

高压电气设备介质损耗的一种微机测试

林二明

(电气工程系)

摘 要

本文阐述了用微机测试高压电气设备介质损耗的意义及目的。并对实现的方法和所存在的一些问题做了介绍。其中,以“自由轴”测量方法为主,详细地介绍了它的原理、数学模型的建立,并对实现方法的硬件电路做了简要介绍。

关键词:微机测量;介质损耗;自由轴法

0 引 言

在电气化铁道供电系统中,作为电力系统中起着心脏作用的变电所,主要由一些高压(一次)电气设备和低压(二次)电气设备构成。由于它们经常处在不同电压的工作环境下,因此,在一定的时期内会引起一些绝缘特性的改变,只有定期地对这些参数进行测试,才能确保变电所安全可靠地正常工作,故此常称这种定期的试验为预防性试验。

以往做变电所的预防性试验所采用的仪器品种繁多,不仅操作接线复杂、工作量大,而且自动化水平低易受人为因素影响。甚至使测量发生错误,导致对设备的错误判断,严重时会造成变电所事故,影响电气化铁道的安全运行,其后果不堪设想。

为满足电气化铁道现代化的要求,研制一种能够对变电所各种预防性实验进行综合测量的自动测量系统,已显得十分必要。最近一种用微机实现的“牵引变电所试验车”就是融合各种测试装置的功能为一体的综合自动化测试系统。由于一次设备实验与二次设备实验在实验条件和方法上有很大不同。因此“牵引变电所试验车”中的测量装置可分为两个相对独立的测量系统。它们分别是一次实验测量系统和二次实验测量系统。本人有机会参加了一次设备测量系统中有关对高压电气设备介质损耗测量的研究与实现工作。

1 介损的测量方法

介质损耗的测量属于精密测量。特别是在高压预防性试验条件下,它是对被试品两端加以工频(50Hz)高压(10kV),使被试品中流过一个极其微小的电流(通常在几十 μA ~几十mA的

本文于1992年元月22日收到

范围内)。设这个微弱的电流与高电压间的夹角为 φ ,则在试验条件一定的情况下,它的余角 δ 的正切值 $\operatorname{tg}\delta$ 即可反映被试品的介质损耗大小。由于在试品正常的情况下,绝缘介质基本呈纯容性,故 δ 角一般在1度以内。由此我们看到,这种高电压、微电流、小角度的精密测量,不仅要求测量系统具有很高的灵敏度、准确度、抗干扰能力,而且其测量方法的选择也是事关重要的。

介损测量的传统方法有电桥法、谐振法、伏安法。

电桥法有较高的准确度以及悠久的历史。已经派生出多种变型。如:“PSC型介损自动测量仪”。它是利用电流比较仪线路进行平衡的。其中电流比较仪是一种先进的高精度、高稳定、高灵敏度的装置。它的铁芯是由一种高导磁率的特殊材料制成的。这种技术到目前为止仍算得上是一项新技术。因此,采用这一装置制成的电桥能够进行高精度测量。如果配以微处理机控制便可进行自动平衡调整。其详细工作原理参看文献[4][5]。这种仪器的缺点是硬件复杂。工艺要求很高。如瑞士生产的2876型介损自动测量仪就是采用这一原理制造生产的。其价格在8万8千瑞士法郎,一般不易实现。特别是采用微机控制的自动平衡电桥其线路更加复杂。这些都必将导致整个系统的可靠性下降。

谐振法常被用于较高频率下,其测量方法简单,但不易满足高精度要求,测量频率不固定,测量方法不规范。特别是在高压试验条件下更难达到要求。因此通常在高压试验中几乎没有采用过。

伏安法或电流—电压法是最经典的方法,它直接来源于阻抗定义,若已知流经被试品阻抗的矢量电流以及被试品阻抗的端电压,求得比率,便得到精确的被测阻抗复量。从而获得所需的介损值。显然,要实现这种方法,复数除法是必不可少的。为此测量系统必须具有记忆存储能力。然而以往的硬件电路,要实现矢量运算以及精确的相位计量是相当困难的。所以过去这种方法始终没有被实用测量系统所采用。只有在近代电子电路技术、元器件水平、测试手段高度发展的条件下,特别是微处理机闯入测量领域,才使得这一古典的方法焕发了青春。

矢量电流—电压法可通过图1所示的单电压表法实现。由一个已知标准阻抗 Z_s 与被测阻抗 Z_x 相串联,分别测量出各自的矢量端电压 U_s, U_x ,则可得到:

$$Z_x = \frac{U_x}{U_s} Z_s \quad (a)$$

等式(a)是在以下条件下确定的:

- 1、在两次测量之间,电流保持绝对恒定。
- 2、电压表具有无穷大的输入阻抗,与双电压表法相比,单电压表法可抵消电压表刻度系数对测量精度的影响。

微处理机参与测量过程可以胜任单电压表法测量。 Z_s 是已知常数。用相同的采样系统同时对 U_s, U_x 进行采样,并将采样值存于RAM中,由CPU最后完成计算任务。由于微机控制下的采样速度很高。两次电压测量可以在很短的时间内完成。因此由驱动电流,测量通道电压增益等变化引起的影响可以忽略不计。另外由于采用了同一采样系统更实现了单电压表测量,使通道引入的系统误差便于处理。

新颖的测试思想——自由轴法

由上面讨论我们知道,自微处理机引入测量领域后,使伏安法得以实用。然而详尽分析,尚有两种不同的风格。区别所在主要是实现矢量除法运算的途径不同。这个问题与选择矢量的参考方向密切相关。第一种方法是选取电压(或电流)矢量的参考方向与X轴(或Y轴)相同。

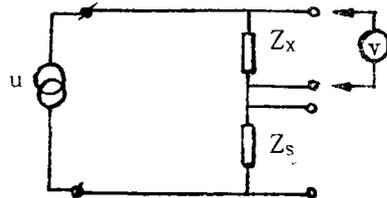


图 1

第二种方法是选取参考方向为任意方向。为叙述方便,称第一种方法为“固定轴”法,第二种方法为“自由轴”法。以下简要分析这两种测试思想的特色,以说明“自由轴”法的优越性。

(1) 固定轴法

矢量法 X/Y , 如按一般矢量处理:

$$\begin{aligned} \frac{X}{Y} &= \frac{X_a + jx_b}{y_a + jy_b} \\ &= \frac{x_a y_a + x_b y_b}{y_a^2 + y_b^2} + j \frac{x_b y_a - x_a y_b}{y_a^2 + y_b^2} \end{aligned} \quad (A)$$

上述(A)式用硬件电路实现是极其困难的。但若在坐标轴选取中,把坐标轴方向选取在分母位置的矢量上,就会使分母矢量只具有实部分量,使矢量除法运算简化成两个标量除法运算。利用双斜积分 A/D 转换器的比例除法特性即可实现这一目的。

固定轴法要求参考电压严格固定在 U_x 或 U_y 方向上。对于被测试品的并联等效参数,选取 U_x 方向;对被测试品的串联等效参数,选取 U_y 方向。固定轴法通过对坐标轴方向的“固定”,使矢量运算简化为标量运算。得用双斜积分器硬件电路实现代数除法,直接移用了模拟电路很多成熟的理论与实践。这种思想在计算机进入电子测量领域之前无疑是合理而巧妙的。但这种方法有它致命的缺点,即同相误差问题。因为要固定坐标轴,确保精确的相位关系,硬件电路要付出相当大的代价。如美国的 HP4262A 型 LCR 自动测量仪,除在四相位发生器中使用锁相技术外,为进一步提高同相精度,还使用了由复杂电路组成的“直流反馈校相电路”,为了每个测量周期都得到校相,还在测量时序安排上留出相应的校相时间。这就增加了逻辑的复杂性。使得仪器精度可靠性降低,成本明显增加。

(2) 自由轴法

式(A)给出了矢量除法的一般表达式。显然只要知道每个矢量在直角坐标轴上的两个投影值,经过四则运算,即可求出结果。坐标轴的选择可以是任意的。图2即为两个矢量 U_x, U_y 和坐标轴之间关系的示意图。

图中

$$\begin{cases} U_x = U_1 + jU_2 \\ U_y = U_3 + jU_4 \end{cases}$$

坐标系一旦设定,两矢量之商值用诸投影分量 U_i ($i=1,2,3,4$)表示即为:

$$\begin{aligned} \frac{U_y}{U_x} &= \frac{U_3 + jU_4}{U_1 + jU_2} \\ &= \frac{U_1 U_3 + U_2 U_4}{U_1^2 + U_2^2} + j \frac{U_1 U_4 - U_2 U_3}{U_1^2 + U_2^2} \end{aligned} \quad (B)$$

