

基于零磁通原理的高精度小电流传感器的研究

包 军, 田建华, 张秀阁

(郑州电力高等专科学校, 河南 郑州 450004)

摘要: 分析了零磁通电流互感器的原理, 提出了一种用超微晶合金做铁芯, 增加自适应动态电子电路, 实现小电流传感器的“动态零磁通”的新方法。

关键词: 小电流传感器; 零磁通; 误差

中图分类号: TM452 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2002)12-0032-02

1 引言

用电流传感器作为电气设备绝缘在线检测系统的采样单元, 已得到业内人士的共识。目前, 电流传感器有多种类型, 如霍尔传感器、无磁芯电流传感器、高导磁非晶合金多谐振荡电流传感器、电子自旋共振电流传感器等^[1-2]。由于电力系统使用环境的特殊性, 许多传感器存在自身的局限性。目前应用于电力系统的电流传感器多是以电磁耦合为基本工作原理的, 从采样方式上分, 这类传感器主要有直接串入式、钳式、闭环穿芯式三种。为保证采样的准确性, 使输出、输入信号间的比值差和相角差尽量小, 研究人员采用的误差补偿方法有: 短路有源补偿法、纯电阻误差补偿法、二次阻抗完全补偿法、自平衡电子补偿法等。大量的研究试验表明, 基于“零磁通原理”的小电流互感器更适合电力系统绝缘在线检测的要求^[6]。本文所述小电流传感器即是以此为基本原理, 加上自适应动态跟踪电子电路的应用, 使小电流传感器具有高精度、高稳定度、抗干扰能力强的优点。

2 电力系统绝缘在线检测对电流传感器的基本要求

电力系统绝缘在线检测系统长期工作在强电磁场环境中, 且多为户外环境。作为其采样输入端, 小电流传感器必须能高精度、高稳定性地完成采样工作。然而, 由于被采信号小, 它极易受电磁场、温度、湿度等因素的干扰影响。为了能在电力系统强噪声干扰环境下准确采样, 用于在线检测的小电流传感器应满足以下条件^[3]: (1) 采样范围在几百 μA 级至几 mA 级。灵敏度高, 输出能灵敏反应输入量的微小变化; 输出信号尽可能大。(2) 在测量范围内线性度好, 输出波形不畸变, 输出信号与被测信号间的比

值差、角差小, 并且其差值稳定, 不随温度等因素的变化而变化。(3) 抗干扰能力强, 电磁兼容性好。

3 电流互感器的“零磁通原理”^[4-5]

穿芯式小电流互感器的原理电路如图 1 所示, 图 2 是其二次等效电路图。 I_1 为小电流互感器一次侧电流, I_2 为二次侧电流, I_0 为激磁电流。 N_1 、 N_2 分别为一、二次绕组匝数。因此, 该小电流互感器的磁势平衡方程为:

$$I_1 N_1 + I_2 N_2 = - I_0 N_1$$

当激磁安匝 $I_0 N_1$ 为零时, $I_1 N_1 = - I_2 N_2$ 即付边安匝变化能完全反映原边安匝变化, 误差为零。一般称 $I_0 N_1$ 为绝对误差, $I_0 N_1 / I_1 N_1$ 为相对误差。电流互感器的误差为复数误差, 可用比值差 f 和角差 δ 表示。

$$= - I_0 N_1 / I_1 N_1 = f + j\delta$$

式中 $f = (I_2 N_2 / I_1 N_1) / I_1 \times 100\%$, 为 I_2 逆时针 180 后与 I_1 的夹角, 如图 3 所示。

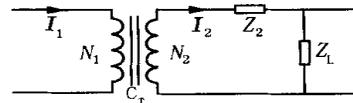


图 1 电流互感器原理电路图

Fig. 1 Principle circuit of CT

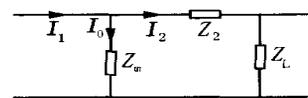


图 2 二次等效电路图

Fig. 2 Secondary equivalent circuit

由此可见, 由于 $I_0 N_1$ 的存在, 使 $I_2 N_2$ 与 $I_1 N_1$ 存在角差 δ 和比值差 f 。若 $I_0 = 0$, 则激磁磁势为 0, 误差为零。此时的铁芯处于“零磁通”状态, 它工作

