

# 对新型正序故障分量方向元件几个特殊问题的探讨

张承学, 丁书文

(武汉水利电力大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

**【摘要】** 虽然正序故障分量方向元件原理简单, 与其它方向元件相比具有自己独特的优越性。但在特殊的条件和环境下, 也存在一定的问题。本文在讨论正序故障分量方向元件的原理基础上, 针对其存在的几个特殊问题, 进行了分析讨论, 并提出了新的观点和看法。

**【关键词】** 正序故障分量; 方向元件; 特殊问题

## 1 引言

继电保护的作用是切除电力系统中发生故障的各种电气设备。而故障信息的发掘、识别、提取和利用是继电保护发展的基础。从30年代在继电保护技术中广泛而成功地应用了故障时出现的负序和零序分量, 到60年代以来开展了暂态行波用于保护的研究, 开辟了继电保护技术中利用故障暂态信息的新途径。随着电子计算机在继电保护中的应用, 为识别和获取故障信息创造了前所未有的有利条件。反映故障信息的故障分量的成功利用, 促进了继电保护技术的进一步发展。

故障分量是故障信息的具体表现, 应用叠加原理计算短路故障时可把故障网络分解为故障前网络和故障后网络。故障前网络包括正常运行、系统振荡、两相运行等状态; 故障后网络中的各个量都是故障分量, 其中所包含的只是故障信息。因此, 故障后网络可以作为分析、研究故障分量的依据<sup>[1]</sup>。

在近年来的微机保护技术发展中, 利用故障分量构成方向元件已经获得应用, 其中反映正序故障分量的方向元件由于计算的相位误差比较小, 理论分析和实际构成都比较简单而逐渐受到重视。但在有些方面如大电源侧电压灵敏度不足、空载合闸故障线路、防止振荡误动等几个特殊问题, 正序故障分量方向元件还存在一定问题, 必须认真对待。

## 2 正序故障分量方向元件简述<sup>[3]</sup>

众所周知, 对电力系统故障的分析, 可应用对称分量理论和叠加原理。将系统中三相电气量分解为正序、负序、零序三个旋转的对称分量, 并将故障时正序分量分解为正常分量和故障分量的叠加。

负序和零序分量包含故障信息, 可用于判断故障, 在保护技术中得到广泛应用, 其缺点是不能反

映三相对称短路故障。而各种对称和不对称短路时都会出现正序分量, 在消除正常分量后, 正序故障分量就成为一个比负序、零序分量更为完善的新的故障特征, 也就是说, 在正序故障分量中包含有丰富的故障信息。图1中示出一个简单两端电源系统发生故障时的正序分量等效网络, 故障点附加电源是由故障前该点电压的故障边界条件决定的, 故障分量按其性质可分解为不同的成分<sup>[3]</sup>。

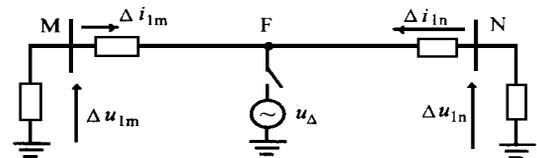


图1 正序分量等效网络

$$\begin{cases} i_{1m} = i_{1m} + i_{1m} \\ u_{1m} = u_{1m} + u_{1m} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $i_{1m}$ 、 $u_{1m}$  为正序故障分量中的工频量;

$i_{1m}$ 、 $u_{1m}$  为正序故障分量中的谐波分量。对于实际应用中的方向元件一般采用工频量  $i_{1m}$ 、 $u_{1m}$  的相位关系来检测故障发生的方向。

图2示出了保护线路内部和外部发生各种类型故障时正序故障分量等效网络。在超高压系统中, 输电线路保护均取线路侧电压并规定电流的正向为母线流入被保护线路, 当用  $U_1$ 、 $I_1$  分别表示正序电压和电流故障分量中的工频量时, 按图2(a), 有关系式:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1m} = -Z_{1m} \dot{I}_{1m} \\ \dot{U}_{1n} = -Z_{1n} \dot{I}_{1n} \end{cases} \quad (2)$$

