

CT饱和引起变压器差动保护误动的分析与对策

郑小敏, 刘会金, 刘霞忠, 刘晓芳

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 对电流互感器 (CT)饱和后变压器差动保护误动机理进行了分析,并在对各种传统的防治 CT饱和措施分析的基础上,提出采用 Rogowski线圈作传感头解决 CT饱和的新方法。基于 Rogowski线圈的电子式电流互感器以其线性度好、无磁饱和、频带宽、高精度和高可靠性等特点,成为传统差动保护用 CT的理想替代品。

关键词: CT饱和; 变压器差动保护; Rogowski线圈

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)08-0061-03

0 引言

在电力系统中,互感器是一次系统和二次系统间的联络元件,用以分别向测量仪表和继电器的电流线圈和电压线圈供电,以监测和控制电气设备的正常运行和故障情况。传统的电流测量是通过应用电磁感应原理构成的电流互感器 (CT)实现的。随着现代电力向高电压大容量方向发展,对电力系统起保护和监控作用的 CT提出了小型化、自动化和高可靠性的要求,传统的电磁式 CT已经越来越不能适应这一发展趋势。故障时 CT饱和产生的差流往往造成变压器差动保护误动作,如何有效地防治因 CT饱和引起的差动保护误动,多年来一直未能得到很好的解决。

1 CT饱和后差动保护误动机理分析

差动保护原理于 1904年由 C. H. Merz和 B. Price在英国提出,尽管其实现方式特别是制动量的构成存在一些差别,但基本原理沿用至今,对双绕组变压器实现差动保护的单相原理接线如图 1所示^[1],比率制动式差动保护的典型动作判据是:

差动电流

$$I_d = |I_1 + I_2| \quad (1)$$

制动电流

$$I_z = 0.5(|I_1| + |I_2|) \quad (2)$$

动作判据 $I_d > I_{dz0}$, 当 $I_z > I_{z0}$ (3)

$$I_d > I_{dz0} + K_z(I_z - I_{z0}), \text{ 当 } I_z > I_{z0} \quad (4)$$

式中: I_1 、 I_2 为两侧电流相量 (均以流入为正向); I_{dz0} 为最小动作电流; I_{z0} 为最小制动电流; K_z 为差动保护的斜率。

从 CT的暂态传变特性知,在外部故障、空载合闸或故障切除电压恢复的暂态过程中,伴随工频交

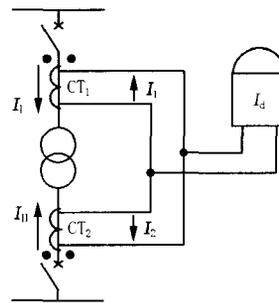


图 1 双绕组变压器差动保护的单相原理接线

Fig 1 Single-phase principle connection of the double-winding transformer differential protection

流的非周期分量和谐波分量电流将使变压器差动保护两侧不同型的 CT,由于严重的非线性饱和特性不一致,纵然一次电流各侧之和 $\sum I_1 = 0$,但二次电流诸侧之和 $\sum I_2 \neq 0$,造成差动电流 I_d 增大,与此同时反映 $\sum |I_1|$ 的制动电流 I_z 却因 CT严重饱和而减小,这就构成了差动保护误动的基本条件。

2 防治 CT饱和的传统对策

传统差动保护中,CT饱和引起的暂态不平衡电流造成保护误动是一个需重点考虑的问题。从提高变压器差动保护的整体性能出发,需要采取综合对策来防治 CT饱和,本文归纳如下:

1) 选择适当的 CT和减少二次负载阻抗

CT饱和其实就是 CT铁芯中磁通饱和,而磁通密度与感应电势成正比。在同样负载阻抗下,CT二次回路感应电势与二次电流成正比,或在同样电流下,感应电势与二次负载阻抗成正比。因此,避免 CT饱和主要从两个方面入手,一是在选择 CT时,适当增大 CT的变比,即增大一次额定电流;另一方面要尽量减少 CT二次负载阻抗,尽量避免保护和计量共

