

一种新型纵差保护的原理及应用

丁网林¹ 骆健¹ 金乃正² 沈水明²

(1. 电力自动化研究院南京中德保护控制系统有限公司 江苏省南京市 210003)

(2. 浙江省绍兴市电力局 浙江省绍兴市 312000)

摘要: 电流纵差保护是电力系统中使用最广泛的主保护之一。本文在分析传统微机差动保护原理不足和应用局限性的基础上,提出了一种新型的纵差保护,并对它的原理、动作特性等进行了分析。重点对快速电荷比较、制动电流的计算、CT自适应原理和装置测量总误差进行了阐述。最后说明了该保护的应用情况。结果表明,该保护在被保护对象外部故障时,具有很高的稳定性和可靠性,而内部故障时又具有速动性、灵敏性,能满足长线路变压器组和“T”型接线及“Π”型接线线路保护的要求。

关键词: 差动保护; 电荷比较保护; 长线路变压器组

0 引言

电流纵差保护由于其原理简单、运行可靠、动作快速准确等优点,使其在变电站、发电机、电抗器等主设备保护中得了广泛的应用,而且在高压、超高压线路也普遍使用。由此可见电流纵差保护在电力系统保护中的重要性非同一般。但是随着电力系统的发展,电力网的接线越来越复杂,现有的线路电流纵差保护存在以下问题:

a、长线路中带有变压器,传统微机线路保护没有CT匹配和矢量变换功能。通常线路中既要有线路纵差保护又要有变压器差动保护,这样配置的保护装置调试复杂。

b、要求线路两侧CT的变比相同,特相一致,电流相位一致。

c、对于复杂的电网特别是“T”型接线、“Π”型接线以及更为复杂的电力网,无法实现保护。

d、国内外电流差动保护的判据大致分为全电流差动保护和相电流突变量差动保护。

全电流差动保护的判据为:

$$\left| \dot{I}_m + \dot{I}_n \right| > I_{diff} > \quad (1)$$

$$\left| \dot{I}_m + \dot{I}_n \right| > k \left| \dot{I}_m - \dot{I}_n \right| \quad (2)$$

式中 \dot{I}_m, \dot{I}_n 为线路两侧的电流,电流的方向均为指向线路。 k 为制动系数,通常为 $0 < k < 1$ 。

相电流工频突变量差动保护的判据为

$$\left| \Delta \dot{I}_m + \Delta \dot{I}_n \right| > \Delta I_{diff} > \quad (3)$$

$$\left| \Delta \dot{I}_m + \Delta \dot{I}_n \right| > k \left| \Delta \dot{I}_m - \Delta \dot{I}_n \right| \quad (4)$$

式中 $\Delta \dot{I}_m, \Delta \dot{I}_n$ 为线路两侧故障时的电流增量。 k 为制动系数,通常为 $0 < k < 1$ 。

上述两种类型的差动保护都建立在线路故障时CT没有饱和的情况下,倘若线路两侧CT在线路故障的过

渡过程中，发生饱和的特性不一样：一侧严重饱和并畸变，另外一侧能反映故障时的电流。通常情况下 k 值在0.1—0.3之间，保护检测到的电流可能满足式（1）和（2）或式（3）和（4），这样就可能造成保护在线路穿越性故障的情况下误动。有些保护对此情况采取了一些措施，如附加稳定等，但都是以牺牲保护动作时间为补偿的，如果由穿越性故障转化为内部故障时，只有等附加稳定的闭锁时间消失以后才能动作。

以上分析看出，目前的电力系统保护中，迫切需要一种新型的多功能的纵差保护。本文针对以上纵差保护的不足，提出了一种新型的西门子纵差保护系列产品7SD的原理，并对其动作情况进行了分析，力求对国内保护界有一定的借鉴作用。

