

# 一种基于耦合度分析的运行方式的选择方法

张雪梅,丁晓群,周玲

(河海大学电气工程学院,江苏 南京 210098)

**摘要:** 在电力系统继电保护整定计算的过程中,需要快速合理地确定运行方式进行故障计算。针对传统选择方法中考虑的运行方式较少,使得整定值过于保守的缺点,在传统选择方法的基础上,借用计算机的高速性能,利用网络阻抗矩阵的变化,提出了一种基于耦合度的选择方法,并在实例中验证了此方法。

**关键词:** 继电保护; 整定计算; 运行方式; 耦合度

**中图分类号:** TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2004)10-0070-03

## 0 引言

继电保护装置是电力系统中的一个重要组成部分<sup>[1]</sup>,对电力系统的安全稳定运行起着极为重要的作用,而正确的整定计算则是继电保护装置可靠运行的保障。在电力系统中,保护的整定值确定下来以后是不宜频繁更改的,所以保护定值需要能够适应系统的各种运行方式。因此要得到正确的整定值必须在整定过程中考虑系统中各种可能的运行方式,并求得各运行方式下的相关计算值。

继电保护整定计算用的运行方式,是在电力系统确定好运行方式的基础上,在不影响继电保护的保护效果的前提下,为提高继电保护对运行方式变化的适应能力再进一步选择停运、检修、故障的方式。

从理论上讲,整定一条线路时,应该考虑所有可能的运行方式,但是随着电力系统的快速发展,电网结构的日益扩大和复杂,当今大系统有大量元件,要考虑所有元件运行状态的变化及其组合,其工作量是惊人的。假如一个变电站有  $N$  个元件,进行对侧开关零序一段整定时,考虑轮换检修 1 个和 2 个元件的组合方式有:  $C_{N-1}^1 + C_{N-1}^2$ ,就算依赖计算机,这样多方式下的计算时间也是难以接受的。

现在整定的任务是如何从这么多的运行方式中选择与待整定线路极其相关的几种运行方式进行计算。合理地选择运行方式可以改善保护效果,充分发挥保护的效能。

## 1 传统运行方式的选择

整定计算中,传统选择运行方式的原则是比较简单的,就是以电力系统常见的运行方式为依据。电力系统常见的运行方式包括正常运行方式和正常检修方式<sup>[2]</sup>。正常运行方式是系统经常所处的运行

状态,此时系统内的设备全部投入运行,发电设备则按照系统正常负荷要求全部或部分投入。正常检修方式,是指在正常运行方式下,与被保护设备相邻的一回线或一个元件检修的状态。在进行整定计算时,尽可能保证在各检修状态下,保护装置的选择性和灵敏性都能满足“继电保护整定计算条例”,整定值尽量保证在正常运行方式下保护有较好的性能。

对于特殊运行方式,即正常检修方式以外的其它检修方式不作为整定的依据,但要作好补充整定方案,满足临时处理的需要。

对于目前的大电网而言,发电机的非计划停运较多,应该考虑其运行方式,而且若按传统方法仅考虑相邻线路的轮断,得到的定值往往过于保守,但考虑所有运行方式时间不允许,所以考虑选择起重要作用的一部分运行方式参与计算<sup>[3]</sup>。有人提出一种紧邻节点的判别方法,但考虑的仅是厂站运行方式的变化,未能选择所有线路。

## 2 运行方式变化与电流变化的关系

运行方式的选择,实际上是元件的选择,即选出哪些元件与保护所在线路关系密切。耦合度分析法是利用数学模型,建立起被保护元件所在线路与其他线路的耦合度关系,耦合度大的表示二者关系紧密,需要考虑这条线路运行方式的变化。耦合度关系的建立是分析方法的关键。

### 2.1 模型的建立

适当地选择计算网络的数学模型,对于提高计算速度是至关重要的。用节点方程表征一个网络,一般利用节点导纳矩阵和节点阻抗矩阵。节点阻抗矩阵模型,在分析时,可直接取有关节点进行运算,在多次重复使用时,计算速度快。在电力系统故障计算中,网络方程表示为  $Z \cdot I = U$ ,其中  $Z$  为  $n$  阶方

阵。利用节点阻抗矩阵表征网络,对于一般线路运行方式改变用支路追加法修正矩阵。比如线路  $L_{ij}$  停运,  $Z$  变为  $Z'$ , 其中任意一元素  $Z_{kl} = Z_{kl} - Z_{Lk} \cdot Z_{Ll} / Z_{LL}$  ( $k=1, 2, \dots, m; l=1, 2, \dots, m$ )。

