

评标积制动式差动继电器

朱声石

(国电自动化研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 标积制动式差动继电器的改进型特性用常规比率差动继电器也一样可以获得。重要的是根据故障特征整定继电器的参数, 既保证区外故障时的选择性, 又在区内故障时获得足够的灵敏度。

关键词: 标积制动; 比率差动继电器; 故障特性

中图分类号: TM88

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2004)02-0017-03

最初标积制动式差动继电器的动作判据为

$$(I_1 - I_2)^2 - k I_1 I_2 \cos \phi \geq 0 \quad (1)$$

式中 I_1 、 I_2 为被保护设备两引出线的电流, 两侧电流的正方向分别为流入和流出被保护设备; ϕ 为电流 I_1 和 I_2 的相角差。

提出标积制动式差动继电器的理由是制动量 $I_1 I_2 \cos \phi$ 在区外故障时为正, 起制动作用; 在区内故障时为负, 起动作作用。而常规比率制动差动继电器在区内故障时其制动电流仍在起制动作用。标积制动式差动继电器, 在区内故障时没有制动因而可以获得高灵敏度。既然 $I_1 I_2 \cos \phi$ 能对区内外故障作出不同的反应, 为什么不采用

$$I_1 I_2 \cos \phi < 0 \quad (2)$$

作为差动继电器的动作判据呢? $I_1 I_2 \cos \phi < 0$ 的判据实质是进行相位比较。区外故障时假设一侧 TA 无误差, 另一侧 TA 有误差, 那么差电流就是后一 TA 的励磁电流。由于 TA 的二次负担主要是电缆的电阻, 励磁电流与二次电流相位相差 90° 。当后一侧 TA 的误差, 也就是励磁电流达到一次电流的 80% 时其二次电流下降为一次电流的 60%, 而二次电流的相位误差只有 $\arccos 0.6 = 53.1^\circ$, 可见相位比较极大地提高了动作的选择性, 但是在区内故障时仍可能有穿越性负荷电流流过, 如果故障轻微, 短路电流中故障分量较小, 便有可能使两侧电流的相位差小于 90° , 按相位比较实现的差动保护就有可能拒动。

鉴于此, 标积制动式差动继电器作了改进^[1]。改进的实质就是如果相位比较判据成立就跳闸, 如果不成立还不能认为一定是区外故障, 只有两侧电流都较大, $I_1 > B I_n$ 同时 $I_2 > B I_n$ 时才确认为区外故障。 I_n 为被保护设备的额定电流, B 为系数, 一般取 $B = 1.5$ 。如果 $I_1 < B I_n$ 或 $I_2 < B I_n$ 就需进一步测量才能决定是区内还是区外故障。进一步测量采用

制动系数较小的比率差动判据。这样既发挥了相位比较的优点, 又弥补了它的不足。改进型的优点是值得称赞的。

众所周知, 相位比较和幅值比较是可以互换的。

$I_1 I_2 \cos \phi < 0$ 完全等价于

$$|I_1 - I_2| - |I_1 + I_2| \geq 0 \quad (3)$$

而上式正是以 $I_1 - I_2$ 为差电流, 以 $|I_1 + I_2|/2$ 为制动电流, 制动系数等于 2 的比率差动继电器, 制动系数的极限正是 2。无怪乎相位比较在区外故障时能容忍 TA 有很大的误差, 而在区内故障时灵敏度可能不足。这与当初设想标积制动可以在区内故障时将制动量变为动作量, 以提高灵敏度的出发点正相反。重要的问题不在于有无制动量, 而在于区内故障时差动电流 I_d 与制动电流 I_{res} 之比的最小值是否大于区外故障时 I_d/I_{res} 的最大值。

在区内故障时不可避免会有制动电流出现, 只有在有电流流出或者说有穿越性电流分量存在时制动电流的制动作用才需要引起重视。当穿越性电流分量较大时两侧电流的相位差可能小于 90° , 即出现所谓区外故障的特征, 但此时根据两侧电流幅值的差异仍有可能区分区内外故障。

对于继电保护来说, 分析寻找故障特征是最重要的, 找到故障特征便可得到继电器的动作判据。微机有数值运算和逻辑判断功能, 微机保护按动作判据作判断是极容易的。标积制动式差动继电器的改进在于认识到区内故障时若两侧电流都很大时, 必是较严重的故障不可能有电流流出。只有在轻微故障时才有电流流出, 而且流出电流的大小相当于负荷电流。改进型标积制动式差动继电器的特性按两侧电流的大小分段, 使动作特性符合故障的特征, 取得了很好的效果。

