ICS 19.080
CCS K 40

中华人民共和国国家标准

GB/T 16896.3—2024/IEC 61083-3:2020

高电压和大电流试验测量用仪器和软件 第3部分:对交直流电压和电流试验用硬件的要求

Instruments and software used for measurements in high-voltage and high-current tests— Part 3:Requirements for hardware for tests with alternating and direct voltages and currents

（IEC 61083-3:2020，IDT）

2024-10-26 发布　　2025-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅳ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
3.1　数字记录仪器 …… 2
3.2　额定值 …… 2
3.3　因数 …… 3
3.4　动态性能 …… 3
3.5　不确定度 …… 5
3.6　试验 …… 5
4　使用条件 …… 6
5　校准和试验方法 …… 6
5.1　适用性 …… 6
5.2　数字记录仪器的合格评定 …… 6
5.3　参考发生器的要求 …… 7
5.4　数字记录仪器合格评定的可用方法 …… 7
5.5　校准 …… 7
5.6　替代试验方法 …… 7
5.7　不确定度分量 …… 8
5.8　输入阻抗 …… 8
6　交流和直流测量的要求 …… 8
6.1　对用于认可测量系统的数字记录仪器的要求 …… 8
6.2　单项要求 …… 8
6.3　对用于参考测量系统的数字记录仪器的要求 …… 9
6.4　试验 …… 9
7　对整个测量系统的不确定度影响 …… 10
8　性能记录 …… 11
附录 A（规范性）　高电压大电流实验室和试验现场的电磁干扰 …… 12
A.1　一般要求 …… 12
A.2　预防措施 …… 12
A.3　暂态感应电磁场试验 …… 12
A.4　电流注入试验 …… 13

附录 B（资料性） 高电压大电流实验室和试验现场的电磁干扰——数字记录仪器的建议 …… 14
附录 C（资料性） 采样仪器幅值非线性的确定流程 …… 16
附录 D（资料性） 示例和注意事项 …… 19
D.1 用于交流和直流电压测量的数字记录仪器的建议 …… 19
D.2 待测量的相关电压和电流的特性示例 …… 20
D.3 仪器必要上升时间的确定 …… 22
D.4 各种交流与直流测量的补充注意事项 …… 22
参考文献 …… 23

图 1 数码 k 对应的积分非线性 $s(k)$ …… 4
图 2 直流条件下差分非线性 $d(k)$和数码宽度 $w(k)$ …… 5
图 A.1 电磁场试验原理图 …… 13
图 A.2 电流注入电缆屏蔽层 …… 13
图 C.1 采用 4 位 A/D 转换对正弦波形进行数字化 …… 16
图 C.2 采用 4 位 A/D 对正弦波数字化时的理想的数码分布 …… 17
图 C.3 对理想的正弦波信号进行非理想测量时的示例 …… 17
图 C.4 积分非线性产生的差异的示例 …… 18

表 1 使用条件 …… 6
表 2 数字记录仪器的试验要求 …… 10
表 B.1 建议用于高电压环境中的数字记录仪器电磁干扰抗扰度水平 …… 14
表 D.1 相关电压和电流 …… 20

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是GB/T 16896《高电压和大电流试验测量用仪器和软件》的第3部分。GB/T 16896已经发布了以下部分:

——第1部分:对冲击试验用仪器的要求;

——第2部分:对冲击电压和冲击电流试验用软件的要求;

——第3部分:对直流电压和电流试验用硬件要求。

本文件等同采用IEC 61083-3:2020《高电压和大电流试验测量用仪器和软件　第3部分:对交直流电压和电流试验用硬件的要求》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会(SAC/TC 163)归口。

本文件起草单位:中国电力科学研究院有限公司、国网江苏省电力有限公司常州供电分公司、湖北省宜昌市计量检定测试所、国网江苏省电力有限公司营销服务中心、国网河南省电力公司营销服务中心、国网湖北省电力有限公司营销服务中心、江苏省计量科学研究院、国网四川省电力公司营销服务中心、国网福建省电力有限公司营销服务中心、广东电网有限责任公司计量中心、国网安徽省电力有限公司营销服务中心、国网河北省电力有限公司营销服务中心、国网重庆市电力公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司广州供电局、云南电网有限责任公司电力科学研究院、天津市计量监督检测科学研究院、西安西电电力系统有限公司、国网河北省电力有限公司电力科学研究院、安徽大为电气科技有限公司、武汉磐电科技股份有限公司、湖北华中电力科技开发有限责任公司。

本文件主要起草人:岳长喜、余佶成、陈玉、常帅、雷民、徐敏锐、丁涛、郑欣、潘宝祥、周一飞、吴志武、张鼎衢、庄磊、石振刚、龙英凯、杜钢、廖耀华、赵新明、王家琦、刘杰、张立超、孙军、刘焱。

引　言

数字记录仪器是交直流电压(电流)测量系统的重要组成部分,可将交直流电压(电流)转换装置输出的模拟信号转换为数字信号,并进行数据存储和处理,其测量准确性直接影响整套测量系统的测量性能。数字记录仪器广泛应用于电气设备生产厂家、高等院校、电网公司、检测检验机构等单位,具有应用领域多、需求量大、性能要求高等特点。

GB/T 16896《高电压和大电流试验测量用仪器和软件》拟由4个部分构成。

——第1部分:对冲击试验用仪器的要求。目的在于规定冲击高电压和冲击大电流试验中测量用数字记录仪的性能要求和校准方法。

——第2部分:对冲击电压和冲击电流试验用软件的要求。目的在于规定高电压大电流冲击试验用软件的要求。

——第3部分:对交直流电压和电流试验用硬件的要求。目的在于规定交直流高电压和大电流试验中测量用数字记录仪器的测量特性和校准要求。

——第4部分:对交流与直流试验用的软件的要求。目的在于规定交直流高电压和大电流试验中测量用软件的要求。

本文件的制定,有利于保证国内外数字记录仪器性能评价结果的一致性,实现我国检测机构试验能力的国际互认;有利于将国内对数字记录仪器性能的特殊要求通过修改引用的方式加强和完善,便于后续国际标准的制修订;有利于消除贸易壁垒,为我国数字记录仪器的生产企业打开国际市场创造有利条件。

高电压和大电流试验测量用仪器和软件 第3部分:对交直流电压和电流试验用硬件的要求

1 范围

本文件适用于交直流高电压和大电流试验中测量用数字记录仪器。本文件规定了数字记录仪器的测量特性和校准要求,以满足相关标准(如 IEC 60060-1、IEC 60060-2、IEC 60060-3、IEC 62475、IEC 61180)规定的测量不确定度及程序要求。

本文件适用于依据本文件设计和型式试验的数字记录仪器。

本文件:

——确定了数字记录仪器在进行交流(AC)或直流(DC)电压、电流试验时的性能要求;

——规定了数字记录仪器需满足的必要要求,以确保其在相关标准下使用;

——描述了数字记录仪器的试验方法和流程;

——界定了具有记录功能和获取原始数据功能的数字记录仪器的有关术语。

注:附录D中列出了需要测量的相关交直流电压和电流的例子。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 27418—2017 测量不确定度评定和表示(ISO/IEC Guide 98-3:2008, MOD)

注:GB/T 27418—2017 被引用的内容与 ISO/IEC Guide 98-3:2008 被引用的内容没有技术上的差异。

IEC 60060-2 高电压试验技术 第2部分:测量系统(High-voltage test techniques—Part 2: Measuring systems)

注:GB/T 16927.2—2013 高电压试验技术 第2部分:测量系统(IEC 60060-2:2010, MOD)

