

国外 220kV 差动保护的特点原理分析

杨彪

(绍兴电力局,浙江 绍兴 312000)

摘要: 根据国外微机差动保护在绍兴电力局的应用情况,以西门子 7UT51 系列差动保护为例,着重分析其电流相位调整、零序电流处理、二次谐波交叉制动以及 TA 饱和附加制动的原理和方法,并推导出西门子没有给出的 Y(N) d11 接线变压器的相位匹配方程。

关键词: 西门子; 差动保护; 相位匹配; 交叉制动; TA 饱和; 附加制动

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2003)07-0084-04

1 概述

近年来,进口保护因其高可靠性、高灵敏性而在我国被大量使用。但进口微机差动保护装置原理与国内主流差动保护装置在某些方面存在较大的差别,这给现场调试和运行带来了一定程度的困难。作者根据近年来实际使用的经验,对其基本原理加以分析,着重分析其电流相位匹配、零序电流处理、二次谐波交叉制动以及 TA 饱和附加制动等几个方面。分析过程皆以双绕组变压器为例,其他应用情况可由此类推。

7UT51 系列微机电流差动保护具有比率制动特性,带二次谐波及高次谐波制动的分相电流差动保护系统,其最基本原理仍是差动原理,差动电流 (I_d) 为各侧电流相量和的模,制动电流 (I_s) 为各侧电流相量模的和(国产继电器多取其值的 1/2)。

7UT51 的动作特性曲线如图 1 所示。

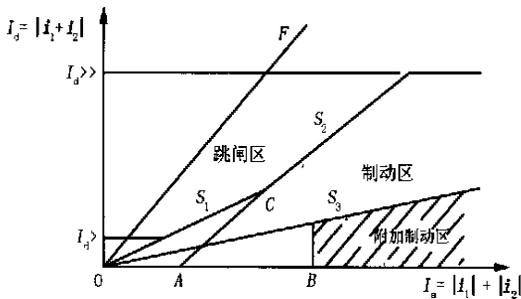


图 1 差动保护的動作特性曲线

Fig. 1 Operation characteristics of the differential protection

图中: $I_d >$ 为差动保护起动作值; $I_d >>$ 为差动速断起动作值。

曲线 S_1 主要考虑由主 TA 及继电器 TA 的变比误差或由主变分接头位置改变而产生的误差,这种误差在 TA 饱和前与电流基本成比例增加。曲线 S_2

主要考虑在大电流范围内,由于 TA 饱和,测量电流误差将会急剧增大,因此其斜率比 S_1 更高。 $I_d >$ 、 S_1 、 S_2 、 $I_d >>$ 四线构成了差动保护动作边界。曲线 S_3 斜率固定为 S_1 的 1/2,它与过 B 点的垂直线构成了所谓的附加制动区。F 为故障特性曲线,斜率为 1。

7UT51 动作特性曲线,斜线部分分为两段,这是它的特点之一,这使得它可以更好的与 TA 饱和特性曲线相匹配,从而在获得较高灵敏性的同时又不失其可靠性。但两段斜率优势的发挥,必须以对 TA 饱和特性的了解为基础,即在现场整定计算时,应首先获得差动保护所接的 TA 特性曲线(厂家提供),按该 TA 特性曲线,分别确定 S_1 和 S_2 的斜率,从而使 $I_d >$ 、 S_1 、 S_2 组成的线段进一步与 TA 饱和特性曲线相匹配,使该功能得到充分的发挥。但有时在现场往往得不到 TA 饱和特性曲线,从而饱和开始点的位置不易确定,作者根据现场实际工作经验,认为可将两段斜率整定为同一数值,即变成传统的一段斜线。

2 极性和变比的匹配

7UT51 为分相式差动系统,对变压器各侧 TA 的接线不要求 Y/ 的转换,各侧 TA 全部按照 Y 形接法实测各相电流即可。在此需注意的是,变压器各侧 TA 的极性规定必须依照同一原则(如同为减极性),且 TA Y 形中点的指向必须正确地输入继电器。TA 极性、变比和电流相位的调整,由继电器根据变压器及 TA 的额定数据由软件完成。

2.1 TA 极性匹配

对 TA Y 形中点接向变压器的情况,继电器不作处理,对 TA Y 形中点指向母线或线路的情况,继电器将本侧测得的电流相位反相。

2.2 TA 变比匹配

已知各侧 TA 的变比及变压器变比,继电器通过简单计算即可获得用于差动保护比较的各量,因此 TA 变比的选择仅在设计时考虑一次动热稳定及本身二次误差特性的要求,整定计算时无须再考虑。

