



中华人民共和国国家标准

GB/T 17626.7—1998
idt IEC 61000-4-7:1991

电磁兼容 试验和测量技术 供电系统及所连设备谐波、谐间波的 测量和测量仪器导则

Electromagnetic compatibility —
Testing and measurement techniques —
General guide on harmonics and interharmonics
measurements and instrumentation, for power supply
systems and equipment connected thereto

1998-12-14 发布

1999-12-01 实施

国家质量技术监督局 发布

IEC 引言

本标准是 IEC 61000 系列标准的一部分,该系列标准构成如下:

第一部分:综述

综合考虑(概述、基本原理)

定义、术语

第二部分:环境

环境的描述

环境的分类

兼容性水平

第三部分:限值

发射限值

抗扰度限值(由于它们不属于产品委员会的责任范围)

第四部分:试验和测量技术

测量技术

试验技术

第五部分:安装和减缓导则

安装导则

减缓方法和装置

第六部分:通用标准

第九部分:其他

每一部分又可分为若干分部分,它们作为国际标准或技术报告出版。

目 次

前言	I
IEC 前言	II
IEC 引言	III
1 范围	1
2 引用标准	1
3 定义、符号和下标	1
4 测量仪器的分类	3
5 对各类测量仪器的共同要求	4
6 对频域测量仪器的特殊要求	6
7 对时域测量仪器的特殊要求	7
8 评估方法	9
9 供电系统中的谐波电压测量	9
10 测量的特殊情况	11
11 环境对抗扰性试验的影响	14
附录 A(提示的附录) 参考资料	17

中华人民共和国国家标准

电磁兼容 试验和测量技术
供电系统及所连设备谐波、谐间波的
测量和测量仪器导则

Electromagnetic compatibility —
Testing and measurement techniques —
General guide on harmonics and interharmonics
measurements and instrumentation for power supply
systems and equipment connected thereto

GB/T 17626.7—1998
idt IEC 61000-4-7:1991

1 范围

本标准适用于测量叠加在工频电压(或电流)上,频率从直流到 2 500 Hz 的电压(或电流)分量的测试仪器。

此外,本标准还适用于依据有关标准中给定的发射限值(如根据 GB 17625.1 给出的谐波电流限值)对单台设备进行试验,以及对实际供电系统中的谐波电压和电流进行测量的仪器。供电系统的谐波测量是非常引人关注的。

本标准不包括发射试验的试验条件和测量步骤,这些要求在具体的标准中给出。

供电频率的整数倍谐波受到特别关注,但其他频率的谐波分量(谐间波分量)也须测量。

本标准包含了频域和时域两类测量仪器。

为了便于比较测量结果,对谐波测量的统计分析给出了初步推荐意见。

为了把波动谐波和快速变化谐波的测量结果与给出的限值、可接受值或参考值作比较,要指出时间常数相对较小的测量过程利用规定方法处理测量数据的评估过程的差别。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 4365—1995 电磁兼容术语(idt IEC 60050-161:1990)

GB 17625.1—1998 低压电气及电子设备发出的谐波电流限值(设备每相输入电流 $\leq 16\text{A}$)(eqv IEC 61000-3-2:1995)

GB/T 17626.2—1998 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验(idt IEC 61000-4-2:1995)

IEC 60348:1978 电子测量仪器的安全要求

3 定义、符号和下标

3.1 电压 U_m

供电电压的频率为 f_m 的分量。

3.2 电流 I_m

供电电流的频率为 f_m 的分量。

注：当考虑与供电频率有关的 n 次谐波分量时， U_m （或 I_m ）及 f_m 由 U_n （或 I_n ）和 f_n 来代替。

3.3 有关谐波的定义（见 GB/T 4365）

符号表示法：本标准中有关傅里叶级数展开式中使用下列符号表示法，因为这样比较容易通过观察过零点的值测量相角。

$$f(\omega t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(n\omega_1 t + \varphi_n)$$

$$\bar{c}_n = b_n + ja_n = c_n e^{j\varphi_n}; \quad \varphi_n = \arctg\left(\frac{a_n}{b_n}\right)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega_1 t) d(\omega t)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega_1 t) d(\omega t)$$

$$c_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t)$$

式中： ω_1 ——基波的角频率（ $\omega_1 = 2\pi f_1$ ）；

$\bar{c}_n$ ——频率为 $f_n = nf_1$ 的分量的复振幅；

c_0 ——直流分量。

注：严格地讲，这些定义只适用于稳态信号。

3.4 谐波 interharmonics

处于供电频率的谐波之间的那些频率分量。

3.5 频域测量仪 frequency-domain instrumentation

用模拟滤波技术进行信号分析处理的测量仪器。

3.6 时域测量仪 time-domain instrumentation

通过对信号进行时间采样，然后用数学的方法处理这些采样数据的测量仪器。快速傅里叶变换（FFT）是谐波分析中最常用的一种算法。

3.7 符号

a ：傅里叶级数的虚部系数（幅值）

b ：傅里叶级数的实部系数（幅值）

c ：傅里叶级数的复系数

d ：畸变率

f ：频率；函数

f_1 ：基波频率

j ： $\sqrt{-1}$

P ：累积概率函数百分值

t ：（计算）时间

x ：采样值

B ：带宽

C ：频谱线的均方根值

D ：加权畸变率

I ：电流（均方根值）

M : 整数, 窗口宽度内的采样数

PCC: 公共连接点

T : 时间段

T_1 : 基波周期

$T_w: NT_1$ 窗口宽度

U : 电压(均方根值)

