

微型机发变组故障分量差动保护运行分析

李晓华,陈德树,尹顶根

(华中理工大学电力工程系,湖北 武汉 430074)

摘要: WYB-01型微机发变组保护装置自投运以来运行情况良好,但是现在对其故障分量差动保护存在一些认识上的分歧。为此以发变组差动保护为例对故障分量差动保护在WYB-01型保护中的应用进行分析,以求引起更多的关注和讨论。

关键词: 故障分量; 差动保护; 微机保护; 发电机; 变压器

中图分类号: TM772 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2001)02-0052-04

1 概述

除负序分量和零序分量保护也可算作故障分量保护以外,基于故障分量来实现保护的原理最早可以追溯到模拟式保护如相电流差突变量选相等,但真正受到人们普遍关注和广泛研究则是出现微机保护技术之后。微机具有长记忆功能和强大的数据处理能力,可以获取稳定的故障分量,从而促进了故障分量原理保护的发展。

WYB-01型保护装置是第一套完全采用故障分量原理差动保护的微机发变组成套保护装置,其发电机纵差保护、变压器差动保护和发变组差动保护均采用了故障分量比率制动原理。作为一种保护原理,故障分量差动保护应用于发变组保护装置要经过一个加深认识和逐渐成熟的过程。WYB-01型微机发变组成套保护装置自1994年3月在葛洲坝二江电厂投入运行以来,经过现场经验的积累和装置改进完善后多年运行情况良好。

由于问题的特殊性,容易使人们对该装置中所用故障分量差动保护动作特性的认识产生一些分歧甚至误解^{[1][2][3]},因此有必要对其进行进一步分析和说明。由于篇幅有限,本文仅限于对WYB-01型微机发变组故障分量差动保护的動作特性、整定值的选取及现场接线等问题进行讨论。

2 发变组故障分量差动保护的基本构成

故障分量电流由故障后电流中减去负荷分量得到,由它来构成比率差动保护。习惯上常用 I_d 及故障分量,故也有人称之为“差动继电器”^[4]。下面以发变组差动保护(大差)为例,对WYB-01型微机发变组成套保护装置中所用故障分量差动保护先作一些说明。

2.1 发变组故障分量差动保护原理

为了分析问题的方便,以下不妨假设各侧电流的方向以流向内为正,变压器高压侧和厂用变分支电流已作Y/Δ变换和变比调整。该发变组差动保护按三侧量构成故障分量相量差动原理设计(变压器高压侧,发电机中性点及厂用变分支),其动作特性如图1所示。

保护采用如下动作判据:

比率制动判据:(1)

$$\begin{cases} I_d > I_{d.min} & \text{当 } I_r < I_{r.min} \text{ 时} \\ I_d > [I_{d.min} + K(I_r - I_{r.min})] & \text{当 } I_r > I_{r.min} \text{ 时} \end{cases}$$

式中: I_d 为差电流; I_r 为制动电流; $I_{d.min}$ 为差电流门槛值; $I_{r.min}$ 为拐点制动电流值。其中动作量 I_d 和制动量 I_r 分别如式(2)和式(3)所示($M=3$)。

$$I_d = |\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dots + \dot{I}_M| = |\dot{I}_i| \quad (2)$$

$$I_r = \text{Max}\{|\dot{I}_1|, |\dot{I}_2|, \dots, |\dot{I}_M|\} \quad (3)$$

辅助判据:

(a)励磁涌流闭锁判据: $I_{d2} > K_{d21} I_{d1}$ (4)

式中: I_{d1} 、 I_{d2} 分别为差流中基波和二次谐波电流故障分量幅值; K_{d21} 为二次谐波比制动系数。

(b)差流速断判据(满足时直接出口):

$$I_d > K_{d3} I_n \quad (5)$$

式中: I_n 为额定电流, K_{d3} 为额定电流倍数。

保护装置中还有CT断线闭锁判据等其他辅助判据,此处从略。

2.2 故障分量差动保护的動作特性

差动量本身是各侧电流相量之和,忽略变压器两侧负荷电流的误差之后,故障分量原理与传统原理的差动量相同,不同之处主要是表现在制动量上。文^[4]对于两侧电流向量构成的故障分量差动保护的