3 电流相位匹配

电流相位匹配亦即变压器组别的匹配。在变压器接线组别作为额定数据输入继电器后,继电器根据与各组别相应的固定的匹配方程来完成组别的匹配,因幅值匹配已由 TA 变比匹配来完成,组别匹配时必须保持幅值不变,在文献[1]中,西门子给出了 Y(N) d5 接线的变压器的匹配方程实例,根据此例的思想,笔者推导了我国常用的 Y(N) d11 接线变压器的匹配方程,如下:

$$\begin{matrix} \text{对 Y 绕组} \\ \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = 1/3 \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

$$\begin{matrix} \text{对 绕组} \\ \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix} = 1/\sqrt{3} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{11} \\ I_{12} \\ I_{13} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

其中: I_{L1} 、 I_{L2} 、 I_{L3} 、 I_{11} 、 I_{12} 、 I_{13} 为经 TA 相位及变比匹配后实测的各侧三相电流相量。 I_A 、 I_B 、 I_C 、 I_a 、 I_b 、 I_c 为经过匹配处理后各侧用于差动保护比较的三相电流相量。

将方程(1)中的第一行展开得:

$$I_A = 1/3(2I_{L1} - I_{L2} - I_{L3}) = 1/3[(I_{L1} - I_{L2}) + (I_{L1} - I_{L3})]$$

当三相对称时用相量图表示如图 2(a)。

由图 2 可知

$$I_A = 1/3(2I_{L1} - I_{L2} - I_{L3}) = 1/3 * 3I_{L1} = I_{L1} \quad (3)$$

同理可知 $I_B = I_{L2}$, $I_C = I_{L3}$

将方程(2)第一行展开可得:

$$I_a = 1/\sqrt{3}(I_{11} - I_{13}) \quad (4)$$

当三相对称时,用相量图表示如图 2(b),为便于与图 2(a)比较,图 2(b)中各相电流已按变压器 11 点组别关系前移 30°。由图可知,经过匹配方程的转换,形侧用于差动保护比较的量 I_a 已调整为与 Y 形侧相量 I_A 在同一条直线上,而幅值不变, I_b 与 I_b 、 I_c 与 I_c 的相位匹配与此同理。

由匹配方程可知,与传统差动保护 Y- 相位调整不同,7UT51 采用的是 - Y 调整,这样做的好

处是实现起来简便且保护灵敏度较高,但也必然会带来一个对 Y 形绕组零序电流处理的问题。

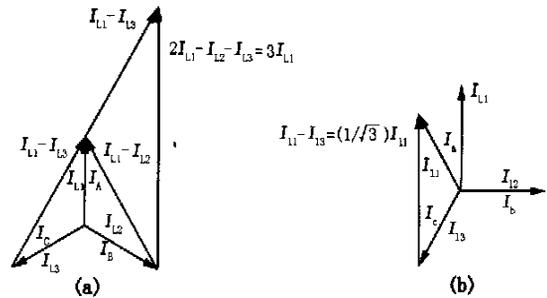


图 2 Y(N) d11 接线组别的匹配

Fig. 2 Vector group matching of Y(N) d11 connection

4 零序电流的处理

应该说明,图 2 的成立是以 I_{L1} 、 I_{L2} 、 I_{L3} 及 I_{11} 、 I_{12} 、 I_{13} 三相对称为基础作出的。而当三相不对称时,由对称分量法可知:

$$I_A = 1/3[2I_{L1} - I_{L2} - I_{L3}] = 1/3\{[(I_{L1(1)} - I_{L2(1)}) + (I_{L1(1)} - I_{L3(1)})] + [(I_{L1(2)} - I_{L2(2)}) + (I_{L1(2)} - I_{L3(2)})] + [(I_{L1(0)} - I_{L2(0)}) + (I_{L1(0)} - I_{L3(0)})]\} \quad (5)$$

其中正序和负序分量为对称分量,分析结果与图 2(a) 相同或类似,零序分量因 $I_{L1(0)} = I_{L2(0)} = I_{L3(0)}$ 而消去,因此有: $I_A = I_{L1(1)} + I_{L1(2)}$ 即 A 相中零序电流已被消除, I_B 、 I_C 同理可证。

