

文章编号:1000-582x(1999)03-0067-05

①②

67-71

电气设备介质损耗 监测的谐波分析法及其特性

TM835.4

TM855

廖瑞金¹, 王忠毅¹, 孙才新¹, 李俭², 王学明²

(1. 重庆大学电气工程学院, 重庆 400044; 2. 四川省电力公司德阳电业局, 德阳 618000)

摘要:介绍了一种基于谐波分析法的电气设备绝缘介质损耗数字化监测方法,叙述了其工作原理和硬件电路特性,在实验室和现场的测试表明了该方法在介损测试中具有较高的稳定性和准确性。

关键词:介质损耗 / 绝缘监测; 谐波分析法

中图分类号: TM 835.4

文献标识码: A

电气设备
高压

高压电气设备绝缘的介质损失角正切($\text{tg } \delta$)是反映其绝缘性能的一项重要指标,是停电预防性试验的重要项目和高压电容性设备绝缘在线监测的主要参量。传统的西林电桥法,由于需要外加标准电容不适于在线监测;以硬件电路为基础的过零相位差法,由于易受硬件电路波动(如零漂)的影响,提高在线监测 $\text{tg } \delta$ 的精度困难较大;对于 $\text{tg } \delta$ 监测的其它一些数字化方法,国内有些单位开展了一些研究,也有所报导^[1]。笔者将基于谐波分析法的数字化方法用于 $\text{tg } \delta$ 的在线监测,并对其方法、性能进行了详细研究。

1 监测原理

用数字化测量技术进行介质损失角正切的监测,就是对被监测设备的波形进行采集、存储和分析的数字智能化过程。它将波形信号转换成离散化的数字量,再利用计算机技术进行存储和分析,最后通过一定的数学算法对信号进行时域或频域分析,从而得出测量结果。

图1所示为监测原理框图。由电流、电压传感器分别获得被测设备的泄漏电流和运行电压;前置处理单元完成对信号放大、滤波等处理;锁相倍频单元是对信号进行倍频跟踪,以满足数字信号分析的需要,并且与采

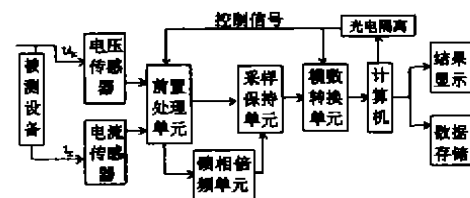


图1 介损的数字化监测原理框图

• 收稿日期:1998-07-20

作者简介:廖瑞金(1963-),男,四川遂宁人,重庆大学副教授,硕士,从事电气设备绝缘在线监测与故障智能诊断研究。

样保持单元、模数转换单元相配合,达到对电压、电流信号的同步采样目的;信号转换成数字量是由12位高精度模数转换单元实现的;最后由计算机对数字化的电压、电流信号进行存储、分析和结果显示。分析中采用的方法为谐波法,叙述如下:

设 u_x 为被测电气设备运行电压、 i_x 为其泄漏电流。

满足狄里赫利条件的电力系统电压 u_x 、电流 i_x ,可按傅立叶级数分解^[2]为:

$$u_x = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \cdot \sin(k\omega t + \alpha_k) \quad (1)$$

$$i_x = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cdot \sin(k\omega t + \beta_k) \quad (2)$$

式中 U_0 ——电压的直流分量; I_0 ——电流的直流分量; U_{km} ——电压的各次谐波幅值; I_{km} ——电流的各次谐波幅值; α_k ——电压的各次谐波相角; β_k ——电流的各次谐波相角。 $k = 1, 2, 3, 4, \dots, \infty$

式(1)、(2)可表示为:

$$u_x = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [(U_{km} \cdot \sin \alpha_k) \cdot \cos k\omega t + (U_{km} \cdot \cos \alpha_k) \cdot \sin k\omega t] \quad (3)$$

$$i_x = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [(I_{km} \cdot \sin \beta_k) \cdot \cos k\omega t + (I_{km} \cdot \cos \beta_k) \cdot \sin k\omega t] \quad (4)$$

根据两个三角函数的乘积在一个周期内的定积分为零的正交特性,将式(3)两边同乘以 $\cos k\omega t$,取一周期内定积分并化简,可得:

$$\int_0^T u_x \cdot \cos k\omega t \cdot dt = \int_0^T (U_{km} \cdot \sin \alpha_k) \cdot \cos^2 k\omega t \cdot dt = \frac{T}{2} U_{km} \cdot \sin \alpha_k$$

$$\text{所以 } U_{km} \cdot \sin \alpha_k = \frac{2}{T} \int_0^T u_x \cdot \cos k\omega t \cdot dt \quad (5)$$