## 2.2 运行方式的变化引起电流变化的过程

建立保护线路与其他元件的耦合度关系,实际是寻找当元件状态发生变化时,保护所在线路末端短路时,线路电流变化的规律。在电力系统中,零序电流保护受运行方式变化影响较大,因此就以零序保护为例,考查运行方式变化引起零序电流变化的过程。

元件运行状态发生变化,也就是描述网络的阻抗矩阵要发生变化,  $Z$  变成  $Z'$ 。产生零序电流的故障只有单相或两相接地故障,则假设在  $Z$  矩阵中,发生两相短路接地 ( $b, c$  两相接地故障),分析支路零序电流的大小情况。

边界条件为:  $I_{fa} = 0; U_{fb} = U_{fc} = 0$ 。

对称分量的形式为:  $U_{f(1)} = U_{f(2)} = U_{f(0)}; I_{f(1)}$

$+ I_{f(2)} + I_{f(0)} = 0$ 。

可见三个序网在故障点并联。

故障处零序电流为:

$$I_{f(0)} = - I_{f(1)} \cdot \frac{Z_{f(2)}}{Z_{f(2)} + Z_{f(0)}} \quad (1)$$

其中 
$$I_{f(1)} = \frac{U_{f(0)}}{Z_{f(1)} + z^{(1,1)}} \quad (2)$$

网络中任意一节点电压的零序分量为:

$$U_{i(0)} = - Z_{if(0)} \cdot I_{f(0)}$$

由此,任意一支路电流零序分量为:

$$I_{ij(0)} = \frac{U_{i(0)} - U_{j(0)}}{z_{ij(0)}} = \frac{Z_{if(0)} - Z_{jf(0)}}{z_{ij(0)}} \cdot I_{f(0)} \quad (3)$$

式中:  $U_{f(0)}$  为故障口开路电压,可由原始阻抗矩阵和原节点电流源得出。从式(1)、式(2)、式(3)可以看出,影响故障时支路电流零序分量的变量有阻抗矩阵相关元素、端口等值阻抗、外加等值阻抗以及节点电流。

当运行方式发生变化,即某条线路断开,原阻抗矩阵元素发生变化,引起一系列等值阻抗变化,从而引起支路电流零序分量的变化。

## 3 耦合度关系的提出

耦合度是描述元件关联程度的量。

由上分析可知电流变化由阻抗变化引起,阻抗矩阵中各相关元素对于电流变化所起的作用大小是不同的,若能从中找到可以完全代表电流变化的元素,那么求取电流变化程度的过程就变成求取阻抗

变化的过程,阻抗的变化过程可以直接从阻抗矩阵得到,过程简单。

自阻抗是短路电流计算中一个比较重要的量,现考察自阻抗变化与电流变化的关系。

如图1所示,取大系统中的一处环网进行计算分析,在节点3处发生两相短路接地故障,网络运行方式变化时,考察线路2—3的电流变化情况以及阻抗变化情况。

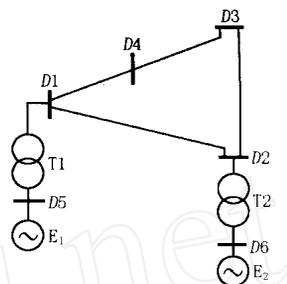


图1 系统接线图

Fig. 1 Connection of the system

系统参数如表1所示。线路名以首末节点号表示,两电源等值电抗皆为0.1,其中  $E_1 = 1.1, E_2 = 1.0$ 。

表1 系统参数表

Tab. 1 Parameters of the system

元件	正序电抗	零序电抗
线路 D1 - D2	j0.151	j0.453
线路 D1 - D4	j0.121	j0.363
线路 D2 - D3	j0.1	j0.3
线路 D3 - D4	j0.1	j0.3
变压器 T1	j0.125	j0.005
变压器 T2	j0.5	j0.553

现比较运行方式变化下,  $Z_{33(0)}$  与  $I_{23(0)}$  的变化情况。分别断开线路 D3 - D4, D1 - D4, D1 - D2, 得到自阻抗与零序电流变化值如表2所示。

表2 自阻抗与零序电流变化值

Tab. 2 Change values of self-impedance and zero-sequence current

运行方式	$100 \cdot Z_{33(0)}$	$100 \cdot I_{23(0)}$
断开线路 D3 - D4	0.505 4	- 0.195 3
断开线路 D1 - D4	1.086 7	2.000 1
断开线路 D1 - D2	1.610 0	3.125 0

