

电能质量监测和监测仪器讲座

第二讲 三相不平衡度和电压、频率偏差监测

陈波¹,王鸿钰²

(1. 美国福禄克公司上海办事处, 上海 200070; 2 上海仪器仪表研究所, 上海 200082)

摘要: 介绍国家标准对监测电压偏差、三相不平衡度和频率偏差的仪器的基本要求、测量方法, 及 Fluke 电能质量分析仪在监测三相不平衡度中的应用。

关键词: 电能质量; 仪器; 电压; 频率; 三相不平衡度

中图分类号: TM933

文献标识码: B

文章编号: 1006 - 2394(2005)05 - 0075 - 03

1 电压偏差监测

供电电压偏差指 50Hz 电力系统在正常运行条件下供电电压相对额定电压的偏差。

为了使电压监测点的记录能科学真实地反映电压状况, 根据需要已开发出了专门用于电压质量监测的“电压监测仪”。它以数字信号处理器 DSP 或微处理器为核心构成, 具有进行自动记录和统计功能。在正常使用条件下, 在被监测额定电压的 $\pm 20\%$ 范围内, 其综合测量误差 $\leq \pm 0.5\%$ 。

根据定义, 电压有效值为

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

式中, T 为被测电压的周期, $u(t)$ 为被测电压的瞬时值。监测仪在一个周期 T 内对其进行 N 次采样, 测得的离散采样值为 u_i , 因此, 被测电压的有效值为

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} u_i^2}$$

式中, $N = T/t$ 为每个周期采样点数, t 为采样时间间隔。电压偏差为实测电压 U 相对额定电压 U_N 的偏差。

$$\text{电压偏差}(\%) = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100(\%) \quad (1)$$

电压监测仪通常具有下列主要功能:

(1) 监测电压偏差, 直接或间接地统计电压合格率或电压超限率; 统计的时间以 min 为单位。

$$\text{电压合格率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{电压超限时间}}{\text{电压监测总时间}} \right) \times 100\%$$

$$\text{电压超限率}(\%) = \frac{\text{电压超限时间}}{\text{电压监测总时间}} \times 100\%$$

(2) 按月和按日统计, 打印输出;

(3) 实时显示被监测电压, 定时 (如 2s) 刷新;

(4) 能预置被监测电压额定值, 并按要求整定在被监测电压允许偏差范围内的上限值和下限值。

2 三相不平衡度监测

2.1 不平衡度计算

三相不平衡度指 50Hz 电力系统正常运行方式下由于负序分量引起的三相不平衡的程度。电压或电流不平衡度分别用 U_2 或 I_2 表示, 即用电压或电流负序分量与正序分量的方均根值的百分比表示。

$$U_2 = \frac{U_2}{U_1} \times 100(\%) \quad (2)$$

式中 U_1 ——三相电压的正序分量方均根值, V;

U_2 ——三相电压的负序分量方均根值, V。

如将式 (2) 中 U_1 、 U_2 换为 I_1 、 I_2 , 则为相应的电流不平衡度 I_2 的表达式。

在有零序分量的三相系统中, 应用对称分量法, 分别求出正序分量 U_1 和负序分量 U_2 , 由式 (2) 求出不平衡度。

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 U_a 、 U_b 、 U_c 为三相基波电压, a 为旋转因子,

$$a = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

在没有零序分量的三相系统中, 当已知三相量 U_a 、 U_b 、 U_c 时, 可用下式求不平衡度:

$$U_2 = \frac{\sqrt{-(U_a^2 + U_b^2 + U_c^2) - \sqrt{3} - 6L}}{N_1 + \sqrt{3} - 6L} \times 100(\%) \quad (4)$$

