

铁心材料对电流互感器传变特性的影响与测试分析

贺小艳¹, 李春来¹, 汤晓宇², 罗坤明¹

(1. 河源职业技术学院, 广东省智能低压电气设备工程技术研究中心, 广东 河源 517000; 2. 广东雅达电子股份有限公司, 广东 河源 517000)

摘要: 电流互感器的误差由铁心所消耗的励磁电流引起, 与铁心材料的磁性能有关。为选用优质铁心材料, 以设计更高准确度的电流互感器, 选用高磁导率的超微晶、坡莫合金铁心材料制作微型电流互感器, 测试其传变特性, 与硅钢片铁心作对比分析; 通过测试分析可知, 坡莫合金铁心的微型电流互感器传变特性表现最优, 坡莫合金铁心和微晶铁心的微型电流互感器准确度基本达到0.1级, 而同规格的硅钢片铁心电流互感器准确度只达到1级。

关键词: 电流互感器; 铁心材料; 传变特性; 比差; 角差

Influence of iron core material on current transformer transmission characteristics and test analysis

HE Xiaoyan¹, LI Chunlai¹, TANG Xiaoyu², LUO Kunming¹

(1. Guangdong Intelligent Low Voltage Electrical Equipment Engineering Research Center, Heyuan Vocational Technical College, Heyuan 517000, China; 2. Guangdong Yada Electronic Industry Co., Ltd., Heyuan 517000, China)

Abstract: The error of current transformer is caused by the excitation current consumed by the core, which is related to the magnetic properties of the core material. In order to select high-quality iron core materials and design a higher precision current transformer, the super microcrystalline and permalloy iron core materials with high permeability are selected to make a micro current transformer, its transmission characteristics are tested, and a comparative analysis with silicon steel sheet iron core is made. Through the test analysis, it can be seen that permalloy iron core has the best transmission characteristics. The accuracy of the miniature current transformer of permalloy iron core and microcrystalline iron core basically reaches 0.1 level, while that of the silicon steel sheet core current transformer of the same specification only reaches 1 level.

Key words: current transformer; high permeability iron core material; transfer characteristics; ratio difference; angular difference

0 引言

计量用电流互感器 (TA) 处在电能系统

广东省普通高校特色创新项目 (2018GKTSCX068)

最前端, 是系统的采集装置, 其性能直接影响计量系统的测量准确度^[1]。通过数理分析可知, 电流互感器的误差由铁心所消耗的励磁电流引起, 具有非线性特性, 与铁心材料的特性

有关,铁心材料磁导率越高,电流互感器的测量误差越小,准确度越高^[2]。目前主要的铁心材料是冷轧硅钢片,其制作的电流互感器测量准确度为1~5级,很难满足现代智能电力仪表的测量准确度要求^[3]。为选用优质铁心材料,以设计更高准确度的电流互感器,本文选用高磁导率的超微晶、坡莫合金铁心材料制作微型电流互感器,分别对其传变特性作测试分析。

1 电流互感器传变特性的误差分析

电流互感器的一次绕组通过磁通交链到二次绕组。实际运行时,一次电流只有部分用来励磁,产生铁心中的磁通,致使一次电流不能完全转换为二次电流,也就必然存在误差^[4]。电流互感器中各主要电磁物理量间的相量关系如图1所示。

图中, I_1 为一次电流向量; $-I_2$ 为二次电流的换算值向量; I_0 为励磁电流向量; α 为铁心磁滞角; θ 为二次绕组阻抗角; φ^2 为负载阻抗角。

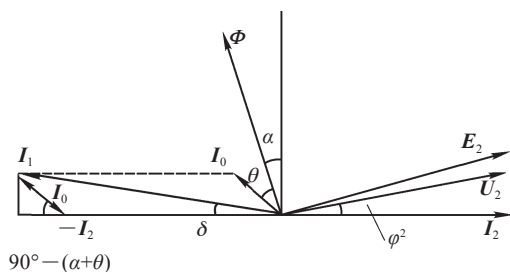


图1 电流互感器相量图

Fig. 1 Phase diagram of current transformer

从图1中可以看出,由于励磁电流 I_0 的存在, I_1 和 $-I_2$ 的幅值与相位均存在数值差,即存在角差和比差,励磁电流 I_0 增大,角差与比差相应也会增大。减小电流互感器的误差,最有效的方法是减小励磁电流。根据文献^[5]

$$I_0 = \frac{\varphi_i L}{\sqrt{2} N_i \mu S} \quad (1)$$

综合上述可知,励磁电流影响电流互感器的传变特性(比差、角差)与铁心磁性能有关,铁心磁导率 μ 越高,误差会越小。

2 铁心材料磁性能指标

选用磁导率高、损耗小的高磁导率铁心材料做铁心材料(超微晶铁心、坡莫合金铁心),主要磁性能指标与硅钢片铁心材料对比如表1所示。

表1 铁心材料主要磁性能指标对比

Tab. 1 Comparison of main magnetic properties of iron core materials

铁心材料	饱和磁密度 B_s/T	矩形比 B_r/B_s	初始磁导率 $\mu_i/(kH \cdot m^{-1})$	最大磁导率 $\mu_m/(kH \cdot m^{-1})$	矫顽力 $H_c/(A \cdot m^{-1})$	铁心损耗 $P_{Fe}/(mW \cdot cm^{-3})$
坡莫合金	0.75	低、中、极高	5~80	200	1.2	10 kHz/0.5T—270 10 kHz/0.5T—140
超微晶	1.25	低、中、高	4~80	200	0.64	40 kHz/0.3T—180 100 kHz/0.3T—900
硅钢片	2.10	中、低	0~13	44	41	50 Hz/1.7T—10 1 kHz/1.0T—150