1 新型纵差保护7SD的原理

1.1 基本工作原理

装置的工作原理是基尔霍夫定律即 $\sum_{i=1}^k I_i = 0$ 。线路差动保护的基本工作模型如图1所示。

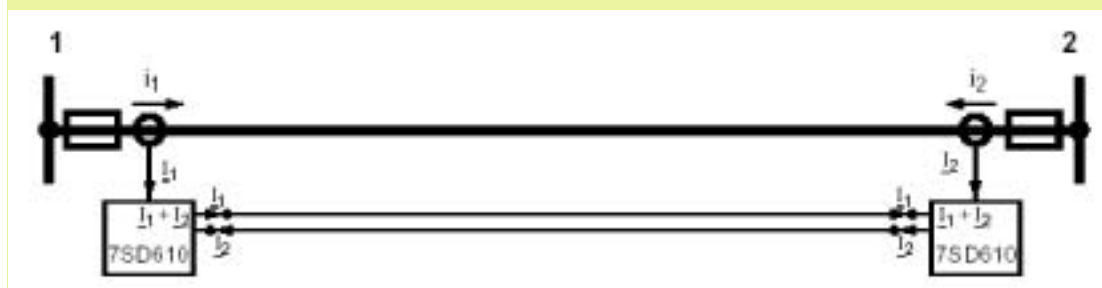


图1 线路差动保护7SD6的基本工作模型

Fig.1 Differential protection for a line

系统各侧各装有一个保护装置，各侧的保护装置分别检测当地电流，同时将本侧的电流通过光纤传送到其它侧以便与各侧电流进行比较。若保护对象为一条线路，设一侧电流为 \dot{I}_1 ，另外一侧电流为 \dot{I}_2 。理论上，在正常工作情况下， $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0$ ；线路内部故障时， $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_{fault}$ ， \dot{I}_{fault} 为故障电流。

1.1.1 装置的动作特性

7SD差动保护的動作特性如图2所示，

I_{diff} a

$I_{diff} \gg$ c

$$I_{diff} > \quad b$$

$$I_{rest}$$

图2 7SD差动保护的動作特性

Fig. 2 Pickup characteristic of the differential protection $I_{diff}>$ -stage

横坐标为制动电流 I_{rest} ，纵坐标为差动电流 I_{diff} 。 $I_{diff} >$ 为差动起动电流，其主要跟线路的充电电流有关，一般为2—2.5倍的充电电流，同时要大于15%的额定工作电流。 $I_{diff} >>$ 为充电补偿高速段，直线a为向右平移 $I_{diff} >$ 并跟纵坐标平行，直线b为过原点斜率k为1的直线，直线c为 $I_{diff} >>$ 高速段。由直线a、直线b与直线c组成的“trip”部分为装置的动作区。

1.1.2 动作判据

装置的动作判据如式（5）、（6）所示

$$\left| \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \right| > I_{diff} > \quad (5)$$

$$\left| \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \right| > I_{rest} \quad (6)$$

式中 $I_{diff} >$ 为差动保护的起动电流， I_{rest} 为制动电流。

$$I_{rest} = I_{diff} > + \sum(I_{error}) \quad (7)$$

从（7）中可以看出制动电流跟通常的取法不一样，它为差动起动电流 $I_{diff} >$ 及所有误差引起的系统的综合误差电流 $\sum(I_{error})$ 之和。

1.1.3 动作特性分析

a、CT不饱和情况下的分析

以保护线路为一条线路为例。当发生穿越性故障时，由于CT不饱和，两侧装置能在误差允许范围内正确反映各侧的电流，因而差动电流为：

$$I_{diff} = \left| \frac{I_1}{I_N} \cdot CT_{\text{误差系数}} - \frac{I_2}{I_N} \cdot CT_{\text{误差系数}} \right| + \sum(I'_{error}) \quad (8)$$

制动电流为：

$$I_{rest} = I_{diff} > + \frac{I_1}{I_N} \cdot CT_{\text{误差系数}} + \frac{I_2}{I_N} \cdot CT_{\text{误差系数}} + \sum(I'_{error}) \quad (9)$$

