



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 14480.1—XXXX/ISO 15548-1:2013

代替 GB/T 14480.1-2015

## 无损检测仪器 涡流检测设备 第1部分：仪器性能和检验

Non-destructive testing instruments—Equipment for eddy current examination  
Part 1: Instrument characteristics and verification

(ISO 15548-1: 2013, Non-destructive testing—Equipment for eddy current  
examination—Part 1: Instrument characteristics and verification, IDT)

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025-09-09）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

目次

前言 ..... II

1 范围 ..... 3

2 规范性引用文件 ..... 3

3 术语和定义 ..... 3

4 仪器性能 ..... 3

    4.1 基本性能 ..... 3

    4.2 电气性能 ..... 4

5 检验 ..... 8

    5.1 总则 ..... 错误！未定义书签。

    5.2 检验级别 ..... 8

    5.3 检验程序 ..... 9

    5.4 纠正措施 ..... 9

6 仪器电气性能的测量 ..... 9

    6.1 测量要求 ..... 9

    6.2 信号发生器单元 ..... 10

    6.3 输入单元性能 ..... 12

    6.4 信号处理单元 ..... 13

    6.5 输出 ..... 21

    6.6 数字化 ..... 21

附录 A （资料性） 差频法原理 ..... 22

附录 B （资料性） 输出  $O$  和输入  $I$  之间线性范围的测量方法 ..... 23

附录 C （规范性） 测量输入阻抗的替代方法 ..... 24

## 前 言

GB/T 14480《无损检测仪器 涡流检测设备》分为以下三个部分：

- 第1部分：仪器性能和检验；
- 第2部分：探头性能和检验；
- 第3部分：系统性能和检验。

本文件是GB/T 14480的第1部分。

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。

本文件替代GB/T 14480.1-2015《无损检测仪器 涡流检测设备 第1部分：仪器性能和检验》，与GB/T 14480.1-2015相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了范围的部分内容（见第1章，2015年版的第1章）；
- b) 更改了仪器类型的部分内容（见4.1.1，2015年版的4.1.1）；
- c) 更改了物理特征的部分内容（见4.1.5，2015年版的4.1.5）；
- d) 更改了检验级别以及表1中的部分内容（见5.2，2015年版的5.2）；
- e) 更改了修正操作的部分内容（见5.4，2015年版的5.4）；
- f) 更改了测量要求的部分内容（见6.1，2015年版的6.1）；
- g) 更改了输入阻抗的部分内容（见6.3.2.2，2015年版的6.3.2.2）；
- h) 更改了谐波衰减测量参数和测量条件的部分内容（见6.4.4.1，2015年版的6.4.4.1）；
- i) 增加了增益设置准确度测量方法的部分内容（见6.4.9.2，2015年版的6.4.9.2）。

本文件使用翻译法等同采用ISO 15548-1:2013《无损检测 涡流检测设备 第1部分：仪器性能和检验》。

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会（SAC/TC122）归口。

本文件起草单位：爱德森（厦门）电子公司、湖北工业大学、辽宁仪表研究有限责任公司、西安交通大学、重庆理工大学、中国铁道科学研究院集团有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、广东省特种设备检测研究。

本文件主要起草人：林俊明、宋小春、陈振茂、田贵云、黄凤英、林泽森、王琳、任毅、朱君君、吴晓瑜。

本文件所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 14480.1-2015。

# 无损检测仪器 涡流检测设备

## 第1部分：仪器性能和检验

### 1 范围

本文件规定了通用涡流检测仪器的功能特性，并描述了测量和检验方法。对这些特性的评估，使得涡流检测设备可以明确描述且具有可比性。通过精选系统特性，能设计出符合要求的专用涡流检测系统。本文件的规定亦适用于涡流辅助设备。本文件未涉及性能检验指标及验收准则，这些内容由应用技术文件给出。

### 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。

ISO 12718 无损检测 涡流检测 术语 (Non-destructive testing—Eddy current testing—Vocabulary)

注：GB/T 12604.6-2021 无损检测 涡流检测 术语 (ISO 12718: 2019, IDT)

ISO 15549 无损检测 涡流检测 总则 (Non-destructive testing—Eddy current testing—General principles)

注：GB/T 30565-2025 无损检测 涡流检测 总则 (ISO 15549: 2019, IDT)

### 3 术语和定义

ISO 12718界定的术语和定义适用于本文件。

### 4 仪器性能

#### 4.1 基本性能

##### 4.1.1 仪器类型

涡流检测仪器按下列要求分类：

- a) 通用涡流仪：测量参数与显示或输出之间的对应关系由用户建立的具有一般用途的仪器。系列探头能与仪器连接。仪器制造商应提供仪器内部电气性能的详细参数说明，以便用户设计检测系统。检测系统应符合ISO 15549的规定。用户应能调节频率、增益、平衡点（除自动平衡以外）、相位和滤波参数，以及显示端的增益和零点设置。
- b) 专用涡流仪：测量参数与显示或输出之间的对应关系在应用范围内被明确限定的具有专门用途的仪器。仪器探头为专用配置的。对于这种类型的仪器，本文件可部分适用。