IEC 61180 低压电气设备的高电压试验技术 定义、试验和程序要求、试验设备(High-voltage test techniques for low-voltage equipment—Definitions, test and procedure requirements, test equipment)

注:GB/T 17627—2019 低压电气设备的高电压试验技术定义、试验和程序要求、试验设备(IEC 61180:2016, MOD)

IEC 62475 大电流试验技术 试验电流和测量系统的定义和要求(High-current test techniques—Definitions and requirements for test currents and measuring systems)

注:GB/T 16927.4—2014 高电压和大电流试验技术 第4部分:试验电流和测量系统的定义和要求(IEC 62475:2010, MOD)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 维护的用于标准化的术语数据库网址如下：

——ISO 在线浏览平台：https://www.iso.org/obp；

——IEC 电工百科：https://www.electropedia.org/。

3.1 数字记录仪器

3.1.1

认可的仪器 approved instrument

满足本文件各条款要求的仪器。

3.1.2

数字记录仪器 digital recording instrument

具有记录输入(信号)并进行数字输出功能的设备。

注 1：本定义包括数字记录仪、数字示波器、数字峰值电压表和其他适用的含数字记录功能的仪器。

注 2：记录数据的波形通常显示在屏幕上，用于作图或打印。由于此过程进行了处理，可能会改变波形的形状。

3.1.3

标定测量范围 assigned measurement range

满足本文件规定不确定度限值的输入电压范围。

3.1.4

输出 output

数字记录仪器在特定瞬间的显示值或数字量。

3.1.5

满刻度偏转 full-scale deflection

在给定量程下使仪器产生最大标称输出的最小输入值。

3.1.6

偏置 offset

数字记录仪器零输入时的输出。

3.1.7

原始数据 raw data

数字记录仪器将模拟信号转换为数字形式时获得的采样和量化信息的原始记录，允许对输出进行偏置校正并将记录乘以常数。

3.1.8

试验持续时间 test duration

完成试验所需的时间间隔。

3.1.9

读取速率 reading rate

仪器显示或存储被测交直流电压或电流读数的速率。

注：采样仪器的读数一般通过计算后给出，例如若干采样值的平均值(DC)或方均根值(AC)。

3.2 额定值

3.2.1

额定分辨力 rated resolution

r

2 的 $-N$ 次幂，其中 N 为 A/D 转换器的额定位数。定义为：

$$r = 2^{-N}$$

3.2.2

采样率　sampling rate

单位时间内的采样个数。

3.2.3

记录长度　record length

以时间单位或采样总数表示的记录持续长度。

3.2.4

预热时间　warm-up time

从仪器首次开机到满足使用要求的时间间隔。

3.3　因数

3.3.1

刻度因数　scale factor

与经偏置校正的输出相乘得到被测输入量的因数。

注：刻度因数包含任何内置或外置的衰减器的比例系数，其通过校准确定。

3.3.2

静态刻度因数　static scale factor

确定直流电压或直流电流输入量的刻度因数。

3.3.3

幅值非线性　non-linearity of amplitude

数字记录仪器的实际输出与标称值之间的偏差，通过将输入电压或输入电流除以刻度因数来确定。

注：直流电压或电流输入时的静态非线性与动态条件下的非线性不同。

3.3.4

峰值因数　peak factor

由测量的峰值除以测量的方均根值(RMS)后得到的数值。

3.4　动态性能

3.4.1

积分非线性　integral non-linearity

$s(k)$

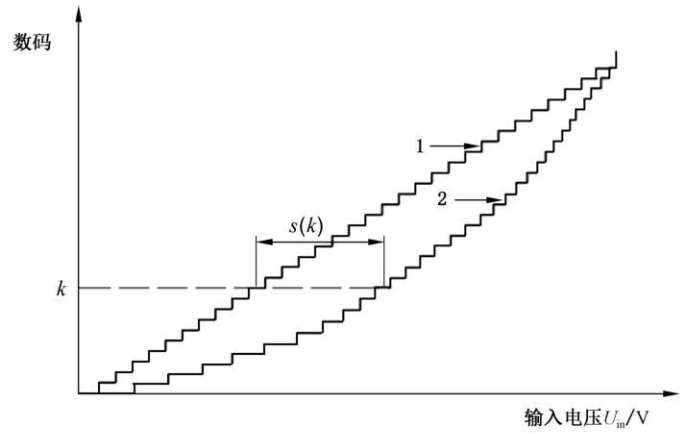
对应测量点上，测量的量化特性与基于静态刻度因数的理想量化特性之间的偏差(见图1)。

3.4.2

量化特性　quantization characteristic

表示数字记录仪器输出与产生此输出的直流输入电压之间关系的特性(见图1)。

注：量化特性的平均斜率等于A/D转换器的静态刻度因数的倒数。



标引序号说明：

曲线 1——理想 5 位数字记录仪器的量化特性；

曲线 2——非线性的 5 位数字记录仪器的量化特性(图中选择 5 位的低分辨力进行说明)。

图 1　数码 k 对应的积分非线性 $s(k)$

3.4.3

数码　code

用于标识数字水平的整数。

3.4.4

数码宽度　code bin width

$w(k)$

归属数码 k 的输入电压或电流范围(见图 2)。

3.4.5

平均数码宽度　average code bin width

w_0

满刻度偏转与额定分辨力的乘积(见图 2)。

注：平均数码宽度约等于静态刻度因数。

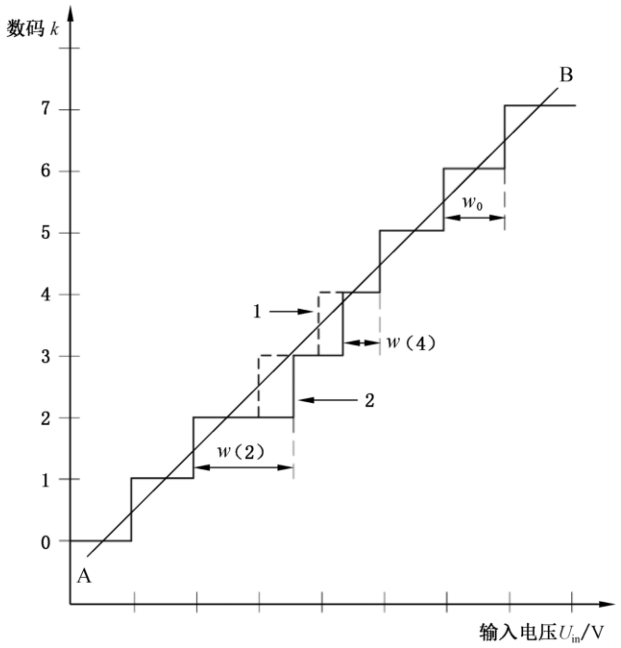
3.4.6

差分非线性　differential non-linearity

$d(k)$

数码 k 测得的数码宽度 $w(k)$ 与平均数码宽度 w_0 的差值除以平均数码宽度 w_0(见图 2)：

$$d(k)=\frac{w(k)-w_0}{w_0}$$



标引序号说明：

曲线 1 ——理想的 3 位数字记录仪器的量化特性；

曲线 2 ——在数码 $k=2,3$ 和 4 处有较大 $d(k)$ 的 3 位数字数字记录仪器的量化特性；

直线 AB——理想数字记录仪器码宽中点所连的直线(图中选择 3 位的低分辨力进行说明)。

图 2 直流条件下差分非线性 $d(k)$ 和数码宽度 $w(k)$

3.4.7

上升时间 rise time

t_R

数字记录仪器响应阶跃信号时，记录曲线上稳态幅值的 10％和 90％两点间的时间间隔。

3.4.8

时基 time base

数字记录仪器的水平刻度单位，用于测量时间间隔。

3.5 不确定度

3.5.1

不确定度 uncertainty

利用可获得的信息，表征赋予被测量量值分散性的参数。

注 1：不确定度是一个无符号的正数。

注 2：测量不确定度不宜与试验值容差混淆。

3.5.2

标准不确定度 standard uncertainty

用标准偏差表示的测量结果的不确定度。

[来源：ISO/IEC 指南 98-3:2008，2.3.1]