ω : 角频率

φ : 相角

3.8 下标

cap: 容性

ind: 感性

i : 变动的整数

k : 变动的整数

m : 测量值, 频谱分量的次数 m (不一定为整数)

n : 谐波次数, 变数(整数)

r : 额定值

S : 采样, 同步

D : 日

L : 长的

N : 标称值

Sh : 短的

VS : 很短的

Wk : 星期

4 测量仪器的分类

测量仪器可以依据被测信号 U_m 或 I_m 的特性, 测量仪器的准确度等级以及所要求测量的类型(电压或电流等)来划分, 本标准对上面的各种需要分别给出了建议。

测量仪器可能是为了单一需求及使用(如测量供电电压的稳态谐波)而研制的, 也可能是为了适合在各种情况下使用(如测量电压、电流、谐波及谐间波)而研制的。

4.1 被测信号的特性

应考虑满足以下需要的各类测量仪的技术要求。

- a) 准稳态谐波(变化慢的);
- b) 波动谐波;
- c) 快速变化谐波(或短时冲击谐波);
- d) 谐间波或其他杂散分量。

本标准给出了以上四种情况的测量方法, 但要精确划分前三种情况是不可能的。在适用的文件中会指出满足所规定电磁兼容要求的最合适的方法。例如:

对情况 a), 已被认可不必要采取连续性分析(无时间间隔地连续测量), 应用实例如下:

1) 恒定谐波电流(如电视接收机及调光器产生的谐波电流)的测量。

2) 对供电系统的谐波情况作长期调查, 此时, 谐波的瞬间效应已不重要。

对情况 b), 需要用连续的实时分析, 这种类型的测量有: 在带有电子相位控制及调节的家用电器中由于电动机反转、速度改变等而产生的波动谐波电流测量, 另外一个例子是用于工业系统(如轧钢机)的供电电压监测中。

对情况 c), 连续的实时测量是绝对必要的, 而且为获得可重复的结果必须测量非常准确, 在不久的将来, 这种测量仪器在分析快速变化的谐波和很短谐波脉冲群(在 1 s 或更短的时间内发生变化的谐波)中是必不可少的, 这种谐波和脉冲群可能对如供电系统中工作的遥控接收装置有危害。

谐间波和其他的杂散分量将单独加以考虑(见 10.4)。

4.2 测量仪器的准确度

由于简单低价的仪器易于被接受, 所以对电压和电流的谐波分析也需考虑两种准确度(A 级和 B 级)。根据 GB 17625.1 规定, 发射试验要求的测量准确度较高, 为 A 级。

4.3 测量类型

分别给出测量谐波电压和谐波电流的建议, 也考虑一些特殊情况的测量(如谐波相角, 总谐波畸变率、加权谐波畸变率及对称分量等项的测量)。

5 对各类测量仪器的共同要求

无论在频域中还是在时域中测量, 下述要求对所有类型的测量仪器都适用, 这些要求对稳态、波动、快速变化的谐波及谐间波的测量均有效。

5.1 对输入回路的要求

5.1.1 电压输入回路

测量仪器的输入回路应适应要分析的供电电压的额定电压和频率, 在电压达到 1.2 倍的额定电压值时, 应能保持测量的性能和准确度不发生变化, 除了工业电网中因畸变负载较大要求峰值因数至少要达到 2 外, 一般峰值因数至少取 1.5 可满足测量需要。任何情况下, 都要求有超负荷指示。

建议对输入回路施加时间达 1 s 的 4 倍设定输入电压或 1 kV (均方根值) 的交流电压中的较小者, 该电压不应使仪器造成任何损坏。

其他要求见第 11 章。

为了使测量仪器适用于大多数供电系统, 输入回路的电压等级建议采取以下额定电压:

U_N : 115 V, 230 V, 400 V。

注

- 1 第一个电压等级 115 V 也可用于外加的电压互感器, 其他附加的电压系列(如 100 V, $100\text{ V}/\sqrt{3}$, $110\text{ V}/\sqrt{3}$)也可用于该用途。
- 2 高灵敏的输入(0.1 V~1 V, 10 V)对带有外部变换器的运行是有用的(见 5.1.2 的例子), 此时, 峰值因数至少为 2。

输入回路的功率损失不大于 3 VA, 采用高灵敏输入($\leq 50\text{ V}$)时, 其输入电阻应至少为 $10\text{ k}\Omega/\text{V}$ 。

应该注意, 同被测的谐波比较, 高的基波(供电频率)电压值不应产生过负荷而造成仪器损坏, 或在仪器输入级产生有害的交调误差信号。这种误差应在规定的准确度之内。

5.1.2 电流输入回路

电流回路应适应所要分析的电流, 应能对谐波电流进行直接测量。此外, 还须具备一个低压高阻抗的电压输入回路, 它可与外部电阻分流器(或电流互感器与电阻分流器结合的回路)配合。回路的合适输入范围为 $0.1\text{ V}\sim 1.0\text{ V}$ 。

直接测量电流的输入回路中的电流建议采用以下额定值:

$I_N = 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 16\text{ A}$ (如需要时可取 10 A)。

B 级测量准确度的仪器, 其电流输入回路的功率损失不大于 3 VA, 测量准确度为 A 级的仪器, 输入电压降不超过 0.15 V 。

每一测量输入回路应最大可连续输入 $1.2I_N$ 电流, 当电流输入为 $10I_N$ 达 1 s 时不应对设备造成任何损坏。电流输入回路峰值系数取 3 是合适的, 并要求有过负荷指示。

应该注意, 与均方根值有关的电流高的峰值(例如峰值因数)或比被测谐波高的基波(供电频率)电

流值,不应产生过负荷而损坏仪器或对仪表的输入级造成有害的交调误差信号。

其他要求见第 11 章。

注:直流分量常伴随被测的畸变电流产生,这种直流分量可能在输入电流互感器中产生较大的误差。制造商应在仪器的技术规范中指出允许的最大直流分量,以保证因它所引起的附加误差不超过规定的准确度。

5.2 对测量仪器准确度的要求

测量谐波电压和谐波电流的仪器建议采用两种准确度。表 1 为制造商标明的额定使用条件下(温度、湿度、供电电压等)测量仪器在工作频率范围内对单一频率的稳定信号的最大允许测量误差。