##### 4.1.2 电源

仪器能用电池或本地交流电源供电。为了正常工作，应规定电压、频率和功率损耗的标称值与它们的允差。

#### 4.1.3 安全

仪器及其辅助设备应符合有关电气危险、表面温度或爆炸的适用安全规则。

#### 4.1.4 技术要求

仪器可能是全模拟式，或部分模拟、部分数字式。

激励频率可能是单频、多频、扫频或脉冲式。

仪器可能是单通道或多通道配置。

仪器设置可能是手动、遥控、信号存储或预置模式。

仪器应有输出单元，并可能带有或不带有独立显示单元。

#### 4.1.5 物理特征

仪器可能是由集成元件组成的单元或模块构成的便携式仪器、箱式仪器或机柜式仪器。

应标明仪器及其辅助设备的重量和尺寸。

应标明接插件插头、插座的型号和各引脚相互连接的编号。

仪器的型号和序列号应清晰易读并便于查看。

#### 4.1.6 环境影响

应标明仪器在规定限值内达到稳定工作状态所需要的预热时间。

应规定仪器及其辅助设备在正常使用、储存和运输时的温度、湿度和振动范围。

仪器应符合相关的电磁兼容（EMC）规定。

### 4.2 电气性能

#### 4.2.1 一般要求

仪器的电气性能应在预热后进行评定。

电气性能仅在规定的工作条件下有效。

对于规定的环境条件，当规定值的稳定性与时间相关时，应予以说明。

电气性能适用于仪器功能框图中的各个单元，适用的场合由制造商提供，某些性能根据第6章规定的方法检验。

#### 4.2.2 功能框图

典型的通用涡流仪功能框图如图1所示。

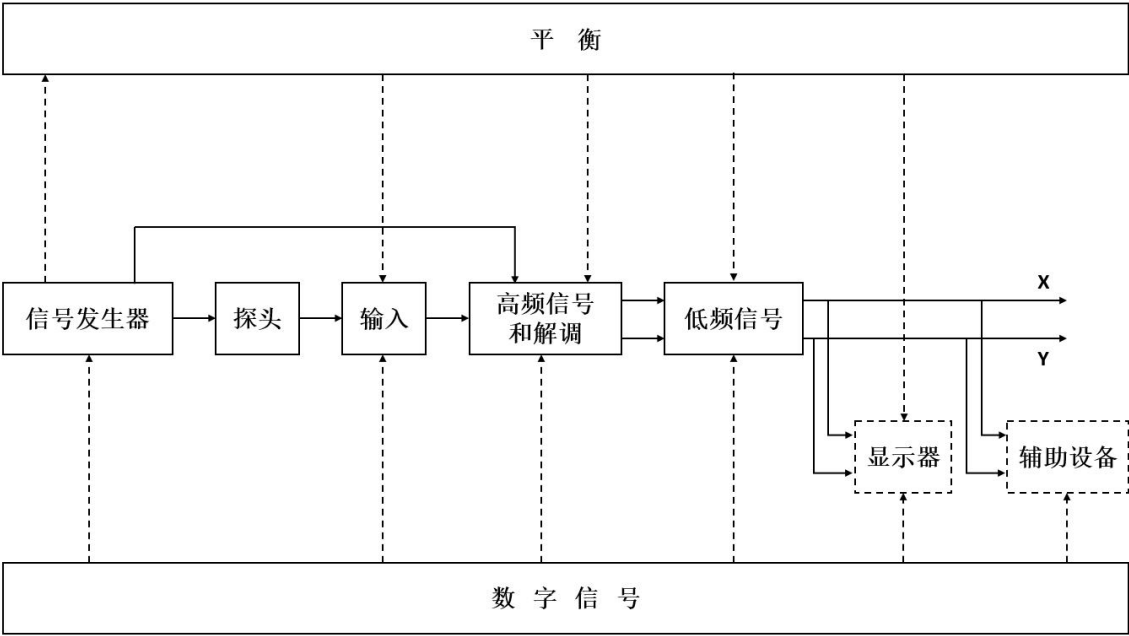


图 1 涡流仪功能框图

4.2.3 信号发生器单元

信号发生器单元是激励单元。

在交流激励（正弦波、三角波和方波等）情况下，需要表征参数如下：

- 信号发生器类型：电流型或电压型；
- 激励类型：单频或多频；
- 频率设置：范围、步长、与标称值的偏差；
- 谐波失真；
- 幅值设置：范围、步长、与标称值的偏差、最大输出电压或电流；
- 与频率相关的源阻抗。