3.6 试验

3.6.1

校准 calibration

在规定条件下，通过参照标准建立示值和测量结果之间的关系的一组操作。

[来源:IEC 60050-311:2001,311-01-09,有修改]

3.6.2

型式试验 type test

对一台或多台样品开展的符合性试验。

注:对于测量系统,理解为对组件或对相同设计的完整测量系统开展的试验,以表征其在工作条件下的特性。

[来源:IEC 60050-151:2001,115-16-16,有修改]

3.6.3

例行试验 routine test

生产过程中或生产完成后对每个产品进行的符合性试验。

注:理解为在运行工况下对每个元件或整机进行的表征其性能的试验。

[来源:IEC 60050-151:2001,151-16-17,有修改]

3.6.4

性能试验 performance test

对整套测量系统在工作条件下开展的特性试验。

3.6.5

性能校核 performance check

验证最近一次性能试验仍然有效的简化程序。

3.6.6

性能记录 record of performance

由用户建立和维护的详细记录,包含测量系统的描述及已满足本文件要求的佐证资料,其中佐证资料包括初始性能试验结果、后续性能试验和性能校核的计划和结果。

4 使用条件

在表1中给出的使用条件范围内,数字记录仪器应能正常工作并满足本文件规定的不确定度要求。

表1 使用条件

使用条件		范围
环境	温度	5 ℃～40 ℃
	相对湿度(不凝露)	10%～90%
电源	电源电压	额定电压±10%(RMS) 额定电压±12%(AC峰值)
	电源频率	额定频率±5%

任何表1之外的使用条件,应明确而清楚地记录于性能记录中。

注:测量、控制和实验室用电气设备电磁兼容性试验的一般要求在IEC 61326-1中进行了规定。

5 校准和试验方法

5.1 适用性

数字记录仪器可满足本文件的全部要求,或适用的部分要求。

5.2 数字记录仪器的合格评定

用于高电压和/或大电流测量的数字记录仪器的合格评定通过与可追溯至国家标准的参考系统进

行比较测量，以确认其准确度及动态性能同时满足要求。

数字记录仪器的合格评定包含对每种类型仪器的型式试验，对每台仪器的例行试验，及对每台仪器的定期校准。

高电压大电流实验室和现场的电磁干扰试验，可参考附录 B。

5.3 参考发生器的要求

仅当数字记录仪器含有用作参考的测量组件时，才有必要对参考波形发生器进行校准（见 6.3）。其他波形发生器，满足幅值、频率稳定性和噪声一般要求即可。

注：获认可的波形发生器，当其输出幅值和频率的稳定性在 0.1％以内、输出噪声小于 1％时，认为满足资质要求。

5.4 数字记录仪器合格评定的可用方法

数字记录仪器合格评定的可用方法包括：

a） 校准（确定刻度因数），见 5.5；

b） 动态性能试验，见 5.6.2；

c） 内部噪声，见 5.6.3；

d） 干扰试验，见 5.6.4；

e） 显示性能，见 5.6.5。

5.5 校准

校准是确定认可的数字记录仪器刻度因数的推荐方法，也是核查数字记录仪器所记录的时间参数的推荐方法。实际值应记录在原始记录中。

在直流电压和直流电流情况下，校准信号的极性应与被测信号的极性保持一致。

在每个测量量程内，应选择足够数量的测试值，以对数字记录仪器的输出信号和对应的校准信号进行评估。刻度因数是输入值和输出值之商的平均值，不同的刻度因数可由不同的电压和电流参数或由不同波形的频率来确定（例如：峰值和偏差、方均根值）。

所记录的相关频率和时间参数应与可溯源的参考值进行评估和比较。

每个试验所用的量程都应进行校准，可建立校准曲线或刻度因数表来减小非线性变换特性的影响。

5.6 替代试验方法

5.6.1 一般要求

当 5.5 规定的校准方法不适用时，应采用替代试验方法。虽然校准是推荐的性能检验方法，但替代试验方法可用于无法开展校准试验的仪器类型，也可作为除校准外的补充试验方法。

5.6.2 上升时间和阶跃响应试验

施加阶跃信号的上升时间需小于规定限值的 20％（见 6.2.5），测量输出信号的上升时间为响应曲线上稳定幅值的 10％和 90％两点的时间间隔。阶跃信号的幅值应为满刻度偏转的（95±5）％。

在工作范围内，上升时间应在不少于 5 个等级下测量（各等级之间宜保持恒定间隔，如 1、2、5、10 序列）。

注：由于试验频率通常低于 400 Hz，所以能使用可产生几千赫的标准波形发生器开展本试验（见 D.1）。

5.6.3 内部噪声水平

应施加幅值在数字记录仪器量程内的直流电压。

应以规定的采样率进行足够的记录，以获得至少 10 个样本。这些样本的标准偏差被作为内部噪声水平。

5.6.4 干扰试验

附录 A 给出了干扰试验要求。

5.6.5 读取速率

在试验过程中，读取速率应足以捕捉到击穿前的电压，并达到所需的精度。

注：读取速率不是采样率。

5.7 不确定度分量

制造商应提供与预期应用有关数量的不确定度估计值。然后，依据 IEC 60060-2、IEC 62475 和 IEC 61180 进行测量不确定度评定，不确定度贡献可用于评估不确定度。

5.8 输入阻抗

根据所使用的测量系统的类型，仪器的输入阻抗可能影响测量系统的刻度因数和响应。出于这个原因，数字记录仪器的输入阻抗（电阻和电容）应予以说明。

6 交流和直流测量的要求

6.1 对用于认可测量系统的数字记录仪器的要求

认可测量系统应满足 IEC 60060-2、IEC 61180 和 IEC 62475 的规定，以及依据本文件开展测量的数字记录仪器的扩展不确定度应不大于（置信度水平不低于 95%）：

a) 测量电压（电流）：1%；

b) 测量时间和频率参数：1%。

此不确定度应根据 GB/T 27418—2017 评估。

注：根据 IEC 60060-2、IEC 61180 和 IEC 62475，数字记录仪器的不确定度评估值作为完整测量系统的一个不确定度来源。

6.2 单项要求

6.2.1 一般要求

为保证满足 6.1 给出的限值，单个参数性能通常宜满足 6.2 给出的限值要求。某些情况下，在整体不确定度不超过 6.1 规定的前提下，单个或多个参数可超过限值要求。

6.2.2 刻度因数

在规定的时间间隔和频率范围内，刻度因数在±1%内应保持稳定，且不确定度不超过 1%。

6.2.3 采样率

经信号处理后的采样率应足够高，应能捕捉到峰值且满足不确定度要求（见 D.1）。

满足上述要求的采样率通常不低于 N/T，其中 N 是每个周期内最高次谐波的采样数量，T 是在指定的不确定度 U_{SR} 时测得的最高次谐波的周期持续时间。N 为 $\pi/\arccos(1-U_{SR})$。

注：当 U_{SR} 为 1%时，N 为每周期 23 次采样。这表示交流信号所需的最低采样率为 1.2 kS/s（$f=50$ Hz、无谐波），1.4 kS/s（$f=60$ Hz、无谐波）。当 U_{SR} 为 0.3%时，对含 7 次谐波的交流信号进行测量，N 为 284。这表示交流信号所需的最低采样率为 14.2 kS/s（$f=50$ Hz），17.0 kS/s（$f=60$ Hz）。

