

文章编号:1671-6833(2007)03-0080-03

## 电网故障计算中参数不对称的模拟方法研究

蒋建东<sup>1</sup>, 芦明<sup>1</sup>, 王世果<sup>2</sup>

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 南阳电力技工学校 电力处, 河南 南阳 473009)

**摘 要:** 通过引入虚拟支路和虚拟节点, 建立模拟参数不对称的虚拟端口, 以虚拟端口为边界, 将参数不对称电网分解成对称网络部分和模拟参数不对称的不对称网络部分。根据补偿法的基本原理, 用从虚拟端口向对称网络的注入电流作为补偿电流, 将参数不对称电网转化为对称电网。将不对称电网转化为对称电网后, 可以利用基于对称分量法的各种故障计算方法进行电网故障计算。最后以一个不对称系统短路故障为例进行计算, 结果证明算法有效。

**关键词:** 电网; 故障计算; 参数不对称; 模拟

**中图分类号:** TM 744 **文献标识码:** A

### 0 引言

故障计算是电力系统的一项基本计算。由于绝缘和技术方面的原因, 近年来出现的 500 kV 及以上超高压输电线路一般不换位, 同时伴随着电力电子新技术的不断应用, 电网参数不对称的情况日益突出, 使得基于对称分量法<sup>[1]</sup>的故障计算方法不再适用。在相坐标系下<sup>[2-5]</sup>以三相节点阻抗(导纳)矩阵为基础进行故障分析能对参数不对称电网故障进行分析处理, 但由于计算效率低, 至今仍没有在电网故障分析计算中广泛应用。

笔者通过引入虚拟支路和虚拟节点, 将参数不对称电网分为对称网络和模拟电网不对称的不对称网络两部分。用从虚拟端口向对称网络注入电流代替不对称网络, 将参数不对称电网转化为对称电网注入电流源的形式, 最后基于传统的对称分量法完成电网故障计算。

### 1 电网参数不对称的处理

假设电网中某一条支路的参数不对称, 如图 1a 所示。为了能够对线路全长范围内的故障进行模拟, 取  $Z_L = \max\{Z_a, Z_b, Z_c\}$ ,  $Z_M = \max\{Z_{ab}, Z_{bc}, Z_{ca}\}$ , 建立以参数  $Z_L$ 、 $Z_M$  为标准的对称线路。在其右端引入一个虚拟节点 f, 接入一个阻抗值为 1.0 的虚拟支路 f-t, 再接入一条阻抗值为 -1.0

的虚拟支路, 建立起虚拟端口 f, 用于模拟电网参数的不对称, 如图 1b 所示。

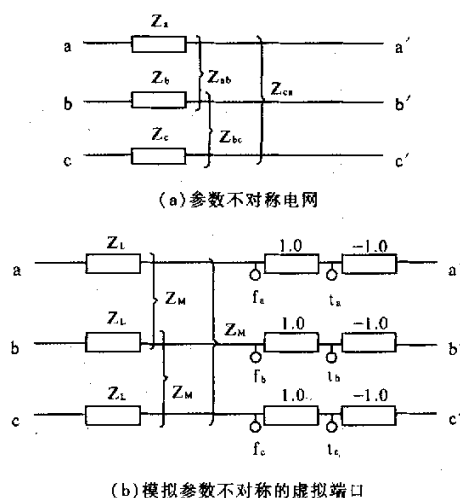


图 1 模拟电网参数不对称的虚拟端口的创建

Fig. 1 Building of the fictitious port to simulate power grid parameter unbalance

为保持原电网参数不变, 比较图 1a 与图 1b, 可得到模拟电网参数不对称需在虚拟端口接入的不对称网络, 如图 2 所示。通过上述处理, 将参数不对称电网变成对称网络(图 1b)和模拟电网参数不对称的不对称网络(图 2)的和。

收稿日期: 2007-03-06; 修订日期: 2007-06-04

基金项目: 河南省科技攻关计划资助项目(0624220064)

作者简介: 蒋建东(1975-), 男, 河南南阳人, 郑州大学副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事电力系统故障分析与诊断方面的研究工作。