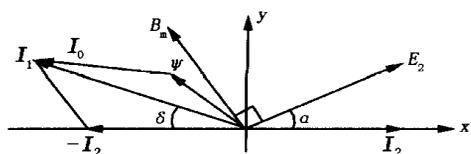


图3 电流互感器相量图

Fig. 3 Phasor of CT

于磁化曲线的起始段(线性段)。这时,电流互感器输出波形就不会畸变,保持良好的线性度。此即为“零磁通原理”。因此,若能使互感器铁芯始终处于零磁通状态,就能从根本上消除电流互感器的误差。但是,由互感器的工作原理可知,靠互感器自身是不可能实现零磁通的,必须靠外界条件的补偿或调整。为此,采用动态平衡电子电路对其进行动态调整,使铁芯始终处于“动态零磁通状态”。

4 小电流传感器的原理

图4所示为本传感器的原理框图。其中, N_D 为检测绕组, D 为动态检测单元, G 为产生二次电流的有源网络。本回路的磁势平衡方程为:

$$I_1 N_1 + I_2 N_2 + I_D N_D = - I_0 N_1$$

I_1 产生的激磁磁通在 N_D 两端产生感应电势,并加到动态检测单元 D 的输入端,通过 G 产生二次电流 I_2 提供给二次绕组, I_2 所产生的磁通对铁芯去磁,使铁芯达到磁势平衡。因此,理想状态时,该传感器的二次绕组电流 I_2 全部由有源网络 G 供给,而不从感应电势取电流。 D 高速动态检测 N_D 两端的电势差,当电势差足够小(近似为零的允许值)时,铁芯中的磁通即近似为零磁通。若检测值偏离允许值, G 则自动高速调整。如此高速跟踪调整,使铁芯能始终保持在逼近零磁通状态,传感器达到较高的精度。

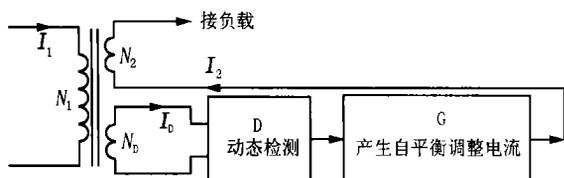


图4 小电流传感器原理框图

Fig. 4 Principle diagram of little current sensor

5 误差分析

电流传感器的误差包括容性误差、磁性误差以及检测调整电子电路的灵敏度误差三部分。所谓容性误差,是指各侧线圈本身和线圈之间的容性泄漏

电流所造成的测量误差。对工频信号来说,当 $N_2 < 1000$ 时,这项误差可控制在 10^{-5} 以内。本装置由于一、二次绕组匝数均很小,容性误差可以不计。检测绕组虽然匝数相对较多,但其电位差动态逼近零,所以,其容性误差仍可忽略。

经过前述高速动态调整后, $I_0 \approx 0$,铁芯逼近零磁通,磁性误差很小。但事实上,完全的零磁通状态是达不到的,铁芯中必须有一点微弱的磁通才能使 G 输出 I_2 ,这就使磁性误差仍然存在。

从本传感器磁势平衡方程可见,磁性误差主要由两部分组成:一是由 I_0 带来的残余磁势引起的误差,另一部分是由检测绕组 I_D 带来的附加磁势引起的误差,即:

$$= \frac{I_0 N_1}{I_2 N_2} + \frac{I_D N_D}{I_2 N_2} = \frac{10^8 E_D l}{222 \mu_0 N_D S I_2 N_2} + \frac{E_D N_D}{R_l I_2 N_2}$$

其中: E_D 为 N_D 的感应电势, l 为磁路长度, S 为铁芯截面积, μ_0 为铁芯初始磁导率, R_l 为检测单元输入阻抗。由此可见,降低磁性误差一是应选择 μ_0 值较高的铁芯和合适的检测绕组匝数,本传感器选择了 μ_0 为 6×10^4 的超微晶铁芯, N_D 为 $100 \sim 500$ 匝;二是要有较大的检测单元输入阻抗。 E_D 和 I_2 可通过有源动态平衡网络控制在所需范围内。