通常,对 Y 形绕组就用匹配方程(1)对电流相位加以调整,同时将零序电流的影响消除。实际上方程式(1)的真正用意即在于消除零序电流的影响。这样无论系统中性点是否接地,在发生区外接地故障时,差动保护都不会因零序电流的影响而可能误动(零序电流不会流过 Y 形绕组)。但这样做,也有其不利的一面,即在保护范围内发生接地故障时保护灵敏度下降 1/3。

若确定 Y 形侧系统为非直接接地系统,则匹配方程可直接利用方程(6)

$$\begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{pmatrix} \quad (6)$$

即 $I_A = I_{L1}$, $I_B = I_{L2}$, $I_C = I_{L3}$

这样,区内接地故障时保护灵敏度不会下降,但是在系统两点接地而有一点在保护范围内时,变压器会被立即切除,而不管系统两点接地故障切除顺序。

在直接接地系统中,利用中性点零序 TA 测得的零序电流,可对方程(1)加以修正,此时,Y形绕组匹配方程为:

$$\begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{pmatrix} + 1/3 \begin{pmatrix} I_{st} \\ I_{st} \\ I_{st} \end{pmatrix} \quad (7)$$

其中 I_{st} 为接地绕组中性点零序电流,以流入变压器为正(各侧各相电流也是以流入变压器为正)。以 A 相为例,区外故障时 $I_A = I_{L1} + I_{st}/3$,其中相电流 I_{L1} 中包含有零序分量,且方向为流出变压器,取负值, $I_{st}/3$ 方向为流入变压器取正值,两者抵消,零序电流的影响被略去,而在区内故障时,相电流互感器在故障点外侧, I_{L1} 中测不到相应的零序分量, $I_{st}/3$ 不会被抵消,从而保护灵敏度不会降低。

由于匹配方程的处理,在用单侧单相电流做差动起动值校验时,实测动作电流与定值之间会有存在一个固定的因数关系,对 Yd11 变压器的 Y 形侧,采用方程(1)消除零序电流时,此因数显然为 $3/2$,采用方程(6)和(7)时,因数为 1。对 Δ 形侧,采用方程(2),因数为 $\sqrt{3}$ 。

5 二次谐波交叉制动

通常二次谐波制动是按相工作的,二次谐波含量高于限值的相被制动,二次谐波含量低于限值的相依然可以动作。因此只要有一相符合动作条件,继电器即发出跳闸命令。可以设想若涌流出现时有两相电流都超过差动起动值,而其中仅有一相二次谐波含量超过限值而制动,则另一个二次谐波含量低于限值的相因无制动作用而可以引发跳闸。为避免此类误动,西门子提供了二次谐波交叉制动的功能,即二次谐波不仅对本相起制动作用,对其他相也起制动作用,只要有一相检测到涌流三相都闭锁。制动作用是通过设定出现前述情况后保护闭锁多少个周期来实现的。

但是,设定交叉制动也有其不利的一面,如变压器空载投入到区内预伏故障上时,无论涌流和/或故障发生在哪一相,保护动作时间都会延迟前述设定周期数,从保护速动性的角度来讲,这也是难以忍受的。因此,是否投入交叉制动功能以及制动多少个周期需根据实际工程的情况具体分析而定。西门子提供的缺省设定为 0 周期即不投入此功能,作者根据现场情况经常就使用此缺省值。在变压器空投困难时也可根据装置自身录取的故障波形确定一个适

当的闭锁周期数,前提是变压器投运前经检查无误。

6 TA 饱和的附加制动

近距离区外故障所产生的大穿越电流可能导致变压器两侧 TA 严重饱和,从而产生相当大的差流,在两侧 TA 饱和程度不同时,此差流更为明显。虽然动作特性曲线的上扬,大多数情况已可以躲过这种情况,但严重区外故障时差动电流和制动电流构成的坐标点仍可能位于图 1 中的跳闸区,保护仍可能误动。

为可靠、正确区分出内部故障与近距区外严重故障,7UT51 采取了一个区外故障 TA 饱和时的附加制动措施,图 1 中阴影部分示出了附加稳定区。TA 饱和的检测,考虑了 TA 的暂态特性。