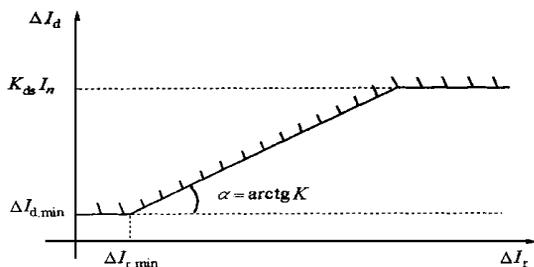


图1 故障分量差动保护动作特性

动作特性已经作了具体分析,但是采用多侧电流向量的故障分量差动保护的動作特性不同于两侧差动,有必要对其作进一步的分析。

2.2.1 两侧与多测量故障分量差动保护对比分析

下面按照前述假定正向,并以动作特性是过原点的斜线为例,首先考虑在不计误差的情况下,分析内外部故障时比率制动系数 K 的选取。

对于两侧差动保护,其制动电流可以采取不同的形式。下面以较常用并且分析较多的和差式制动原理^[6]与最大侧电流制动式为例进行对比分析。它们的动作判据分别如下:

$$| \dot{I}_1 + \dot{I}_2 | > K_x | \dot{I}_1 - \dot{I}_2 | \quad (6)$$

$$| \dot{I}_1 + \dot{I}_2 | > K_{y\max} \{ | \dot{I}_1 |, | \dot{I}_2 | \} \quad (7)$$

对内部故障而言,无论保护判据采用(6)还是(7),故障分量差动原理在内部故障时,总会有 $|\dot{I}_d| / |\dot{I}_r| > 1$ 存在。故在双侧电源条件下,即使取制动系数 $K=1$,亦能保障在发生最轻微故障时保护的灵敏度。为防止当只有一侧电源时 $I_d = I_r$ 使保护在发生内部故障时拒动, K 值的选择仍必须小于1。故障分量原理的一个重要特点是即使 K 值取得较大(但 $K < 1$)也不会对灵敏度产生不利影响。因此 K 值应适当取大一些,只要满足变压器仅一侧投入系统且发生内部故障时能可靠动作即可。这样为了保证在单侧电源投入时保护动作的灵敏度,比率制动系数的上限 $K_{x\max}$ 小于1、 $K_{y\max}$ 也小于1。

在外部故障时,有 $|\dot{I}_1 + \dot{I}_2| = 0$,即两侧电流均为穿越性故障电流。这样 $|\dot{I}_1 - \dot{I}_2| = 2 * |\dot{I}_1|$,为了使采用式(7)的差动保护与采用式(6)的差动保护的制动作用相同,则 $K_y = 2 K_x$ 。

可以把多测量并归到两侧量,这样以上结论可以推广到多测量。如采用最大侧制动时,各侧电流按制动电流和非制动电流进行合并,即以最大电流支路为一侧,其他各支路电流之和等值为另一侧,可以得到类似两侧量的形式。考虑到误差因素和电流

的非线性,使得为了保证外部故障不误动,多测量差动保护的比率制动系数要比对应的两侧量差动保护大。

2.2.2 多测量差动保护外部故障误差分析

上面对多测量故障分量差动保护进行了初步的分析,得到比率制动系数的上限 K_{\max} 小于1,但是没有具体分析比率制动系数的下限 K_{\min} 。外部故障时误差不仅产生不平衡的差动电流,而且也使制动电流减小^[8],因此有必要进一步分析在外部故障情况下的误差情况。

设三侧 CT 副边在正常情况下负荷电流误差百分比分别记为 e_{1L} 、 e_{2L} 和 e_{3L} ,在发生故障时电流的综合误差百分比分别记为 e_{1f} 、 e_{2f} 和 e_{3f} ,并用 \dot{I}_{jf} 和 \dot{I}_{jL} 分别表示各分支的一次侧故障后的电流和故障前的负荷电流,则各二次侧故障分量电流可以表示为

$$\dot{I}_i = (1 + e_{jf}) * \dot{I}_{jf} - (1 + e_{jL}) * \dot{I}_{jL}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

(此处设 CT 变比为 1)