$\sum(I'_{error})$ 为装置除CT误差以外的其它误差和。显然 $I_{diff} \ll I_{rest}$ ，而动作特性为 $I_{diff} / I_{rest} = 1$ ，因而不会误动。

当发生内部故障时， $I_{diff} = \frac{I_1}{I_N} + \frac{I_2}{I_N} + \sum(I_{error})$ 而 I_{rest} 仍为 (9)， $CT_{误差系数}$ 通常为0.05，

通常也在0.2以下，显然 $I_{diff} > I_{rest}$ ，即 $I_{diff} / I_{rest} > 1$ ，装置可靠动作。

b、CT饱和情况

对于CT饱和的情况，当发生穿越性故障时若线路两侧的CT特性不一致，在故障过渡过程中，有可能差动保护会误动。7SD系列产品针对以上情况专门采取了以下措施。

I、通过掌握CT的工作特性阻止差动保护误动，这包括CT的特性数据、两次回路情况、CT的额定精度极限因子 n ，额定功率 P_N 等。

II、通过快速电荷比较的差动保护实现

快速电荷比较保护为电流差动保护中的一部分。CT饱和之前，如果有大电流发生，快速跳闸命令就发出。它不需要像定值段那样传递各侧的电流相量，而是传递根据公式 $Q = \int_{t_1}^{t_2} i(t)dt$ 的电流积分，其中积分段 $t_1 - t_2$ ，通常为1/4周期，对于50Hz系统即为5ms，计算的电荷 Q 为一个标量，它远远比复相量的判断和传输简单。

利用两侧电荷和，就能实现差动保护。如果发生区内故障，则两侧电荷的和为 $|Q_1| + |Q_2|$ ，能快速动作跳闸；若区外发生区外故障，理论上 $Q_1 + Q_2 = 0$ ，因而可靠制动。

当发生大电流故障时，若为区内故障，由于数据分析只需要故障开始1/4周波的数据，因而在CT未饱和时，其判断跳闸已经起动，因而能实现CT饱和时的快速跳闸；若为区外故障，同样也是在CT未饱和时，就能做出判断，理论上 $Q_1 + Q_2 = 0$ ，能很快确定为区外故障，并快速闭锁保护。装置直到区外暂态过程消失后，才开放该保护功能。在保护可靠躲过CT饱和的情况下，对于区外故障转化为区内故障的情况，可以通过差动电流 $I_{diff} >$ 段来实现。另外电荷电流也受线路充电电流以及变压器冲击电流的影响，当然这次额可通过充电式定值切换及涌流制动实现。

从以上分析可得这种新型差动保护原理在区外故障时能可靠制动，而在区内故障是能可靠动作。

1.2 CT自适应原理

差动保护采用的是基尔霍夫定律，正常情况下电流等于零，但是如果线路两侧CT在过流时有不同的误差，在CT饱和时会产生很大的误差，以至于误动，本装置利用电流互感器特性来阻止此种情况的发生。电

流互感器的两个参数为：额定精度极限 n ，额定功率 P_N 。工作精度极限因子为 $\frac{n'}{n} = \frac{P_N + P_i}{P' + P_i}$