对保护范围外部故障的等效网络如图2(b)所示, 这时对N端保护为反方向, 对M端为正方向。按图2(b)可得下式:

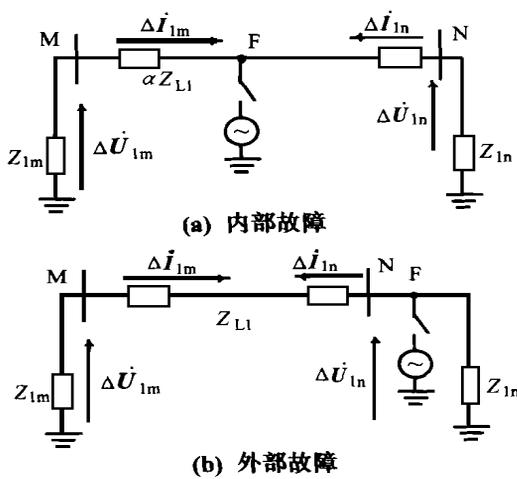


图2 系统故障正序故障分量等效网图

$$\begin{cases} \dot{U}_{1n} = \dot{I}_{1n} (Z_{1m} + Z_{L1}) \\ \dot{U}_{1m} = -Z_{1m} \cdot \dot{I}_{1m} \end{cases} \quad (3)$$

由式(2)和式(3)可见,正、反方向故障方向元件检测到的电压和电流关系有明显的区别。当正方向故障时,正序电流故障分量超前正序电压故障分量 $90^\circ$ ;而反方向故障时则有截然相反的关系。由此可见,反映 $\dot{U}_1$ 和 $\dot{I}_1$ 的相位关系构成的正序故障分量方向元件具有明显的方向性。

根据前述正序故障分量方向的定义,当 $\dot{I}_1$ 超前 $\dot{U}_1$ 判定为正方向故障,  $\dot{I}_1$ 落后 $\dot{U}_1$ 时判定为反方向故障。正、反方向动作判据可用下式表示:

$$\begin{cases} 0^\circ < \arg \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} < 180^\circ \\ 180^\circ < \arg \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} < 360^\circ \end{cases} \quad (4)$$

由于数字滤波器本身的暂态和CT、PT暂态产生的相位误差,并且考虑到前述系统阻抗角和线路阻抗角并非 $90^\circ$ 的事实,同时为了使方向元件有足够的动作灵敏度,可采用缩小正、反方向动作区的做法,实际应用中选用下列动作判据:

正方向动作判据:  $\angle \arg \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} < 180^\circ -$  (5)

反方向动作判据:  $180^\circ + < \arg \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} < 360^\circ -$  (6)

式(5)和式(6)中的为方向元件的闭锁角,可根据实际情况来决定大小,通常取 $0^\circ < < 30^\circ$ 。

### 3 几个特殊问题分析及解决方法

#### 3.1 大电源侧电压灵敏度不足问题

假定有这样一个双端电源系统,如图3(a),线路MN为长距离输电线路,M端为大电源,当在线路N端附近发生故障,正序故障分量序网如图3(b)。

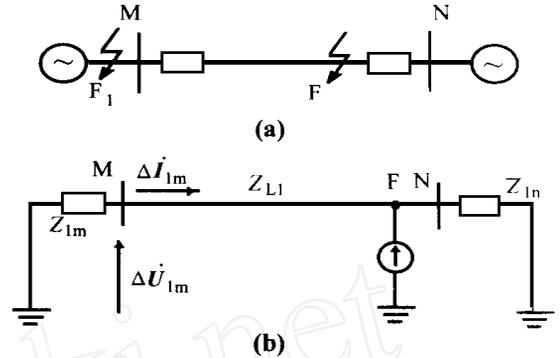


图3 两端电源系统

由图可得:  $\dot{U}_{1m} = \frac{Z_{1m}}{Z_{1m} + Z_{L1}} \dot{U}_F$  (7)

