压器)停运检修, 同时另一个线路元件相继动作。图1为110 kV地区电网的一部分, 现整定1001支路, 以1004支路做为被配支路, 在计算分支系数或与高频配合的零序电流时, 需要考虑这样的运行方式: 轮停1003支路和1005支路, 同时考虑1004支路相继动作。

在这种运行方式下, 用计算机算法求分支系数或求与高频配合的零序电流, 相关的文献中介绍不多, 对此作者进行了较为深入的探讨。根据相继动作的特点, 文中先提出了等效的网络模型, 再根据模型的特点对支路追加法做了进一步的推导, 在此基础上给出了适合计算机整定的算法。

1 等效网络模型的建立

为了使模型具有一般意义, 这里用支路两端的节点来表征支路, 如支路 ki 就是 1001 支路。这样,

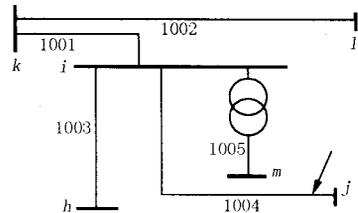


图1 示例系统

Fig. 1 An example system

在图1中, 待整定支路是 ki , 被配支路是 ij , 参与轮停的支路是 ih 和 im 。

对于被配支路 ij 的相继动作, 根据相继动作的含义, 可以分两步来模拟。首先在节点 i, j 之间并联一条阻抗为 $-z_{ij}$ 的链支, 来等效 ij 支路的开断, z_{ij} 为 ij 支路的阻抗; 然后再由节点 i 引出一条阻抗等于 z_{ij} 的树支 ig , 来模拟相继短路点的影响, g 是网络新增节点。对于参与轮停的支路 ih 和 im , 以 ih 支路停运检修为例, 可以等效为向网络节点 i, h 间接入一条阻抗为 $-z_{ih}$ 的链支, z_{ih} 为 ih 支路的阻抗。由以上讨论, 该运行方式的变化可以用向原网络中追加两条链支和一条树支来模拟, 等效的网络模型如图2所示。

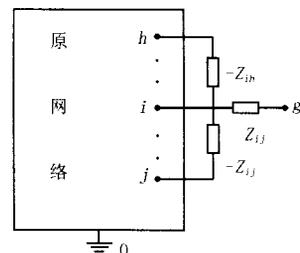


图2 等效网络模型

Fig. 2 Equivalent network model

如果采用节点阻抗矩阵作为电力系统的数学模

型,那么这种运行方式变化就可以通过阻抗矩阵的变化来反映,先考虑对追加的两条链支的处理。

2 追加两条链支时阻抗矩阵元素的修正公式

由支路追加法,若在原网络的节点 i 、 j 之间接入一条阻抗为 z_{ij} 的链支,网络节点阻抗矩阵的阶数不变,矩阵元素的修正公式为:

$$Z_{hk} = Z_{hk} - \frac{(Z_{hi} - Z_{hj})(Z_{ki} - Z_{kj})}{Z_{ii} + Z_{jj} - 2Z_{ij} + z_{ij}} \quad (1)$$

其中: Z_{hk} 是接入链支后网络阻抗矩阵 Z 中的元素; z_{ij} 是接入链支的阻抗值;其余的是原阻抗阵 Z 中的元素。

设一个有 n 个独立节点的电力网络,其节点阻抗矩阵为 Z , $Z^{(1)}$ 为断开一条支路后修改得到的阻抗矩阵, $Z^{(2)}$ 为又断开一条支路后再次修改得到的阻抗矩阵。 Z_{hk} 、 $Z_{hk}^{(1)}$ 、 $Z_{hk}^{(2)}$ 分别是 Z 、 $Z^{(1)}$ 、 $Z^{(2)}$ 中的元素。假设现在网络中 ij 支路检修,在此之前 lm 支路也已经检修。则根据式(1)有:

$$Z_{hk}^{(2)} = Z_{hk}^{(1)} - \frac{(Z_{hi}^{(1)} - Z_{hj}^{(1)})(Z_{ki}^{(1)} - Z_{kj}^{(1)})}{Z_{ii}^{(1)} + Z_{jj}^{(1)} - 2Z_{ij}^{(1)} - z_{ij}} \quad (h=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

其中: $Z_{hk}^{(2)}$ 是 $Z^{(2)}$ 中的我们要求的元素, $Z_{hk}^{(1)}$ 、 $Z_{hi}^{(1)}$ 、 $Z_{hj}^{(1)}$ 、 $Z_{ki}^{(1)}$ 、 $Z_{kj}^{(1)}$ 、 $Z_{ii}^{(1)}$ 、 $Z_{jj}^{(1)}$ 、 $Z_{ij}^{(1)}$ 是 $Z^{(1)}$ 中的元素, z_{ij} 是 ij 支路的阻抗值。注意,因为追加的是阻抗为 $-z_{ij}$ 的链支,所以式(2)和式(1)中 z_{ij} 前符号不同。