把变化的量一一对应,画出如图2所示对应关系。

在图2中横坐标为零序电流变化量,纵坐标为零序阻抗短路点自阻抗变化量,从图中看二者变化趋势基本一致,即由自阻抗的变化可以看出零序电流的变化。

由此定义出保护所在元件与其他元件的耦合度关系,这种耦合度关系用  $Z_{kk} / Z_{kk}$  表示,其值在0与1之间,值越大表示耦合关系越强。即其他元件运

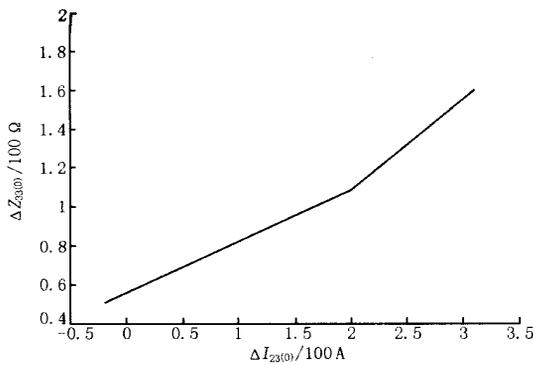


图2 自阻抗与零序电流变化关系对应图

Fig.2 Relation between the changes of self-impedance and zero-sequence current

行状态的改变对保护线路处流过的短路电流的影响可用  $Z_{kk}/Z_{kk}$  表示,影响大的耦合度强,影响小的耦合度弱。

这种判据方法只需用原始阻抗矩阵的相关元素,比较简单。在整定计算中,选择运行方式时,可以先确定耦合度的限值,大于限定值的,其对应运行方式需要考虑,也可设定想要考虑的运行方式总数,把运行方式按耦合度大小排列,依次选择运行方式。这种选择方法既避免了传统运行方式选择的简单化,又避免了电流计算的复杂化,操作简单,比较实用。

#### 4 结论

本文针对传统运行方式选择的弱点,提出一种

#### Decision method of operating mode based on coupling degree

ZHANG Xue-mei, DING Xiao-qun, ZHOU Ling

(School of Electrical Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In the setting calculation of relay protection, deciding power system's operating mode reasonably and quickly is needed for fault calculation. The traditional ways seldom take modes into consideration, which makes the setting too conservative. Based on the traditional ways, aided by high speed operating computer, and employed impedance matrix in choosing operation mode, a new decision method based on coupling degree is proposed. This method has been verified with an application case.

**Key words:** relay protection; setting calculation; operating mode; coupling degree

基于耦合度的选择方法,并由实例说明了方法的可靠性。这种方法可由计算机快速实现,可以提高整定效率和整定精度。

#### 参考文献:

- [1] 李光琦(LI Guang-qi). 电力系统暂态分析(The Transient Analysis of Electric Power Systems) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press), 1999.
- [2] 陈永琳(CHEN Yong-lin). 电力系统继电保护的计算机整定计算(The Computer's Setting of Relay Protection in Electric Power Systems) [M]. 北京:水利电力出版社(Beijing:Hydraulic and Electric Power Press), 1994.
- [3] 刘敏,石东源,柳焕章,等(LIU Min, SHI Dong-yuan, LIU Huan-zhang, et al). 线路零序电流保护计算机整定中运行方式的选择(The Decision of Operating Mode in Setting of Zero Sequence Current Relay of Line Aided by Computer) [J]. 继电器(Relay), 2000, 28(3):15-17.

收稿日期: 2003-11-26; 修回日期: 2004-02-08

#### 作者简介:

张雪梅(1979-),女,硕士研究生,从事继电保护整定计算软件的研究;

丁晓群(1956-),男,教授,从事电气设备故障诊断及电网控制的研究;

周玲(1964-),女,副教授,从事电力系统继电保护整定计算理论及相关软件技术的研究。

(上接第 69 页 continued from page 69)

#### Principle, setting and application of high impedance differential protection in large motor

LI De-jia

(Nuclear Power Qinshan Joint Venture Co., Ltd, Zhejiang Haiyan 314300, China)

**Abstract:** This paper expatiates the principles, setting and application of high impedance differential protection in large motor with whole set id setting cases. The influence of CT turn ratio to high impedance differential protection is analyzed, and the method of measuring turn ratio error is also introduced.

**Key words:** high impedance differential protection; large motor; turn ratio