在多频激励的情况下，应标明频率是同步激励还是时分复用激励，各频率是独立的还是相关的。如果各频率相关，应标明时分复用激励的顺序。

4.2.4 输入单元

输入单元是仪器中与探头相连接并进行阻抗匹配和增益放大的接口单元。

需要表征参数如下：

- 与频率相关的输入阻抗；
- 增益设置范围、步长、与标称值的偏差；
- 最大输出电压；
- 相关时的共模工作参数。

4.2.5 平衡单元

平衡单元的功能是将信号补偿至预定的工作点（例如：零点）。补偿可在输入时、处理高频信号时、处理解调信号时和在显示器上以手动或自动的方式进行。

需要表征参数如下：

- 能够补偿的最大输入范围；
- 平衡偏差值（用规定范围的百分比表示，例如：满标度输出）。

#### 4.2.6 高频信号处理单元

##### 4.2.6.1 高频滤波

滤波是减少对试验结果有不良影响的频率分量。

信号解调前使用的滤波器被称为载频滤波器（HF滤波器）。它们通常是带通滤波器，用于抑制与激励频率无关的其他信号的频率。

需要表征参数如下：

- 增益；
- 以3 dB衰减的频带宽度；
- 衰减率；
- 瞬时响应。

##### 4.2.6.2 高频放大

需要表征参数如下：

- 增益设置范围、步长、与标称值的偏差；
- 输入信号范围；
- 频带宽度；
- 输出信号饱和电平。

##### 4.2.6.3 解调

同步解调是从高频信号中提取矢量分量。

对于解调的正极性，信号的延迟将引起信号矢量顺时针旋转。应确认解调信号的极性应该是正极性。

规定性能如下：

- 参考信号波形，例如：正弦波、方波和脉冲波；
- 参考信号每种波形的带宽；
- 相位的幅值偏差；
- 相位的相角偏差。

幅值解调是从高频信号中提取低频幅值的变化量。

#### 4.2.7 解调信号处理单元

##### 4.2.7.1 矢量放大

矢量放大器通常由两个相同设计的传输通道组成。这两个通道对同步解调产生的矢量分量进行放大。在某些仪器中，这些分量能用不同的增益放大。

需要表征参数如下：

- 增益设置范围、步长、与标称值的偏差；
- 输入信号范围；
- 频带宽度；
- 输出饱和电平。

##### 4.2.7.2 低频滤波

解调后使用的滤波器被称为低频滤波器（LF滤波器）。频带宽度的选择满足应用需求，例如：抖动效应、表面速度等。

需要表征参数如下：

- 增益；
- 以3 dB衰减的频带宽度；
- 衰减率；
- 瞬时响应。

#### 4.2.7.3 相位设置

相位设置的功能是允许将解调信号矢量在复平面显示上旋转。

需要表征参数如下：

- 范围；
- 步长；
- 信号矢量的辐值随相位设置的变化；
- 指示的相位旋转角与实际相位旋转角的偏差。

#### 4.2.8 输出和信号显示单元

显示的类型可能是指示器显示、硬拷贝显示或屏幕显示。

显象的方式可能是复平面、椭圆、时基、频谱和成像显示。

需要表征参数如下：

- 尺寸；
- 标线划分、主次分度线；
- 满刻度显示的电压范围和时间范围；
- 刻度转换因子，例如：伏特/格；
- 线性度；
- 频带宽度。

输出可能是模拟输出、数字输出或逻辑输出。

模拟输出的性能参数如下：

- 电压或电流范围；
- 输出阻抗；
- 线性度；
- 频带宽度。

数字输出的性能参数如下：

- 数据协议；
- 串行或并行；
- 电压和电流级别；
- 传输速度和格式；
- 采样速度；
- 模数转换A/D的分辨力、范围和线性度。

逻辑输出的性能参数如下：

- 电压和电流级别；
- 设置延迟；
- 滞后；



——有效高、低电平。

#### 4.2.9 数字化单元

##### 4.2.9.1 一般要求

数字化时，应表征如下参数：

——信号处理过程的数字化阶段；

——数字化技术方式；

——A/D转换分辨力；

——采样速度。

为此，制造商提供的信息应包括4.2.9.2～4.2.9.5中的参数数据。

##### 4.2.9.2 数字化阶段

数字化可在信号解调前或解调后进行。

##### 4.2.9.3 数字化技术方式

数字化能采用内部时钟或外部编码器进行。

##### 4.2.9.4 A/D 转换分辨力

分辨力是指一个数字化的二进制数所对应的转换器输入电压的标称值。

数字化的二进制数的位数同样是有用的信息，即使它能直接通过最大输入电压和分辨力确定。

##### 4.2.9.5 采样速度

采样速度是进行A/D转换时的频率，单位为赫兹。

## 5 检验

### 5.1 总体要求

为保证涡流检测的一致性和有效性，应该检验涡流检测系统各组成部分的性能是否保持在许用限值内。

在使用参考试块检验涡流检测系统或探头之前，应先确认参考试块的物理状态是否处于许用限值内。

检验用的测量设备应在校验的有效期内使用。

为了便于理解，GB/T 14480的三个部分都描述了同样的检验程序。

### 5.2 检验级别

检验分三个级别，每个级别都规定了检验和复验的时间周期。

需明确由制造商或在制造商监控状态下完成首次型式检验。

1级——整体功能检验

使用参考试块对涡流检测系统进行定期检验，以验证其性能处于规定范围内。

检验通常在现场进行。

检验周期和参考试块在检验程序文件中予以规定。

2级——逐项功能核查和校验

以较长的时间间隔进行定期校验，以保证涡流检测仪器、探头、辅助设备和参考试块特定性能的长期稳定性。

3级——性能检验

对涡流检测仪器、探头附件和参考试块进行检验，以评定是否与制造商提供的各项性能相符合。检验机构应规定要检验的性能。

表1列出了各检验等级的主要特征。

表 1 检验级别

级别	项目	典型时间周期	仪器	责任承担
1 整体功能检验	系统的稳定性	经常进行 例如：每小时、每天	参考试块	用户
2 逐项功能核查和校验	仪器、探头和辅助设备 已选性能的稳定性	不经常进行，但至少每 年一次或大修后	已校准的测量仪器、参 考试块	用户
3 性能检验	仪器、探头和辅助设备 的全部性能	一次（首次交付） 和需要时	已校准的实验室测量仪 器和参考试块	制造商，用户

5.3 检验程序

根据实际应用的需要，确定系统性能的检验项目。应在检验程序文件中规定各检验级别及其基本的性能检验项目。

实际产品的涡流检测程序应参考本文件制定的检验程序。对于特定的涡流检测应用，能限定系统性能需要检验的项目数。

为了可在本文件的范围内开展检验，应提供表征仪器、探头和参考试块性能的充足数据。

5.4 纠正措施

1级——当系统性能不在规定限值内时，应对上一次整体功能检验后所检测的产品采取纠正措施，即将系统性能重新调整到许用限值内。

2级——当系统性能偏差超出制造商或应用技术文件所规定的许用限值时，应采取纠正措施，即对相关被检仪器、探头和辅助设备重新进行校验。

3级——当系统性能超出制造商或应用技术文件规定的许用限值时，应采取纠正措施，即对相关的被检仪器、探头和辅助设备重新进行校验。

6 仪器电气性能的测量

6.1 测量要求

下列规定的所有测量都应在仪器的输入和输出端进行。这些测量不需要拆开仪器（黑箱原理）。

任何替代的方法，应遵循黑箱原理并经过等效性论证后方可使用。

应使用有屏蔽的、无感电阻器作负载。电阻器的阻值应为50 Ω，另外还可用其他阻值的电阻器进行辅助测量。如果仪器或应用要求必须使用不同的负载，需要强调的是仪器的性能会明显改变。在这种情况下，应在检测报告中记录所使用的负载。

应在频率范围的每十倍频程取三个值进行规定的测量，例如：使用乘数1、2和5。例如：在10 kHz～100 kHz之间的十进制中取值10 kHz、20 kHz和50 kHz。