由上述分析可知若被测阻抗用电阻与电容并联等效电路表示,则有 Z 。用标准电阻 R_s , 由(A)式可得(C)式。

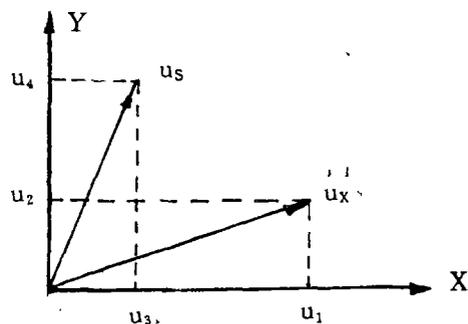


图2

$$Y_x = G_x + j\omega C_x = \frac{U_i}{U_x} \cdot \frac{1}{R_i} \quad (C)$$

将式(B)代入式(C),找出待测参数和 U_i 函数式的对应关系,就可以由 U_i 之值的计算而得到待测参数值。这就是自由轴法的基本数学模型。

显然,若已知 U_i, U_x 在 X 轴上的投影,用 COU 软件实现(B)式和(C)式的计算是轻而易举的事。

对比“固定轴”法与“自由轴”法,无疑后者是新颖的、升华的,更加贴切于微机参与测量的设计意图。自由轴法虽然沿袭伏安法的基本原理,但没有拘泥于硬件电路的束缚,从传统设计中脱颖而出。自由轴法所带来的优点是明显的。首先用软件可方便地实现对向量在 X 轴 Y 轴上的投影计算。其次,待测参数是通过计算得到的。所以被测参数的选择极为灵活,可方便地求出其它多种阻抗参数。另外,从设计思想上来看,自由轴法更充分地发挥了计算机的作用。尤其是各种数据处理能力,实现了计算机测量的目的。这不仅是简单机械地取代传统自动测量系统的内部逻辑器件,而是有机地参与到测量中去,用软件取代硬件,用软件去降低对硬件的要求,使复杂的测量系统实现简单化,以致引起测量方法的推陈出新。

2 介质损耗微机测量系统的实现

测量方法的选择与实现,同采用的硬件电路和设备紧密相关。在“变电所试验车”项目中,介损的测量只是整个一次设备试验项目中的一个内容,因此,测量方法的选择是从尽可能地应利用该系统中已有的硬件电路和设备为出发点而考虑的。

在该项目中主要硬件测试统是由 IBM-PC 机和 STD 工业控制机组成,其中 STD 工业控制机是一种由各种功能模板插在 STD 总线上所组成的工业控制计算机。它具有高模块化、标准化、高可靠性以及用户可根据需要选择各种功能模块组成专项系统,从而可适当降低成本等一系列优点。因此使用极为方便。它是当今电子工业飞速发展的产物。

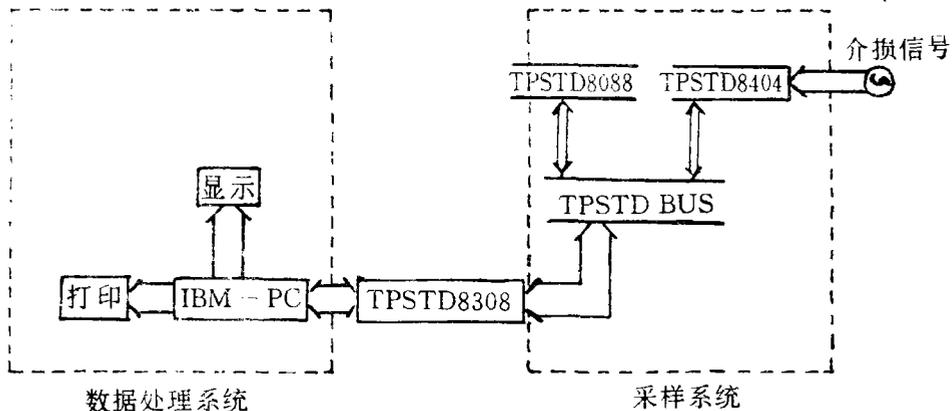


图 3

介损测量方法实现的硬件系统主要分两大部分,其框图如下图3所示:

第一部分是采样系统。它负责对介损信号的采样,将模拟量转换成数字量,以便下一步数

据处理。由图3可知这一部分主要由STD工业控制机中的TPSTD—8808和TPSTD—8404两块模板插在STD总线上组成的。其中,TPSTD—8808板是STD工业标准总线8088最小系统的多功能微处理器插件板。板上微处理器Intel—8088能寻址1M字节的存贮空间,能寻址64K个I/O接口,能接受256级软硬中断请求。插件板提供了3个可编程的16位定时/计数通道。其工作方式用户可自行设置,灵活使用。插件板提供8个硬中断请求接口,中断控制器L8259A被置成主控制器,其它工作方式由用户按自己需要设置。插件板可通过TPSTD—8308插件板与IBM—PC的异步通信接口连接起来进行串行通信。