6.2.4 额定分辨力

要求的额定分辨力取决于被测参数和要求的不确定度(见 D.1)。

6.2.5 上升时间(带宽)

数字记录仪器所需的上升时间取决于不确定度的要求(见 6.1),并与数字记录仪器的模拟带宽直接相关。上升时间 t_R 应不超过 $1/(18 \cdot f_{MAX}$,其中 f_{MAX} 是不确定度不超过 1%的被测信号中包含的最高频率。更多信息见 D.3。

6.2.6 噪声水平

正常使用时内部噪声水平应小于指定测量范围下限值的 0.1%。

6.2.7 干扰

数字记录仪器(或数字记录仪器及配套屏蔽装置)满足以下的电磁兼容要求时,被认为适用于电磁环境。

按附录 A 中规定的干扰试验基本幅值的最大偏转幅度应小于各试验量程满刻度偏转的 1%。

注:用 IEC 60060-2 对于完整冲击测量系统的要求开展干扰性能试验。

6.2.8 幅值非线性

静态和动态试验中,动态积分非线性和差分非线性测量应满足 6.1 要求。确定幅值非线性的试验流程见附录 C。

注:当动态积分非线性在满刻度偏转的±0.5%之内,差分非线性在±0.8%之内,满足 6.1 的要求。

6.2.9 数字记录仪器的记录长度

应具有足够的记录长度,以保证所需的参数均能被评估或特征现象能够被观测(见 D.1)。

6.3 对用于参考测量系统的数字记录仪器的要求

参考数字记录仪器用于 IEC 60060-2 规定的参考测量系统,通过比较测量对被认可测量系统进行校准。根据 IEC 60060-2 的要求,参考测量系统中的数字记录仪器的扩展不确定度应不超过(置信度水平不小于 95%):

a) 测量电压(电流):0.3%;

b) 测量频率 0.3%(如适用)。

6.2 的所有单项要求均适用,无其他单项要求。

6.4 试验

6.4.1 一般要求

数字记录仪器的试验要求如表 2 所示。

所有校准设备均应直接或间接溯源至国际或国家标准,并记录校准过程。

表 2　数字记录仪器的试验要求

试验项目	合格/不合格	试验方法	试验要求		试验类型			
			某个输入范围完整记录	每个输入范围完整记录	型式试验	例行试验	性能试验	性能校核
动态积分和差分非线性[a]	×		6.2.8		×			
刻度因数(线性度)		5.5		6.2.2		×	×	×
上升时间(带宽)	×	5.6.2		6.2.5	×			
内部噪声水平	×	5.6.3		6.2.6	×			
干扰(EMC)	×	5.6.4		6.2.7	×			
读取速率[a]		5.6.5	×[b]		×			
[a] 如适用。 [b] 本文件无特殊要求。								

6.4.2　型式试验

应对同一型号数字记录仪器取一台开展型式试验。型式试验由数字记录仪器的制造商完成。如制造商没有提供型式试验结果,则使用者应安排设备的验证试验。

6.4.3　例行试验

对每台数字记录仪器均应开展例行试验。例行试验由数字记录仪器制造商完成。如果制造商没有提供例行试验结果,则使用者应安排设备的验证试验。

数字记录仪器维修或调整后也应进行例行试验。

6.4.4　性能试验

每台新的数字记录仪器应进行性能试验(校准),使用中应每年进行 1 次。每次性能试验的日期和结果应保存在性能记录中。

当数字记录仪器的性能校核表明其刻度因数的变化超过 1%时,也需对其进行性能试验。

6.4.5　性能校核

当整个测量系统进行的性能校核表明指定的刻度因数发生了明显变化,则需要对数字记录仪器进行性能校核。

性能校核应对试验中数字记录仪器的每一项设置进行。

7　对整个测量系统的不确定度影响

本文件规定试验中的不确定度值,有两个目的。主要目的是用于确定认可数字记录仪器的测量不确定度限值。次要目的是在该数字记录仪器的不确定度作为必要影响分量情况下,用于实现对相关标准(如 IEC 60060-2 和 IEC 62475)规定的整个测量系统测量不确定度的评定。

应依据整个测量系统的相关标准(如 IEC 60060-2 和 IEC 62475)规定的程序,将认可数字记录仪器的不确定度作为一个分量包含在整个测量系统的合成不确定度中。

8 性能记录

性能记录应包含以下信息(若适用)。

a) 标称特性:
   1) 标识(序列号、型号等);
   2) 额定分辨力;
   3) 采样率范围;
   4) 最大记录长度;
   5) 触发功能;
   6) 输入电压最大和最小值;
   7) 输入阻抗;
   8) 波形类型;
   9) 预热时间;
   10) 使用条件范围。
b) 型式试验结果。
c) 例行试验结果。
d) 性能试验:
   1) 每项性能试验的日期和时间;
   2) 每项性能试验的结果。
e) 性能校核:
   1) 每项性能校核的日期和时间;
   2) 结果——合格/不合格(如果不合格,记录处置情况)。

注:测量仪器的性能记录能作为测量系统性能记录的一部分。

附 录 A
（规范性）
高电压大电流实验室和试验现场的电磁干扰

A.1 一般要求

用于高电压或大电流实验室和试验现场时，通用数字记录仪器的电磁屏蔽可能不够。干扰可能由暂态电磁场产生，也可能通过信号或电源线传导引入。

干扰可能达到很高水平，尤其是在出现闪络或击穿的情况下更为突出。虽然上述情况不会经常出现在实际测量中，但应确保数字记录仪器有应对这些情况的能力。

下述对数字记录仪器的要求和预防措施可降低这种干扰。

A.2 预防措施

A.2.1 电磁屏蔽

电磁场直接透入数字记录仪器产生的干扰，可通过将数字记录仪器放置于对相关频段具有足够衰减作用的法拉第笼内来减弱。这种法拉第笼由金属箱体构成，箱体上固定的或活动的联结点具有良好的导电性。这个金属箱体可以是带屏蔽的控制室或仪器的箱壳。仪器的箱壳可由两部分组成：一部分具有高屏蔽效率（将数字记录仪器完全封闭起来），以满足实时的信号记录或显示的要求；另一部分可打开，以便计算机、示波器或打印机在记录完成后进行操作。

A.2.2 降低电源线的传导干扰

主电源的传导干扰可通过接入滤波器（有效频段为几十千赫到几十兆赫）来降低，宜在数字记录仪器和主电源之间接入绕组间电容较小的隔离变压器。

A.2.3 降低信号线的干扰

电流流经测量电缆屏蔽层产生的干扰，可通过将电压分压器侧有效接地，采用外层屏蔽在输入端和数字记录仪器侧两端接地的三轴电缆，和（或）将电缆穿过两端同时接地的金属导管等措施来降低，内外屏蔽层宜在输入端短接。避免测量电缆与接地回线之间形成环路也能减少干扰。

由在测量电缆两端间感应或作用的电位差产生的干扰，可通过尽可能提高输入电压或输入电流，使数字记录仪器在其最大量程工作，或在电缆末端与数字记录仪器之间插入一外部衰减器来降低。