表 1 最大测量误差

级 别	被 测 量	条 件	最大允许误差
A	电压	$U_m \geq 1\% U_N$	$5\% U_m$
		$U_m < 1\% U_N$	$0.05\% U_N$
	电流	$I_m \geq 3\% I_N$	$5\% I_m$
		$I_m < 3\% I_N$	$0.15\% I_N$
B	电压	$U_m \geq 3\% U_N$	$5\% U_m$
		$U_m < 3\% U_N$	$0.15\% U_N$
	电流	$I_m \geq 10\% I_N$	$5\% I_m$
		$I_m < 10\% I_N$	$0.5\% I_N$

表 1 中 U_m, I_m 为测量值(见定义), U_N, I_N 为测量仪器的额定输入值。

注:当设备按 GB 17626.1 试验时,其误差项在本标准中分别与允许限值(允许限值的 5%),或被测试设备的额定电流(I_r)对应(即 $0.15\% I_r$),以较大者为准。

当需要用最高的准确度评价额定电流大于 5 A,次数高于 15 次的谐波时,建议采用与被试设备额定电流匹配的外部分流器或电流变换器(见图 1)。

只用于测量谐波的测量仪,它的误差只适用于谐波频率。

根据制造商给出的明确的说明,经一个内部校正器或外部校正器简单地调准后,应达到表 1 所规定的准确度。

如果是内部校正器,其误差应单独给出。制造商应指出测试仪器本身的和内部校正器(如果有的话)的最重要的影响误差(温度、辅助供电电压等)。

5.3 对电流互感器和电压互感器的准确度要求

电压互感器(VT)和电流互感器(CT)的准确度应同测量仪器的准确度匹配,即相对于测量值的相对误差不超过 5%。依据 GB 17626.1 测试时,全部测量设备相对误差不超过 5%(见表 1)。

在进行供电系统谐波调查时,通常要测量与基波电压或电流有关的谐波量,只有依赖于电流互感器和电压互感器变比的频率才是重要的,而不是标称频率下的准确度。因此,谐波范围内的变比与基波频率额定变比的偏差不应超过以上推荐值的 5%。

如果必须要增加测量相角,尤其在必须确定有功谐波潮流的方向的情况如探测谐波源时(见 10.1),电压互感器和电流互感器各自的相角应不大于 5° 。

对大约 40 台电压互感器(电压范围从 6 kV~400 kV)的变比测量结果汇总于图 2 中。它表明直到给定频率下变比最大偏差达 5%(或 5°)的电压互感器台数的百分值 p 。到目前对电流互感器次数不多的测量还没有提供类似的结果。

根据全部的测量结果,可得出以下结论:

——低压电压互感器和电流互感器能很好地适应谐波频率的范围。

——当只要求满足 5%的幅值测量准确度时,中压电压互感器似乎一般地可适用于在 1 kHz 以内的频率,约有 60%的电压互感器适合于全部谐波频率;

——如再考虑满足 5°角误差的要求,则中压电压互感器似乎只适用于 700 Hz 以内,约 50% 的电压互感器适合于全部谐波频率;

——对于仅在少数实际测量中使用的中压电流互感器,都能很好地适用于在谐波范围内的幅值测量。但相角测量时,这个范围降低到约 1.5 kHz。

——高压电压互感器通常可以很好地适合于频率为 0.5 kHz 内的测量。只有采用良好变比的特殊测量可以适用于整个频率范围。新投入使用的电压互感器就是这样。

——超高压电压互感器似乎不适宜测量 5 次以上的谐波,但如果采取特殊措施,则测量 1 kHz 以内的谐波误差是可以接受的。

——高压和超高压电流互感器只适用于很少数的测量,依赖于频率的误差能达到很大,但电流互感器的误差往往小于电压互感器的误差。

如果必须要进行非常精确的电压测量,建议采用电阻式分压器(当 $U_N < 1$ kV 时)或电容式分压器(当 $U_N \geq 1$ kV 时)。

很多情况下,可采用电容式电压互感器(CVT 即电容式分压器和隔离变压器的组合),但并不总是适用于谐波测量,尤其不适应高次谐波的测量。通过在电路上隔离这种电压互感器,并在必要时插入一个附加电容,就可得到一个电容式分压器。

钳形电子电流变换器的变换比适用于整个谐波频率,但它们的绝缘水平却限制它们只能用在低压回路中,如电流互感器的二次回路中;如果要用于测量,会发现这些变换器的小的偏置电流会使直流分量产生偏差。

6 对频域测量仪器的特殊要求

6.1 概述

原则上只要符合技术规范就可使用任何型式的频域测量仪器,例如测量仪可以采用选频放大器、振荡器、多路无源滤波器等。

整个测量流程绘于图 3 中。

注:发射试验不推荐采用自动频率扫描,因为要想正确地测量稳态值时,扫描应非常慢。

6.2 准稳态谐波

抑制基波和其他谐波分量。

这些要求规定了测量仪器根据被测的第 n 次谐波频率 f_n ($f_n = n \cdot f_1$, f_1 为供电基波频率)整定的最小衰减。

当一个不同于 f_n 的单一谐波频率信号加在测量仪的输入端时,根据频率 f_n 的值,在仪器的显示或记录的输出端测量衰减。表 2 中的值适用于电压和电流测量。

表 2 衰减要求

单一频率注入信号	f_n 的值	最小衰减, dB
相邻频率 $f_n - f_1$ $f_n + f_1$	$2f_1 \leq f_n \leq 12f_1$	30
	$12f_1 < f_n \leq 20f_1$	20
	$20f_1 < f_n \leq 50f_1$	15
频率 $\leq 0.5f_n$	f_n 为任何值	50
基波(供电)频率 f_1	f_n 为任何值	60*
		70**
* 对所有电流测量或 B 级准确度的电压测量。		
** A 级准确度的电压测量。		