同理,由式(3)两边同乘以 $\sin k\omega t$,并取一周期内定积分可得:

$$U_{km} \cdot \cos \alpha_k = \frac{2}{T} \int_0^T u_x \cdot \sin k\omega t \cdot dt \quad (6)$$

令 $k = 1$,并且式(5)除以式(6),可得电压基波相角 α_1 :

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{\int_0^T u_x \cdot \cos \omega t \cdot dt}{\int_0^T u_x \cdot \sin \omega t \cdot dt} \quad (7)$$

按相同方法,可由式(4)推得电流基波相角 β_1 :

$$\text{tg } \beta_1 = \frac{\int_0^T i_x \cdot \cos \omega t \cdot dt}{\int_0^T i_x \cdot \sin \omega t \cdot dt} \quad (8)$$

容性试品,电流相角超前于电压 90° ,所以,介质损失角正切

$$\text{tg } \delta = \text{tg}[90^\circ - (\beta_1 - \alpha_1)] \quad (9)$$

考虑到图1所示硬件电路对电压、电流有不同相移,电压、电流间存在着一固定相差 Δ ,所以应扣除 Δ 的影响,所以

$$\text{tg } \delta = \text{tg}[90^\circ - (\beta_1 - \alpha_1) - \Delta] \quad (10)$$

所以,对 u_x 、 i_x 离散数字化处理后,按式(7)、(8)和(10)即可求得容性设备的介质损失角正切值。

从式(7)、(8)也可知,根据三角函数的正交特性, u_x 、 i_x 中的直流分量 U_0 、 I_0 不影响 α_1 、 β_1 的值,即不受硬件电路零漂的影响。

2 硬件特性

2.1 倍频跟踪

在对电压、电流信号进行数字化的过程中,硬件电路必须考虑到满足被测信号的变化需要,由于在电力系统中工频电压的频率在 50 Hz 左右有所波动,要在一个周波内采样到固定的 2^n (n 为正整数)个离散化数据点^[2],必须对信号进行锁相倍频跟踪。

图2中左边部分即为锁相倍频跟踪电路原理框图(图1中锁相倍频单元)。经图1中前置信号处理的信号进入到锁相倍频跟踪电路,该电路由锁相环和分频器组成,目的是完成对输入信号的倍频输出和跟踪输入信号的变化(锁相),其工作原理可参考文献[3]。图2中的信号调整是对锁相电路输出信号进行处理,使其满足采样保持电路的电平、时间的需要。实测得到的对输入信号的频率跟踪范围为 36~66 Hz,能够满足对介损数字化监测的需要。

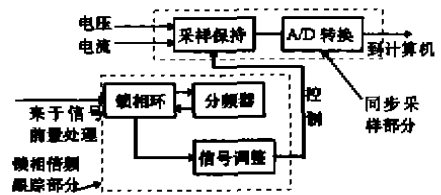


图2 锁相倍频跟踪和同步采样电路框图

2.2 同步采样

按式(7)、(8)和(10)进行介损的数字化计算,要求必须同时对电压、电流信号的各点进行离散数字化,即对电压、电流信号同步采样。由于只采用了一只 A/D 转换器,就必须采用采样保持电路。由图2中锁相倍频跟踪部分的输出信号对采样保持电路实施控制,在一个保持周期内,由计算机控制 A/D 转换器分别对电压、电流信号各进行一次转换,这样分时进行的 A/D 转换达到了同步采样的目的。

3 调试结果及性能分析

3.1 实验室调试

3.1.1 固有角差 Δ 校准

在实验室进行模拟调试时,首先用纯电阻(电压、电流同相)代替图1中被试设备作试品,测试出包含电压、电流传感器在内的所有硬件部分对电压、电流的固有相移及其两者间固有角差 Δ ,并以此作为以后 $\tan \delta$ 监测的角差修正量。测得结果如表1所示。

3.1.2 线性电路测试

采用了三种阻容并联电路作试品,施加电压到 57 V 时进行实测。首先进行电源谐波含量较小和含量较大时的对比测试,这时

表1 硬件电路的固有角差($^\circ$)

次数	1	2	3	平均
u_x 、 i_x 角差	1.120	1.100	1.080	1.100

采样获得的电压、电流波形分别如图3所示(电流 I 仍以电压采样值表示),测得的结果如表2所示,同一试品用西林电桥的测试结果也示于表2.