宜注意的是，用于特定应用的滤波器的设置将改变仪器的性能，例如：频带宽度、增益设置准确度和相位设置准确度，在这种情况下，应在应用技术文件中规定检验的测量条件。

## 6.2 信号发生器单元

### 6.2.1 激励频率

#### 6.2.1.1 定义和测量条件

频率应在按照6.1规定加载的仪器的信号发生器输出端测量。

显示值的相对误差按式（1）计算：

$$\frac{V_d - V_m}{V_d} \times 100 \quad (1)$$

式中：

$V_d$ ——显示值；

$V_m$ ——测量值。

在测量频率的整个范围内，应记录误差的最大模量。

#### 6.2.1.2 测量方法

用差频法、频率计或频谱分析仪可测量频率。

就多频率和多通道仪器而言，应使用合适的检测仪器，例如：频谱分析仪。

### 6.2.2 谐波失真

#### 6.2.2.1 定义和测量条件

对于产生正弦波的信号发生器，用谐波含量作为与理论正弦波偏差的测量。

谐波失真用失真因子 $k$ 表述。

$k$ 是各次谐波的有效值与交流量的有效值之比。

失真因子 $k$ 按式（2）计算：

$$k = \sqrt{\sum U_n^2} / U \quad (1)$$

式中：

$U$ ——交流量的有效值；

$U_n$ —— $n$ 次谐波的有效值。

谐波失真的近似值按式（3）计算：

$$k = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U} \quad (2)$$

式中：

$U_1$ ——一次谐波（基波）的有效值。

失真因子应在按照6.1规定加载的仪器的信号发生器输出端测量。

就多频率仪器而言，应使用合适的检测仪器，例如：频谱分析仪。

要标明的是每个频率的最大失真因子值。

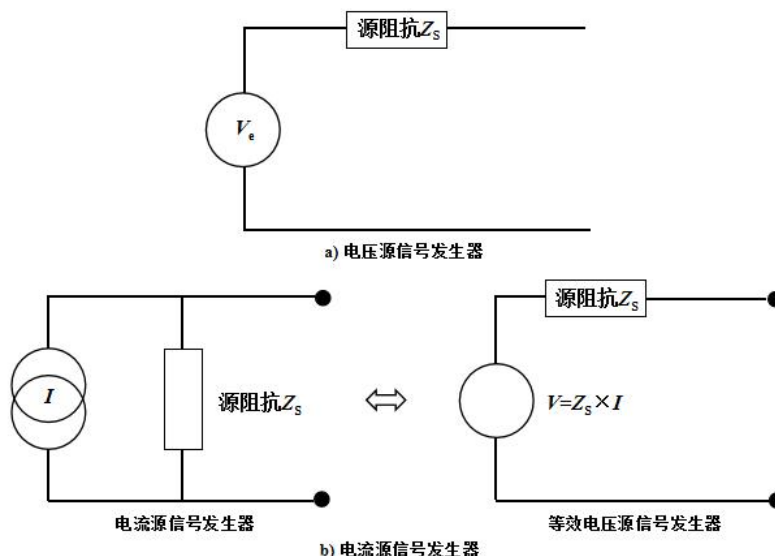
#### 6.2.2.2 测量方法

可用失真因子电桥、频谱分析仪或高通滤波器测量失真因子。

### 6.2.3 源阻抗

#### 6.2.3.1 定义和测量条件

源阻抗 $Z_s$ 是信号发生器单元的内部阻抗，见图2a)和图2b)，在它们各自独立的输出端测量。



标引符号说明：

$I$ ——源阻抗 $Z_s$ 。

图2 信号发生器单元的内阻抗

#### 6.2.3.2 测量方法

推荐的方法是基于假定复数源阻抗 $Z_s$ 为电阻。

将电阻器 $R_1$ （标称值为 $50\ \Omega$ ）加载到信号发生器的输出端。用合适的电压表测量电压 $V_1$ 。重要的是，检验得到的电压值要小于最大输出电压值。

用电阻器 $R_2$ （标称值为 $R_2 = 0.5R_1$ ）重新测量，测得 $V_2$ 。

以欧姆为单位的源阻抗 $Z_s$ 按式（4）计算：

$$Z_s = \frac{V_1 - V_2}{(V_2/R_2) - (V_1/R_1)} \quad (1)$$

注1：检测 $V_1$ 、 $V_2$ 的值和电流强度 $V_1/R_1$ 、 $V_2/R_2$ 的值小于最大输出电压值和电流值。

注2： $R_1$ 和 $R_2$ 的选择决定 $Z_s$ 测量值的精确度。

### 6.2.4 最大输出电压 $V_{0\max}$

#### 6.2.4.1 定义和测量条件

最大输出电压是在信号发生器终端不加负载且信号发生器设置为给定的最大输出时的峰-峰值电压。

#### 6.2.4.2 测量方法

用示波器或符合要求的电压表测量最大输出电压。测量仪器应有高的输入阻抗（ $>1\ \text{M}\Omega$ ），频带宽度与涡流仪的频率范围相适合。一般测量仪器的最大可适用频率应至少是涡流仪最大频率的两倍。

测量值能用图像的形式显示。

### 6.2.5 最大输出电流 $I_{0\max}$

#### 6.2.5.1 定义和测量条件

最大输出电流是当信号发生器终端接上制造商规定的最小的允许阻性负载时,在信号发生器终端测得的电流峰值。信号发生器设置成给定的最大输出。

#### 6.2.5.2 测量方法

用连接到示波器的电流探头或电流表测量最大输出电流。测量仪器应具有低阻抗(一般小于最小阻性负载的10%)和与涡流仪的频率范围相适合的频带宽度。

测量值能用图像的形式显示。

### 6.3 输入单元性能

#### 6.3.1 最大容许输入电压

##### 6.3.1.1 定义和测量条件

最大容许输入电压与安全、饱和及非线性有关。

下列各项分别是最小增益时的峰值输入电压:

- a) 由制造商给出的最大值。这是使仪器免受损害的安全输入电压,它包括与电压相关时的共模工作限值;
- b) 饱和时输出电压的90%;
- c) 大于给定值的非线性电压,其线性的最大容许偏差应在应用技术文件中规定。

在所有情况下,施加的输入电压不应大于a)中规定的电压值。

##### 6.3.1.2 测量方法

###### 6.3.1.2.1 与饱和相关

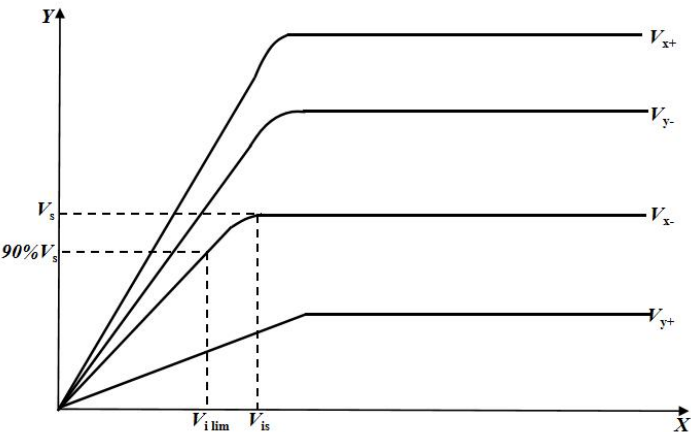
使用差频法(原理参见附录A),输入电压由正弦波信号发生器提供。信号发生器的频率与仪器选择的频率的差值应小于规定的仪器频带宽度的10%。