注:这些衰减值考虑了这样的事实,即误差远小于频域仪器在带有一个平均值或均方根值检波输出电路情况下正比于边带谐波相对幅值的误差。

6.3 波动谐波

应满足 6.2 中所有的衰减要求,此时 f_n 为测量频率。

另外, -3 dB 的带宽应在 3 Hz 与 10 Hz 之间。

如果怀疑按 GB 17625.1 做的发射试验的测量值与极限值很接近,应使用本标准的一种参考的测量仪,这种仪器具有 $3\text{ Hz} \pm 0.5\text{ Hz}$ 的 -3 dB 带宽和对频率为 $f_n - 15\text{ Hz}$ 或 $f_n + 15\text{ Hz}$ 的单频率信号有 25 dB 的最小衰减。

6.4 快速变化的谐波

不推荐用频域测量仪测量快速变化的现象。

6.5 输出要求

根据 6.3,为了提供图 3 中相应于 $\bar{c}_n$ 的输出,测量仪器模拟滤波部分的输出必须要检波(简单的平均值检波器或具有均方根值特性)和预平滑处理。为了评估,还需进一步进行平滑(见第 8 章)。

对本标准给出的技术规范来说(如用于评价阶跃响应和选择性),记录仪和/或指示器(即使对波形分析仪来说是外部设备)应认为是测量设备的一部分。

7 对时域测量仪器的特殊要求

7.1 快速傅里叶变换(FFT)测量仪——基本概念

基于基本的傅里叶级数的离散傅里叶变换(DFT)被定义为:

$$a_n = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_k \cos\left(n \frac{2\pi k}{M}\right) \quad b_n = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_k \sin\left(n \frac{2\pi k}{M}\right)$$

根据图 4 利用实现离散傅里叶变换的快速算法([1]~[4])¹⁾即所谓快速傅里叶变换(FFT)的测量仪的组成主要包括:

- 抗混叠滤波器;
- 包含有采样和保持单元的模/数转换器;
- 同步装置及窗口形状单元(如需要);
- 计算傅里叶系数 a_n, b_n 的快速傅里叶变换处理器;
- 获得谱线(谐波) c_n 值或可能的相位延迟 φ_n 值的计算处理单元。

被分析的信号 $f(t)$ 消除了高于仪器工作范围的频率,是经过低通滤波的信号([1],[2])。该频率范围包括次数 $n=1 \cdots 50$ 的谐波并可包括直流分量($n=0$)。对滤波后的信号进行采样、模/数转换和存储。在时间窗口(窗口宽为 T_w)上对 $M=2^i$ ($i=7, 8, \dots$) 个采样信号进行快速傅里叶变换。时间 T_w 是系统电压基波周期 T_1 的 N 倍,即 $T_w = NT_1$, 采样率为 $f_s = 2^i / (NT_1)$ 。

在用快速傅里叶变换处理以前,可通过一个特殊的对称函数(“窗口形状”)与采样值相乘来对时间窗口 T_w 的采样值进行加权。最好采用对全部采样信号等同加权的矩形窗。与 $\sin^2$ 函数对应的汉宁窗也通常采用,还有一些其他形状的窗口[1]。

如果采用矩形窗口,采样率和窗口时间 T_w 应严格同基波频率 f_1 同步。对汉宁窗可以不需要。但是,在要测量对基波的绝对相位延迟时,则需要同步。

快速傅里叶变换处理器得出相应于频率 $f_k = k \times 1/T_w$ ($k=0, 1, 2, \dots, 2^{i-1}$) 正交傅里叶系数 a_k, b_k 。当充分同步时,相对于基波频率 f_1 的谐波次数 n 下由式给出 $n=k/N$ 。

算术处理器计算出谐波的幅值 $c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, 也可计算相位延迟 $\varphi_n = \arctg(a_n/b_n)$ 。

注:上面提到的快速傅里叶变换是频率分析的常用方法,它要求每个时间窗处理 $N=512 \cdots 2048$ 个采样信号(假定采样率为 5 kHz),从而产生 256 $\cdots$ 1024 条计算的频率线。就一般目的而言(供电系统的谐波测量)只选择测量与谐波次数 $n=1 \cdots 40$ 对应的 40 条谱线就可以算作包括处理了谐波的结果。依据傅里叶级数的定义只对选取的 40 条谱线直接计算是合适的。在这种情况下,应使用同步采样和矩形窗口。

1) 方括号中的数字是附录 A 中参考资料的序号。下同。

其他的方法可以包括在实行傅里叶级数变换前进行低通滤波和降低频率。

为了能将时域测量仪与频率测量仪的测量结果进行相互比较,给出了以下建议。

7.1.1 准稳态谐波

准稳态谐波可能是逐点进行测量而不是连续测量的。因此窗口宽度只受所要求选择性的限制,和工作在频域中的测量仪相比,与 3 dB 等价的带宽 B 对于矩形窗近似为 $B=0.9/T_w$,对汉宁窗 $B=1.4/T_w$ 。例如: B 等于 10 Hz~3 Hz 时,则矩形窗宽 $T_w=0.1\text{ s}\sim 0.3\text{ s}$,对于汉宁窗 $T_w=0.15\text{ s}\sim 0.5\text{ s}$ 。

如果矩形窗的采样率 $f_s=2\times f_{\text{syn}}/N$ 完全同基波(频率 $f_{\text{syn}}=f_1$)同步,则当频率为 f_m 时,其测量值完全不会被邻近的 $f_m\pm f_k$ 时的测量值所误,传递函数在 f_k 处有根。如果同步中有偏差则会改变这些根。限制 $|f_{\text{syn}}-f_1|/|f_1|=3\times 10^{-4}$ 后,如果只抑制相邻频率,则可满足与频域测量仪相同的选择性要求(见 6.1 表 2),对于其他的频率 f_k ,例如谐波,如果 $|f-f_m|>f_1$,则大约被衰减 30 dB~40 dB。

对汉宁窗不必要求这么严格的同步,因为相邻频率的衰减会更好,但是,由于用 $\sin^2$ 函数加权,除了一些其他缺点外,还会在原来的信号 $f(t)$ 中引出新谱线。

包含在信号 $f(t)$ 中频率大于 $f_s/2$ 的谱线中,通过快速傅里叶变换传递函数无衰减地折回(混叠)到测量范围内,因此,必须用一个至少衰减为 50 dB 的附加抗混叠滤波装置来加以阻隔。