图 3 外部短路暂态过程中的不平衡电流

Fig. 3 The unbalance current during the transient process of external fault

参照文献[2]中对 TA 暂态过程中不平衡电流的分析及实验录取的不平衡电流波形(图 3)可知,一次侧短路后,二次侧暂态不平衡电流可能超过稳态不平衡电流好几倍,且波形完全偏向于时间轴的一侧,这也就很有可能引起瞬时动作的差动保护错误动作。另外由于励磁回路具有很大的电感,励磁电流不能立即上升,图中不平衡电流最大值出现的时间不是在短路开始的瞬时,而是要滞后几个周期,这也是它与内部故障时出现的差动电流的一个重要区别,利用这一点即可构成辨别区外故障的一个判据。

区外故障开始的瞬时,制动电流很大而不平衡电流形成的差流还很小,过了几个周期后,差流才达到最大才可能超越动作边界,若在短路开始的瞬间,即差流与制动电流组成的坐标点(I_s 、 I_d)刚进入图 1 中所示附加制动区内时,即闭锁保护一段时间,在这段时间内,差流虽然达到了最大值,(I_s 、 I_d)可能越过了动作边界,但装置依然不会动作,待装置再次开放时,不平衡电流已下降到一个较小值。(I_s 、 I_d)又返回到制动区,这样就可以达到抗 TA 饱和的效果。一般情况下 CT 饱和时间是 8 个周期,西门子缺省整定的这段时间为 8 个周期,作者在整定计算时常采

用此值。

当内部故障时,制动电流大于差动电流的可能性极小, $(I_s、I_d)$ 立即沿故障特性曲线 F 移动,因而不会进入附加制动区。

若在外故障时差动保护在由附加制动附加差动闭锁的情况下,变压器又发生内部故障,此种原理构成的差动保护仍能可靠动作。只要 $(I_s、I_d)$ 点稳定地处于故障特性曲线上 2 个周期,附加制动立即被解除。

7 结语

西门子 7UT51 系列差动保护原理较完善,考虑周到,其动作特性曲线可更好地与 TA 饱和特性相匹配,能同时满足保护装置的可靠性和灵敏性,其对电流相位匹配的处理方法简洁方便,对 TA 饱和的

附加制动功能有独到之处,与国产保护相比,不足之处是它未考虑到 TA 回路断线闭锁差动保护功能,若运行中差动 CT 二次回路断线,保护易发生误动。

参考文献:

- [1] SIEMENS AG. 7UT51 Numerical Differential Protection Relay Instruction Manual [Z]. SIEMENS, 1995.
- [2] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理(第一版) [M]. 北京:中国电力出版社,1984.
- [3] 陈松林,李海英,等. RCS-978 变压器成套保护装置[J]. 电力系统自动化,2000,24(22).

收稿日期: 2002-11-29; 修回日期: 2003-01-21

作者简介:

杨彪(1961-),男,大学本科,继保专职,主要从事继电保护技术监督和整定计算工作。

The theoretical analysis of the characteristic of a 220kV overseas differential protection

YANG Biao

(Shaoxing Electric Power Bureau, Shaoxing 312000, China)

Abstract: Basing on the application of 7UT51 differential protection of Siemens company in Shaoxing Power Bureau, this paper analyzes the principle of current phase adjustment, zero-sequence-current processing, 2nd harmonic cross-blocking and CT saturation restraint, and also derives phase-matching equation of Y(N) d11 connections.

Key words: Siemens; differential protection; phase matching or adjustment; cross block; add-on stabilization

国家电力公司电化教育中心、北大光华管理学院、北大商学网 电力远程教育培训基站落成暨开班仪式

2003年6月21日,在国家电力公司电力培训基地隆重举行了国家电力公司电化教育中心、北大光华管理学院、北大商学网电力远程教育培训基站落成暨开班仪式。出席仪式的领导有许昌市市长毛万春、国家电力公司电教中心副主任王继昌、北大商学网有限公司副总裁、北大光华管理学院远程教育部主任廖原、许继集团董事长王纪年、许昌继电器研究所所长姚致清、北大商学网有限公司营销总监杨朝辉等。电力培训基地远程教育基站是由国家电力公司与北大光华管理学院、北大商学网有限公司合作建成,旨在给企事业单位的中高层管理人员提供一个 MiniMBA 教育和职业经理人培训的平台。更好地向社会各界提供高质量的远程教育服务,为中国企事业单位培养更多优秀的职业经理人和高层次的管理人才,促进中国经济健康、稳定的向前发展。我们竭诚欢迎社会各界的有志之士前来参加电力培训基地远程 MiniMBA 教育和职业经理人培训。“启迪广袤思维,迈向成功之路”是我们不懈的追求!