改进型标积制动式差动继电器为了维护标积制

动的名称,在两侧电流较小时所用比率制动判据仍用 $\sqrt{I_1 I_2 \cos \phi}$ 为制动电流,而不采用 $|I_1 + I_2|/2$ 作为制动电流是不明智的。在这种情况下对区内轻微故障灵敏度的提高不在于采用 I_1 和 I_2 的标积作为制动电流,而在于两侧电流不大,允许采用较小的制动系数的结果。 $|I_1 + I_2|/2$ 是 I_1 和 I_2 的代数平均值, $\sqrt{I_1 I_2 \cos \phi}$ 是几何平均值。代数平均值的概念清楚,便于整定制动系数。在区外故障时 TA 的误差不仅能产生差动的不平衡电流,也能减少制动电流。在整定制动系数时要计及制动电流的减少,才能准确确定 TA 的允许误差。既然用 $|I_1 + I_2|/2$ 为制动电流计算较方便,那么有什么理由还要坚持用 $\sqrt{I_1 I_2 \cos \phi}$ 为制动电流呢?

微机差动保护的制动特性都是折线。既然相位比较可以用式(3)实现,以 $I_{res} = |I_1 + I_2|/2$ 为制动电流的比率差动继电器当然也可以实现与标积制动式差动继电器基本相同的特性。折线特性就是将特性分段,各段特性是衔接的,就成为折线。按照前面讨论的结论,分段主要照顾两个方面:一方面是区内轻微故障差动电流小同时有穿越性负荷电流流过。为此可取差动电流为 $I_d = 0.5 I_n$, 制动电流为 $I_{res} = |1.5 I_n + I_n|/2 = 1.25 I_n$, 比率制动特性的小电流段应使工作点 $(I_d, I_{res}) = (0.5 I_n, 1.25 I_n)$ 落于动作区内;另一方面是在大电流下将制动特性的斜率提高到极限,即按式(3)实现相位比较。为了保证区内故障时动作的可靠性,在大电流下的比率制动特性应在式(3)特性的下面,可取为

$$I_d - 2 I_{res} + 2 B I_n \geq 0 \quad (4)$$

上式可改写为

$$|I_1 - I_2| > I_1 - B I_n \quad (5)$$

式(4)的特性(图1中的CE线)在式(3)的特性(图1中的OF线)的下面,和标积制动式差动继电器相比,采用式(4)的比率制动判据在区外故障时容忍的TA误差是不是较小呢?讨论的前提是电流很大,可以认为满足 $I_1 > B I_n, I_2 > B I_n$ 。区外故障时假设 I_1 无误差, I_2 因TA误差而下降,当 I_2 下降到 $B I_n$ 以下时式(5)满足,比率差动继电器失去选择性。但由于 $I_2 < B I_n$ 标识制动差动继电器不再按相位比较工作,而改为按制动系数小得多的比率制动特性工作,必然也要失去选择性。在大电流下区内故障时两侧电流都流入被保护设备,式(2)和式(3)满足。式(4)比式(3)更容易满足。根据以上讨论,比率制动特性若为2段,第1段无制动,动作判据为 $I_d \geq 0.5 I_n$;第2段有制

动,动作判据如式(4),取 $B = 1.6$ 。如此得到的动作特性如图(1)中折线ACE。两折线特性中无制动作用段AC偏长,宜在AC段和CE段中间增加过渡段BD,形成折线ABDE。于是3段特性为:

第1段AB $I_d \geq 0.5 I_n$ ($I_{res} < 1.25 I_n$);

第2段BD $I_d \geq 0.4 I_{res}$ ($1.25 I_n < I_{res} < 2 I_n$);

第3段DE $I_d - 2 I_{res} + 3.2 I_n > 0$ ($I_{res} > 2 I_n$)。

此3折线比率差动继电器在区外故障时(假设 $\phi = 0$)在不同 I_1 值下允许 I_2 的误差如表1所示。

表1 图1中3段式比率差动继电器允许的TA误差

Tab. 1 Allowable TA errors of three-step ratio differential relay

I_1 / I_n	I_1 / I_n 最小允许值	允许误差	I_{res}
0.5	0	1	
0.8	0.3	0.63	
1.5	1	0.33	1.25
2	1.33	0.33	
2.4	1.6	0.33	2
3	1.6	0.47	
5	1.6	0.68	
10	1.6	0.84	
20	1.6	0.92	

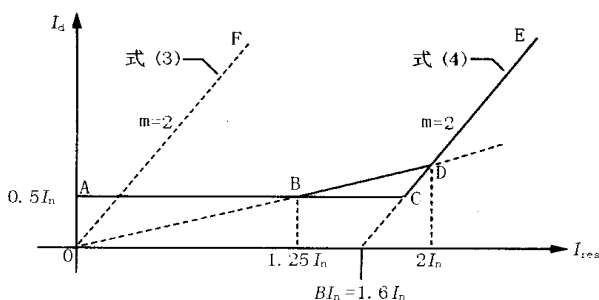


图1 三段式比率差动继电器制动特性

Fig. 1 Operation characteristics of three-step ratio differential relay

只要B值相同,在区外故障大电流下标积制动式差动继电器允许的误差与表1中的数值相同。在区外故障时若一侧电流大于 $B I_n$,另一侧电流小于 $B I_n$,就失去选择性。区外故障 I_1 越大, I_2 越不可能小于 $B I_n$ 。从表1可见 I_1 越大,允许的TA误差越大,选择性越有保证。对选择性的最大考验是过渡段,而对过渡段的最佳特性值得进一步研究。