其中 n' 为工作精度极限因子

n 为CT的额定精度极限因子

P_N 为CT额定电流情况下的额定负荷

P_i 为CT额定电流情况下的应有负荷

P' 为CT额定电流情况下的实际负荷（装置及二次回路）

CT误差根据DIN0414标准计算，5 P 为1%，对于为10 P 为3%。

根据工作精度极限因子 n' 、额定精度极限 n 和CT误差系数，就能导出CT的运行情况，并根据此推出CT的自适应特性。

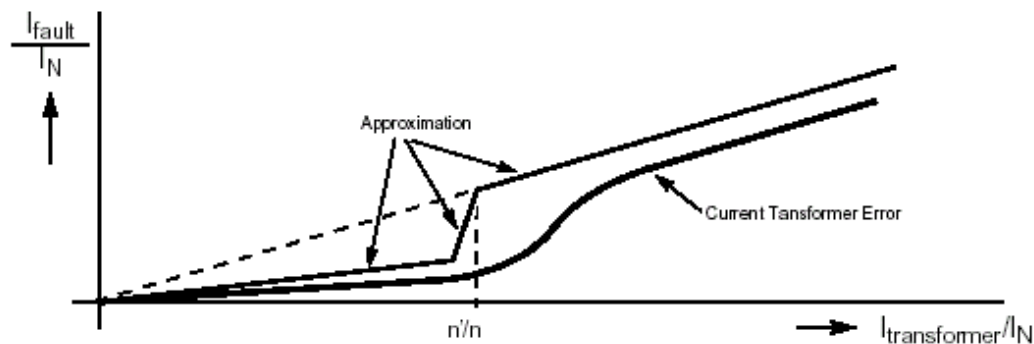


图3 CT误差特性

Fig.3 Approximation of the current transformer error

1.3 装置测量总误差的概念

制动电流的计算采用了新原理，它不仅跟整定值 $I_{diff} >$ 有关，而且跟系统测量的总误差 $\sum(I_{error})$ 有关。 $\sum(I_{error})$ 包括以下及部分。

a、CT的误差

b、若线路中包含变压器，包括变压器有载调压的误差。

c、装置硬件软件误差，频率偏移误差，传输误差。其中频率偏移误差主要由于合闸于故障，频率来不及确定的情况下，通过估算频率确定。

1.4 线路变压器组的处理

本保护系统可以处理长线路带变压器的系统。

1.4.1 空载送电涌流制动

本装置采用二次谐波制动方法实现，二次谐波制动可以为分相制动，也可以为三相交叉制动。

1.4.2 矢量变换及CT匹配

装置可实现变压器任意接线方式的矢量变换，0—11点，典型矢量变换如11点接线，矩阵如下：

a、不接地

$$\text{星型侧: } \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,0,0 \\ 0,1,0 \\ 0,0,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\text{三角形侧: } \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} -1,0,1 \\ 1,-1,0 \\ 0,1,-1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{bmatrix} \quad (11)$$

b、接地

$$\text{星型侧: } \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2, -1, -1 \\ -1, 2, -1 \\ -1, -1, 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{bmatrix} \quad (12)$$

三角形侧同式 (11)。

从上面的分析可以看出均为“ Δ ”向“Y”侧转化。 I_A, I_B, I_C 为矢量变换后电流； I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} 为各侧电流。

关于CT匹配主要是根据系统额定容量 S_N 和电压 U_N 向标么值电流转换，即 $I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N}$ ，

$I_n = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} \cdot \frac{1}{CT\text{变比}}$ ， $I^* = \frac{I}{I_n}$ ， I^* 为运行时各侧标么值， I_N 为一次额定电流， I_n 为二次额定电流。

1.5 多端线路保护的实现

本保护系统可以实现2—6段线路差动保护，因而完全满足“T”型接线及“ Π ”型接线的方式。

2 应用

本套保护系统可以适用于超高压、高压和低压线路或线路变压器组的保护，也适用于多端线路的保护。

2.1 光纤通信

系统通过多模光纤连接时，ST接头820nm，最大可以传输3.5公里，若通过单模光纤，FC接头，1300nm，最大可以传输35公里。另外通过通信转换器可直接实现通信网络连接。

2.2 长线路变压器组的应用

如下图4长线路变压器组的情况

CB1 CB3 CB2

7SD

7SD

图4 长线路变压器组保护的实现

Fig.4 protection of long line-transformer unit

对于没有CT匹配及矢量变换的情况，需要配置线路差动及变压器差动，该系统中最起码要多一组CT及开关，因而一次设备投资成本很高，并且保护配合及动作也比较麻烦。若使用7SD配置，如图4所示两台装置就可以实现，并且不需要再装一组CT及断路器。