式中 $L = (U_a^4 + U_b^4 + U_c^4) / (U_a^2 + U_b^2 + U_c^2)^2$ 。

当公共连接点的正序与负序阻抗相等时, 则不平衡度可用 GB/T 15543 - 1995 给出的近似算式计算。

2.2 对监测仪器的要求和监测方法

不平衡度测量仪器测量电压不平衡度的绝对误差

应不超过 0.2% ;测量电流不平衡度的绝对误差不应超过 1%。每次测量,一般按 3s方均根取值。对于离散采样的测量仪器,可按下式计算:

$$= \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m k^2} \quad (5)$$

式中 k ——在 3s内第 k 次测得的不平衡度;
 m ——在 3s内均匀间隔取值次数 ($m \geq 6$)。

对于特殊情况,由供用电双方另行商定。

对于波动性较小的场合,三相不平衡度允许值和实测的五次接近数值的算术平均值对比;对于波动性较大的场合,应和实测值的 95%概率值对比,以判断是否合格(任何时刻均不能超过短时允许值)。

为了实用方便,实测值的 95%概率值可将实测值(不少于 30个)按由大到小次序排列,舍弃前面 5%的大值,取剩余实测值中的最大值;对于日波动负荷,按日累计,超标时间不得超过 72min,且每 30min中超标时间不超过 5min。

2.3 监测仪器

2.3.1 ZFL-B型序分量测量仪

ZFL-B型测量仪是按照国际 GB/T 15543 - 1995 对不平衡度的测量要求设计的一种仪器,原理框图见图 1。仪器测量电压不平衡度的误差小于 0.2%,测量电流不平衡度的误差小于 1%。

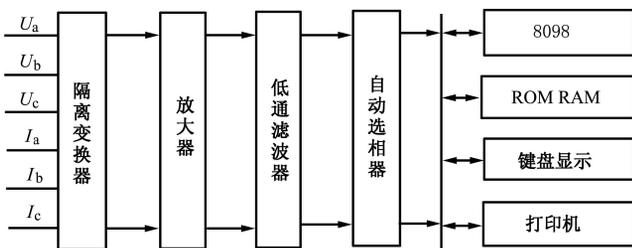


图 1

ZFL-B型测量仪以 8098单片机作中央处理单元,由输入隔离电路、低通滤波器、自动选相和同步锁相电路以及模数转换电路构成采样系统,同步对三相电压、三相电流采样。单片机在被测信号的一个周期内采 128点,经 FFT变换,去除各次谐波后,求得被测基波的幅值和相位,然后利用对称分量法求得电压、电流基波的正序、负序、零序的幅值、相位和不平衡度。

ZFL-B型测量仪具有下列功能:

- (1)实时显示电压、电流正序、负序、零序的幅值和不平衡度;
- (2)打印输出三相电压、电流基波的幅值和相角,以及正序、负序、零序的幅值、相角和不平衡度;
- (3)统计分析连续测量(6~96次,两次测量的间隔时间为 6s~29min)的数据,最后打印出前六个大值的结果;
- (4)根据设定的不平衡度越限值,统计出 30min内不平衡度累计越限时间;
- (5)仪器完整地运行一天(即经过两次 0:00)后,随时打印出前一天不平衡度累

计越限的时间和日变化曲线;(6)不平衡度越限报警。

2.3.2 F430系列三相电能质量分析仪

F430系列分析仪是按 IEC和 GB国际设计的手持式三相电能质量分析仪。它有 4个电压通道和 4个电流通路。能够测量和记录三相系统中几乎所有电能质量参数。测量三相电压不平衡度的准确度为 0.5%(分辨率 0.1%),测量三相电流不平衡度的准确度为 1%。

图 2是用 Fluke434手持式分析仪诊断向电机供电的配电系统电能质量的接线图。此图是按分析仪的 View Config(查看配置)按钮在屏幕上显示的画面,证明电路连接正确,配电类型为三相三角形连接。