7.1.2 波动谐波和快速变化的谐波

波动谐波和快速变化的谐波应该连续测量,尤其在发射试验中更是如此。

在离线评估时,有足够储存容量的数字记录系统可满足要求,但是如果采用实时处理,在观察信号 $f(t)$ 期间应没有间隔。

另一方面,函数 $f(t)$ 的所有部分都应有同样的加权。“等同加权”要根据窗口的形状采用适宜的窗口安排:对矩形窗口应没有间隔和不重叠,对汉宁窗可以有半重叠,因为它们之和加起来要达到 1。

波动谐波可以用 $T_w=16\times T_1$ 的矩形窗口测量,以获得与 -3 dB 条件下的 3 Hz 等效选择。输入值变化后得到稳定输出读数的最长时间为 $2\times T_w$,即系统频率为 50 Hz 时为 0.64 s,这个响应时间似乎是可接受的。对汉宁窗窗口宽取 0.4 s~0.5 s 是合适的。这些特性使频域和时域仪器在波动谐波测量结果的比较上等效。

为了对快速变化的谐波和短暂的谐波(如点火角快速变化时的功率变换器)进行代表性的测量,一个 8 倍于基波周期的小窗口是考虑了选择功能、时间响应(在 $t_{\text{res}}=2\times T_w$ 的最大期间为 2 阶的阶跃响应)以及平滑其他瞬态现象(特别在开关操作期间)的一种折衷方案。如果要求对波动谐波测量时有较好的平滑,可以在时域内对随后的若干窗口取平均值或在频域内对系数求均值来代替选择较宽的窗口。 $T_w<4\times T_1$ 的窗口不予推荐,例如开关操作期间测量功能的快速变化会产生持续一两个窗口长的附加谐波成分,这些成分可能被误认为是实际的谐波,但他们只在开关操作期间函数 $f(t)$ 的形状被延续到若干个窗口 T_w 时才存在。这些短时“谐波”虽然没有意义,但会歪曲测量结果。

7.2 数字滤波器

除快速傅里叶变换外,按表 2 中规定的模拟带通还可以用数字滤波器来产生,注意要满足所要求的高品质因数。可采用不同的方法将模拟滤波器转换成一个等效的数字滤波器([4],[5])。不同的方法都表明所要求的 40 次谐波可并行计算,并且所得的 c_n 被进一步处理后送到图 4 中的评估和分类部分。这 40 次谐波是最重要的,测量设备应提供获得包括有谐波间波的供电电源的全部频谱分量(见 10.4)。

7.3 操作方法和输出要求

如果采用时域测量仪,可提供以下操作方式:

- 单次测量(外触发器触发的对一个窗口内的采样值进行快速傅里叶变换,结果由内部存储);
- 连续操作(重复率可在如每分钟一次和不间断实时测量之间选择,提供内部存储,例如,可存 5 000 个窗口);
- 连续操作和触发存储(只存储一个或多个超过预先选定限值的谐波幅值测量结果);测量设备

应至少能对谐波幅值 c_n 或其有效值 $c_n/\sqrt{2}$, 也可增选相角 φ_n 以及 a_n, b_n 作如下输出:

——单次测量后可任意选 n 次谐波的系数 $(a_n), (b_n), c_n, \varphi_n$ 数字显示(用线性及对数尺标)或者一个系数, 例如连续运用期间预先选定的 n 次谐波的 c_n 的数字显示;

——单次测量后或连续运用期间预选 n 次谐波谱线的图形显示输出(用线性及对数尺标);

——(与显示类似方式)的打印机和绘图仪输出;

——用于连接如计算机, 软盘和记录仪的并行和/或串行接口。

8 评估方法

对向供电系统注入波动谐波电流(例如按 4.1 中的分类)的设备进行发射试验时, 在测量过程中还要附加评估过程。评估过程原则上不同于测量过程本身, 它给出了将规定的限值、可接受的值以及参考值与测量值 c_n 进行比较的处理方法(见图 3、图 4)。

8.1 输出信号滤波

通过滤波器对输出信号 c_n 平滑, 得出 $\bar{c}_n$ 值是评估过程的一部分。

当认为快速变化的谐波(如果存在)的影响不重要时, 这个办法被用于评估 GB 17625.1 所涉及的发射试验装置的波动电流谐波。

除用滤波器进行初始平滑外, 利用 $\bar{c}_n$ 值的补充评估原则, 可以将测量结果与限值做比较。

对时域测量还可能其他的评估方法。

8.1.1 频域测量仪的低通滤波

对于频域测量仪, 评估是以利用低通滤波器的初始平滑处理为基础的; 这种方式中, 包括指示器或记录仪在内的对被测谐波突发(阶跃)脉冲群的总响应对应于 1.5 s 时间常数的一阶低通滤波器的响应。通常在记录仪之前经过有源滤波器或无源滤波器就能很好地达到这个目的。

注: 采用频域测量仪很难区分测量过程和评估过程, 这是因为测量设备的总的响应是最关键的。但实际区分常常可以实现, 因为对波形分析仪的响应通常是在 0.2 s 内能达到稳态值的 90% , 而且在记录仪前插入特殊滤波器就可获得所需要的性能(见图 4)。

8.1.2 时域测量仪的滤波器

对于快速傅里叶变换仪器, 测量数据是逐个时间窗口所求的 c_n 值(见图 1)。一个处理逐个窗口测量值(c_n 以数字形式出现)的实时软件能达到等效于模拟时间常数 1.5 s 的特性。为了与真正的指数规律更接近, 这个评估用的数字滤波器可以有比给定窗口频率 $1/T_w$ 高的内部频率。

8.2 未来的评估方法

发射试验的评估中, 时域的数字测量仪器通过增加存储超过限值的一些值, 如发射的幅值、谐波次数、出现的次数、持续的时间及其之间的时间, 从而提供比 1.5 s 指数平滑法更好的方法(见图 4), 建议采用这些新的试验仪器的提案正在考虑之中。