2.3 多端线路保护的应用

如果是“T”型接线的情况，可以用三台7SD实现，装置可接成“链型”方式，也可以接成“环

形”方式。“链型”方式可以节省一根光纤，成本低，但是只要一根光纤发生故障，就不能工作，可靠性低。“环形”方式在发生一根光纤故障的情况，系统在100ms之内就能恢复“链型”工作方式，不影响保护的正常运行，因而工作可靠。

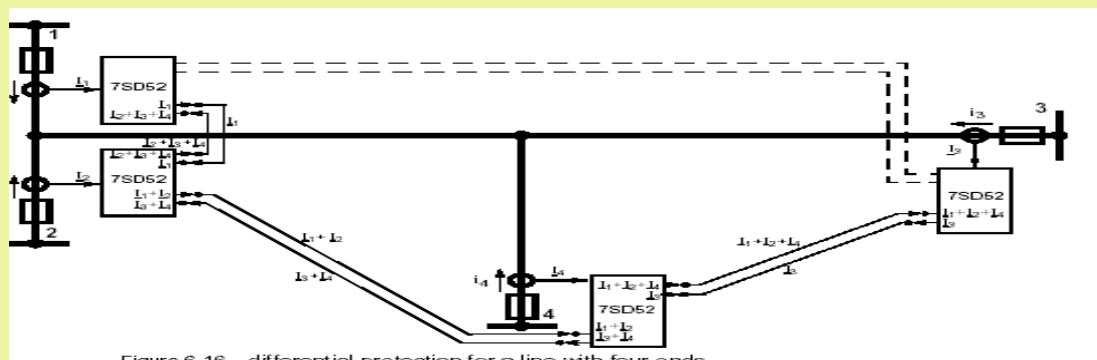


Figure 6-16 differential protection for a line with four ends

图5 多端线路保护的应用

Fig. 5 application of multi-end protection

2.4 应用情况

7SD系列产品从2001年初投入市场以来，因其工作原理新颖、运行可靠、使用方便灵活、适用于各种系统，受到用户的极大欢迎。仅本公司在国内就已推出30多套，在电力系统尤其在大型石化、电厂获得更为广泛的应用。

3 结论

本文在分析了国内外电流差动保护原理及其局限性的基础上提出了一种新型的多功能电流差动保护，并对它的原理和应用特点进行了阐述。理论分析及应用的结果表明，7SD系列产品是一种高效、可靠、灵活的差动保护。

参考文献

- 1 朱声石 高压电网继电保护原理与技术 北京：中国电力出版社，1994
- 2 王维俭 电气主设备继电保护原理与应用 北京：中国电力出版社，1995
- 3 SIPROTEC Differential Protection 7SD610 manual 2001
- 4 SIPROTEC Differential Protection 7SD522 manual 2001

作者简介：

丁网林，男，工程师，硕士，主要从事变电站综合自动化和微机保护的研究开发和应用。

骆健，女，硕士，主要从事电力系统故障信息采集与分析及微机保护的研究开发和应用。

金乃正，男，工程师，调度所副主任，主要从事微机保护的分析和整定及运行工作

沈水明，男，高级工程师，主要从事微机保护的分析和计算、整定及运行工作

PRINCIPLE AND APPLICATION OF A NEW DIFFERENTIAL PROTECTION

Ding Wanglin¹ Luo Jian¹ Jin Naizheng² Shen Shuiming²

(1. Nanjing Sino—German Protection & Substation Control Systems Ltd, Nanjing 210003)

(2. Shaoxing Power Supply Bureau, Shaoxing 312000)

Abstract: Current differential protection is wide used in power system. Based on analyzing the deficiencies

of the traditional digital protection, this paper introduces a new principle of differential protection, analyzes its principle, action characteristic and application. charge comparison, calculation of restraint current, self-adaptive principle and sum of error are also been described. The result shows that the protection system have very high reliability and sensitivity and can satisfy the requirement of long line-transformer unit and “T” type or “ Π ” type line protection.

Key Words differential protection ; charge comparison protection ; long line-transformer unit