

基于电子式互感器的整流变压器阀侧大电流采集方案实现

李国斌¹, 姜睿智¹, 刘星¹, 栗磊², 刘志远³

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 国网宁夏电力科学研究所, 宁夏 银川 750001;

3. 宁夏电力公司, 宁夏 银川 750001)

摘要: 分析整流变压器阀侧特点并提出一种测量整流变压器阀侧大电流采集方法。采用特制异型电子式电流互感器、电流采集器、合并单元完成整流变压器阀侧大电流采集, 解决了整流变压器低压侧大电流采集问题。分析阀侧电流录波数据, 实际采集电流波形和桥式整流电路理论分析结果一致。该方法为进一步实现整流变压器网侧及阀侧差动保护提供阀侧电流, 且可实现整流变压器阀侧桥臂状态监视, 为冶金、化工企业整流变压器用户更好调整整流机组之间配合提供依据。

关键词: 整流变压器; 电子式电流互感器; 整流变压器阀侧; 阀侧电流采集; 整流变压器差动保护

Current signal acquisition realization scheme of the valve side of rectifying transformer based on electronic current transformer

LI Guo-bin¹, JIANG Rui-zhi¹, LIU Xing¹, LI Lei², LIU Zhi-yuan³

(1. XJ Electric Company Limited, Xuchang 461000, China; 2. Ningxia Power Scientific Institute Center, Yinchuan 750001, China; 3. Ningxia Provincial Power Dispatching Center, Yinchuan 750001, China)

Abstract: The characteristics of the valve side of rectifying transformer are analyzed, and the measurement method of the valve side high current collection of the rectifying transformer is proposed. The valve side high current collection of the rectifier transformers is completed by using special shaped electronic current transformer, current collector, and merging unit. The collection problems of low voltage side current of the rectifier transformer are solved, recording data of the valve side current is analyzed, and the differential protection scheme for the differential protection is made possible, state monitoring of the valve side can be realized. To provide evidence for regulating rectifier units in metallurgical industry and chemical industry.

Key words: rectifying transformer; electronic current transformer; valve side of rectifying transformer; current signal acquisition; differential protection of rectifying transformer

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)18-0139-05

0 引言

在冶金、电化企业, 生产中一般采用大功率整流装置供电。即将 35~500 kV 电压等级的高压交流进线, 经调压变压器—整流变压器组降压调压, 通过硅整流装置供给生产系统电压可调、电流达数百千安的直流。每套整流机组由调压变压器、整流变压器、整流设备及相应的辅助设备构成。

大功率整流变压器容量达到 130 000 kVA, 高压侧电压为 500 kV, 阀侧输出电压为 1 000 V 左右, 结构及性能不同于一般的电力变压器。由于整流变压器阀侧为多绕组、大电流, 引线铜排至整流设备间距离很短, 变压器输出电流达到十万安培, 无法安装常规电磁型电流互感器。

2013 年许继电气研制成功特型电子式电流互感器并安装在宁夏一电解铝厂的整流变压器阀侧出线铜排上获得整流变压器阀侧大电流信息, 填补了国内外整流变阀侧电流采集的空白。为进一步实现整流变压器及整流变压器组差动保护提供了可能。

1 整流变压器阀侧电流采集方案

1.1 整流变压器基本特征

整流变压器组由一台调压变压器(简称调变)、两台带移相绕组的整流变压器组成。并联运行组成 12 脉波, 7 机组并联组成 $7 \times 12 = 84$ 脉波。调变采用 3 个单相多级(如 96 级)有载分接开关进行连续调压, 见图 1, 整流变压器阀侧电流高达 10 万安培, 故而每

台整流变压器阀侧至少需要12个铜排进行分流。整流变的一次侧称为网侧，二次侧称为阀侧。一台整流变三相的阀侧在一个工频周期内输出6个正弦脉波（3个为正、3个为负），1个机组输出12个脉波，7个机组共输出 $7 \times 12 = 84$ 个脉波，相邻脉波间的相位差角为 $\frac{360^\circ}{84} = 4.285^\circ$ ，能有效抑制谐波。一台整流变输出6个脉波至两个三相整流桥，12台整流变对应着24台整流电路，这些整流电路输出正负直流电流，并联起来供电给电解槽。