要正确评估快速变化的谐波, 1.5 s 的低通滤波器显然是不行的。在未来定义的对快速变化的谐波评估方法必须基于 7.1.2 中定义的设备。

9 供电系统中的谐波电压测量

9.1 测量设备的类型

未来没有多大可能广泛采用频域测量仪器进行统计分析, 然而, 对重要的特殊谐波(如 5 次或 7 次谐波)的长期记录可能会采用这种手段。

为此, 建议引入明确定义的时间常数 1.5 s (见 8.1.1)。在这种情况下, 不能测量快速变化的谐波(如果存在)。

评估谐波现象, 将最可能采用时域测量仪器, 如快速傅里叶变换测量仪。因此, 为了测量和统计处理测量的结果, 下面建议专门应用于这种类型的测量仪。

9.2 快速傅里叶变换测量仪的基本要求及窗口宽度

合适的测量仪在本标准前面几章中已对其特性作了规定,包括以下测量要求:

- a) 准稳态谐波;
- b) 波动谐波;
- c) 快速变化的谐波。

a)类仪器只适用于考虑谐波的热效应(长期的)的谐波电压测量。b)类仪器适用于考虑谐波在那些对谐波响应相对慢的设备上的瞬态效应。最后,考虑用c)类仪器来评价快速响应的设备(如电子控制或纹波控制接收器)的瞬态效应。

测量仪器按 7.1 条规定要求的性能综述于下表中:

表 3 采用 FFT 的测量仪器的基本要求

谐波的类别	建议的窗口宽度	附加要求
准稳态谐波	$T_w=0.1\text{ s}\sim 0.5\text{ s}$	窗口间有间隔
波动谐波	$T_w=0.32\text{ s}$ (矩形窗) $T_w=0.4\text{ s}\sim 0.5\text{ s}$ (汉宁窗)	没有间隔 窗口重叠一半
快速变化的谐波	$T_w=0.08\text{ s}\sim 0.16\text{ s}$ (矩形窗)	没有间隔

9.3 测量结果统计处理的时间范围

应该注意到,谐波测量结果统计处理的时间范围,从少于 1 s,一直到一周或更长。从一个基本的单一测量(对应一个窗口时间 T_w)开始,必须采引入中间的整段时间,在这个时间的基础上综合处理数据,以便说明和使用,同时这也有助于限制数据存储所需的空間。

在使用本标准时,要把“观察时间”与“有效测量时间”加以区别:

——有效测量时间与谐波测量的有效持续时间(例如连续的不重叠的窗口时间的总和)相对应,即窗口时间之间的间隙(如果有)不予计入;

——观察时间是实际用去的总时间,相当于有效测量时间加上该观察时间内的间隙的时间。

为了使数据紧凑,建议采用以下时间段:

很短的时间段(T_{VS}):3 s;

短的时间段(T_{Sh}):10 min;

长的时间段(T_L):1 h;

一天的时间段(T_D):24 h;

一周的时间段(T_{Wk}):7 d。

注:至很短的时间段(T_{VS})以下,所需的设备可以包含在快速傅里叶变换测量仪本身之内。从短的时间段(T_{Sh})以上,它们一般是所连计算机系统的一部分。从很短的时间段 T_{VS} 算起的处理过程可认为是评估过程的一部分。

9.3.1 很短的时间段(第一种积分时间段)

这个时间段 T_{VS} 被认为是有效测量时间,建议为 3 s。如果窗口之间允许有间隔(9.2 中的情况 a)),则对应于 $T_{VS}=3\text{ s}$ 的观察时间将大于 3 s,但最好不超过 10 s。各时间窗口必须相等地位于观察时间之内。

对于各个可选择的第 n 次谐波,如果要查找瞬态效应(9.2 中的情况 b),c)),则应该在 T_{VS} 间隔内确定所有单个计算的快速傅里叶变换值(相应于一个 T_w)的最大值 $c_{n\max}$ 。

为了评估谐波的长期效应(热效应),应在时间区段 T_{VS} 中确定由 M 个单个计算出的快速傅里叶变换值 c_n (最好达到 $n=50$)的有效值:

$$c_{nVS} = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^M c_{n,k}^2 \right) / M}$$

此外,能够计算 10.2 中定义的总畸变率 d 和其他畸变率。这些数值均应存入计算机中以备将来使

用。

9.3.2 短的时间段(第二种积分时间段)

为了估计谐波累积概率函数^{*},对单独可选择的谐波(最好达到 $n=50$),仪器最好能提供一些分级数,每次谐波至少分32级。每个连续观察时间不超过给定的百分数 p ($p=1, (10), (90), 95, 99\%$)的谐波值由外接的计算机计算后存储。短时间区段 T_{Sh} 认为一个观察时间,建议取为10 min。在这个观察时间内至少提供100个 c_n 值。

此外,对所选择的各单次谐波,每段短的时间区段内所有各级的含量(基于“瞬时”窗口的 c_n 值可存储起来为以后更特殊的计算使用。

万一得不到所有各级含量的储存时,至少应该通过每10 min连续观察时间的均方根值 c_{nSh} 由按9.3.1中定义的在该10 min区间内产生的全部对应的 c_{nVs} 值计算出来。

9.3.3 长的时间段(第三种积分时间段)

长的时间段 T_L 的选择是任意的,采用时建议取观察时间为1 h。

对 $p=1, (10), 50, (90), 95, 99, 99.9\%$,累积概率函数采用从周期 T_{Sh} 或最好从各级储存含量得到的百分数可以在整个长的时间段 T_L 上求得。

9.3.4 一天的时间段(24 h)

这个时段对于在供电电压的谐波调查中提供有用的统计数据是必需的。例如,可以在一天的时间内给出所选谐波由整个 T_{Sh} 时间确定的50%,95%和99%概率值的时间函数。