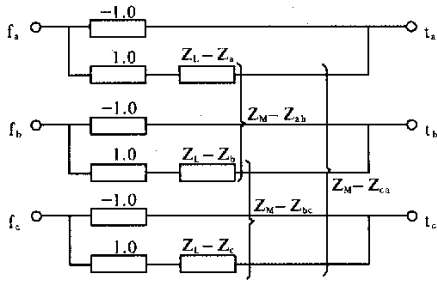
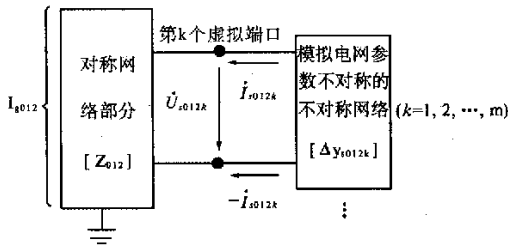


图2 模拟电网参数不对称的网络

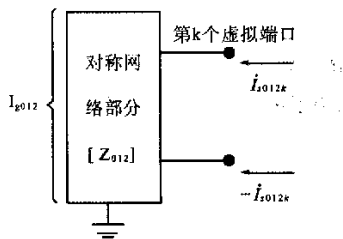
Fig.2 Unsymmetrical network to simulate parameter unbalance

## 2 故障分析计算

设电网中  $m$  条支路的参数存在不对称情况. 通过虚拟端口将不对称支路转化, 并以虚拟端口为边界, 将不对称电网分解为对称网络和模拟电网参数不对称的不对称网络两部分, 如图 3a 所示.



(a) 电网参数不对称的模拟



(b) 用虚拟端口注入电流代替不对称网络

图3 参数不对称电网转化为对称电网

Fig.3 Change from parameter unbalance power grid to parameter balance power grid

由图 3a, 根据欧姆定律和叠加原理, 可列出虚拟端口处的电流与电压之间的关系方程:

$$U_{012} = U_{012[0]} + Z_{0012} I_{012} \quad (1)$$

$$U_{012} = -\Delta y_{012} I_{012} \quad (2)$$

将公式(1)、(2)联立求解, 可得到虚拟端口注入电流:

万方数据

$$I_{012} = -[1 + \Delta y_{012} \cdot Z_{0012}]^{-1} \Delta y_{012} U_{012[0]} \quad (3)$$

式中:  $I_{012} = [\dot{I}_{012.1}, \dots, \dot{I}_{012.k}, \dots, \dot{I}_{012.m}]$  为虚拟端口注入电流; 1 为单位矩阵;  $\Delta y_{012}$  为模拟电网参数不对称的不对称网络端口导纳矩阵;  $Z_{0012}$  为对称网络虚拟端口等值阻抗矩阵;  $U_{012[0]}$  为虚拟端口开路电压.

求得  $I_{012}$  后, 根据补偿法的基本原理, 用虚拟端口注入电流代替模拟电网参数不对称的不对称网络, 如图 3b 所示. 对具体的电网来讲, 发电机节点注入电流  $I_{012}$  已给定, 这样, 参数不对称电网就变成了具有外加电源  $I_{012}$  和  $I_{012}$  的对称电网. 其故障计算可用基于对称分量法的故障计算方法进行. 由式(3)可知, 虚拟端口注入电流  $I_{012}$  计算的关键在于虚拟端口参数  $\Delta y_{012}$ 、 $Z_{0012}$ 、 $U_{012[0]}$  的求取.

## 3 虚拟端口参数的计算

根据图 2 找出  $m$  个模拟电网参数不对称所需的不对称网络, 在相坐标下逐个形成不对称网络的端口导纳矩阵, 经相序参数变换求得不对称网络在 012 坐标下的端口导纳矩阵.

求出每个不对称网络在 012 坐标下的端口导纳矩阵后, 用它们构成对角矩阵即可形成不对称网络的端口导纳矩阵, 即:

$$\Delta y_{012} = \begin{bmatrix} \Delta y_{012.1} & & \\ & \ddots & \\ & & \Delta y_{012.m} \end{bmatrix} \quad (4)$$

根据线性电路的基本理论, 求出虚拟端口的自阻抗和互阻抗元素后, 合成可得  $Z_{0012}$ .

设系统中  $1, 2, \dots, r$  号节点为发电机节点,  $\dot{E}_h$  和  $Z_h$  分别为第  $h$  台发电机的电势和等值内阻抗. 根据端口开路电压的物理意义, 可以作出计算虚拟端口开路电压的等值电路, 如图 4 所示.