最后讨论B的取值问题。一般情况下取 $B = 1.5$ 是足够的,唯一例外是发电机定子纵向不完全差动保护。为了简化讨论,假设定子每相有2个并联支路,在某一相第1支路靠近机端处的 F_1 点与同相第2支路靠近中性点处的 F_2 点发生匝间短路,如

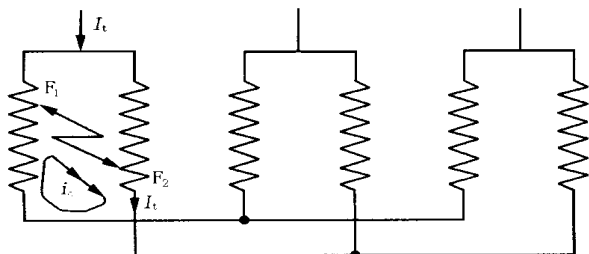


图2 双星型定子绕组单相匝间短路示意图

Fig. 2 Double-Y single-phase interturn short circuit of stator winding

图2所示,在两个并联支路中出现环流 i_c 。由于该相电压下降,系统将向该相供给短路电流 I_t 。 I_t 主要经由故障点 F_1 流向故障点 F_2 ,再流向中性点(由其它两相返回系统)。 I_t 对故障相是穿越性,对此故障裂相横差保护能灵敏地动作。纵向完全差动保护不受 i_c 影响, I_t 又是穿越性的,当然不会动作。纵向不完全差动保护若比较机端和第1支路中性点侧的电流,由于这2个电流都是流入发电机的,一定能灵敏地动作;若比较机端和第2支路中性点侧的电流,那么按相位比较就不能动作,若按比率差动比较可能动作。因此B的取值就成为关键性的问题。由于穿越性电流不是负荷电流,性质上属于故障电流,故其数值一定比负荷电流大,取 $B = 1.5$ 将不足。实际大型水轮发电机定子每相是多支路的,问题要复杂得多,必须通过计算才能确定B值。B值的提

高使区内故障时可靠动作,但在区外故障时允许的TA误差将下降。灵敏性与选择性永远是有矛盾的。

顺便指出纵向不完全差动保护的优点是既能反应匝间故障,又能反应相间故障,缘于它继承了裂相横差保护和纵向完全差动保护两方面的特性。由于继承了纵向完全差动保护的特性就使得纵向不完全差动保护受穿越性电流的影响,灵敏度有所下降。如果有两套纵向不完全差动保护分别比较2个支路中性点侧电流与机端电流,则必有一套纵向不完全差动保护能灵敏地动作。一套纵向不完全差动保护和一套纵向完全差动保护加一套裂相横差保护相比,节省了一个支路的TA,所获得的信息减少了,因此对故障的反应能力有所下降是必然的。

参考文献:

- [1] 王维俭,张学深,田开华,等(WANG Wei-jian, ZHANG Xue-shen, TIAN Kai-hua, et al). 电气主设备纵差保护的进度(Progress of Longitudinal Differential Protection for Electrical Main Equipment). 继电器(Relay), 2000, 28(5): 6-8.

收稿日期: 2003-01-08

作者简介:

朱声石(1929-),男,教授级高工,主要从事电力系统继电保护的研究工作。

Comment on scalar product restraint differential relay

ZHU Sheng-shi

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: Characteristic of the improved scalar product restraint differential relay can also be obtained by ordinary ratio differential relay. It is important to set the parameters of the relay according to the fault characteristics. Thus the relay will get selectivity and sensitivity.

Key words: scalar product restraint; ratio differential relay; fault characteristic

(上接第9页 continued from page 9)

收稿日期: 2003-05-30

作者简介:

彭书涛(1978-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力

系统运行与控制;

廖培金(1944-),男,副教授,从事电力系统及其自动化研究;

李琳(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向是电力系统运行与稳定。

An approach to power flow and fault analysis of unbalanced distribution system with multi-PV nodes

PENG Shu-tao, LIAO Pei-jin, LI Lin, WANG Guang-ming

(Department of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: This paper proposes an approach to realize the integration of the calculation of three-phase power flow and ungrounding faults. This approach is based on forward and backward sweep method, considering characteristics of distribution system and multiport compensation technology. In order to avoid calculation divergence when the grounding voltage is zero, the grounding fault is dealt separately. Also, this paper presents a compensation method for PV node.

Key words: distribution system; compensation technology; PV node