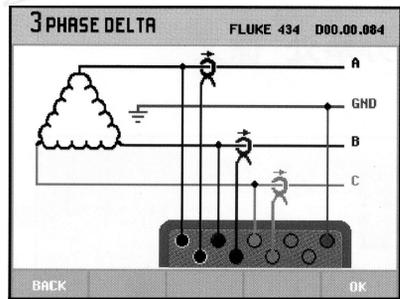


图 2

按下 Scope(示波器)按钮,分析仪上显示三相线电压波形和它们的有效值(见图 3屏幕顶部)。由电压之差知,相间肯定不平衡。将显示切换至三相不平衡屏幕,检查电压和电流值。分析仪上显示了三相相电压大小及矢量图(图 4)。三相相电压分别为 276.7V、266.8V和 261.7V。以式(3)和(2)计算得三相电压不平衡度为 3.3%,此值显示在屏幕顶部。图 5屏幕显示了三相不平衡数据总表。由这些画面和数据知,三相不平衡引起了非常大的相电流失衡,并超出了

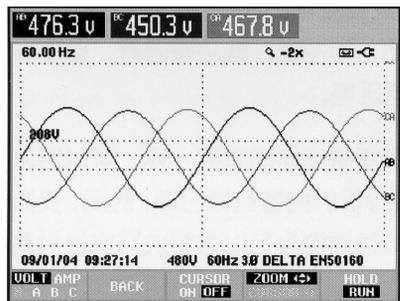


图 3

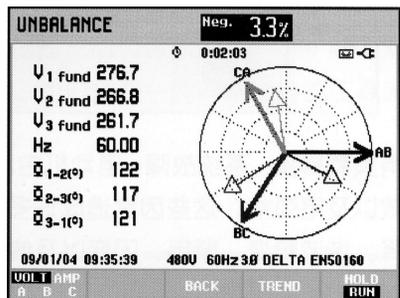


图 4

电机满负荷电流的额定值。进一步查找原因知,所有单相负载都连接到了同一相上,导致三相严重失衡。将单相负载在三相之间平衡分配后,电机的电压不平衡度、电流不平衡降低,与此同时,流过电机的相电流和工作温度也降到允许值之下。

UNBALANCE			
Volt	Uneg.	Aneg.	
Unbal(%)	3.3	2.1	
	A	B	C
Vfund	276.7	266.8	261.7
Hz	60.00		
Rfund	643	750	651
θ(V°)	0	238	121
θR-V(°)	-27	-24	-21
09/01/04 09:33:44 480V 60Hz 3Ø DELTA EMS0160			
		TREND	HOLD RUN

图 5

3 频率偏差监测

频率偏差指 50Hz 电力系统在正常运行条件下的频率实际值与标称值之差。

频率和频率偏差可使用一台符合标准要求的频率表(具有自动记录和统计功能,绝对误差 0.01Hz)跨接在被测电压两端进行测量。借助于波形的过零点测出交流信号的周期,求得实际的系统频率 f_0 。再用下式求得频率偏差 (f):

$$f = f - f_0 = f - 50 \quad (6)$$

为克服谐波、噪声和非周期分量对测量的影响,下

面介绍一种准确度和实时性都比较好的测量方法。

设输入信号是角频率为 ω 的正弦电压 $u(t)$

$$u(t) = U \sin(\omega t + \phi) = U \sin(\omega_0 t + \phi)$$

式中, $\omega = \omega_0 + \Delta\omega = 2\pi f_0 + \Delta\omega$, $\phi = \omega_0 t + \phi_0 = 2\pi f_0 t + \phi_0$, ϕ_0 为初相, f_0 为频率偏差, U 为幅值, $f_0 = 50\text{Hz}$ 。

每周期对 $u(t)$ 采样 N 次,采样间隔 $t = \frac{T_0}{N} = \frac{1}{Nf_0}$,

得采样序列 $\{u_i\}$:

$$\{u_i\} = U \sin\left(\frac{2\pi}{N} i + \phi\right) \quad (i=0, 1, 2, \dots, N-1)$$