仪器的增益设置成最小值且滤波器的影响调到最小。把纯电阻加载到仪器的输入端和每个输出端。确保仪器平衡。用高阻抗电压表测量输入信号。

在示波器上显示输出信号,并用峰值电压表测量 X 轴和 Y 轴分量。

将输入电压从零增加到由制造商给出的安全输入电压,标绘输出电压各个分量的正、负峰值( $V_{x+}$ 、 $V_{x-}$ 、 $V_{y+}$ 、 $V_{y-}$ )。4个变量(即与输入的最小值相对应)中首先达到稳态值  $V_S$  时而停止增加了的值就是饱和输出电平  $V_S$ 。然后减小由此获得的输入电压值  $V_{IS}$ ,直到监测到的分量达到90% $V_S$ 的输出值。

获得的输入电压就是与饱和相关的最大容许输入电压,用  $V_{i\lim}$  表示,见图3。



标引符号说明：  
 $X$ ——输入电压（ $V_s$  为饱和输出电平）；  
 $Y$ ——输出电压。  
注：每个输出幅值之间的关系仅适用于示例。

图 3 与饱和相关的最大容许输入电压的测量

6.3.1.2.2 与非线性相关

用6.3.1.2.1的测量方法和附录B给出的测定线性度的方法，测定非线性小于相关应用技术文件规定的最大输入电压。

按照这样的规定，在附录B中的符号说明如下：

- $I$ ——输入电压；
- $O$ ——输出电压；
- $I_{\text{min}}$ ——零点；
- $I_{\text{max}}$ ——与饱和电压相关的输入电压（见6.3.1.2.1）。

6.3.2 输入阻抗

6.3.2.1 定义和测量条件

输入阻抗是输入单元的视在阻抗。等效电路是电阻和电容的并联。

6.3.2.2 测量方法

- 能使用网络分析仪或阻抗仪。
- 能使用附录C规定的替代方法。应记录使用的任何其他的替代方法。
- 施加的电压应小于或等于最大输入电压。

6.4 信号处理单元

6.4.1 一般要求

信号处理单元由高频信号处理和低频信号处理组成。如图1所示。

6.4.2 测量条件

这些测量条件适用于6.4.3～6.4.13，除非另有其他规定。

输入端的电阻器（见6.1）应被屏蔽。仪器的增益应设置成最小值。仪器应该在零输入电压时调至平衡。应将所有滤波器的影响调至最小。

宜注意的是，对于特殊应用所使用的滤波器的设置将改变仪器的性能，例如：频带宽度、增益设置的准确度和相位设置的准确度。在这种情况下，检验的测量条件应在应用技术文件中规定。

由于测量值是输出值，所以不能区分高频滤波器和解调器之间的滤波效果。如果高频滤波器是可调的，那么选择的试验频率宜按照制造商推荐的值设置。

用差频法（参见附录A）调节外部信号发生器的输出电压以达到与线性相关的仪器最大容许输入电压的一半，并连接到仪器的输入端。

外部信号发生器的频率与仪器选择的频率之间的差值  $f_a$  应小于制造商规定的仪器频带宽度的10%。

### 6.4.3 平衡

#### 6.4.3.1 平衡时残余输出值

##### 6.4.3.1.1 测量值和测量条件

平衡时残余输出值是平衡操作后所获得的输出模量值。此值应按照规定范围的百分比描述，例如：满刻度输出。

##### 6.4.3.1.2 测量方法

平衡操作后，测量每个分量的输出值。

应取多次（至少5次）平衡操作的最大值。

#### 6.4.3.2 最大可补偿输入电压

##### 6.4.3.2.1 测量参数和测量条件

最大可补偿输入电压是可将输出电压调到零电位时的输入电压的最大值。

##### 6.4.3.2.2 测量方法

将仪器信号发生器的激励电压施加到仪器的输入端。

逐渐增加输入电压值并且归零（平衡），直至获得的残余电压等于按照6.4.3.1.2方法平衡时获得的残余电压的两倍。

用一个具有足够频带宽度的高阻抗电压表测量该输入信号值。

用与非线性相关的最大输入电压的百分比表示该测量值。

### 6.4.4 谐波衰减

#### 6.4.4.1 测量参数和测量条件

谐波衰减是指  $n$  次谐波响应电压  $V_n$  与基波响应电压  $V_1$  的电压比，谐波衰减的单位为分贝（dB），按式（5）计算：

$$\text{谐波衰减} = 20 \lg \frac{V_n}{V_1} \dots \dots \dots (1)$$

#### 6.4.4.2 测量方法

用差频法，将外部信号发生器的频率调整到基频  $f_1$ ，记录差分频率  $f_a$ 。测量某一输出分量的电压值  $V_n$ 。

重新设置信号发生器的频率为  $2f_1 + f_d$ ，即与基频使用相同的差分频率。测量电压值  $V_{f_2}$ 。  
然后，对各次谐波重复测量，直到测量到第5次谐波。如果有必要，直至衰减大于60 dB。

6.4.5 信号处理单元的频率响应

6.4.5.1 测量参数和测量条件

用放大倍数小于m dB和衰减小于n dB得到的解调信号的频率范围。  
m值和n值应在应用技术文件中规定。因为通常以 $\pm 3$  dB确定频率响应，所以本文件也使用这些值。

6.4.5.2 测量方法

信号发生器的频率和仪器的频率的差频  $f_d$  取以对数为标度的等间距的10个值。最低值取决于仪器的工作频率，最高值是制造商规定的仪器输出的频带宽度上限值的两倍。

重要的是，在每个值的测量期间确保  $f_d$  保持恒定。

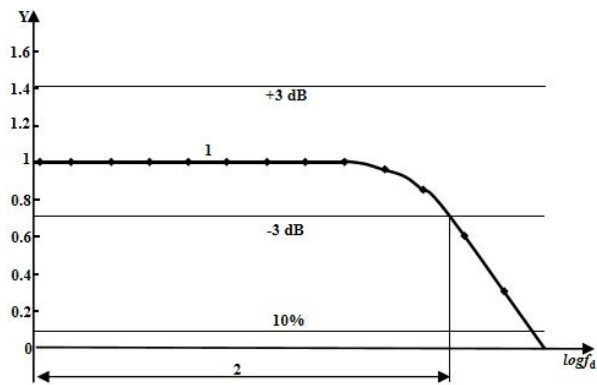
用超低频电压表和频率计测量输出分量的峰-峰值和差频  $f_d$ 。对输出信号每个分量的测量结果可用幅频图标标的形式标出。

