

继电保护运行整定中计算分支系数的快速方法

李冰¹, 赵海鸣², 刘健², 付小梅³,

(1. 华北电力大学电力工程系, 河北 保定 071003; 2. 陕西省电力公司调度中心, 陕西 西安 710000;
3. 河南省平顶山电力局调度中心, 河南 平顶山 467001)

摘要: 目前电力系统继电保护整定计算软件中计算分支系数的常用方法是进行不同运行方式的故障计算, 得到保护支路和配合支路的电流, 从而得到分支系数。为了提高继电保护运行整定的速度和效率, 根据序电流的分布只取决于该序网的结构而与其他序网无关, 推导出了—种仅与序网的节点阻抗矩阵有关无需故障电流计算的分支系数的快速计算方法, 并针对影响分支系数的不同因素介绍了一些加快措施。编程实践证明, 该方法大大提高了继电保护运行整定的速度和效率。

关键词: 继电保护整定计算; 运行方式; 分支系数

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)01-0021-03

0 引言

分支系数是继电保护整定计算中的重要参数, 也是整定计算的难点所在。为了保证继电保护的选择性, 防止保护的越级跳闸, 只能选取最保守的分支系数。影响分支系数大小的因素有3个: (1) 网络操作, 例如: 线路的投入和切除; (2) 电源运行方式的变化, 例如: 发电机组投切; (3) 故障点的选择, 例如: 线路上任一点、末端母线、相继动作即在线路末端开关先三相跳闸但故障点仍存在的情况。另外, 在考虑继电保护装置的整定计算程序是否能在实际中应用时, 除了保护定值的正确性和合理性之外, 整定计算的耗时也是一个重要的指标。因此, 选择—种正确、快速计算分支系数的方法成为—种必然。

要计算最保守的分支系数, 应考虑可能出现的各种运行方式和故障点的组合。为了提高继电保护整定速度, 文献[1~2]从减少运行方式组合和故障点的角度出发, 提出了缩短继电保护整定计算时间的措施; 文献[3]从快速计算变结构电力系统支路电流的角度, 推导了快速计算分支系数的公式。目前常用算法以及文献[1~3]均是在某种方式下先进行故障计算, 求得保护支路和配合支路(故障支路)的故障电流, 再计算两者的比值, 即为所求的分支系数。

本文从分支系数的定义出发, 根据各序电流在系统中的分布只与该序网络的结构有关, 与其他序网无关, 推导出了—种仅与序网的节点阻抗矩阵有关无需故障电流计算的分支系数的快速计算方法; 另外, 针对影响分支系数的不同因素(网络操作、电

源运行方式变化、故障点的选择), 介绍了一些加快措施。

1 分支系数的公式推导

设故障点注入的短路电流为 $I_{d(r)}$, 其在各节点所产生的故障电压分量为:

$$U_{i(r)}^d = Z_{di(r)} I_{d(r)} \quad (1)$$

式中 $Z_{di(r)}$ 为短路点 d 与节点 i ($i = 1, 2, \dots, n; r = 0, 1$) 之间的 r 序互阻抗。将这一电压分量与故障前该节点的电压分量 $U_{i(r)}^0$ 相加, 即得到短路故障后的节点电压:

$$U_{i(r)} = U_{i(r)}^0 + U_{i(r)}^d$$

进而可计算出短路故障时通过各支路的序电流:

$$I_{ij(r)} = Y_{ij \cdot ij(r)} (U_{i(r)} - U_{j(r)}) + Y_{ij \cdot pq(r)} (U_{p(r)} - U_{q(r)})$$

式中 $Y_{ij \cdot ij(r)}$ 、 $Y_{ij \cdot pq(r)}$ 为支路导纳矩阵中支路 $i - j$ 的自导纳和与其有互感支路的互导纳, 对于正序或当支路 $i - j$ 无互感时, $Y_{ij \cdot pq(r)}$ 为零矩阵。在不计负荷(或负荷电流较短路电流小得多)的简化短路电流计算中, 近似地可假定故障前节点电压标么值相等(即 $U_{i(r)}^0 = U_{j(r)}^0$), 并忽略正常通过支路的电流。因此, 支路各序支路 $i - j$ 电流可写为:

$$I_{ij(r)} = Y_{ij \cdot ij(r)} (U_{i(r)}^d - U_{j(r)}^d) + Y_{ij \cdot pq(r)} (U_{p(r)}^d - U_{q(r)}^d) = [Y_{ij \cdot ij(r)} (Z_{di(r)} - Z_{dj(r)}) + \sum_{l=1}^m Y_{ij \cdot plq(r)} (Z_{dpl(r)} - Z_{dql(r)})] I_{d(r)}$$