3 高磁导率铁心材料微型电流互感器的设计

为了应用性研究高磁导率铁心材料微型电流互感器的传变特性,在广东雅达电子股份有限公司设计制作单匝穿心式高磁导率铁心材料(超微晶铁心、坡莫合金铁心)微型电流互感器各5个^[6],导线规格为 $\varnothing 0.08$ mm,次级匝数设计为2 000 T,直流电阻为150 Ω ,铁心尺寸为9.5 mm×13 mm×5 mm,5 A/2.5 mA,超微晶铁心微型电流互感器重量7 g,坡莫合金铁心微型电流互感器重量6.9 g。

4 铁心材料电流互感器测试与数据分析

4.1 测试设备

沈阳中川HESE互感器校验装置一套,准确度为0.005级。

4.2 测试方案

采用比较法测试铁心磁性能对传变特性的影响^[7],与相同规格的硅钢片铁心电流互感器

进行比较。测试电路如图2所示，在电流互感器初级绕组，依次施加一次额定电流（5A）的5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%、110%和

120%正弦波电流，负载均为 $0\ \Omega$ ，测量电流互感器的传变特性，采集超微晶、坡莫合金和硅钢片铁心电流互感器各5个样品的误差数据，各取一组数据来分析，如表2所示。

表2 微型电流互感器传变特性测试数据

Tab. 2 Test data of transmission and transformation characteristics of miniature current transformer

一次电流 (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
超微晶 比差 (%)	0.065	0.048	0.012	-0.012	-0.020	-0.027	-0.027	-0.032	-0.033	-0.032	-0.027	-0.025	-0.025
铁心 角差 (')	18.5	17.6	15	12.5	11	9.7	8.8	7.8	7.3	6.5	6.2	5.6	5.5
坡莫合金 比差 (%)	0.021	0.014	0.001	-0.012	-0.017	-0.025	-0.026	-0.028	-0.028	-0.030	-0.03	-0.03	-0.030
金铁心 角差 (')	13.9	13.7	12.6	11.2	10.3	9.4	8.9	8.3	7.9	7.5	7.3	7	6.7
硅钢片 比差 (%)	-2.85	-1.73	-1.13	-0.83	-0.65	-0.54	-0.46	-0.09	-0.053	-0.024	-0.018	0.005	0.033
铁心 角差 (')	126	92	73	63	57	54	51	48	45	44	43	40	39

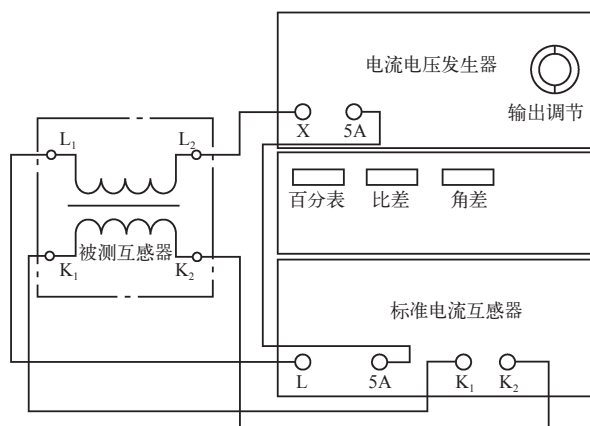


图2 试验线路

Fig. 2 Test line

4.3 数据测试与分析

根据表2分析可知：

1) 超微晶铁心、坡莫合金铁心微型电流互感器最大比差值分别为0.065%、-0.03%，随着一次电流的增大，超微晶铁心、坡莫合金铁心微型电流互感器的比差由正值向负值方向偏移，未超出0.1级微型电流互感器比差限值要求^[8]。而同规格的硅钢片铁心互感器最大比差值为-2.85%，只达到1级电流互感器比差限值要求。

2) 超微晶铁心、坡莫合金铁心微型电流互感器的角差均为正值，随一次电流的增大而逐渐变小。超微晶、坡莫合金铁心电流互感器最大角差值分别为18.5°和13.9°，基本能满足0.1级微型电流互感器角差限值要求。而同规格的硅钢片铁心互感器最大角差值为126°，

只达到1级电流互感器角差限值要求。

3) 坡莫合金铁心的微型电流互感器比差明显优于微晶铁心；当微型电流互感器的一次电流不超过50%额定电流时，坡莫合金铁心的角差优于微晶铁心，一次电流大于50%额定电流时，坡莫合金铁心的角差稍大于微晶铁心；总的来说，坡莫合金铁心的微型电流互感器传变特性优于超微晶铁心，跟铁心材料磁性能有关。

5 结束语

微型电流互感器因存在提供磁通的励磁电流必然产生误差，与铁心材料磁性能有关，具有非线性关系。测试分析说明，高磁导率材料坡莫合金铁心的微型电流互感器传变特性表现最优，超微晶铁心、坡莫合金铁心微型电流互感器的误差基本达到0.1级；硅钢片铁心电流互感器的误差达到1级。

作者简介



贺小艳

贺小艳（1981-），女，硕士，讲师，研究方向为传感器及应用。

李春来（1968-），男，学士，教授，研究方向为电气自动化与电力传感器。

（收稿日期：2019-09-26）EA