以 $Z_{hk}^{(1)}$ 为例,式(2)中相关的 $Z^{(1)}$ 中的元素这样求取:

$$Z_{hk}^{(1)} = Z_{hk} - \frac{(Z_{hl} - Z_{hm})(Z_{kl} - Z_{km})}{Z_{ll} + Z_{mm} - 2Z_{lm} - z_{lm}} \quad (h=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

其中: Z_{hk} 、 Z_{hl} 、 Z_{hm} 、 Z_{kl} 、 Z_{km} 、 Z_{ll} 、 Z_{mm} 、 Z_{lm} 网络初始阻抗矩阵 Z 中的元素, z_{lm} 是 l_m 支路的阻抗值。

3 树支的处理

就一般情况而言,设一个电力网络有 n 个独立节点,已知其节点阻抗矩阵 Z 为 $n \times n$ 方阵,若从原网络中的节点 i 接入一条阻抗为 z_{ij} 的树支,该网络将出现新增节点 j 。此时的阻抗矩阵 Z 将比 Z 增加一阶,即

$$Z = \begin{bmatrix} Z & Z_{kj} \\ Z_{jk} & Z_{jj} \end{bmatrix} \quad k=1, 2, \dots, n; j=n+1$$

其中: $Z_{kj} = Z_{jk}^T$, 为新增第 j 列的非对角元素; Z_{jj} 为对角元素。

根据 Z 元素的物理意义可知,新增的第 j 列非对角元素应与 Z 中的第 i 列元素相等,即

$$Z_{kj} = Z_{jk}^T = Z_{ki}$$

显然,新增节点 j 的自阻抗 Z_{jj} 等于节点 i 的自阻抗 Z_{ii} 与 z_{ij} 之和,即

$$Z_{jj} = Z_{ii} + z_{ij}$$

这里需要考虑到追加的两条链支的影响,两式应改为

$$Z_{kj} = Z_{jk}^T = Z_{ki}^{(2)} \quad (4)$$

$$Z_{jj} = Z_{ii}^{(2)} + z_{ij} \quad (5)$$

其中: $Z_{ki}^{(2)}$ 、 $Z_{ii}^{(2)}$ 是追加了两条链支后修正的元素。

4 算例

仍以图 1 为例,被配支路 ij 末端发生单相接地短路时,以计算流过开关 k 的零序电流 I_{ki} 为例,考虑 ih 支路开断,被配支路 ij 相继动作的情况,参考如图 2 的等效网络模型。

计算公式为:

$$I_{ki} = \frac{Z_{0dk}^{(2)} - Z_{0di}^{(2)}}{z_{ki(0)}} \cdot \frac{1}{2Z_{1dd} + Z_{0dd}} \quad (6)$$

其中: $Z_{0di}^{(2)}$ 、 $Z_{0dk}^{(2)}$ 、 Z_{0dd} 是零序网中阻抗矩阵的元素, Z_{1dd} 是正序网中阻抗矩阵的元素, $z_{ki(0)}$ 是零序网中 ki 支路的阻抗值。

这里,若等效短路点是 g ,则式(6)变为:

$$I_{ki} = \frac{Z_{0gk}^{(2)} - Z_{0gi}^{(2)}}{z_{ki(0)}} \cdot \frac{1}{2Z_{1gg} + Z_{0gg}} \quad (7)$$

根据式(4)有:

$$Z_{0gk}^{(2)} = Z_{0ik}^{(2)}$$

再据式(2)有:

$$Z_{0ik}^{(2)} = Z_{0ik}^{(1)} - \frac{(Z_{0ii}^{(1)} - Z_{0ij}^{(1)})(Z_{0ki}^{(1)} - Z_{0kj}^{(1)})}{Z_{0ii}^{(1)} + Z_{0jj}^{(1)} - 2Z_{0ij}^{(1)} - z_{ij(0)}} \quad (8)$$

式中: $Z_{0ik}^{(1)}$ 、 $Z_{0ii}^{(1)}$ 、 $Z_{0ij}^{(1)}$ 、 $Z_{0ki}^{(1)}$ 、 $Z_{0kj}^{(1)}$ 、 $Z_{0jj}^{(1)}$ 是只记及 ih 支路开断时零序网中阻抗矩阵元素的修正值,可以根据式(3)求取,以 $Z_{0ik}^{(1)}$ 为例:

$$Z_{0ik}^{(1)} = Z_{0ik} - \frac{(Z_{0ii} - Z_{0ij})(Z_{0ki} - Z_{0kj})}{Z_{0ii} + Z_{0jj} - 2Z_{0ij} - z_{ih(0)}}$$