由于线路M端为一大电源系统,当 $Z_{1m} \rightarrow 0$ 或 $Z_{1m} \ll Z_{L1}$ 时,由式(7)可以看出, $\dot{U}_{1m}$ 变得很小,方向元件会出现电压灵敏度不足的困难。

为了在出现上述情况时保证方向元件动作的灵敏度,这里提出一种电压补偿的方法,具体分析是:先确定未补偿的正序故障分量方向元件动作判据为:

$$0^\circ < \arg \frac{\dot{U}_{1m}}{\dot{I}_{1m}} < 180^\circ \text{ 或 } 0^\circ < \arg Z_{1m} < 180^\circ \quad (8)$$

利用一补偿阻抗 $Z_b$ 进行电压补偿,这时方向元件上得到的电压 $\dot{U}_{1m}^b$ 为:

$$\dot{U}_{1m}^b = \dot{U}_{1m} - \dot{I}_{1m} \cdot Z_b = -\dot{I}_{1m} (Z_{1m} + Z_b) \quad (9)$$

将式(9)代入式(8)可得:

$$\begin{aligned} 0^\circ < \arg \frac{\dot{U}_{1m}^b}{\dot{I}_{1m}} < 180^\circ \\ \text{或 } 0^\circ < \arg (Z_{1m} + Z_b) < 180^\circ \end{aligned} \quad (10)$$

当取补偿阻抗 $Z_b$ 足够大且其阻抗角与 $Z_{1m}$ 相同时,方向元件将有足够的电压灵敏度,并且是工作在最大灵敏条件下。

针对图3(a),当在反方向 $F_1$ 点故障时,在采取电压补偿前,反方向动作判据为:

$$180^\circ < \arg \frac{\dot{U}_{1m}}{\dot{I}_{1m}} < 360^\circ \quad (11)$$

将关系式 $\dot{U}_{1m} = \dot{I}_{1m} (Z_{L1} + Z_{1n})$ 代入式(11),有 $180^\circ < \arg [ - (Z_{L1} + Z_{1n}) ] < 360^\circ$ ;采用电压补偿后有 $\dot{U}_{1m}^b = \dot{U}_{1m} - \dot{I}_{1m} Z_b = \dot{I}_{1m} (Z_{L1} + Z_{1n} - Z_b)$ ,所以补偿后的判据为:

$$180^\circ < \arg \frac{\dot{U}_{1m}^b}{\dot{I}_{1m}} < 360^\circ \text{ 或 } 180^\circ < \arg [ - (Z_{L1} + Z_{1n} - Z_b) ] < 360^\circ \quad (12)$$

由式(12)可见,保证反方向判据正确动作的条件为:

$$Z_b < Z_{L1} + Z_{1n} \quad (13)$$

所以  $Z_b$  大小不能任意选取,必须考虑到引入  $Z_b$  后不会引起方向性的破坏。根据既要保证方向元件在正向故障时电压有足够的灵敏度,又要满足式(13)条件,  $Z_b$  的大小应选取适中,实际应用中可按  $Z_b = 0.5 Z_{L1}$  选取<sup>[1]</sup>。

需要指出的是,在实际中,应根据系统和线路的实际情况来确定是否需要电压补偿,只有在故障后,检测到的电压故障分量很低,不能满足灵敏度要求时,才有必要加入补偿电压。补偿电压通常是故障后进行自动检测、自动加入的方法。

### 3.2 防止振荡误动问题

电力系统正常运行时,由于某种原因引起系统静稳定或暂态稳定破坏时,会造成电力系统非同步运行,使系统发生振荡。振荡时,系统中的电流和各点电压的有效值和相位,以及距离保护的测量阻抗和系统频率都将发生变化。按一般原理总认为故障分量只在故障时出现,在非故障条件下,不应出现故障分量。但实际中,就目前提取故障分量的方法,还不能完全达到上述要求。在系统发生振荡时,故障分量提取回路有较大的不平衡电流输出,而这种不平衡电流带有一定的随机性,有时与故障特征的区别不明显,从而可能会使正序故障分量方向元件误动作。