TPSTD—8404板是采用了光电隔离技术的高抗干扰的十二位A/D转换卡。8404板利用了光电耦合器件,去掉了和受测现场相连的A/D转换电路与STDBUS之间的公共地线,实现了光电隔离,免除了因有公共地线所引起的各种干扰问题,使来自受测现场的能破坏程序正常运行的各种暂态过程与STD—BUS系统隔开,从而可保证STD—BUS系统能工作在平稳和安静的环境之中。

8308LINK板是为了将TPSTD—8808—CPU板与IBM—PC连接起来进行串行通讯而专门设计的一块单通道串行接口板。用户一旦有了这个硬件接口,那么再配上SMD开发软件,就可以采用现在普遍流行的各种型号的IBM—PC及其兼容机来开发STD总线上Inter—8088—CPU能够接受的各种程序,IBM—PC可成为STD—BUS工业电脑的仿真终端。

第二部分是数据处理系统。主要是由IBM—PC机组成,它负责对介损信号进行各种数据加工处理。其中,以误差分析处理为主,它是贯穿整个测量系统的主脉络,是能否实现全软件化的自由轴测量介损的关键。由于在高压条件下原自由轴消除误差的方法已很难奏效,因此,本人对原方法进行了必要的改进并建立了一套修正误差的模型公式,最终求出了所需的介损值。

本测量系统的实现主要是通过软件来完成的。(由于受文章篇幅的限制,这里不作详细介绍。)整个测试系统属于第三代自动测量系统(即在计算机控制下对基本被测量进行采样,然后由采样值计算出一切所需的测量参数)。其突出的优点是:自动化水平高、硬件少、功能强、操作维修简化、可靠性高。在测量实验中,经与目前现场上普遍采用的QS1型高压电桥相比,其各项功能指标都有显著提高。但因采样速度、A/D、D/A转换速度,受计算机直接存取传数的速度限制,使得测量系统的工作速度和精度的进一步提高会受到一定的限制。另外由于本人研究的时间和水平有限,本系统还存在很多可以进一步改进的地方,这有待进一步研究和探讨。

参 考 文 献

- [1]电测与仪表 1990.1
- [2]高压电器 1989.1
- [3]陈成主编.微机电子仪器的实用设计.北京:水利电力出版社 1987
- [4]李继凡等.精密电气测量.北京:计量出版社 1984
- [5]顾文郁.电气绝缘测试技术.第二版 上海:科学技术出版社,1987
- [6]高压技术 1989.3
- [7]何其光.变电所电气设备试验.北京:中国铁道出版社,1983
- [8]刘耀南.电气绝缘测试技术.北京:机械工业出版社,1981

A Micro—Computer Measuring System of the High—Voltage Equipment Loss—Tangent Factor

Lin Erming

Abstract

In this paper, The micro—computer measuring system of high—voltage equipment loss—tangent factor has been discussed, and realization method and some problems has been also introduced. Taking the free—axis method as an important example, the author intensively introduced its principle, and mathematics mode. Finally the practice hardware circuit used in this system has been briefly introduced.

Key words: micro—computer measuring; loss—tangent factor; free—axis method

江西高校学报研究会

第九次年会在上饶师专召开

我省高等学校学报研究会第九次年会于1992年9月21日至25日在三清山上饶师专教工疗养院召开,上饶师专校长徐火荣同志,副校长李昌武、饶祖开、王秀章同志出席了年会。参加本次年会的共有三十余所高校学报的代表40多人。

会议回顾了一年来学报研究会所做的工作,以“学报如何更好地为社会服务”为主题,交流了经验,互通了信息,探讨了学术理论。

与会代表认为,从学报的性质和作用,学报的生存和发展来看,从进一步提高学报质量适应改革开放的新形势来看,研究与探讨学报与社会的关系,坚持学报走与时代、社会相结合的路,具有很大的理论意义与现实意义。要使学报走向社会,更好地为社会服务,必须做到五个敢于:敢于解放思想;敢于冒风险;敢于创新;敢于改革;敢于实践。

会议对于学报如何走向社会;学报与时代、社会相结合的方法和途径进行了热烈的讨论,并取得了共识。

会议决定,由研究会常务理事会在近期内讨论并部署1992~1993年度的工作,将于1993年召开的第十次年会进行研究会的换届工作。

会议在上饶师专、华东交大、江西经济管理干部学院和南昌水专的精心筹办下圆满完成了各项议程,成功结束。