其中: Z_{0ik} 、 Z_{0ii} 、 Z_{0ij} 、 Z_{0ki} 、 Z_{0kj} 、 Z_{0jj} 是零序网初始阻抗矩阵中的元素, $z_{ih(0)}$ 是零序网中 ih 支路的阻抗值。同理,可求取 $Z_{0gi}^{(2)}$ 。

下面求 Z_{1gg} 和 Z_{0gg} ,根据式(5)有:

$$Z_{1gg} = Z_{1ii}^{(2)} + z_{ij(1)}$$

其中: $Z_{1ii}^{(2)}$ 是正序网中阻抗矩阵的元素,它是考虑

了开断和相继后的修正值; $z_{ij(1)}$ 正序网中 ij 支路的阻抗值。 $Z_{1ij}^{(2)}$ 可以比照式(8)求取, 须注意的是此时用到的应该是正序网的阻抗矩阵和参数。同理, 可得 Z_{0gg} , 它是在零序网中求取的。

将所求元素带入式(6), 求得 I_{ki} 。

5 结语

在电力系统整定计算中, 无论是分支系数计算, 短路电流计算, 还是灵敏度校验, 都会碰到轮停相邻元件, 同时考虑相继动作这种运行方式变化。本文对此进行了一定的探讨, 并提出了一种统一的等效网络模型和相应的算法。该算法已经在安徽电网的故障仿真与整定计算软件中以 C++ 语言实现。实际应用证明了此算法的正确性和可靠性。

参考文献:

- [1] 国家电力调度通信中心(State Electric Power Dispatching Center of China). 电力系统继电保护规定汇编(Compilation of Power System Relay Protection Regulation) [M]. 北京: 中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 2000.

- [2] 张伯明, 陈寿孙(ZHANG Bo-ming, CHEN Shou-sun). 高等电力网络分析(High Electric Power System Analysis) [M]. 北京: 清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1996.

- [3] 程小平(CHENG Xiao-ping). 配合系数与网络结构关系的研究(Study on Relation Between Network Topology and Cooperation Coefficient) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(9): 52-55.

收稿日期: 2003-06-23; 修回日期: 2003-11-17

作者简介:

孙鸣(1957-), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为电力系统继电保护及调度自动化;

孔健(1978-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护及调度自动化;

程小平(1963-), 男, 硕士, 高级工程师, 现从事电力系统继电保护运行整定工作。

Method for running mode varying in setting calculation of power system

SUN Ming¹, KONG Jian¹, CHENG Xiao-ping²

(1. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Anhui Electric Power Dispatching Center, Hefei 230061, China)

Abstract: The running mode varying will be concerned in setting calculation of power system that an element is cut off, synchronously, another element acting one after the other. Based on the fundamental of modifying impedance matrix by adding the branch, the modifier formula of impedance matrix element is derived when two elements are cut off. And considering the characteristic of this action, a uniform, equivalent network model including the algorithm is put forward.

Key words: setting calculation; impedance matrix; acting one after the other

(上接第 59 页 continued from page 59)

Fault analysis platform of large power system based on PSS/ E 27

LUO Zhong-yuan¹, ZHANG Pei-chao¹, YU Wei-yong¹, MAO Ji-chun², CHEN Jiam-min²

(1. Department of Electric Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. East China Electric Power Dispatch Center, Shanghai 200002, China)

Abstract: PSS/ E is a large power system simulation software developed by America Power Technology Inc. It is an integrated, interactive program for simulating, analyzing, and optimizing power system performance. It makes available to the user the advanced and proven methods in many technical areas, including: power flow, optimal power flow, balanced or unbalanced fault analysis, dynamic simulation, extended term dynamic simulation, open access and pricing, transfer limit analysis, and network reduction. It has ability to treat super largescale network and provide IHLAN language with secondary development. Shanghai Jiaotong University and East China Electric Power Dispatching Center have developed the software package of PSS/ E27 firstly in China, which is increased with interactive painting and visual Chinese operation in interface, has implemented a series of functions to advanced fault analysis. Via this software, East China Electric Power Dispatch Center is developing calculation platform including system parameters, fault analysis, setting calculation network topological library and form report for 220 ~ 500 kV high voltage grid.

Key words: PSS/ E fault analysis; setting calculation; network equivalent; short circuit calculation line-out in turn