利用下面的方法获得每个分量的电压参考值。从最大值开始，根据在10%的最大值和最大值之间的范围测量的值计算中间值。

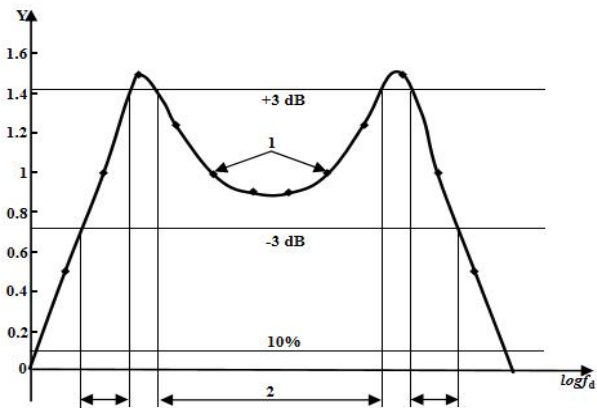
中间值的 $\pm 3$  dB的辐值各点是频率响应的极值点。

图4a)、图4b)和图4c)示出了三种不同的频率响应示例。

由此可见，在某些情况下，频率响应范围能包括若干个频段。

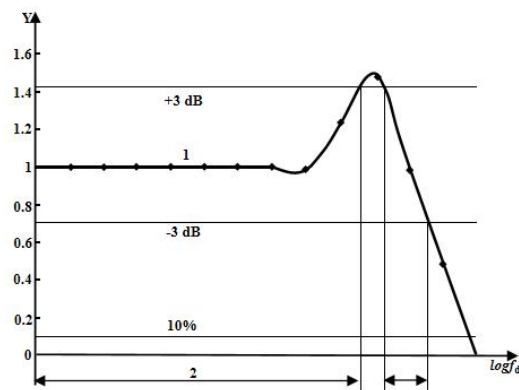


a) 示例1



b) 示例2





c) 示例3

标引说明：  
Y——输出（任意单位）；  
1——中间值；  
2—— $\pm 3$  dB响应。

图 4 频率响应的示例

6.4.6 频带宽度

6.4.6.1 测量参数和测量条件

从6.4.4取得的值且仅衰减  $n$  dB获得的频带宽度。通常 $n=3$ 。

6.4.6.2 测量方法

用6.4.4.2规定的方法。

6.4.7 相位线性

6.4.7.1 测量参数和测量条件

仪器的相位线性是指输出分量的相角与输入信号的相角之间差值的恒定性。  
用从输出端获得的线性最大偏差表示。输入相角的值在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的范围内变化。

6.4.7.2 测量方法

用如下示例描述的动态测量法进行差频法测量。  
用一个数据采集系统同时采集输出端的两个分量，数据采集系统的采样频率  $f_e$  大于 $36f_d$ （即每次采样最大为 $10^\circ$ ）。  
对输出信号一个周期的数据组列在表2中：

表 2 数据组的状态表示例

$i$	1	2	...										$n$
$X$													
$Y$													

从  $X$  和  $Y$  的分量中减去各自的连续分量，得到对中值表。该对中值表各个数值按式（6）和式（7）计算，其中连续分量  $X_{av}$  或  $Y_{av}$  为各自采样的平均值：

$$X_{irec} = X_i - X_{av} \quad (1)$$

$$Y_{irec} = Y_i - Y_{av} \quad (2)$$

第  $i$  次采样的相角值按式 (8) 和式 (9) 计算:

$$\Phi_{mi} = \arctan(Y_{irec}/X_{irec}), (X_{irec} \geq 0) \quad (3)$$

$$\Phi_{mi} = \arctan(Y_{irec}/X_{irec}) + 180^\circ, (X_{irec} < 0) \quad (4)$$

此值要与第  $i$  次采样的理论值相比较, 采样的理论值按式 (10) 计算:

$$\Phi_{thi} = i(f_d/f_e) \times 360^\circ + \Phi_{mi} \quad (5)$$

数据组在表3中列出。

表 3 采样的相角值与理论相角值的对比表示例

$i$	1	2	...										$n$
$X_{rec}$													
$Y_{rec}$													
$\Phi_m$													
$\Phi_{th}$													

相角线性的最大偏差值按式 (11) 计算, 单位为度。

$$\Delta \Phi_{m \max} = \max(\Phi_{mi} - \Phi_{thi}) \quad (6)$$

## 6.4.8 正交分量

### 6.4.8.1 定义和测量条件

正交分量是仪器输出正交解调分量的能力。

用正交偏差表示或用 X 通道和 Y 通道间的实际相移与90°的偏差表示。

### 6.4.8.2 测量方法

用相位计或锁相放大器测量 X 输出和 Y 输出之间的相角。

另一种方法是: 可按照6.4.7的方法采集数据, 但其采样频率  $f_e$  大于  $360f_a$  (即至少1°的分辨力)。

## 6.4.9 增益设置准确度

### 6.4.9.1 定义和测量条件

增益设置准确度是仪器线性放大信号的能力。它用设定值和测量值之间的最大线性偏差的分贝(dB)表示。应对每个分量进行测量。

### 6.4.9.2 测量方法

如果信号发生器不包括衰减器, 则应当在信号发生器和涡流仪之间安装一个经校准的衰减器。

以最小增益为初始条件, 测量每个分量的输出值并作为参考值  $X_{ref}$  和  $Y_{ref}$ 。

仪器的增益范围应至少分成5个等间隔档位, 例如: 每档相差6 dB和10 dB。

按此间隔增加仪器的增益,则信号发生器的输出以同样的间隔减小。每个间隔测量输出的两个分量。每个间隔值的增益误差按式(12)或式(13)计算,以分贝(dB)表示。

$$E_x = 20 \log(V_x/V_{x\text{ref}}) \dots\dots\dots (1)$$

$$E_y = 20 \log(V_y/V_{y\text{ref}}) \dots\dots\dots (2)$$

最大误差是增益误差的最大值。

#### 6.4.10 相位设置准确度

##### 6.4.10.1 定义和测量条件

相位设置准确度是当用相位控制进行相位移动时,输出矢量的实际相位值与所要求的相位值之间的差值。应记录由相位设置引起的辐值偏差。

##### 6.4.10.2 测量方法

测量时,仪器信号发生器的输出端经过一个衰减器连接到仪器的输入端。

在不加输入电压的情况下,平衡仪器,并测量每个输出分量  $X_{\text{ref}}$  和  $Y_{\text{ref}}$ 。

调整输入电压达到与非线性相关的最大输入电压的一半。

相位控制设置为 $0^\circ$  ( $\Phi_0$ ), 测量每个分量的输出  $X_0$  和  $Y_0$ 。按式(14)、式(15)和式(16)计算输出矢量的辐值和相角。