然后模拟电子电路的零漂,调节硬件电路中的电流放大器,使其出现一定量的漂移,进行测试,测试结果也示于表2.



(a) 电源谐波含量较小时

(b) 电源谐波含量较大时

图3 测试时采样获得的信号波形

表2 不同条件下的对比测试结果 %

西林电桥	电源谐波含量较小	电源谐波含量较大	
$\lg \delta$	介损测量值	介损测量值	介损测量值 (硬件电路有零漂)
4.56	4.652	4.637	4.677
2.52	2.540	2.619	2.639
0.58	0.609	0.626	0.661

从表2可见,由于数字化测量的谐波分析法在求解电压和电流的基波时不受高次谐波的影响,也不受电子电路的零漂影响,其测量的稳定性和测量精度均较高.若考虑到测量的绝对值,与西林电桥相比,则介损测量的绝对误差稍大于0.1%,但小于0.2%.这样的性能已较传统QSI型电桥的0.3%好.

3.2 现场实测

在某220 kV变电站现场进行了实测,测试中按图1接线,但图中运行电压 u_x 是从系统电压互感器(PT)处获取,再经电压传感器隔离耦合得到;测试对象为电流互感器(CT),进行了数百组数据的测试,因篇幅所限,取了有代表性的10组数据示于表3,实测的电压、电流波形如图4所示.

表3 变电站现场实测介损值 %

电流互感器	介 损 测 试 值											
	1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次	8次	9次	10次	平均	
1# 设备	A相	0.627	0.653	0.644	0.650	0.625	0.521	0.583	0.574	0.574	0.552	0.600
	B相	0.527	0.515	0.460	0.449	0.413	0.478	0.439	0.484	0.483	0.460	0.471
	C相	0.941	0.948	0.923	0.955	0.948	0.820	0.836	0.826	0.846	0.837	0.888
2# 设备	A相	0.471	0.466	0.417	0.402	0.453	0.490	0.531	0.512	0.500	0.425	0.467
	B相	0.358	0.322	0.389	0.411	0.443	0.396	0.393	0.334	0.368	0.378	0.379
	C相	0.521	0.583	0.563	0.500	0.568	0.585	0.631	0.571	0.554	0.562	0.564

从表3可见,介损各实测值相互之间的绝对值误差不超过0.2%。由于本次实测是按照在线监测的接线方式进行,而介损的绝对值又较小,所以达到0.2%的绝对误差已较传统离线测量方式的QS1型电桥的0.3%好,这样就获得了较满意的监测结果,完全可以将此方法用于高压电容性设备绝缘介损在线监测中,并使介损监测值的波动较小。

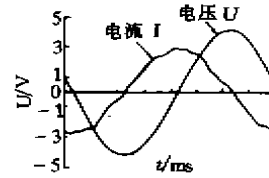


图4 实测所得电压及电流波形

4 结 论

1) 本文介绍的谐波分析法的介损数字化监测方法可以用于电气设备绝缘介损的监测,其测量的稳定性和精度均较高,以在线监测方式工作的介损实测值的绝对误差小于0.2%。

2) 理论和实测均表明,本文的介损监测方法对介损的监测结果不受电源高次谐波和电子电路零漂的影响。

3) 硬件电路的锁相倍频跟踪和同步采样技术是本文方法的重要技术保障。

参 考 文 献

- [1] 吕延锋,钟连宏.介损测量技术及其最新发展[J].高电压技术,1996,22(2):55
- [2] 陶德元,黄本淑.数字信号处理原理及应用[M].成都:四川大学出版社,1991.51~61
- [3] ROLAND E B.锁相环原理、设计及其应用[M].刘顺英等译.北京:人民邮电出版社,1988.112~140

The Harmonic Analysis Method and Its Characteristics for Detecting Dielectric Loss of Electric Equipments

LIAO Rui-jin¹, WANG Zhong-yi¹, SUN Cai-xin¹,
LI Jian², WANG Xue-ming²

- (1. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. Deyang Power Bureau, Sichuan Power Corporation, Deyang 618000, China)

ABSTRACT: This paper describes a digitization detection method—harmonic analysis method which is used for detecting the dielectric loss of the electric equipments. The principle of this method and its characteristics of hardware circuits are introduced also. The testing results in the lab and the field show that this method can measure the dielectric loss rather stably and accurately.

KEYWORDS: dielectric loss / insulation detecting; harmonic analysis method

(责任编辑 李胜春)