需要进一步整理数据时,建议采用以下步骤:

a) 如果主要考虑瞬态效应, T_{Vs} 时间段内所有最大的记录值中的最大值(见9.3.1)保留一天。而且应计算出所有这些 T_{Vs} 最大值的累积概率值(至少有CP95%和CP99%的值)。

b) 当考虑长期(热)效应时, T_{Vs} 区段内所有记录的均方根值的最大值(见9.3.1)保留一天。而且应计算出所有这些 T_{Vs} 上累积的均方根值的累积概率值(至少有CP95%和CP99%的值),此外,所有 c_{nSh} 值的最大值 $c_{n \max Sh}$ (在 $T_{Sh}=10$ min内积分的均方根值)是有用的。

注

- 1 确定 T_{Sh} 时,连续的10 min间隔是不可调整的和没有重叠的。
- 2 加上 $c_{n \max Sh}$ 是有用的,因为95%的累积概率说明每天有1 h超过一个值(累积概率99%是每天大约15 min超过),但没有给出这到底是发生在连续的1 h期间还是在整个24 h内大量独立时间段中。
- 3 总结一天时间的数据(最好以 T_{Sh} 间隔为基础)的图解法是非常有利的,它表明对一个可选的独立谐波或对总畸变率的评估。

9.3.5 一周或更长的时间段

这里不给出特别的建议。应在总结逐天的数据基础上进行分析。应该记住通常工作日和周末之间会存在大的差别。

一周或更长的时间内,至少95%和99%的累积值是有用的。

10 测量的特殊情况

发射试验只要求测量幅值,即谐波电流的均方根值。对于供电系统谐波电压的调查,这可能也是足够的。由于缺乏有关谐波潮流的资料,往往不能探测到可能的骚扰起源。为了建立一个包括谐波源、系统设备和负荷阻抗的准确等效电路,应测量所有考虑的各次被测谐波的幅值和相位延迟。谐波阻抗测量仪除了用于预测提到的畸变负荷的影响之外,它不可能预报系统未来谐波水平的变化。

对整个谐波电压水平的详尽描述有助于评价电动机、电容器等设备的附加热损失。

三相电力设备的对称方式发生偏离表明可能出现了故障。小的故障会强烈地影响对称性,尤其在谐波频率范围内,如:一个电容器组的某个元件损坏。因此,监测对称性或许有助于探测这些故障。

* 不超过相应值的概率。

在将来可能会因为车间和小工厂更广泛地使用频率变换器而引起供电系统电压的谐波上升。
有关上述的特殊测量资料在以下条款中详述。

10.1 相角测量

除测量幅值外,还要求测量同次谐波电压和电流间的相角(相对的相位延迟)以便:

- 计算供电系统谐波潮流。
- 检测和确定(骚扰)谐波源的位置。
- 估计连接到同一节点的不同骚扰负荷的谐波电流的总和因素。
- 建立系统等效电路,预报并计算新骚扰负荷的影响并采取抑制措施例如加滤波器。

从公用供电系统到一个工厂之间的配电线路上产生大的谐波电流(情况 b)的举例)可能有两个原因:

- 工厂中功率转换装置所产生的较大谐波电流;或
- 工厂中的滤波回路或电容器组吸收电网的谐波电流。

所考虑谐波次数的有功功率的流向有助于寻找骚扰来源的方向。如果有功率流入公用供电系统,则认为是工厂“引起”谐波电流,反之,则认为是由电网本身引起的。为了计算有功功率,必须测量在 PCC 处的谐波电压和线路电流间的相角。此时,不必知道相对于基波的谐波电压和电流的相位延迟(绝对相角 ϕ_n)。

当存在引起相位偏移的 Δ -Y 变换器时,要特别注意相角测量结果的说明。

由于不必要与基波同步,如果可以取得整流部分之前的输出,并且两个测量通道是相同的(必须进行核对),则可以使用模拟滤波器。

数字测量仪通常能提供相角的测量。如果不能直接测得,则可采用快速傅里叶变换测量仪,通过系数 a_n 和 b_n 计算得出相位延迟(参见 3.3)。只要在两个通道同时采样,就可使用与基波频率不同步的测量仪。

与基波有关的绝对相角的测量(参见 3.3),最好在系统基波电压过零时精确同步。在使用频域测量仪器时则不必这样。只有(数字或模拟的)正交相关或快速傅里叶变换能提供所需的基本的傅里叶系数 a_n, b_n 。

除上述 a) 到 d) 中所介绍的情况以外,绝对相角测量的优点还有:

- 能比较同一系统不同结点的测量值或不同系统间结点的测量值。
- 能做出决定不同系统连接或重新布置,或局部分散骚扰负荷是由于相同相角叠加而增加谐波水平,还是由于相反相角补偿而减小谐波水平。
- 能探测骚扰负荷,尤其是来自无点火控制的整流回路的“最佳”相角,以评价整个骚扰效应并寻找抑制措施。

为了能够譬如清楚地确定有关有功谐波功率的方向,谐波绝对相角的最大测量误差不超过 $\pm(5^\circ$ 或 $n \times 1^\circ)$ (以较大值为准)。这个值是依据 GB 17625.1 的幅值测量的 A 级准确度要求,因为相角和幅值都是由同一个傅里叶系数求出的。

10.2 畸变测量

测量仪器可以有选择地提供下列畸变率和加权函数的特殊输出。

10.2.1 畸变率

当电力设备在一个有干扰的系统中运行时,对其热应力的评估常常用到三个畸变率,它们反映了系统电压的总的质量水平。

- 常规的畸变率

$$d = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2} / U_1$$

常规畸变率 d 与如架空线路、电缆、变压器绕组的电阻的附加损耗和热应力有关,它可用电压和电

流两者来表达。用电流表达的式子与所给出的电压的表达式相同。大多数使用情况下,考虑从2次~25次谐波已足够了。

b) 适用于电感设备的加权畸变率

$$D_{ind} = \sqrt{\sum_{n=2}^{25} \frac{U_n^2}{n^\alpha}} / U_1$$

式中: $\alpha=1\sim2$ 。

电感设备的加权畸变率 D_{ind} 只用于电压,它是对电感设备如线圈、部分地用作同步发电机的感应电动机的附加热应力的一种近似估量。

大多数使用情况下,考虑从2次~20次谐波已足够了。

c) 适用于电容器的加权畸变率

$$D_{cap} = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} G_n U_n^2} / U_1$$