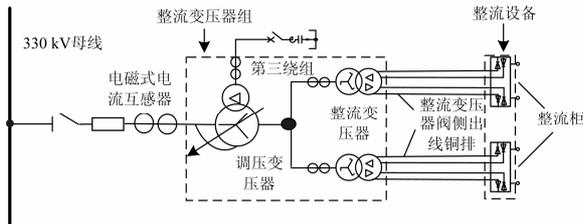


图 1 单台整流机组组成示意图

Fig. 1 Structure block diagram of the rectifying transformer

1.2 整流变压器阀侧出线结构及电子式电流互感器简介

由于大功率整流变压器阀侧具有电流极大、动态范围宽、多路电流并联输出、空间狭小等特点如图 2 所示，传统的铁芯式电流互感器很难应用于整流变压器的阀侧。

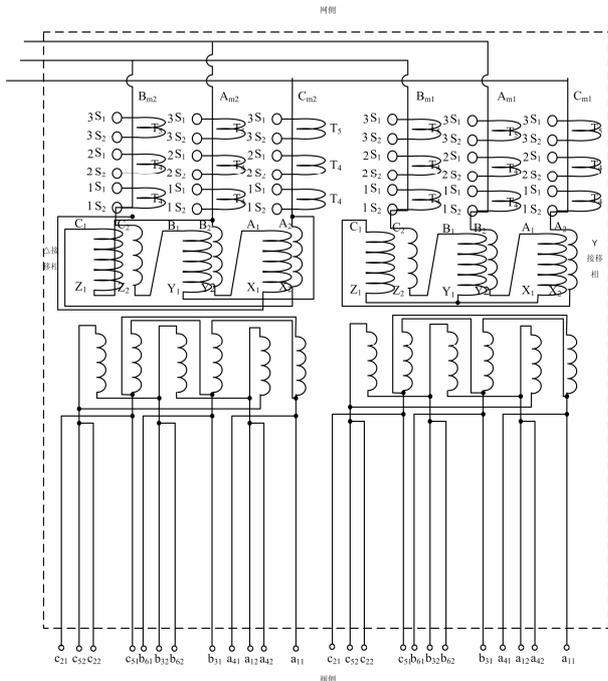


图 2 整流变压器阀侧出线排列示意图

Fig. 2 Structure block diagram of the valve side of rectifying transformer

随着技术的进步，罗氏线圈的出现和完善，为整流变压器阀侧大电流的测量提供了可靠的手段；与传统 CT 不同，罗氏线圈是将漆包线均匀地绕制在一个非磁性骨架上而制成，由于骨架为非铁磁材料，理论上，传感器在几安到几百千安的范围仍然具有优良的线性。

空心线圈是将粗细均匀的导线均匀密绕在矩形等截面的非磁性骨架上而形成空心线圈。空心线圈原理图 3 所示。

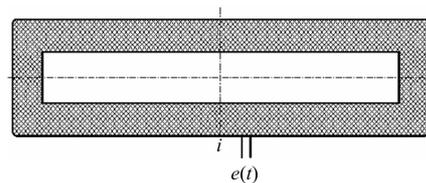


图 3 空心线圈

Fig. 3 Structure block diagram of the air core coil

当被测电流通过位于空心线圈中间的一次导体时，由于电磁感应，一次导体中电流的时间变化率 $\frac{di}{dt}$ 产生的磁场会在线圈内感应出电势，

$$e(t) = -M \frac{di}{dt}$$

其中 M 为导体和线圈之间的互感系数， $M = \frac{unS}{2\pi R}$ ， u 为空气磁导率， n 为线圈匝数， S

为空心线圈的截面积， R 为空心线圈的半径。

1.3 整流变压器阀侧大电流采集实现方案

文献[1-2]阐述的电炉变压器差动保护实现是基于电子式电流互感器，采集得到电炉变压器低压侧大电流。

延续其低压侧大电流采集方法本文提出使用异型电子式电流互感器传感头安装在如图 2 所示整流变压器阀侧出线铜排采集阀侧大电流，传感头采集到的小电压信号经屏蔽电缆接入前置数据采集器^[3]进行信号调理积分并转换为 FT3 格式数字信号，经光缆接入合并器^[4]进行多路信号合并最后输入继电保护装置或者测量装置。本文提出的方案已在宁夏某大型电解铝厂实施，填补了国内外整流变压器阀侧大电流采集的空白。

考虑已投入运行的变压器在停电时无需拆开变压器阀侧短网就能方便地安装，许继电气设计并研制如图 4 所示卡口式电子互感器传感头：(1) 采用了开口结构的形式；(2) 采用矩形结构的罗可夫斯基线圈；(3) 采用环氧树脂浇注结构绝缘；(4) 采用直接固定在母线排上的结构方式；(5) 采用航空插座进行信号转接方式。