除此之外,还需使用高导电、高导磁材料做屏蔽以消除电磁场的干扰。可用超微晶合金作磁屏蔽材料。

6 结论

小电流传感器在使用超微晶做铁芯,采取有源电子电路网络与副边绕组直接相连,构成自适应动态调整回路后,可使小电流传感器的测量精度有较大幅度的提高,同时保持高稳定度。

参考文献:

- [1] 顾惠芬. 钳形电流互感器的误差分析与补偿[J]. 仪表技术, 2000, (5): 24 - 26.
- [2] 王红霞. 超微晶合金在测量用电流互感器铁芯中的应用[J]. 变压器, 1999, (4): 42 - 46.
- [3] 艾欣. 一种提高TA准确度的外部有源补偿法[J]. 中国电力, 1999, (6): 16 - 17.
- [4] 邱春程. 高精度弱电流互感器的研制[J]. 电测仪表, 1999, (6): 12 - 14.
- [5] Geoffrey E Beard, Single-Stage Amplifier-Aided Current Transformers Possessing Small Ratio Errors at 60Hz [M]. IEEE Trans, 1979, IM-28(2): 141-146. (下转第37页)

期变化的量,即可补偿周期的变化。

实施方法:(1)阈值用拨盘输入两位,(2)检测三角波周期,或正脉冲序列周期,还可以检测负脉冲序列周期。通过变基准可以防止三角波上升周期与下降周期变化对 t 的影响,通过变阈值可以防止三角波周期缓慢变化对装置报警的影响。程序框图图 6 所示。

5 运行评估

磁调制式直流系统绝缘在线检测装置,在不对检测元件提出特别要求的前提下,即可提高一倍的灵敏度。由于在本装置中采用了固定偏差设计,在检测结果中干扰与噪声将被固定偏差一道剔除,从而大大提高了装置的抗干扰能力。该装置在现场安装时,是把直流系统上的各条支路穿过传感器孔,传感器通过通讯电缆连接到主机上。主机全天候在线监测巡检直流系统上的各条支路运行状况,一旦某支路出现故障,主机报警,并打印记录故障状况,以便运行人员及时处理现场故障。另外由于本装置无需向直流系统发送任何检测信号,所以不对直流系

统造成影响,现场实际运行状况良好。

参考文献:

- [1] 李继凡,罗过瑜,陶时澎,等.精密电气测量[M].北京:计量出版社,1984.
- [2] 崔实,张连斌.变频在线直流检测系统装置研究[J].华北电力技术,1997,(9):25-28.
- [3] 曾维鲁,向小民.可控非对称式直流系统绝缘检测[J].华北电力技术,1998,(8):55-54.
- [4] 张德龙,赵志英,涂时亮.单片机原理的应用与实验[M].上海复旦大学出版社,1993.

收稿日期: 2002-07-11

作者简介:

崔实(1952-),男,教授级高工,从事电力电子技术及其应用的教学与研究工作;

聂宏展(1960-),男,副教授,从事电力系统自动化的教学与研究工作;

祁德银(1961-),男,工程师,云峰发电厂生技处长,从事电力系统安全运行工作。

The design and application of DC system insulation monitoring apparatus

CUI Shi¹, NIE Hong-zhan¹, QI De-yin², WU Man²

(1. Northeast Electric Power Engineering Institute, Jilin 132012, China

2. Jilin Yunfeng Power Plant, Jilin 134200, China)

Abstract: The paper presents the DC transducer by magnetic modulation. By this theory, a DC in system sulation monitor is developed which is independent to DC system. The DC transducer is simple in structure but has high discriminability. With strong antidisturbance for fixed deviation design, it's suitable to be applied in power plant and substation.

Key words: magnetic modulation; DC system; fixed deviation

(上接第 33 页)

- [6] 张臻.电流互感器有源电子补偿装置的研制[J].山西电力技术,1998,(1):24-27

作者简介:

包军(1968-),男,工学硕士,讲师,主要从事变电运行及电力设备在线检测的教学与研究工作。

收稿日期: 2002-05-15

The study on high accuracy little current sensor based on zero-flux

BAO Jun, TIAN Jian-hua, ZHANG Xiu-ge

(Zhengzhou Electric Power College, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: The principle of zero-flux current transformer is analyzed in this paper. A novel method which adopts nanocrystalline core and adaptive dynamic electronic circuit for dynamic-zero-flux of little current sensor is presented.

Key words: little current sensor; zero-flux; error