$$V_0 = \sqrt{(X_0 - X_{\text{ref}})^2 + (Y_0 - Y_{\text{ref}})^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Phi_0 = \arctan \frac{(Y_0 - Y_{\text{ref}})}{(X_0 - X_{\text{ref}})}, (X_0 - X_{\text{ref}} \geq 0) \dots\dots\dots (2)$$

$$\Phi_0 = \arctan \frac{(Y_0 - Y_{\text{ref}})}{(X_0 - X_{\text{ref}})} + 180^\circ, (X_0 - X_{\text{ref}} < 0) \dots\dots\dots (3)$$

用小于等于  $10^\circ$  ( $i\Phi_e$ ) 的步长,在  $i$  次范围改变相位控制,在  $0^\circ \sim 360^\circ$  范围重复测量和计算。

相位差按式(17)计算,单位为度( $^\circ$ )。

$$\Phi_d = \Phi_i - (i\Phi_e) \dots\dots\dots (4)$$

辐值偏差按式(18)计算,以百分比表示:

$$V_d = [(V_i - V_0)/V_0] \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

应记录  $\Phi_d$  和  $V_d$  的最大值。

#### 6.4.11 串扰

##### 6.4.11.1 定义和测量条件

串扰是指多通道仪器通道间的相互干扰,或者是指绝对通道与差分通道间的相互干扰。

##### 6.4.11.2 测量方法

##### 6.4.11.2.1 多通道仪器

所有通道都设置成同一频率。

每个通道的输入端依次连接到外部信号发生器。信号发生器的输出电压应是线性度相关的最大输入电压。

其他通道的增益设置成最大值，测量其他通道的每个输出分量值。

对于  $n$  个通道，第  $j$  个通道的输出按式 (19) 计算：

$$|V_{Sj}| = \sqrt{V_{Xj}^2 + V_{Yj}^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$j=1, n$ 。

当这个信号馈入到第  $i$  个通道时，该通道的串扰因子  $t_i$  按式 (20) 计算：

$$t_i = 20 \log \left\{ \max_{j \neq i} \frac{|V_{Sj}|}{|V_{Si}|} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

仪器的串扰因子为  $t = \max(t_i)$ 。

#### 6.4.11.2.2 绝对通道和差分通道

##### 6.4.11.2.2.1 绝对输出和差分输出间的串扰

这个测量是6.4.11.2.1测量方法的一种特殊情况。因为它仅用两个通道，即绝对通道（用下标A代替下标1）和差分通道（用下标D代替下标2）。

在6.4.11.2.1规定的测量中， $i$ 和 $j$ 采用A和D的值。

##### 6.4.11.2.2.2 绝对输入和差分输入间的串扰

用两个匹配的电容器代替探头（见图5）。用差频法，将外部正弦波信号发生器连接到仪器的输入端。

在示波器上显示绝对输出信号并用峰值电压表测量它的 X 分量  $V_{XA}$  和 Y 分量  $V_{YA}$ 。

施加与线性相关的最大输入电压，并将开关拨到1位置。

$V_{XA}$  和  $V_{YA}$  就变成了  $V_{XA1}$  和  $V_{YA1}$ 。

然后将开关拨到2位置。

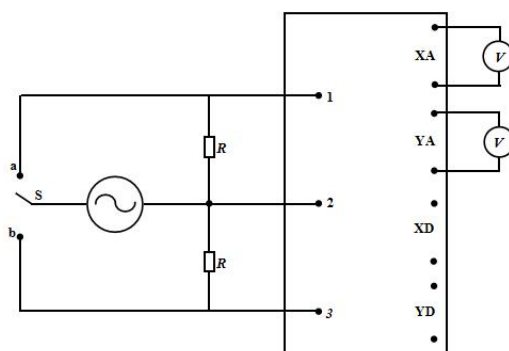
$V_{XA}$  和  $V_{YA}$  就变成了  $V_{XA2}$  和  $V_{YA2}$ 。

第  $i$  个通道的输出按式 (21) 计算：

$$|V_{SAi}| = \sqrt{V_{XAi}^2 + V_{YAi}^2}, \quad (i = 1 \text{ 或 } 2) \dots\dots\dots (1)$$

串扰因子按式 (22) 计算，以分贝表示。

$$t_i = 20 \log \frac{|V_{SA2}|}{|V_{SA1}|} \dots\dots\dots (2)$$



标引说明：

- 1——输入 1；
- 2——公共端；
- 3——输入 2；
- a——开关位置 1；
- b——开关位置 2。

图 5 绝对输入和差分输入间串扰测量的配置图

6.4.12 共模抑制

6.4.12.1 定义和测量条件

这个测量是为了表征仪器抑制共模信号的能力。本检验程序只适用于用差分法测量的仪器。

6.4.12.2 测量方法

用两个匹配的电容器代替探头（见图6）。用差频法将外部正弦波信号发生器连接到仪器的输入端。施加与线性相关的最大输入电压并将开关拨到1位置。

$V_X$  和  $V_Y$  就变成了  $V_{X1}$  和  $V_{Y1}$ 。

然后将开关拨到2位置，输入电压被2除。

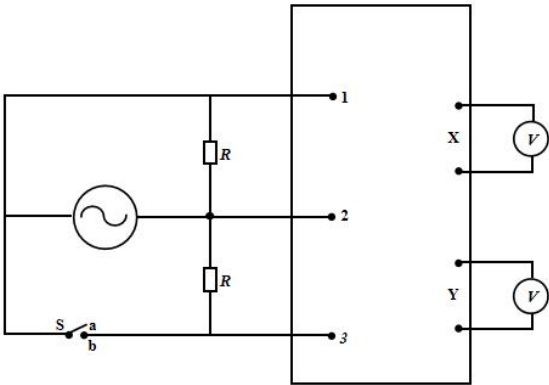
$V_X$  和  $V_Y$  就变成了  $V_{X2}$  和  $V_{Y2}$ 。