A.2.4 光信号传输

光信号传输可（模拟或数字）降低干扰，这种传输链路的特性满足 IEC 60060-2 的要求。

A.3 暂态感应电磁场试验

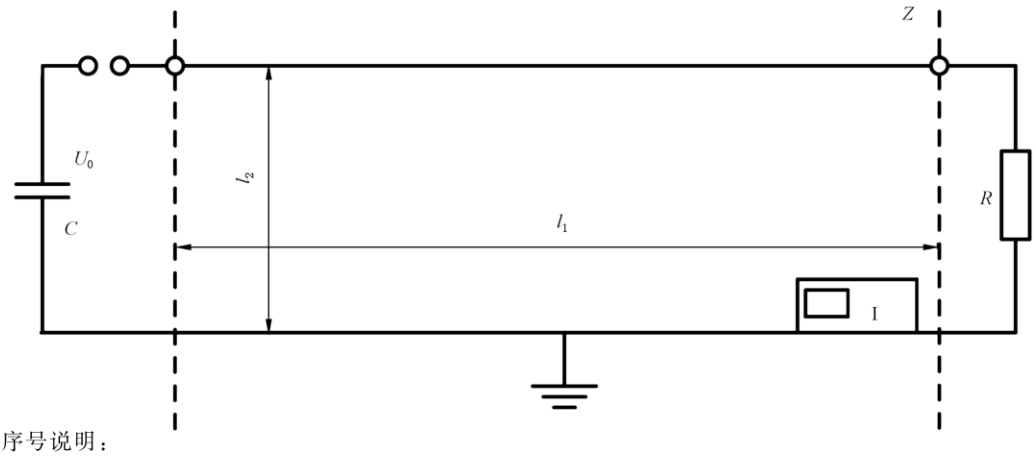
不含测量电缆的数字记录仪器，包括其上添加的任何附加屏蔽，应能承受高电压或大电流试验电路中产生的快速变化电磁场。实验室进行这类试验的结果表明，电场可达 100 kV/m，磁场可达 1 000 A/m。电磁场可通过可充电电容器通过球隙放电获得，如图 A.1 所示。

进行电场试验时，与电容器连接的线路应串联浪涌阻抗（$R=Z$）。进行磁场试验时，与电容器连接的线路应短路（$R=0$）。相关暂态性能参数由试验电路的参数决定，电压信号为上升时间为 50 ns 的阶跃波，电流信号为频率为 0.5 MHz 的阻尼振荡波。

数字记录仪器在具有良好屏蔽的区域（如屏蔽控制室内）工作时，则无需进行本试验。

注：使用浸在油中或压缩气体中的球隙来校核用于 SF_6 交流/直流绝缘测试的数字记录仪器。相应的电压和电流

瞬态将分别显示较短的上升时间(几纳秒)和较高的初始振荡频率(几十兆赫)。



标引序号说明:

I ——位于线路末端的数字记录仪器;

Z——特征阻抗;

C=20 nF;

l_1=5 m;

l_2=1 m;

电场试验时,U_0=40 kV(R=Z);

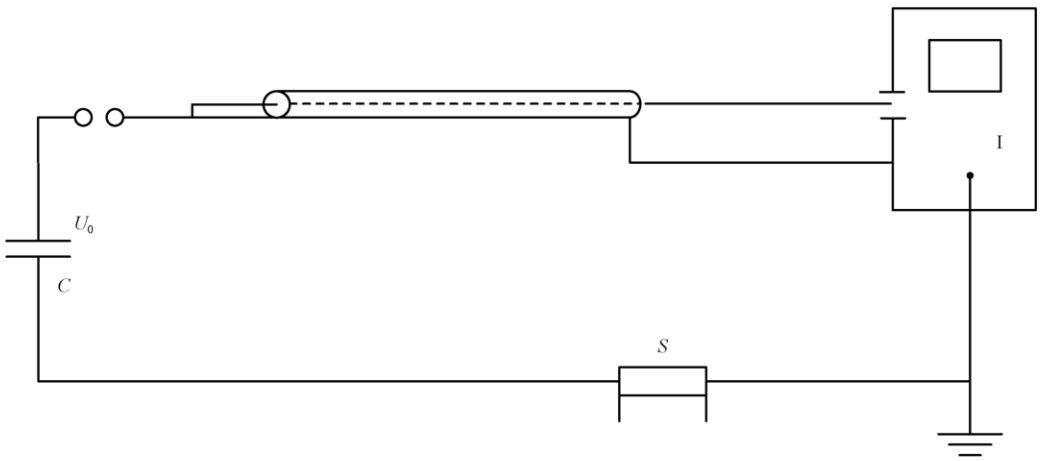
磁场试验时,U_0=100 kV(R=0)。

图 A.1 电磁场试验原理图

A.4 电流注入试验

可按照下列方法注入测量和控制电缆屏蔽层的电流,开展校核:

电缆应按正常工作方式连接到数字记录仪器上。注入电缆屏蔽层的暂态电流宜采用峰值为100 A、频率为1 MHz的主阻尼振荡波,并叠加一个峰值为10 A、频率10 MHz～20 MHz、持续时间不小于10 ms的振荡。一种可能的试验电路如图A.2。



标引序号说明:

S ——测量分流器;

U_0 ——充电电压;

I ——数字记录仪器;

C ——电容器。

图 A.2 电流注入电缆屏蔽层

附 录 B
（资料性）
高电压大电流实验室和试验现场的电磁干扰——数字记录仪器的建议

高电压大电流实验室和试验现场的电磁环境差异较大，可能会更恶劣或更好，对电磁干扰抗扰度提出了更高的要求。为适应上述电磁环境，数字记录仪器的性能评价可能受益于表 B.1 中给出的部分抗扰度试验。并非所有数字记录仪器都需要进行这些测试。性能判据如下所述。

判据 A：在测试过程中和测试结束后，在规定范围内性能正常。

注：性能正常包括在指定测量不确定度限值范围内正常运行和通信。

判据 B：在测试过程中，功能或性能出现可自恢复的暂时丧失或降低。在干扰停止后，数字记录仪器在规定范围内性能正常。

判据 C：在测试过程中，功能或性能出现暂时丧失或降低，需要操作人员干预操作控制或重置系统才能恢复。在干扰停止以及完成干预或重置后，数字记录仪器在规定范围内性能正常。

表 B.1 建议用于高电压环境中的数字记录仪器电磁干扰抗扰度水平

端口	现象	基础标准	测试值	性能判据
外壳	静电放电	IEC 61000-4-2	6 kV(接触) 8 kV(空气)	A
	辐射、射频和电磁场	IEC 61000-4-3	20 V/m (80 MHz～1 GHz)	A
	暂态感应电磁场	无标准 参照附录 A 描述	参照附录 A 评估	A
	工频磁场	IEC 61000-4-8	30 A/m[a]	A
交流电源	传导干扰(电快速脉冲群)	IEC 61000-4-4	4 kV (5/50 ns, 5 kHz)[b]	A
	传导干扰(浪涌)	IEC 61000-4-5	2 kV 线-线 4 kV 线-地	A
	传导干扰 射频电磁场感应	IEC 61000-4-6	10 V (150 kHz～ 80 MHz)	A
	电压跌落抗扰度	IEC 61000-4-11	0%(1 循环) 40%(10/12 循环)[c] 70%(25/30 循环)[c]	A
	电压短时中断抗扰度	IEC 61000-4-11	0%(250/300 循环)[b]	C
直流电源[e]	传导干扰(电快速脉冲群)	IEC 61000-4-4	4 kV (5/50 ns, 5 kHz)[b]	A
	传导干扰(浪涌)	IEC 61000-4-5	1 kV 线-线 2 kV 线-地	A
	传导干扰 射频电磁场感应	IEC 61000-4-6	10 V(150 kHz～ 80 MHz)	A