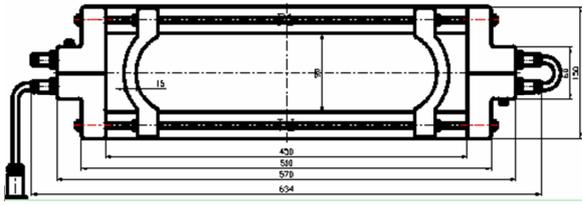


图 4 矩形卡口电子式电流互感器传感头

Fig. 4 Structure block diagram of the electronic current transformer sensing head

铝厂整流变压器阀侧电流采集传感头安装现场如图 5 所示, 根据整流变压器每相引线铜排个数, 确定使用传感头数量。在每相阀侧引线铜排的同名端安装如图 4 所示的矩形结构的基于罗氏线圈测量原理的传感头。

整流变压器阀侧大电流采集方案示意如图 6 所示, 传感头测量信号经多层屏蔽电缆接入整流变压器旁边就地安装的电流数据采集器, 进行信号调理且转化为 FT3 格式数字光信号经光缆接入保护室合并器进行信号多路合并, 最后接入整流变压器保护

测控装置。

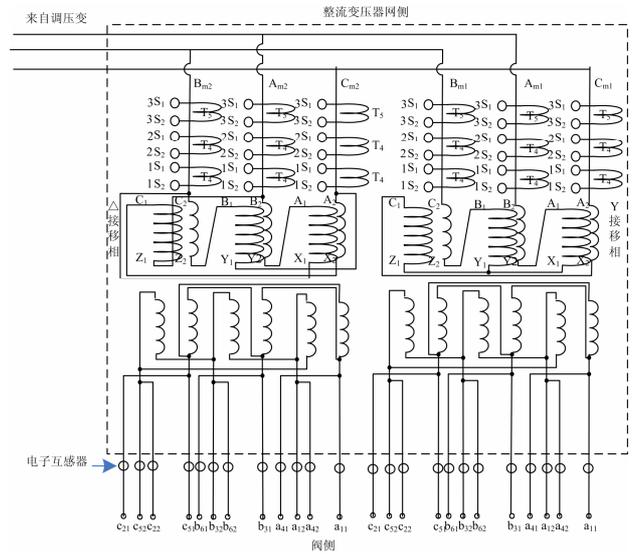


图 5 整流变压器阀侧电子互感器传感头安装示意图

Fig. 5 Structure block diagram of the electronic current transformer sensing head