故障分量原理的差动电流和制动电流可表示为

$$\left. \begin{aligned} I_d &= | (\dot{I}_{1f} + \dot{I}_{2f} + \dot{I}_{3f}) + (\dot{I}_{1f} * e_{1f} + \dot{I}_{2f} * e_{2f} + \dot{I}_{3f} * e_{3f}) \\ &\quad - (\dot{I}_{1L} + \dot{I}_{2L} + \dot{I}_{3L}) - (\dot{I}_{1L} * e_{1L} + \dot{I}_{2L} * e_{2L} + \dot{I}_{3L} * e_{3L}) | \\ I_r &= \text{Max} \{ | \dot{I}_{jf} * (1 + e_{jf}) - \dot{I}_{jL} * (1 + e_{jL}) |, j = 1, 2, 3 \} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

由于对于故障前的正常负荷电流总有 $\dot{I}_{1L} + \dot{I}_{2L} + \dot{I}_{3L} = 0$ 成立,外部故障时,有 $\dot{I}_{1f} + \dot{I}_{2f} + \dot{I}_{3f} = 0$ 。设 $j=1$ 为最大侧,则有 $\dot{I}_{2f} + \dot{I}_{3f} = -\dot{I}_{1f}$ 。考虑最严重情形,发生故障时“1”侧的 CT 严重饱和,而另外两侧 CT 均未饱和,有 $e_{2f} = e_{3f} = 0$ 、 $e_{1f} = -e_{\max}$ 。代入式(9),并考虑外部制动要求,制动系数 K 的最小值应满足

$$K_{\min} = \frac{| -e_{\max} * \dot{I}_{1f} - (\dot{I}_{1L} * e_{1L} + \dot{I}_{2L} * e_{2L} + \dot{I}_{3L} * e_{3L}) |}{| (1 - e_{\max}) * \dot{I}_{1f} - \dot{I}_{1L} * (1 + e_{1L}) |} \quad (10)$$

若 CT 最大的误差为 10%,则有 $e_{\max} = 0.1$ 。而保护 CT 的精度一般为 1 级,故假设 $e_{1L} = -e_{2L} = e_{3L} = 0.01$,且 $\dot{I}_{1L} / \dot{I}_{1f} = 0.10$,则

$$K_{\min} = \frac{0.1 + 0.1 * 0.01 * 2}{1 - 0.1 - 0.1 * (1 + 0.01)} = 0.128$$

以上假设是建立在稳态误差的基础上的。考虑非周期分量的影响,可以用一个考虑暂态的裕度系数 K_{apr} 来反应,可取 $K_{apr} = 1.5 \sim 2.5$,具体数值与算法等因素有关。当取暂态误差为稳态误差的两倍时 $e_{\max} = 0.2$,则

$$K_{\min} = \frac{0.2 + 0.1 * 0.01 * 2}{1 - 0.2 - 0.1 * (1 + 0.01)} = 0.289$$

3 故障分量差动保护整定值的选取问题

发电机保护的安全性和可依赖性问题上,安全性和可依赖性抽象的概念,对继电保护来说可以理解为继电保护既不能拒动,也不能误动。但由于选择性和灵敏性要求往往是一对不可调和的矛盾,因此在考虑具体问题时,就有一个“度”的问题。这种“度”的掌握其实和各种因素有关。对保护装置而言,安全性希望保护装置不要误动,为防止可能的误动,在计算整定值的时候应该偏于保守,如发电机差动的定值希望整定得大一些;而可依赖性希望保护装置不要拒动,为防止可能的拒动,在计算整定值的时候应该偏于激进,如发电机差动的定值希望整定得小一些,以减小“死区”,提高灵敏度。如何调和这一矛盾,主要从发电机设备和电力系统两方面的安全进行考虑。^[5]

忽略负荷电流的误差之后,故障分量原理与传统原理的动作相同。因此故障分量比率制动判据的三个定值,即 $I_{d.min}$, $I_{r.min}$ 和 K ,与传统的二段折线比率制动判据中三个定值 $I_{d.min}$, $I_{r.min}$ 和 K_0 相对应,可参照后者来确定前者。下面结合运行经验,对整定值的选取以保护不会误动为前提,进一步讨论故障分量比率差动保护中整定值选取的一些体会。