表 B.1　建议用于高电压环境中的数字记录仪器电磁干扰抗扰度水平（续）

端口	现象	基础标准	测试值	性能判据
信号/控制线	传导干扰(电快速脉冲群)	IEC 61000-4-4	2 kV (5/50 ns，5 kHz)[b]	B
	传导干扰(浪涌)	IEC 61000-4-5	2 kV 线-地[d]	
	传导干扰 射频电磁场感应	IEC 61000-4-6	10 V(150 kHz～80 MHz)[e]	A
功能接地	传导干扰(电快速脉冲群)	IEC 61000-4-4	4 kV	A

[a] 仅适用于含有易受磁场影响器件的设备。CRT 显示器干扰允许大于 1 A/m。

[b] (5/50 ns，5 kHz)是指上升时间为 5 ns，脉冲持续时间为 50 ns (50%)，频率为 5 kHz 的脉冲。

[c] 40%(10/12 循环)1 表示在 50 Hz 下 10 周期或 60 Hz 下 12 周期内电压跌落高达施加电压的 40%，25/30 循环和 250/300 循环表示的意思类似。

[d] 仅适用于长距离线路(见 3.6)。

[e] 仅适用于线路大于 3 m。

[f] 未接入直流配电网的设备/系统部分之间的直流连接可被视为输入/输出信号/控制端口。

附 录 C
（资料性）
采样仪器幅值非线性的确定流程

施加满足频率要求（无直流偏移）、幅值尽可能接近数字记录仪器满刻度偏转（无过载）、噪声小于幅值 0.1%的正弦交流电压信号（见图 C.1 和图 C.2）。

施加的正弦交流电压信号的频率是否满足要求与所使用的数字记录仪器的采样率有关，需要确保施加的正弦交流电压信号的频率不是采样率次谐波的频率。例如，对于 50 kS/s 的采样率，交流电压的频率可以是 45 Hz，但不能是 50 Hz。

记录定义的交流电压的周期数（如 1 000 个周期）。

统计每个数码的出现次数[$w(k)$的采样率]，并与 $w(k)$的采样率的理论值进行比较（见图 C.3 和图 C.4）。将每个数码的采样率除以记录的周期数（例如 1 000 个周期）。