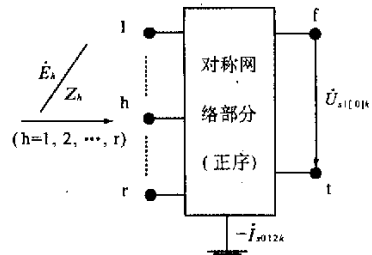


图4 虚拟端口开路电压的计算

Fig.4 Calculation of open circuit voltage across fictitious ports

根据迭加原理,由图 4 可求得任意虚拟端口的开路电压。

$$\dot{U}_{sl[0],k} = \sum_{h=1}^r \dot{U}_{f_{tk}(1)}^{(h)} \frac{\dot{E}_k}{Z_h} \quad (k=1,2,\dots,m) \quad (5)$$

各虚拟端口开路电压求出后,利用虚拟端口开路电压可合成  $\dot{U}_{s012[0]}$ 。

#### 4 算例

系统如图 5 所示,图中参数为  $S_b = 100$  MVA 下的标么值,分子上的数字为正(负)序电抗,分母上的数字为零序电抗,其中线路 L 为一条参数不对称支路,其相参数标么值为  $Z_a = Z_b = Z_c = j1.2$ ,  $Z_{ab} = Z_{ba} = Z_{bc} = Z_{cb} = j0.2$ ,  $Z_{ac} = Z_{ca} = j0.1$ , 试计算当  $F_1$  处 b 相接地短路,节点 C 的电压及短路点电流。算例计算结果为

$$C \text{ 母线电压 } \begin{bmatrix} \dot{U}_{c0} \\ \dot{U}_{c1} \\ \dot{U}_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.323 \angle 61.132^\circ \\ 0.347 \angle 191.076^\circ \\ 0.351 \angle -54.183^\circ \end{bmatrix};$$

故障点注入电流

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{f0} \\ \dot{I}_{f1} \\ \dot{I}_{f2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.145 \angle -174.303^\circ \\ 0.369 \angle -38.116^\circ \\ 0.370 \angle 43.275^\circ \end{bmatrix}$$

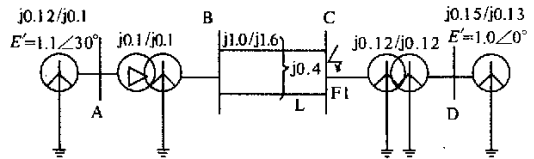


图 5 算例系统接线图

Fig. 5 Network sample

#### 5 结论

笔者通过引进虚拟节点及虚拟支路,将参数不对称电网化为对称电网。该方法具有物理概念清晰、通用性好、易于实现的优点。在此基础上,可以利用基于对称分量法各种故障计算方法完成故障计算。

#### 参考文献:

- [1] 西安交通大学. 电力系统计算[M]. 北京:水利电力出版社, 1979:186-250.
- [2] BERMAN A, WILSON X. Analysis of faulted power systems by phase coordinates[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1998, 13(2):587-595.
- [3] 于大勇, 马柏杨, 张国庆, 等. 电力系统故障分析的相分量法研究[J]. 黑龙江电力, 2003, 5(25):366-368.
- [4] 刘为雄, 蔡泽祥, 黄明辉, 等. 基于相分量模型考虑零序互感线路的跨线故障计算方法[J]. 电网技术, 2006, 8(30):13-18.
- [5] 杨丽徒, 包毅, 张丹. 配电网综合评估体系的研究[J]. 郑州大学学报(理学版), 2005, 26(3):106-108.

### Study on the Simulation Method of Parameter Unbalance in Power Grid Fault Calculation

JIANG Jian-dong<sup>1</sup>, LU Ming<sup>1</sup>, WANG Shi-guo<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Nanyang Electric Power Technical College, Nanyang 473009, China)

**Abstract:** By introducing the fictitious branch and fictitious node, the fictitious ports to simulate the parameter unbalance is established. By taking fictitious ports as boundary, the parameter unbalance power grid is separated into symmetrical network and unsymmetrical network to simulate parameter unbalance. Based on the compensation method theory, using the current injected into symmetrical network as compensation current, the parameter unbalance power grid changes to a balance power grid. After the parameter unbalance power grid changes to parameter balance power grid, the fault can be calculated by symmetrical component method. In the end, an unsymmetrical power grid with open circuit short to earth faults is analyzed as an example, and the result shows that the simulation method is effective.

**Key words:** power grid; fault calculation; parameter unbalance; simulation