3.1 故障分量差流门坎值 $I_{d.min}$ 的选取

理论上故障分量差动保护有效地消除了正常负荷分量下不平衡电流的影响,可以做到使动作特性在坐标原点附近的死区很小,故障分量差流门坎值 $I_{d.min}$ 和故障分量拐点制动电流 $I_{r.min}$ 可以取较小值。但是 $I_{d.min}$ 和 $I_{r.min}$ 同常规差动保护的 $I_{d.min}$ 和 $I_{r.min}$ 一样,也必须考虑 CT 暂态误差、装置的测量精度和装置的电路性能等因素。因此采用故障分量原理仍然需要设置一个差流故障分量门坎值 $I_{d.min}$ 。

可以通过工艺水平、元器件质量等的提高,用软件调整 CT 变比等尽量地减小差流故障分量 I_d 的不平衡输出。这样可以使 $I_{d.min}$ 降低从而有利于改善轻微内部故障的灵敏度,或者在同等 $I_{d.min}$ 情况下,提高保护动作的安全性。

对于发变组差动保护,由于 CT 接在变压器高压侧,发电机中性点及厂用变分支,其额定电流不同,CT 的型号也不同。这样在发生故障时,其暂态特性不可能相同。为了保证在发生外部故障时,保护不误动,故障分量差流门坎值 $I_{d.min}$ 不能取太低。一般 $I_{d.min}$ 可以取为 $(0.2 \sim 0.5) I_n$ 。

3.2 故障分量拐点制动电流 $I_{r.min}$ 及比例系数 K 的选取问题

由于故障分量比率差动保护与常规的比率差动保护相比,其优越性主要在于内部故障工作区与非内部故障工作区之间的缓冲区很大^[6]。故障分量判据中的比率制动系数 K 只要满足 $K < 1$,即使取大一些也不会影响保护灵敏度和制动作用,因此 K 可比特差动保护的比率制动系数 K_0 取得大。由以上分析知比率制动系数 K 的取值范围为 $0.289 < K < 1$,考虑一定的安全裕度一般可取 $0.3 \sim 0.8$,建设取大一些。

对于故障分量差动保护而言,其差流门槛值 $I_{d.min}$ 是由误差决定的,是一个相对确定的值。为了保证差动保护在内部故障时的灵敏度,则其制动系数的取值有一个上限值 K_{max} ,由上分析取 $K_{max} = 0.8$;另一方面为使保护在外部故障时不误动,保护制动系数的取值有一个下限值 K_{min} ,由上分析取 $K_{min} = 0.3$ 。这样保护斜线部分可整定的范围是由线 0、线 5 和线 4 所确定的区域。其中线 0 的斜率为保护制动系数的上限值 K_{max} ;线 5 为 $I_d = I_{d.min}$ 的直线;线 4 的斜率为保护制动系数的下限值 K_{min} 。拐点制动电流 $I_{r.min}$ 的选取范围是线 5 和线 0、线 4 交点的 I_r 值(如图 2 所示),即 $I_1 \sim I_{r.min} \sim I_3$ 。

这样对于具体确定的 $I_{d.min}$ 和 K 值,故障分量比率差动保护的動作特性为在线 1 和线 3 之间斜率为 K 的斜线簇即可。斜线方程过原点只是保护的動作特性可取曲线的一种。

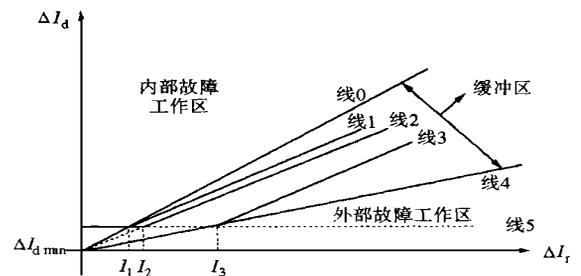


图 2 对于确定的 $I_{d.min}$ 和 K 值时 $I_{r.min}$ 的选取范围

为了适应现场实际的要求和保护方案的灵活地配置,我们在故障分量差动保护整定值中保留故障分量拐点制动电流整定值 $I_{r.min}$ 。当要求差动保护的動作特性为过原点的斜线时,只需在整定时取

$$I_{r.min} = \frac{1}{K} * I_{d.min} \text{ 即可。若取 } I_{r.min} > \frac{1}{K} I_{d.min},$$