防止方向元件在振荡时误动,一种方法是采用浮动门限<sup>[4]</sup>,它的工作原理是随着故障分量提取回路的不平衡量增减,门限值自动增大和减小。可用一个表达式表示为:

$$S_D = S_G + S_F \quad (14)$$

式中“ $S$ ”代表电压和电流,  $S_G$  为固定门限;  $S_F$  为浮动门限。浮动门限的设立是用于限制方向元件的电压、电流的启动值。为防止由不平衡量引起误动,可根据实时测量的不平衡输出量的大小对浮动门限  $S_F$  进行整定,其整定值的大小一方面防止保护装置在振荡时误动,同时还应保证在系统振荡过程中发生故障时保护装置能可靠动作。而上述两个条件往往很难同时满足,所以,这就给浮动门限的整定带来了很大困难。

为此,本文提出一种利用已获得的正序故障分

量变化方式先进行振荡与故障判别来防止方向元件在振荡时的误动。其原理表述如下:

设电流正序故障分量模值利用下列两式获得:

$$i^{(1)}(k) = |i(k) - i(k - N)| \quad (15)$$

$$i^{(2)}(k) = \left| \left| i(k) + i\left(k - \frac{N}{2}\right) \right| - \left| i\left(k - \frac{N}{2}\right) + i(k - N) \right| \right| \quad (16)$$

通过对系统各种变换状态下式(15)、式(16)两种模值的大小统计、分析,得到如下判据<sup>[5]</sup>,系统发生故障时满足下式:

$$\begin{cases} i^{(2)}(t) > \\ \frac{i^{(1)}(t)}{i^{(2)}(t)} < 1 + \end{cases} \quad (17)$$

判据中的两个门限值,是通过测试启动元件在纯振荡中的数值范围精确得到。为防止一定干扰的入侵影响,可再加一定的裕度量。

直接利用正序电流故障分量首先判断振荡与故障,若判断为是系统发生振荡,就将方向元件实行闭锁。这一方法可靠、灵敏、快速,能够有效防止方向元件的振荡误动。这在高频方向保护和距离方向保护中优点最突出。

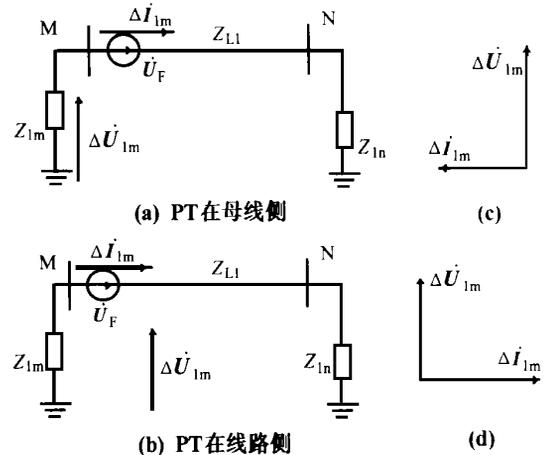


图4 一端合闸于故障线路时的故障附加状态网络图

### 3.3 空载合闸故障线路问题

当带有短路故障的线路由一端(例如  $m$  端)合闸时,方向元件的动作行为与电压互感器的位置有关,用图4说明。图4(a)、(b)中分别给出了电压互感器在母线侧和在线路侧的故障附加状态网络图。由图4(a)可写出:

$$\dot{U}_{1m} = - \dot{I}_{1m} Z_{1m} \quad (18)$$

由图4(b)可写出:

$$\dot{U}_{1m} = \dot{I}_{1m} (Z_{L1} + Z_{1n}) \quad (19)$$

其对应的向量图如图 4(c)、(d) 所示。

由此可见,当电压互感器位于线路侧时,反映正序故障分量的方向元件不能判出线路故障,出现拒动现象。对于上述现象,一般的考虑是采用附加保护,由于高压线路有分布电容存在,空载合闸时,即使线路无故障,也会产生较大的暂态电流,同时考虑到断路器可能三相不同时合闸,还会短时出现大的负序和零序电流,这样当采用简单的电流保护就遇到一定困难。目前在实际中多考虑用阻抗元件实现附加保护,阻抗元件通常采用偏移阻抗特性的,以消除电压死区。