式中: l ($l = 1, 2, \dots, m$) 为支路 $i - j$ 的互感支路但排除其中的检修支路。因为, 对于互感检修支

路,支路两端端点接地,其支路电压为零。

假设保护支路为 $i - j$,配合支路为 $j - t$,故障点 d 距配合端端点 j 占配合支路全长的百分比为 k ,如图 1 所示。

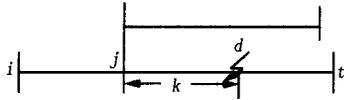


图 1 计算分支系数模型

Fig. 1 Mode to calculate branch coefficient

则故障支路 $j - d$ 的序电流^[4]:

$$I_{jd(r)} = Y_{jt \cdot jt(r)} (U_{j(r)}^d - U_{t(r)}^d) + Y_{jt \cdot uv(r)} (U_{u(r)}^d - U_{v(r)}^d) - (1 - k) I_{dr} = [Y_{jt \cdot jt(r)} (Z_{dj(r)} - Z_{dt(r)}) + \sum_{l=1}^s Y_{jt \cdot ulvl(r)} (Z_{dul(r)} - Z_{dvl(r)}) - (1 - k)] I_{d(r)}$$

式中: $l(l = 1, 2, \dots, s)$ 为支路 $j - t$ 的互感支路但排除其中的检修支路。

定义: 分支系数 = $\frac{\text{保护支路电流}}{\text{配合支路电流}}$

则正序、零序分支系数的计算公式:

$$K_{fz(r)} = \frac{I_{ij(r)}}{I_{jd(r)}} =$$

$$\frac{Y_{ij \cdot ij(r)} (Z_{di(r)} - Z_{dj(r)}) + \sum_{l=1}^m Y_{ij \cdot plql(r)} (Z_{dpl(r)} - Z_{dql(r)})}{Y_{jt \cdot jt(r)} (Z_{dj(r)} - Z_{dt(r)}) + \sum_{l=1}^s Y_{jt \cdot ulvl(r)} (Z_{dul(r)} - Z_{dvl(r)}) - (1 - k)}$$

$$(0 < k < 1; r = 0, 1) \quad (2)$$

其中: $Z_{di} = (1 - k) Z_{ij} + k Z_{it}$ ($0 < k < 1; i = 1, 2, \dots, n$; n 为不计新增故障点的原网节点数)。

式(2)表明:要计算正序、零序分支系数,仅需知道故障点与所求支路两端的节点及与其有互感支路节点之间的互阻抗即可简便计算。另外,如果故障发生在配合支路上,也不必修改其互感支路导纳矩阵,利用原互感支路导纳矩阵即可;如果故障发生在支路端点,则可以直接利用节点阻抗矩阵的相关元素进行计算。

而要计算各种运行方式下的分支系数,关键是获得不同方式下计算分支系数所需的节点阻抗矩阵中的元素。

2 加快计算分支系数的措施

2.1 网络操作的模拟

为计算最保守的分支系数,往往要考虑检修某条支路或断开保护支路相邻支路(例如:计算最大分支系数,考虑轮断保护支路对侧母线所连支路)时的系统参数。由于此时还要恢复网络结构的变化,故

以原有的节点阻抗矩阵为基础用补偿法或局部修正阻抗矩阵的方法,计算网络操作之后的节点阻抗矩阵,具体过程参见文献[5]。由于只需正序、零序分支系数,仅需对正序、零序节点阻抗矩阵进行修正,以提高计算速度。

2.2 电源运行方式的选择

由于电源在电力系统中的分散性和运行方式变化的多样性,在继电保护运行整定过程中,难以准确考虑电源运行方式变化对分支系数的影响。目前,继电保护运行整定过程中,在计及网络操作的情况下,仅考虑了整定保护所在线路对侧母线上直接连接电源运行方式的变化^[5],使得计算出的最大和最小分支系数均存在误差,严重情况下可能造成继电保护之间失去应有的严格配合关系,而导致继电保护出现误动或拒动。如果对所有电源进行大规模的运行方式组合,则可以准确算出,但对大型复杂电力系统而言,计算量太大。为减少计算量,文献[3]研究了电源运行方式变化对分支系数的影响程度。现以图 2 中整定 $A - B$ 线路 A 侧保护为例。在无网络操作的情况下 d 点短路时,各电源的电流分布系数为:

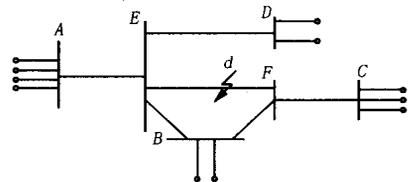


图 2 系统接线图

Fig. 2 System connection diagram

对于电源 $A、B、C$ 和 D :

$$C_A = I_{Ad} / I_d, C_B = I_{Bd} / I_d, C_C = I_{Cd} / I_d, C_D = I_{Dd} / I_d \quad (3)$$