斜线将沿横轴 (I_r 轴) 向正方向平移,这样做有助

于改善灵敏性,但会劣化制动特性;若取 $I_{r.min} < \frac{1}{K} I_{d.min}$,斜线将沿横轴向负方向平移,这样做有助于增强制动性,但会劣化灵敏性。但是故障分量制动电流在正常情况下较小,为了保证保护在区外故障时可靠制动,拐点制动电流整定值 $I_{r.min}$ 不能太大,运行经验表明应限制 $I_{r.min} \leq 0.7 I_n$ 。

由于在发变组的主变高压侧发生区外故障时发电机所提供的故障电流中负荷电流占了较大的比例,由于 WYB-01 型发变组保护中故障分量比率差动采用最大故障电流侧制动判据,其制动性能偏弱。为了提高保护在发生区外故障时的可靠性,可适当将斜线向横轴左方平移。

4 发变组差动保护不平衡电流及接线问题

差动保护动作判据的具体形式与电流的假定正方向有关。但是无论实际接线如何,都不影响保护原理本身的正确性,只是保护判据的具体形式不同。文章前面的分析都是建立在假设各侧电流的方向以流向内为正的基础上,当某侧电流的实际接线与假设相反时,应动作判据中对应此电流的项前加一负号。

在葛州坝二江电厂运行的 WYB-01 型微机故障分量发变组保护装置采用差电流突变量启动元件,只有当该启动元件动作后才开放差动保护。在投运时该元件的动作电流整定值取 10% 的发电机实际额定电流,发现启动元件处于一种间歇性动作状态。我们从发电机在停运状态下的保护装置采样值报告发现发电机差动保护、变压器差动保护及发变组差动保护(三侧差动)的各侧电流采样值均存在着偏向时间轴一侧的不平衡电流。

发变组差动保护原设计的电路中电流互感器极性与假设各侧电流的方向以流向内为正一致。由差动保护各侧电流引入的极性可见,发变组差动保护的差电流是将变压器的高压侧电流 $I_{aH} (I_{bH}, I_{cH})$ 与厂变分支侧电流 $I_{aL} (I_{bL}, I_{cL})$ 合成后再与发电机中性点电流 $I_{aN} (I_{bN}, I_{cN})$ 相加而得到的。由于各侧电流 A/D 转换通道的零漂电流基本上是在偏向时间轴一侧的,因此使得差动启动元件受到的采样值最大值偏大,而且有波动,有时会超过定值,使得启动元件处于一种不规则的间歇性动作状态。

为了减小这种不平衡电流,将发变组差动保护发电机侧的小 CT 极性反接,并将差动保护内部差电流的计算由式 (9) 的向量和方式改为式 (10) 的直

接差方式。

$$i_d = i_H + i_L + i_N \tag{11}$$

$$i_d = i_H + i_L - i_N \tag{12}$$

式中 i_d ——发变组差动保护差电流突变量;
 i_H ——主变高压侧电流突变量;
 i_L ——厂变分支侧电流突变量;
 i_N ——改进前发电机中性侧电流突变量;
 i_N ——改进后发电机中性侧电流突变量。

由改进后的采样值报告可以看出,此时在差动保护的各侧电流回路中仍有较大的偏向于时间轴一侧的不平衡电流的情况下,差动保护中的不平衡电流因各侧同极性的不平衡电流被差的方式相互抵消,使得最终差电流大大减小。

这种改进方法是根据实际现场零漂电流偏向于时间轴一侧的具体情况,通过外部硬件改接线和内部软件改差电流计算公式两个方面同时进行修改来实现的。修改后差电流的计算同修改前是一致的,但修改后大大减小了由于各侧电流 A/D 转换通道的零漂流带来的累计不平衡差电流。通过实际采样数据说明,这种改进方法对于减小差动保护中的不平衡差电流是有效的,明显减小了正常工作状态情况下的不平衡差电流。

这个问题本身是由于该套保护装置的采样通道的硬件性能不好产生的,可以通过更换 A/D 采样板来解决。在葛州坝二江电厂的 4 号和 5 号机均装有 WYB-01 型微机故障分量发变组保护装置,且在硬件级双重化即每个机组都有两套完全相同的保护硬件。存在此问题的仅是 4 号机的一套保护。由于这是第一套 WYB-01 型发变组保护装置,在当时现场投运时没有多余的 A/D 采样板可以替换,因此进行以上的修改。此后生产的 WYB-01 型发变组保护装置均对其硬件进行了严格的检验,从硬件上避免了此问题的产生。