用 CT,缩短 CT二次电缆长度及加大二次电缆截面。

2) 差动保护的制动特性选择

针对 CT饱和时制动电流减小的特点,比率制动判据可按制动电流的大小分别采用不同的制动系数,即多段折线型比率制动特性。在制动曲线中,小电流区域采用较小的制动系数,大电流区域采用大的制动系数,这样当 CT出现饱和时,制动量较大,动作区变小,可以防止区外故障时因 CT饱和而引起保护误动。

3) CT饱和的鉴别

理论证明^[2],当发生区外短路故障时 CT不会立即饱和,外部短路后的暂态不平衡电流不会立即出现。而当变压器发生区内故障时,一开始差动电流很大。因此,利用差动电流出现时刻和故障发生时刻的不同,来区分是区内故障还是区外故障,从而有效地防止外部短路时由于 CT饱和而引起的暂态不平衡电流造成的差动保护误动。

3 Rogowski线圈在变压器差动保护中的应用

目前,对于变压器差动保护由于 CT饱和等因素引起的动作正确率偏低的问题,采取了一系列的反措措施,但并没有完全解决问题。如果 CT的暂态传变特性与一致性都很好,就不存在 CT饱和造成的差动保护误动的问题。随着计算机、传感技术的发展,人们越来越多地使用 Rogowski线圈测量电流^[3],Rogowski线圈作传感头能很好地解决 CT饱和的问题。

Rogowski线圈实际上是一种结构特殊的空心线圈^[4],是在一根截面细小而又均匀的非磁性材料上均匀密绕若干层线圈而成,根据被测电流的变化在其中感应信号以反映被测电流。理论证明^[5],测量线圈所交链的磁链与被测电流存在线性关系。其特点在于被测电流几乎不受限制,反映速度快,可以测量前沿上升时间为毫微秒级的电流,且准确度可高达 0.1%。从测量大电流的观点来看,Rogowski线圈是一种较理想的敏感元件。

用 Rogowski线圈测量电流时,应特别注意来自测量对象的干扰。为此,测量线圈的引出线必须采用绞线,以避免构成任何不必要的回路;为了防止来自电源的干扰,测试仪器电源输入端应接高频滤波器;为了消除杂散电场的影响,在绕有测量线圈的瓷棒上用开口的薄铜管加以屏蔽。

实际应用中,进行了 Rogowski线圈作传感头的

电子式电流互感器的研究^[6]。大电流发生器的额定输入输出为 220 V/1 500 A,对电子式电流互感器进行了 10 ~ 1 400 A的大电流测试,试验电路如图 2所示,Rogowski线圈的输出特性如图 3所示。

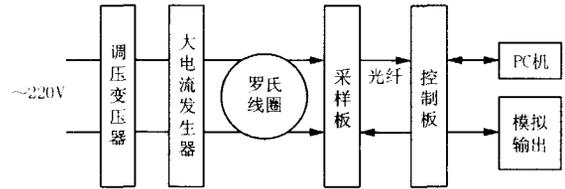


图 2 线性度测试实验电路

Fig 2 Experimental circuit for linearity test

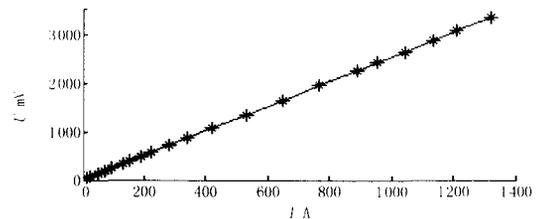


图 3 Rogowski线圈线性度曲线

Fig 3 Linearity curve of Rogowski coil

由图 3可见 Rogowski线圈的线性度良好,很适合作继电器保护用电流传感器。对于电力系统的故障过程,Rogowski线圈能真实地输出其原方波形,不会产生任何波形畸变;利用 Rogowski线圈作为继电器保护的电流信号的采样是完全可行的。

4 结论

随着超高压电网的日益发展以及新的保护原理和方法的不断应用,对 CT的要求越来越高,CT饱和问题和传统的电流取样方式已难以满足系统的要求。微机在继电保护和测量中的广泛应用,使得设备不再需要高功率输出的电流传感器。因此,低功率输出的 Rogowski线圈可以作为电流传感器。Rogowski线圈无铁芯,不存在磁饱和现象,能根本解决 CT饱和的问题。基于 Rogowski线圈的电子式电流互感器是集电子技术和光学技术为一体的新型光学电流互感器,其高精度、高可靠性、宽频带等特点将逐渐成为传统电磁式 CT的替代品。

参考文献:

- [1] 陈曾田. 电力变压器保护(第二版)[M]. 北京:水利电力出版社,1989.
CHEN Zeng-tian Protection of Electric Power Transformer, Second Edition[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1989.