对 u_i 进行傅里叶变换,求得基波分量的实部 U_R 和虚部 U_I 。于是,基波分量的相位 $\phi_1 = \arctan\left(\frac{U_I}{U_R}\right)$ 。

利用同样的方法,以后面的 N 个采样值求得基波相位 ϕ_2 。因为 $\frac{d\phi}{dt} = 2\pi f$, 所以,频率偏差 f 为

$$f = f - f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\phi_2 - \phi_1}{N \cdot t} \\ = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\phi_2 - \phi_1}{T_0} \quad (7)$$

为了减小采样不同步误差,可采用自适应技术调整采样间隔,使 $t = \frac{T}{N}$, 由实际测得的频率决定,因此

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\phi_2 - \phi_1}{T} \quad (8)$$

(黄丽丽编发)

(上接第 74 页)

其中类型字段值为 8;代码字段值为 0;标识符可任选 16 位二进制数(如 0x1234);序列号可任选 16 位二进制数(如 0x5677);数据字段可任选;利用数据包编辑器工具计算 ICMP 报文的校验和。

点击工具栏中的“发送”按钮,发 ICMP 报文。

在监测机端截获相应的请求及应答报文。通过观察应答报文可加强理解 ICMP 协议的工作原理。

4 结论

我们在该实验平台上共组织了 15 个实验,从数据链路层到网络应用层,取得了很好的教学效果,不但可以快速的理解协议原理,而且可以根据接收到的数据包,分析解释产生的原理。总之,教学的改革提高了计算机网络课程的教学效果和教学质量。

参考文献:

- [1] 张基温. 计算机网络基础 [M]. 北京:中国人民大学出版社, 2002
- [2] 徐高潮, 胡亮, 付晓东. 计算机网络 [M]. 长春:吉林大学出版社, 2002
- [3] Behrouz A, Forouzan Sophia Chung Fegan TCP/IP 协议簇 [M]. 北京:清华大学出版社, 2004 (许雪军编发)

专业制造、质量保证、信誉为本、用户信赖

氧化锆探头,氧量分析仪, SZC 智能转速表, SZCB-01 传感器, BFC 补偿式风压测量防堵吹扫装置, 风压变送器, 风压防堵取样器, 自动连续吹扫防堵风压测量装置, UDX 测量筒, 智能可编程电接点水位计, 液位监控仪, 多路水位指示报警控制器, 高、中、低进口件电极, 双色模拟水位指示仪, SZD 液位调节仪, UDX-41 (51) 电接点液位报警仪, 磁翻柱液位计, 彩色石英管液位计, 玻璃板液位计, XMD-1 点 ~ 100 点智能温度巡回记录仪, 单路、多路无纸记录仪, 智能流量积算仪, 磁卡式通用感应智能流量积算仪(含刷卡机、磁卡), 兴力巴风流量测量装置、泵智能计量控制仪, PHG 智能在线酸度仪, DDG 智能在线电导仪, 智能在线酸碱浓度计, 智能在线溶氧仪, 轴向位移传感器, 轴向位移监视仪, 振动传感器, 振动监视仪, 胀差传感器, 胀差监视仪, 全通用数显表(三个报警、四个报警输出), 热电阻、热电偶传感器, 配电器、转换器、隔离器、安全栅、电源保护箱, 电源接线盒, 电源开关、仪表电源箱, 扩散硅、1151 型、3051 型电容式压力、差压、液位变送器, 单回路、八回路报警器, 音响器, ISO 国际标准节流装置孔板、集气器、沉降器、冷凝器、隔离器、水流指示器, FP-64A (B) 单室、双室平衡容器, ZCX 电动操作显示器, DFD 操作器, 手持式智能信号发生器校验仪, 便携式精密压力、风压校验仪, 智能电量传感器、变送器, DAS 智能远程、分散式数据采集网络。