这种改进方法是针对现场实际问题提出的一种处理方法,也是装置适用于现场实际所必须采取的措施。这个现场问题解决后,我们对此进行分析发现这种修改方法不但适用硬件性能较差的情况,并且对一般保护装置性能的提高也是有利的。因此在此后的一些其他保护装置中借鉴了这种方法,实践证明这种改进方法是可行的。

5 结论

数年来实际运行的经验,表明 (下转第 61 页)

制品出版的专业出版社。在该站点可查询最新出版的电力系统各相关专业的书籍及有关标准。

- 中国电机工程学会 <http://www.sp.com.cn/docs-djxh>

由中国电力信息中心制作及提供技术支持,设有“学术活动、国际交往、学术刊物、学会简讯”等栏目,可查询和了解学会和各专委会、各省级学会的学术动态及有关信息。目前仍在建设中。

- 中国电力电气信息网 <http://www.chinaepe.com>

是在国家经贸委电力司、国家电力公司和中国科协、国家机械工业局的支持和领导下,由中国电工技术学会主办的互联网在线权威的、系统的专业的国家级信息资源库。该网以其丰富的信息资源、极广的传播(覆盖全球的200多个国家和地区,一亿多用户),热忱地为国内外业界服务。

收稿日期: 2000-08-14

作者简介: 赵自刚(1962-),男,高工,主要从事电力系统继电保护的运行管理工作。

Internet web sites on relaying protection

ZHAO Zi-gang

(Hebei Electric Power Dispatching & Communication Center, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Some internet web sites on relaying protection and entering way to these sites are presented in this paper. Some sites are introduced briefly to lead you to these sites to explore their rich information resources and improve your working efficiency.

Key words: internet; web sites; net exploration; relaying protection

(上接第55页) 故障分量比率差动保护完全能够在我国电力系统中应用,担负起大型重要电力设备的主保护的功能,使保护的灵敏性和安全可靠性得到有效的改善,提高主设备安全保障水平。

对于保护装置的讨论有助于我们避免在装置中出现可能的不合理情况,但是正确理解和分析运行在现场的继电保护装置,要求我们对该装置中所用保护的動作特性作深入了解,并且要具体考虑其现场实际情况。

本文对用多侧电流向量构成的发变组故障分量差动保护的原理、判据动作特性和整定值的选取作了初步的探讨,不足之处欢迎批评指正,并希望引起更多的关注和研究。

参考文献:

- [1] 李毅军. 对故障分量原理的微机型发变组差动保护装置在运行中一些问题的探讨. 继电器, 1996, (4): 55~62.
- [2] 李毅军. WYB-01型保护装置运行中一些问题的分析及解决方法. 电力系统自动化, 1997, 21(2): 64~66.
- [3] 陈永亭,等. 对WYB-01型故障分量发变组差动保护误动作的再讨论. 继电器, 2000(1): 48~50.

- [4] partric J McCleer, Mustahsam Fir. A New Technique of Differential Relaying: the Delta - Differential Relay. IEEE, 1982, 101(10): 4164~4170.
- [5] 尹项根,等. 故障分量差动保护. 电力系统自动化, 1999, (11).
- [6] 陆于平,等. 微机发电机差动保护. 电力自动化设备, 1999, (2): 6~10.
- [7] 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, 1998.
- [8] 朱声石. 关于数字式比率制动差动继电器. 电力自动化设备, 1998, (1): 7~10.

收稿日期: 2000-06-28

作者简介: 李晓华(1975-),女,博士研究生,从事电力系统继电保护的研究; 陈德树(1930-),男,教授,博士生导师,IEEE高级会员,主要从事电力系统继电保护与安全稳定控制等领域的研究; 尹项根(1954-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统继电保护与安全稳定控制等领域的研究。

Analysis of the operation performance of microcomputer-based differential protection based on fault component for generator-transformer unit

LI Xiao-hua, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: WYB-01 microcomputer-based protection for generator-transformer unit has presented good performance since it is applied in the field. But now there are some different opinions about its differential protection based on fault component. So this paper gives some discussions on it.

Key words: fault component; differential protection; digital protection; generator; transformer