- [2] 王维俭,侯炳蕴.大型机组继电保护理论基础(第二版)[M].北京:水利电力出版社,1989.
WANG Wei-jian, HOU Bing-yun The Theoretical Foundation of Large-scale Generator-transformer Set Relays, Second Edition[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1989.
- [3] Kojovic L A. Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement[J]. IEEE Computer Application and Electric Power, 1997, 10: 47-52
- [4] 揭秉信.大电流测量[M].北京:机械工业出版社,1987.
JIE Bing-xin Big Current Measurement[M]. Beijing: China Machine Press, 1987.
- [5] Heumann K. Magnetic Potentiometer of High Precision[J]. IEEE Trans on M, 1966, 15(4): 242-250
- [6] 王群峰,刘会金,陈允平,等.混合式光电电流测量

统的研究[J].中国农村水利水电,2002,(12):73-75.
WANG Qun-feng, LU Hui-jin, CHEN Yun-ping, et al The Research of Hybrid Optical Current Measurement System[J]. China Country Water Power Press, 2002, (12): 73-75.

收稿日期: 2004-07-28; 修回日期: 2004-08-09

作者简介:

郑小敏(1979-),男,硕士研究生,从事电力系统运行与控制等方面的研究; E-mail: zxm7985@sohu.com

刘会金(1952-),男,教授,博士生导师,主要从事电能质量和电力系统自动化等方面的研究;

刘霞忠(1979-),男,硕士研究生,从事灵活交流输电系统等方面的研究。

Analysis and countermeasure of transformer differential protection malfunction due to CT saturation

ZHENG Xiao-min, LU Hui-jin, LU Xia-zhong, LU Xiao-fang

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: By analyzing the mechanism of transformer differential protection malfunction after current transformer(CT) saturated, on the basis of analyzing various traditional countermeasures of CT saturation, this paper puts forward a new method of using Rogowski coils as sensor to solve the CT saturation problem. The electronic current transformer based on Rogowski coils will become the perfect substitute for the traditional CT differential protection because of its good linearity, no magnetic saturation, wide range frequency, high precision and reliability, etc.

Key words: CT saturation; transformer differential protection; Rogowski coils

(上接第46页 continued from page 46)

- [2] 伍叶凯,邹东霞.适用于输电线路的单片机反时限过流保护[J].继电器,1996,24(4):21-25.
WU Ye-kai, ZOU Dong-xia SCM-based Inverse Overcurrent Protection Applied in Transmission Line[J]. Relay, 1996, 24(4): 21-25.
- [3] 刘为,范春菊,等.配电网输电线路反时限过流保护探讨[J].继电器,2003,31(3):23-25.
LU Wei, FAN Chun-ju, et al Discussion of Inverse

Overcurrent Protection for Transmission Line in Distribution System[J]. Relay, 2003, 31(3): 23-25.

收稿日期: 2004-07-26; 修回日期: 2004-08-24

作者简介:

严支斌(1978-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护及安全稳定控制; E-mail: hustzbyan@163.com

尹项根(1954-),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统继电保护,变电站综合自动化及安全稳定控制。

Research on curve characteristics and algorithms of new digital inverse-time overcurrent protection

YAN Zhi-bin, YN Xiang-gen, SHAO De-jun, LU Geming

(College of Electrical & Electronics Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To calculate the time delay in inverse-time overcurrent protection, the traditional inverse-time overcurrent curve has disadvantages in cooperating with time delay protection and precisely calculating the progressive time. A new inverse-time overcurrent curve is introduced, which is divided into several sections to calculate each curve respectively. As a result, it is improved in cooperating with time delay protection and progressive time precision. To resolve the difficulty of progressive time calculating in normal inverse-time overcurrent curve, two algorithms of zonal table-lookup and Taylor expansion are put forward.

Key words: digital protection; inverse-time overcurrent protection; zonal table-lookup; Taylor expansion