如果计算采样率与理论采样率的差值除以理论采样率的绝对值小于 0.8%，则认为数字记录仪通过测试。

差分非线性可按 3.4.6 计算。

积分非线性可按差分非线性的试验结果计算：

$$s(k)=\sum_{i=0}^{k} d(i)$$

如上述公式所示，积分非线性可通过求差分非线性的和来得到。

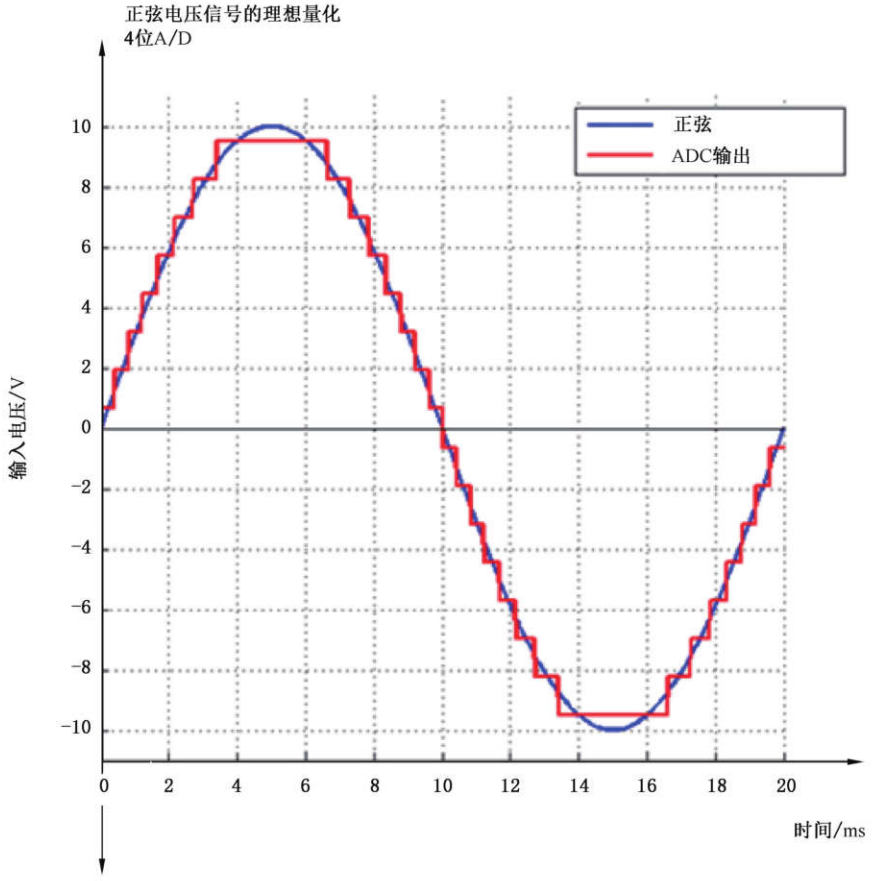


图 C.1 采用 4 位 A/D 转换对正弦波形进行数字化

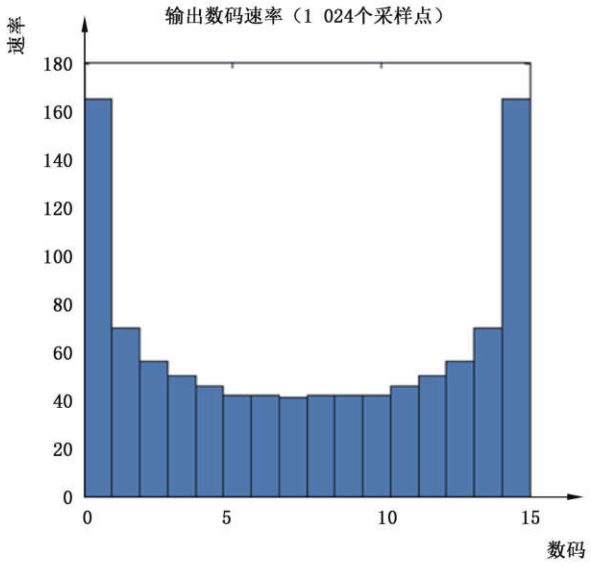


图 C.2　采用 4 位 A/D 对正弦波数字化时的理想的数码分布

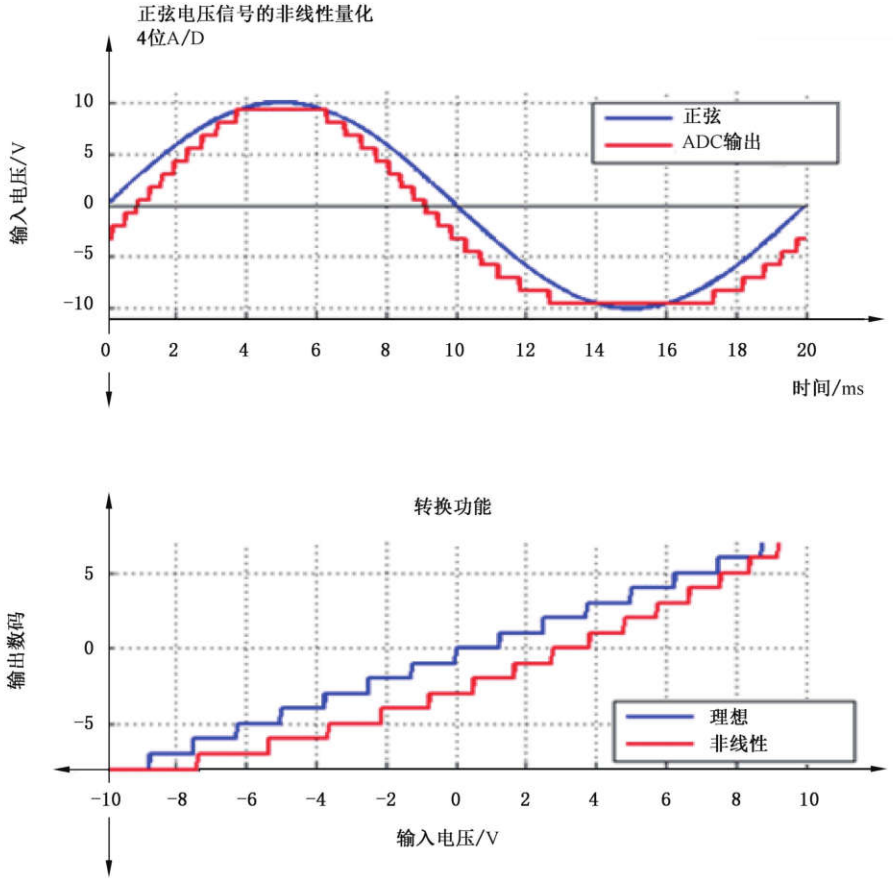


图 C.3　对理想的正弦波信号进行非理想测量时的示例

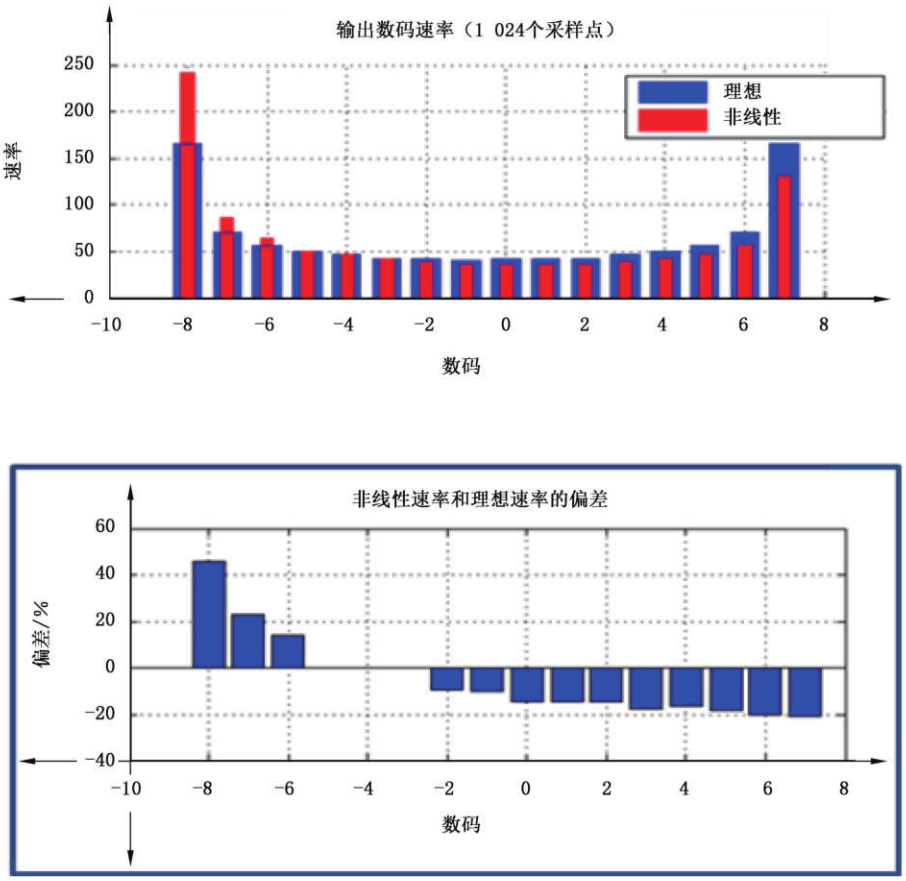


图 C.4　积分非线性产生的差异的示例

附 录 D
（资料性）
示例和注意事项

D.1 用于交流和直流电压测量的数字记录仪器的建议

D.1.1 试验示例

电源频率为 50/60 Hz 或直流数字记录仪器进行例行试验时的特性需满足 IEC 60060-1 和 IEC 60060-2 的要求，频率更高的仪器需满足附录 D 中提出的更严格的要求。本文件对交流测试给出的试验电路的建议适用于谐波失真度和波峰因数在限值范围内的正弦波形，失真度更高的波形需要更高的采样率。

数字记录仪器用于交流或直流高电压测量时的可能应用场景如下。

——在特殊或者长期试验期间，记录试验电压，用于后续评审；

- 可靠击穿电压试验；
- 湿试验；
- 人工污秽试验；
- 长期（型式）试验；
- 具有叠加雷电波或开关操作暂态波的组合或复合交流或直流高压试验（需使用脉冲数字记录仪）。

这些试验的持续时间通常大于 1 min 或 5 min，数字记录仪器提供了一种在长时间内积累试验数据的便捷方法，以证明试验稳定性或记录闪络前的临界值。

——在任何试验期间记录试验电压的稳定性。

- IEC 60060-1 和 IEC 60060-2 对高压试验期间试验电压的稳定性的要求，对交流和直流试验：
  a） 试验持续时间为 1 min 或更短时，电压波动的范围宜小于±1%；
  b） 试验持续时间大于 60 s，电压波动的范围宜小于±3%。
- IEC 60060-1 和 IEC 60060-2 定义高压试验期间最大的瞬时电压跌落：
  a） 对交流试验，瞬时电压跌落可以持续几个周期，电源宜能将暂态电压跌落限制在小于 20%；
  b） 直流试验，瞬时电压跌落可以持续数秒，电源宜能将暂态电压跌落限制在小于 10%。

——记录击穿或闪络前的电压：

为试验确定绝缘自恢复的闪络电压值，需要电压测量系统能够记录闪络前的瞬时电压值。

——短路试验期间记录电压或电流值，以及他们的波形：

除上述功能要求外，特殊短路试验可能对数字记录仪器提出额外的要求。

D.1.2 背景

高压试验期间电压跌落或不稳定的原因包括：

输入电源的变化：电源电压的变化可瞬间提升或降低输出电压。

试验对象负载阻抗的变化：如果试验对象变得具有一定的导电性，其负载的等效阻抗将发生变化。如果试验电源不够稳定，则负载阻抗的变化可能引起输出电压的变化。

高压试验电路在空气中的电晕放电（通常在电压大于 220 kV）：电子束流形式的电晕放电可能产生

输出电压的短时跌落，直到负载能够再次充电。持续的电晕放电会使电压降低持续更长的时间。

D.1.3 交流试验用数字记录仪器的建议(最高 60 Hz，不考虑谐波)

额定分辨率：≥8 bits (1/256)。
采样率：≥1 k/s(样本)。
记录长度：
1 min 测试：≥60 k Sample；
5 min 测试：≥300 k Sample；
60 min 测试：≥1 M Sample。

D.1.4 直流试验用数字记录仪器的建议(不考虑纹波)

额定分辨率：>8 bits (1/256)。
采样率：>1 k/s(样本)。
记录长度：
1 min 试验：≥60 k 样本；
5 min 试验：≥300 k 样本；
60 min 试验：≥1 M 样本。