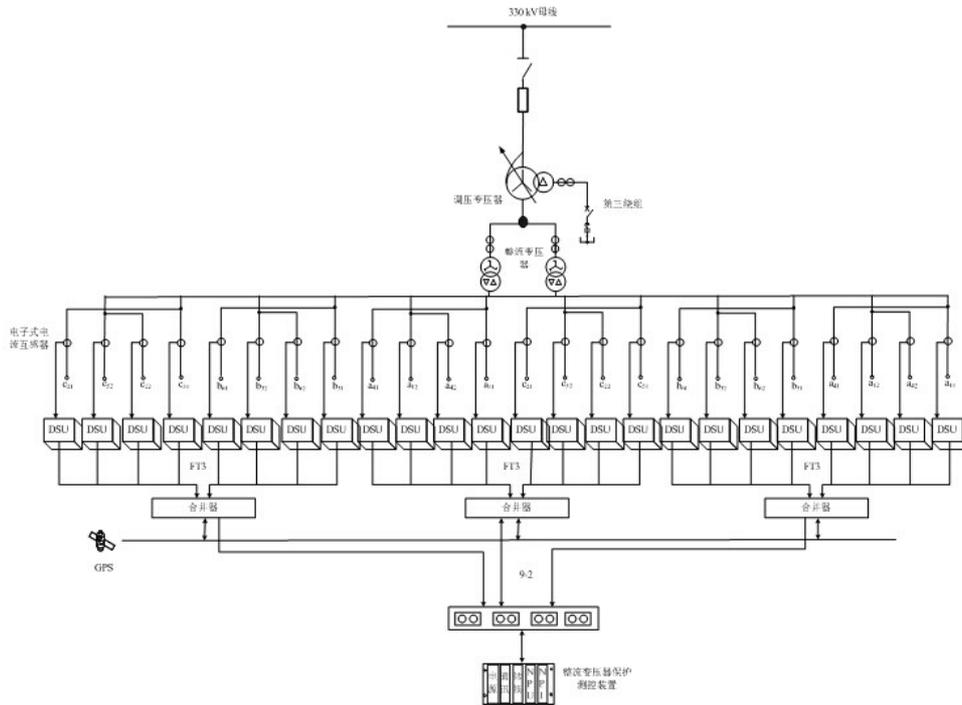


图 6 整流变压器阀侧电流采集示意图

Fig. 6 Structure block diagram of the current signal acquisition

2 整流变压器阀侧大电流录波分析

整流变压器阀侧 CT 安装及阀侧与整流桥联接

方式如图 7 所示。每个 Δ 形绕组对应一个三相桥式整流桥, 转换后直流并联输出到直流母线。

文献[5]详细阐述了三相桥式整流电路工作原理:

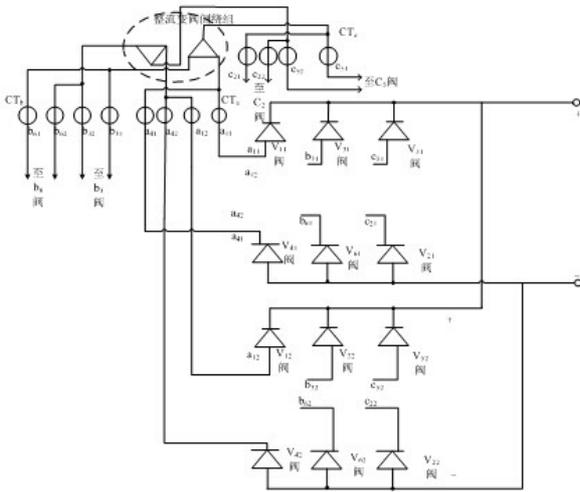


图 7 整流变压器阀侧 CT 配置图

Fig. 7 Deployment diagram of the CT

$30^\circ < \omega t < 90^\circ$ 时, 线电压 e_{ab} 最高, 二极管 V_{11} 和 V_{61} 承受正向电压而导通;

$90^\circ < \omega t < 150^\circ$ 时, 线电压 e_{ac} 最高, 二极管 V_{11} 和 V_{21} 承受正向电压而导通;

$150^\circ < \omega t < 210^\circ$ 时, 线电压 e_{bc} 最高, 二极管 V_{31} 和 V_{21} 承受正向电压而导通;

$210^\circ < \omega t < 270^\circ$ 时, 线电压 e_{ba} 最高, 二极管 V_{31} 和 V_{41} 承受正向电压而导通;

$270^\circ < \omega t < 330^\circ$ 时, 线电压 e_{ca} 最高, 二极管 V_{51} 和 V_{41} 承受正向电压而导通;

$330^\circ < \omega t < 390^\circ$ 时, 线电压 e_{cb} 最高, 二极管 V_{51} 和 V_{61} 承受正向电压而导通;

每个整流元件在一个周期内连续导通 120° 电角度。对于 A 相绕组, 当 $30^\circ < \omega t < 150^\circ$ 时, I_a 正向流过, 而当 $210^\circ < \omega t < 330^\circ$ 时, I_a 反向流过, B、C 相电流同理。

图 8 所示是一个整流机组中一台整流变压器阀侧出线电流波形, 每相 4 个共 12 个。整流变压器阀侧两个 Δ 形绕组分担一个整流变压器阀侧大电流。

A_{11} 、 A_{41} 、 A_{12} 、 A_{41} 分别为两个 Δ 形绕组 A 相电流输出。 A_{11} 电流对应图 7 中 V_{11} 阀流通电流, A_{41} 电流对应图 7 中 V_{41} 阀流通电流, A_{12} 电流对应图 7 中 V_{12} 阀流通电流, A_{42} 电流对应图 7 中 V_{42} 阀流通电流。