在实际中,长期运行经验证明,线路合闸充电时若存在故障,绝大多数是本线区内的故障<sup>[6]</sup>,如检修质量不良或忘拆安全作业短路接地线等,又如自动重合于永久性故障等。于是在手动合闸时造成故障。笔者认为,在此种情况下合闸,应将保护的延时取消(如距离保护的第三段保护延时)以达到快速切除全线任何一点故障的目的,而不考虑刚巧在合闸时发生区外故障的可能性。因为有些保护在断路器合闸时由于暂态电流的影响而动作不正常,与其采取复杂的措施改善这些保护在断路器合闸时的性能,不如在合闸时将方向元件闭锁,若线路故障就直接跳闸。

#### 4 结论

利用故障分量实现某种功能是近些年来继电

保护技术的热点,由于正序故障分量不仅能反映不对称故障,而且也能反映对称性故障,作为方向元件已应用于实际。但在实际应用中存在几个特殊问题,如大电源侧电压灵敏度不足问题、防止振荡误动问题、空载合闸故障线路问题。本文在分析正序故障分量方向元件的基础上,对其在实际应用中存在上述的几个主要的特殊问题进行了分析,并提出了相应的处理措施。对于微机保护装置的研究、设计、运行、维护都有一定的参考价值。

#### [参考文献]

- [1] 葛耀中. 继电保护技术的新发展. 继电器, 1998, (2).
- [2] 王安定等. 反映正序故障分量的方向元件及其计算机仿真. 中国电机工程学报, 1986, (9).
- [3] 许继电气股份有限公司. WXH-25(S)型微机线路保护装置技术手册.
- [4] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术. 西安交通大学出版社, 1996.
- [5] 孔繁鹏等. 一种区分振荡与故障的新方法. 电力系统自动化, 1995, (4).
- [6] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术. 中国电力出版社, 1995.

收稿日期: 1998-10-22

作者简介: 张承学(1952-), 男, 教授, 从事电力系统自动化研究; 丁书文(1967-), 男, 硕士生, 从事电力系统微机保护研究。

### DISCUSSION TO A FEW PARTICULAR PROBLEMS TO NEW DIRECTIONAL RELAY BASED ON POSITIVE SEQUENCE FAULT COMPONENTS

ZHANG Cheng-xue, DING Shu-wen

(Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, College of Electric Engineering, Wuhan 420072, China)

**Abstract** Although directional relay based on positive sequence fault components to other directional relay, they have some problems under particular conditions and circumstances too. This article elucidates a few particular problems based on discussing the principle of directional relay based on positive sequence fault components and proposed some new viewpoints.

**Key words** positive sequence fault components; directional relay; particular problems

### 许继集团出资 2000 万元 设立“许继奖教金”

许继集团有限公司积极响应党中央、国务院关于“科教兴国”、“尊师重教”的号召,愿为我国教育事业的发展提供资助,出资 2000 万元,在中华电力教育基金会下,设立“许继奖教金”。每年用 2000 万元基金的利息 100 万元,奖励在电力系统继电保护和电力系统自动化专业方向人才培养方面取得突出成就和做出较大贡献的部分高校教师,并资助有关科研开发项目。

1999 年 4 月 16 日,来自国家电力公司、国家电力企业联合会、中华电力教育基金会、清华大学、华北电力大学、哈工大、西安交大、合肥工大、山东工大、天津大学等电力部门的领导、专家与教授参加了“许继奖教金”的成立仪式及“许继奖教金”工作委员会成立大会。