D.1.5 考虑谐波或叠加或组合电压的交流和直流试验用数字记录仪器的建议

额定分辨率：≥10 bits (1/1 024)。
采样率：参照 6.2.3。
记录长度：≥1 M 样本(由采样率和记录时间决定)。

D.2 待测量的相关电压和电流的特性示例

参见表 D.1。

表 D.1 相关电压和电流

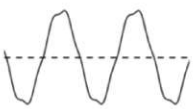
被测量	测试曲线 IEC 61083-4 中的规定	相关标准	测量的典型结果	特殊要求
交流电压  范例：ACV-A4 **注**：也适用于直流电流	ACV-A1 ACV-A2 ACV-A3 ACV-A4 ACV-A5 ACV-A6	IEC 60060-1 IEC 60060-3 IEC 61180 IEC 62475	$+U_p/\sqrt{2}$ $-U_p/\sqrt{2}$ U_{RMS} $U_{RMS(AC)}$(含交流耦合) THD(总谐波失真度) 频率 试验持续时间 电压变化达到 10%/s (上升/下降) 电压跌落达到 20% 单次谐波的峰值 (3 次、5 次、7 次、9 次)	无标准值要求 具有附加值采样能力的数字记录仪器

表 D.1　相关电压和电流（续）

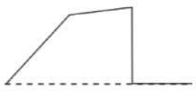
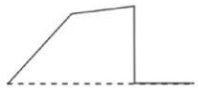
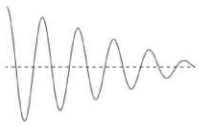
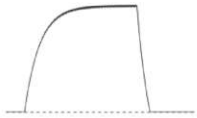
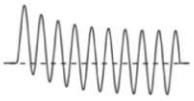
被测量	测试曲线 IEC 61083-4 中的规定	相关标准	测量的典型结果	特殊要求
交流击穿电压  范例：ACVE-A1（包络）	ACVE-A1 ACVE-A2	IEC 60060-1 IEC 60234-1 IEC 61180	$+U_p/\sqrt{2}$ $-U_p/\sqrt{2}$ U_{RMS} 上升时间 THD(总谐波失真度)	存储能力
直流电压 范例：DCV-A2 **注**：也适用于直流电流	DCV-A1 DCV-A2	IEC 60060-1 IEC 60060-3 IEC 61180 IEC 62475	$U_{DC}(U_{均值})$ $U_{纹波}$ 纹波频率 U_p 试验持续时间 极性 电压变化达到 10%/s （上升/下降） 电压跌落达到 10%	无标准值要求 具有附加值采样能力的数字记录仪器
直流击穿电压  范例：DCV-A3	DCV-A3	IEC 60060-1 IEC 61180	$U_{DC}(U_{均值})$ $U_{纹波}$ U_p 极性 纹波频率	存储能力
交流阻尼电压  范例：DOACV-A1	DOACV-A1 DOACV-A2	IEC 60060-3	U_p(首个峰值) 频率 D_f(阻尼) U_p(所有峰值)	具有采样能力的数字记录仪器
交直流组合和复合电压	IEC 61083-4 无规定	IEC 60060-1	峰值 各电压百分比 各电压特性	无标准值要求
甚低频电压	IEC 61083-4 无规定	IEC 60060-3	两极峰值和 RMS 值 频率 试验持续时间	无
短时直流电流  范例：SHDCI-A2	SHDCI-A1 SHDCI-A2	IEC 62475	稳态电流峰值 纹波频率 持续时间 电路时间常数	具有采样能力的数字记录仪器

表 D.1 相关电压和电流（续）

被测量	测试曲线 IEC 61083-4 中的规定	相关标准	测量的典型结果	特殊要求
短时交流电流  范例：SHACI-A1	SHACI-A1 SHACI-A2 SHACI-A3 SHACI-A4 SHACI-A5 SHACI-A6 SHACI-A7	IEC 62475	I_p（首个峰值） 对称交流分量 波峰因数 阻抗角 焦耳积分 试验持续时间 I_{RMS} I_p（所有峰值）	具有采样能力的数字记录仪器

D.3 仪器必要上升时间的确定

与通信要求不同，通过 3 db 截止频率计算的上升时间 t_r 不足以满足要求。假定误差需满足不大于 1%的要求，以下计算可用于获得具有高斯低通特性模拟电路测量仪器的必要上升时间。

误差为 1%的传递函数定义为：

$$G(\omega_{1\%}) = e^{-\pi\left(\frac{\omega_{1\%}}{2\omega_m}\right)^2} = 0.99$$

将传递函数的结果转换为：

$$-\pi\left(\frac{\omega_{1\%}}{2\omega_m}\right)^2 = \ln(0.99)$$

$$\frac{\omega_{1\%}}{\omega_m} = 2\sqrt{\frac{\ln(0.99)}{-\pi}} \approx 0.113\ 1$$

对于 t_r

$$t_r = \frac{\pi}{\omega_m} \approx \frac{\pi \cdot 0.113\ 1}{\omega_{1\%}} = \frac{\pi \cdot 0.113\ 1}{2\pi f_{1\%}} = \frac{0.055\ 56}{f_{1\%}}$$

$$t_r \approx \frac{1}{17.68 \cdot f_{1\%}} \approx \frac{1}{18 \cdot f_{1\%}}$$

D.4 各种交流与直流测量的补充注意事项

虽然大多数交流和直流测量参数的特征在附录 D 中列出，但本文件中描述的测量值并未包含一些特殊流程。

这些特殊流程包括：

a） 冲击和交流或直流电压的组合试验；

b） 开关的闪络试验；

c） 电压击穿试验。

这些流程中需要测量的快速暂态波形，可能需要仪器具有本文件中未定义的参数。例如，这可能涉及 A/D 转换设备所需的采样率。在这种情况下，可以参照其他标准（例如 IEC 61083-1）。

参 考 文 献

[1] IEC 60050-151 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 151: Electrical and magnetic devices (available at http://www.electropedia.org)

[2] IEC 60050-311 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 311: Electrical and electronic measurements—General terms relating to measurements (available at http://www.electropedia.org)

[3] IEC 60060-1 High-voltage test techniques—Part 1: General definitions and test requirements

[4] IEC 60060-3 High-voltage test techniques—Part 3: Definitions and requirements for on-site testing

[5] IEC 60243-1 Electric strength of insulating materials—Test methods—Part 1: Tests at power frequencies

[6] IEC 61000-4-2 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-2: Testing and measurement techniques—Electrostatic discharge immunity test

[7] IEC 61000-4-3 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-3: Testing and measurement techniques—Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

[8] IEC 61000-4-4 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-4: Testing and measurement techniques—Electrical fast transient/burst immunity test

[9] IEC 61000-4-5 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-5: Testing and measurement techniques—Surge immunity test

[10] IEC 61000-4-6 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-6: Testing and measurement techniques—Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields

[11] IEC 61000-4-8 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-8: Testing and measurement techniques—Power frequency magnetic field immunity test

[12] IEC 61000-4-11 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-11: Testing and measurement techniques—Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current up to 16 A per phase

[13] IEC 61000-6-2 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 6-2: Generic standards—Immunity standard for industrial environments

[14] IEC 61000-6-4 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 6-4: Generic standards—Emission standard for industrial environments IEC 61000-6-4:2006/AMD1:2010

[15] IEC 61083-1 Instruments and software used for measurement in high-voltage and high-current tests—Part 1: Requirements for hardware for impulse tests

[16] IEC 61083-4 Instruments and software used for measurement in high-voltage and high-current tests—Part 4: Requirements for software for tests with alternating and direct voltages and currents

[17] IEC 61326-1 Electrical equipment for measurement, control and laboratory use—EMC requirements—Part 1: General requirements

[18] IEC Guide 108 Guidelines for ensuring the coherence of IEC publications—Horizontal functions, horizontal publications and their application