由图 8 阀侧电流录波波形图可以得到每个桥臂导通时间为一固定值(考虑阀换相角, 每个阀导通时

间 140°)^[6], 且幅值为负荷电流的 1/4, 这与三相桥式整流电路输入输出波形理论分析结果一致。

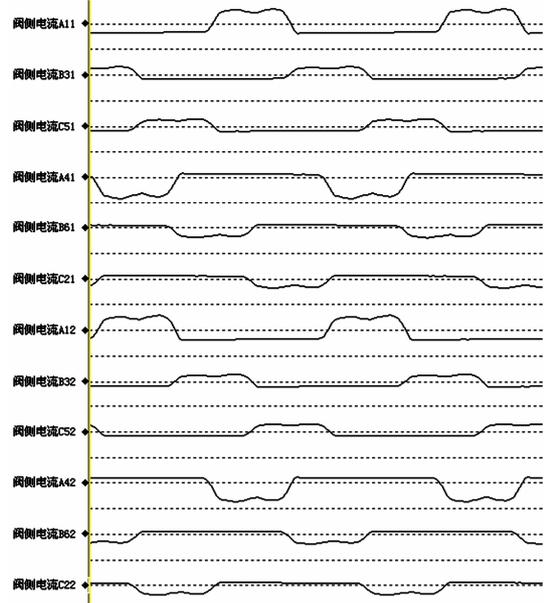


图 8 整流变压器阀侧电流采集波形图

Fig. 8 Oscillogram of the current signal acquisition of valve side of rectifying transformer

整流变压器两个 Δ 形绕组电流大小相等方向相反, 二者矢量和为一台整流变压器阀侧电流。整流变压器继电保护装置接入每个阀侧引线铜排测量电流, 按式 (1) 软件合成阀侧电流 I , 波形如图 9 所示。

$$\begin{aligned} \dot{I}_a &= (\dot{A}_{11} + \dot{A}_{41}) - (\dot{A}_{12} + \dot{A}_{42}) \\ \dot{I}_b &= (\dot{B}_{31} + \dot{B}_{61}) - (\dot{B}_{32} + \dot{B}_{62}) \\ \dot{I}_c &= (\dot{C}_{51} + \dot{C}_{21}) - (\dot{C}_{52} + \dot{C}_{22}) \end{aligned} \quad (1)$$

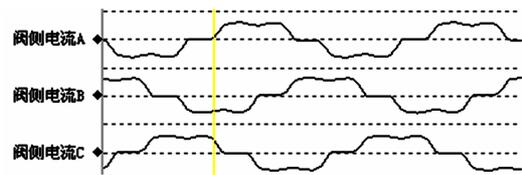


图 9 整流变压器阀侧电流合成波形图

Fig. 9 Synthesis of the current signal acquisition of valve side of rectifying transformer

3 总结

许继电气成功设计并研本文所提矩形对开口结构电子式电流互感器传感头、电流采集器、合并器等成套电流采集设备并于 2013 年 9 月在宁夏一电解铝厂安装, 在配置的整流变压器继电保护装置内对整流变压器 12 个阀侧出线电流进行合成并录波, 实际所得波形与理论分析结果一致, 为整流变压器

阀侧电流研究及整流阀状态监视提供依据, 且为下一步实现整流变压器差动保护提供可能。

参考文献

- [1] 姚晴林, 李瑞生, 刘星, 等. 电炉变压器成套保护装置研制[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 87-89.
YAO Qing-lin, LI Rui-sheng, LIU Xing, et al. Development of microprocessor-based assembly protection equipment for furnace transformer[J]. Automation of Election Power Systems, 2012, 36(19): 87-89.
- [2] 邓茂军, 吴起, 陈亮, 等. 基于电子式电流互感器的电炉变压器差动保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(9): 114-118.
DENG Mao-jun, WU Qi, CHEN Liang, et al. Development of microprocessor-based assembly protection equipment for furnace transformer[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(9): 114-118.
- [3] 牟涛, 周丽娟, 周水斌, 等. 高精度电子式电流互感器采集器的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 141-144.
MU Tao, ZHOU Li-juan, ZHOU Shui-bin, et al. Design of high precision electronic current transformer[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 141-144.
- [4] 赵应兵, 周水斌, 马朝阳. 基于 IEC61850-9-2 的电子

式互感器合并单元的研制[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 104-106, 110.

- ZHAO Ying-bing, ZHOU Shui-bin, MA Chao-yang. Research and manufacture of merging unit based on IEC 61850-9-2[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(6): 104-106, 110.
- [5] 崔立君. 特种变压器理论与设计[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1995.
CUI Li-jun. Special transformer theory and design[M]. Beijing: Beijing Scientific and Technical Documentation Press, 1995.
- [6] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
ZHAO Wan-jun. Project technology of HVDC[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

收稿日期: 2013-12-12; 修回日期: 2014-01-09

作者简介:

李国斌(1978-), 男, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护;

姜睿智(1981-), 男, 通信作者, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: regent99@163.com

刘星(1972-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护。