由式(3)可知,电流分布系数描述着各电源对故障电流的影响程度。根据电流分布系数这一物理意义,按各电源电流分布系数的大小可以把大型复杂电力系统中的电源划分成两大区域,即对故障电流影响较大的区域和影响较小的区域。由于位于影响较小区域内的电源运行方式变化对分支系数影响较小,在计算分支系数时,可仅考虑影响较大区域内的电源运行方式的变化。

电源影响域的划分原则为:电流分布系数^[3]。

要得到参与方式组合的电源,需要计算各电源支路的分布系数,为了得到用网络参数表示电流分布系数,将图 2 所示网络简化为图 3 所示网络。在

图3中, Z_{gA} 、 Z_{gB} 、 Z_{gC} 和 Z_{gD} 表示各电源阻抗; Z_{Ad} 、 Z_{Bd} 、 Z_{Cd} 和 Z_{Dd} 表示各电源到故障点 d 的转移阻抗。

在简化计算中,认为各电源电势相等(均为 E),电源 A 到故障点 d 的转移电流 I_{Ad} 等于仅在故障点注入故障电流 I_d 时通过发电机支路电流 I_{gA} 。因此,对于电源 A :

$$\text{由欧姆定律: } \frac{U_A^d}{Z_{gA}} = \frac{U_d^d}{Z_{Ad}}$$

$$\text{又根据式(1)可得 } U_A^d = Z_{Ad}I_d, U_d^d = Z_{dd}I_d$$

则转移阻抗

$$Z_{Ad} = \frac{Z_{dd}}{Z_{Ad}} \cdot Z_{gA}$$

所以

$$C_A = \frac{I_{Ad}}{I_d} = \frac{E/Z_{Ad}}{E/Z_{dd}} = \frac{Z_{dd}}{Z_{Ad}} = \frac{Z_{Ad}}{Z_{gA}} \quad (4)$$

同理,可计算其他电源 B 、 C 和 D 的分布系数。

式(4)表明:分布系数可直接利用节点阻抗矩阵中的相关元素以及发电机支路阻抗来计算,进而得到参与组合的发电机支路,这样避免计算电源支路电流,有利于提高整定速度和效率。

2.3 故障点的选择

分支系数与故障点的关系比较复杂,在整定计算时,可按如下规律选择故障点^[1,2]:如果配合支路是放射性支路,不同的故障点对正序分支系数没有影响;如果配合支路本身有复杂环网的情况,不同的故障点对正序分支系数有影响且相继动作时正序分支系数最大;如果配合支路和保护支路构成复杂环网,不同的故障点对正序分支系数也有影响且相继动作时正序分支系数最大。具体论证参见文献[1]。

对于大的复杂系统,识别支路是否环网以及判定环网的类型需要对网络进行拓扑分析,在程序实现上是不太容易的,并占用了程序计算时间,可根据实际情况加以取舍。

为了避免判定环网和识别其类型,不论是正序或零序分支系数,还是最大或最小分支系数,要计算最保守的分支系数,需计算的故障点有^[5]:配合支路 I 段末端故障;配合支路所在线路末端故障;配合支路所在线路单端切除后 I 段末端故障;配合支路所在线路单端切除后,断口处故障。为了不漏掉最保守的情况,如计算最大正序分支系数时,I 段末端范围可取支路全长的 50%;计算最小正序分支系数时,可取支路全长的 15%~20%。

3 应用实例

利用本文提出的分支系数的快速计算方法研制

的整定程序计算分支系数的时间大为缩短。例如对 290 个节点规模的电网,进行全网的最小正序分支系数、最大正序分支系数、最小零序分支系数及最大零序分支系数计算,在奔 III866 的机子上只需要 5 分钟。而以前的计算程序大约需要半小时左右,等待时间过长,使得整定程序的计算能力和实用性都大大下降。

4 结论

本文首先导出了分支系数的计算公式,提出了无需故障计算、仅与序网参数有关的分支系数计算方法;然后,针对影响分支系数的不同因素(网络操作、电源运行方式变化、故障点的选择),介绍了一些加快措施。

本文提出的继电保护运行整定中分支系数快速计算方法有以下特点:

(1)不必计算故障口电流、支路电流,减少了程序运行计算的工作量;

(2)当运行方式变化时,只需计算分支系数中所需电气量,计算中没有重复工作。

参考文献:

- [1] 程小平(CHENG Xiao - ping). 电网结构与配合系数的研究(Study on the Structure and Cooperative Coefficient in Power System) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(9): 52 - 55.
- [2] 程小平(CHENG Xiao - ping). 缩短继电保护整定计算时间的措施(Measures to Quicken Calculation Speed of Settings of Protective Devices) [J]. 电网技术(Power System Technology), 2001, 25(2): 69 - 71.
- [3] 曹国臣,李娟(CAO Guo - chen, LI Juan), 张连斌. 继电保护运行整定中分支系数计算方法的研究(Study on Method to Calculate Branch Coefficient in Relay Setting and Coordination) [J]. 继电器(Relay), 1999, 27(2): 5 - 9.
- [4] 禹成七,龚仁敏,李冰(YU Cheng - qi, GONG Ren - min, LI Bing). 复杂故障计算中互感支路电流的快速计算(Fast Calculation for Mutual Inductance Branch Current in Complex Fault Calculation) [C]. 电力系统及其自动化专业第十八届学术年会论文集(Proceeding of 18th CUS - EPSA), 2002: 241 - 246.
- [5] 陈永琳(CHEN Yong - lin). 电力系统继电保护的计算机整定计算(Setting Calculation for Computers in Relay Protection of Power Systems) [M]. 北京:水利电力出版社(Beijing: Hydraulic and Electric Power Press), 1994: 40 - 58, 99 - 103.

(下转第 27 页 continued on page 27)

考虑整合一些并行搜索策略并采用专家系统来构造初始解,来缩短进化进程。

参考文献:

- [1] 顾丹珍,徐瑞德(GU Dan - zhen, XU Rui - de). 一种地区电网多目标无功优化的新方法——改进模拟退火算法(A New Approach for Multiple - objective Reactive Power Optimization— Improved Simulated Annealing) [J]. 电网技术(Power System Technology), 1998, 22(1).
- [2] 王凌(WANG Ling). 智能优化算法及其应用(Intelligent Optimization Algorithms with Applications) [M]. 北京:清华大学出版社,施普林格出版社(Beijing: Tsinghua University Press, Springer Press), 2001.
- [3] LIU Yu - tian, MA Li, ZHANG Jian - jun. GA/ SA/ TS Hybrid Algorithms for Reactive Power Optimization [J]. IEEE Tran On Power Systems, 2000:245 - 249.

- [4] 杨若黎,顾基发(YANG Ruo - Li, Gu Ji - Fa). 一种高效的模拟退火全局优化算法(An Efficient Simulated Annealing Algorithm for Global Optimization) [J]. 系统工程理论与实践(Systems Engineering Theory & Practice), 1997, (5).
- [5] 赵登福,周文华,张伏生等(ZHAO Deng - Fu, ZHOU Wen - Hua, ZHANG Fu - Sheng, et al). 遗传算法在无功优化应用中的改进(Improvement of Genetic Algorithm for Reactive Power Optimization) [J]. 电网技术(Power System Technology), 1998, 22(10).

收稿日期: 2003-04-16; 修回日期: 2003-09-09

作者简介:

周皓(1974 -),女,讲师,主要从事电力系统控制原理及其实现方面的教学研究;

周晖(1979 -),男,湖北宜昌人,硕士研究生,研究方向为人工智能在电力系统中的应用。

The improved SA algorithm in VAR and voltage control of power system

ZHOU Hao¹, ZHOU Hui²

(1. College of Technology, Three Gorges University, Yichang 443002, China;

2. College of Electric Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The necessity of VAR and voltage control of power system is briefly introduced. An improved SA algorithm is proposed based on operational practice and the characteristics of SA. Major problems such as coding modes, generating functions, accepting functions, initial temperature, temperature updating functions as well as the terminating conditions of inner and outer cycle are also taken into consideration. The improved SA algorithm proved to be of higher efficiency, easier principles and realization, faster speed via the test in IEEE standard network.

Key words: VAR optimization; simulated annealing(SA); search strategy

(上接第 23 页 continued from page 23)

收稿日期: 2002-12-18; 修回日期: 2003-04-22

作者简介:

李冰(1975 -),男,在读硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护;

赵海鸣(1962 -),女,高工,长期从事 330 kV 电网继电保护整定计算;

刘健(1962 -),男,高工,长期从事 330 kV 电网继电保护整定计算;

付小梅(1978 -),女,学士,现从事电力系统继电保护运行整定工作。

Fast calculation on branch coefficient in protection relay setting and coordination

LI Bing¹, ZHAO Hai-ming², LIU Jian¹, FU Xiao-mei³,

(1. Department of Electric Power Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Henan Pingdingshan Electric Power Company Dispatching Center, Pingdingshan 467001, China)

Abstract: At present, general method to calculate branch coefficient needs fault calculation in different operation modes to get protective branch current and mating branch current. According to sequence current distribution only depending on the sequence network topology, this paper presents fast method to calculate branch coefficient with elements in node impedance matrix, which doesn't need fault calculation and is only concerned with sequence network topology. And against different elements influencing branch coefficient, some accelerating measures are proposed. It proved to be a marked improvement on calculation speed and efficiency of protection setting and coordination by a numerical example.

Key words: protection relay setting and coordination; operation mode; branch coefficient