电容器的加权畸变率 D_{cap} 只用于电压,它是对直接连接到系统(无串联电感)的电容器的附加热应力的一种近似估量。

10.2.2 噪声评价系数

为了评价电磁耦合对音频线路的影响,根据CCITT带有噪声评价系数骚扰的输出可能也是有用的。

10.3 对称分量的测量

在给定频率下的任何不平衡三相电压(或电流)系统(即“原系统”)可以用同一频率的三个“对称系统”的和来代替。

——正序系统 $U_{n, pos}(I_{n, pos})$ (相序为 L_1, L_2, L_3);

——负序系统 $U_{n, neg}(I_{n, neg})$ (相序为 L_1, L_3, L_2);

——零序系统 $U_{n, 0}(I_{n, 0})$ 。

如果原系统的一个电压(电流)有相同的波形,即当偏移±1/3基波周期后,他们是相同的,则对所有谐波都存在唯一的“特征”系统: $n=3 \times m$ ($m=1, 2, 3, \dots$)次谐波只形成零序系统, $n=3 \times (m-2)$ 次谐波只形成正序系统, $n=3 \times (m-1)$ 次谐波只形成负序系统。

实际上,不对称总是存在的,并且也产生了“非特征”谐波,这些谐波对甚至可能是很小的不对称也很敏感,例如,单相负荷分配不相等,诸如线路、电缆、变压器等设备的不完全平衡。低压网络上非特征谐波电压相对于它们的特征谐波电压,在次数 $n \neq 3 \times m$ 和 $n=3 \times m$ 时,会分别达到20%和50%。

谐波中采用对称分量的理由是:

——对于几乎所有的负荷和网络设备(线路、电缆、变压器),其正序(或负序)阻抗与零序阻抗不同。

因此,在评价注入电流引起的谐波电压时,有必要对系统分别处理。

——通常使用的变压器(Δ -Y和Y-Y形连接法)不传递零序电压和电流。

—— Δ 连接的负荷(电动机、电容器组等)不受零序电压影响,例如3次谐波电压的非特征分量会在这些电动机中引起附加损耗。

——破坏三相用电设备对称性的小故障(如补偿设备中一个电容器或保险丝损坏)很容易通过测量相应的非特征电流而检测出来。

对称分量可采用专门的测量仪直接测量或利用众所周知的模分解矩阵由被测量的三相值计算获得。

10.4 谐间波的测量

谐间波电流的来源及谐间波电压的影响已在[6]中讨论过。谐间波可以是准稳态谐波,但它们的幅值和/或频率常常是变化的。

a) 至少具有固定频率的准稳谐间波可以用规定的准稳态谐波测量仪测量。时域或频域测量仪器如果能同步或调节到任何频率,那么都可使用,如采用外差式测量仪。

谐间波的一个主要影响是对纹波控制接收器的干扰,建议在采用与纹波控制接收器相应的在-3 dB带宽 5 Hz,即窗口宽 $T_w=0.16$ s。

因此,可以测量中心在 f_m 频率的每一频率附近的谐间波,并且,如果 f_m 与波动控制频率相对应,则能正确估计谐间波的骚扰水平。

b) 频域测量仪通常不适宜测量快速变化和波动的谐间波频率,因为这种测量仪与那些快速变化的频率取得同步非常困难。

可以采用时域测量仪,它们同样不必与被测的谐间波频率同步,但它们提供在所有频率 $f_m=m/T_w$ 时的测量结果, T_w 是时间窗口宽, $m=0,1,2\cdots$ 。因此,每一个中心频率 f_m 附近的谐间波量均可测量,并且如果它与纹波控制器的频率匹配,则可以正确评估谐间波的骚扰水平。

以上提到 0.16 s 的窗口宽度提供的频率线全部为 6.25 Hz,这是一个考虑了所期望的带宽与跟踪快速变化的频率和幅值能力的折衷办法。

而且,如果只有少数谐间波线占主导地位(一个谐间波频率最大时在 6.25 Hz 频率窗口范围内),它们可以被当作一个随 $\Delta f=f_{int}-f_m$ 在一个复平面内旋转的矢量。 f_{int} 是实际谐间波频率, f_m 为被测量的中心频率。实际频率 f_{int} 可以重新计算,快速傅里叶变换传递函数所引起的衰减可用软件处理进行校正。

如果必需统计评估谐间波,则可遵照第 9 章中的建议。在谐间波的情况下必须考虑用一个频率范围代替固定谐波频率,应根据所研究的现象(如对纹波控制接收器和闪烁效应的影响)来选择这个频率范围的宽度和中心。

11 环境对抗扰性试验的影响

制造商应规定额定的工作条件和由于下列因素的变化可能引起的误差范围:

- 温度;
- 湿度;
- 测量仪供电电压和有关的串模干扰;
- 测量仪的接地连接,输入回路和辅助供电电压之间的共模干扰电压;
- 静电放电;
- 辐射电磁场。

注:在采用与安全及绝缘要求有关的 IEC 60348 时,应考虑到输入回路(电压和电流)可能会与电网供电电压直接连接。

11.1 温度和湿度

合适的温度和湿度范围:

工作温度范围: $+5^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$;

贮存时温度范围: $-10^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$;

工作时相对湿度: $40\%\sim95\%$ 。

11.2 测量仪器的供电电压

制造商应指出与下列因素有关的影响误差,并期望这些影响对规定的准确度可忽略不计。所有这些因素都与辅助供电电源有关。

- 与额定频率的偏差: $\pm 2\%$ 。
- 与额定电压的偏差: $\pm 15\%$ 。
- 总畸变率:

1) 正常使用时最高达 10% ;

2) 对于打算在高度畸变电源的场合中使用的测量仪,可能需要更高的总畸变抗扰性。