第*i*个通道的输出按式（23）计算：

$$|V_{Si}| = \sqrt{V_{Xi}^2 + V_{Yi}^2}, \quad (i = 1 \text{ 或 } 2) \dots\dots\dots (1)$$

抑制特性因子  $q_r$  按式（24）计算：

$$q_r = V_{S1}/V_{S2} \dots\dots\dots (2)$$



标引说明：

- 1——输入 1；
- 2——公共端；
- 3——输入 2；
- a——开关位置 1；
- b——开关位置 2。

图6 共模抑制测量的配置图

#### 6.4.13 仪器的最大噪声

##### 6.4.13.1 定义和测量条件

仪器的最大噪声相当于当仪器设置在最宽频带且不施加输入电压时,等效于最大残余输出信号的输入电平。

仪器的噪声可在应用技术文件规定的其他工作条件下测量。

对各种测量条件都应记录频带宽度。

##### 6.4.13.2 测量方法

将最大允许电压  $V_{\max \text{ in}}$  (最小增益  $G_{\min}$  时)施加到仪器的输入端。测量所得到的输出端电压  $V_{\max \text{ out}}$ 。增加增益(如果可能增加到最大增益)  $G_{\max}$ 。

当零输入时,用频带宽度不小于仪器频带宽度的真有效值电压表测量由仪器噪声引起的输出电压  $V_{\text{noise out}}$ 。

按式(25)计算仪器在输入端的等效噪声电平  $V_{\text{eq}}$ 。

$$V_{\text{eq}} = V_{\text{noise out}} \frac{V_{\max \text{ in}}}{V_{\max \text{ out}}} \times \frac{G_{\min}}{G_{\max}} \dots\dots\dots (1)$$

#### 6.5 输出

满刻度输出是按照6.3.1方法测量的与饱和或线性相关的最大允许输入电压相对应的输出电压。

#### 6.6 数字化

当仪器被认为是黑箱时,没有通用的方法对4.2.9规定的表征数字化的参数进行测量。

## 附录 A

(资料性)

## 差频法原理

以一个采用了多通道并带有滤波解调的涡流仪为例，说明差分法原理。

此方法是在仪器的输入端施加一个正弦电压，其频率与仪器的频率略有不同，即： $f_s = f_1 + f_d$ 。这样，在仪器内部解调电路的电平下（见图A.1），用信号发生器频率  $f_1$  产生了差频。

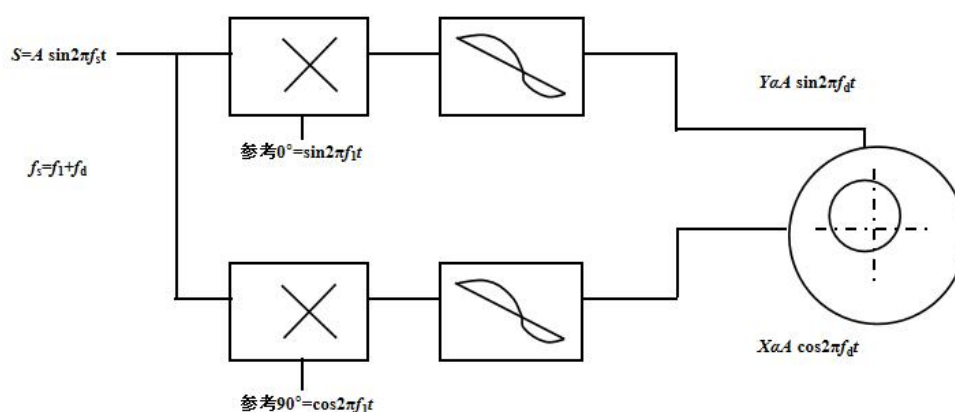


图 A.1 解调电路

本例中，解调是测定信号的实部分量和虚部分量。

解调在  $X$  方向的函数关系式为 (A.1) 所示：

$$S_x(t) = A \sin [2\pi(f_1 + f_d)t] \sin 2\pi f_1 \cdot t \quad (\text{A.1})$$

换算成公式 (A.2)：

$$S_x(t) = A/2 [\cos 2\pi f_d \cdot t - \cos 2\pi(2f_1 + f_d) \cdot t] \quad (\text{A.2})$$

解调在  $Y$  方向的函数关系式为 (A.3) 所示：

$$S_y(t) = A \sin [2\pi(f_1 + f_d)t] \cos 2\pi f_1 \cdot t \quad (\text{A.3})$$

换算成公式 (A.4)：

$$S_y(t) = A/2 [\sin 2\pi f_d \cdot t + \sin 2\pi(2f_1 + f_d) \cdot t] \quad (\text{A.4})$$

电路中的低通滤波器抑制公式 (A.2) 和公式 (A.4) 中频率为  $(2f_1 + f_d)$  的第二项。

在仪器的输出端， $X$  和  $Y$  两个方向的信号，幅值与  $A$  成正比，分别以频率  $f_d$  的余弦和正弦调制是可行的。

仪器在理想的情况下，施加到示波器上的这两个电压，在屏幕上显示一个半径与  $A$  成正比的圆圈，且光斑以  $f_d$  频率旋转。

通常，信号发生器的频率和仪器选择的频率之间的差频  $f_d$  应小于制造商规定的仪器频带宽度的 10%。

为测量仪器信号发生器的频率，调整输入信号的频率  $f_s$  以使光斑在示波器的屏幕上停止旋转。

此时， $f_1 = f_s$ 。

附录 B  
(资料性)

输出  $O$  和输入  $I$  之间线性范围的测量方法

输入端参数  $I$  的极值是  $I_{\min}$  和  $I_{\max}$ 。  
参数  $I$  以恒定的步长在  $I_{\min}$  和  $I_{\max}$  之间变化。对参数  $I$  的每个值，测量与之相对应的参数  $O$  的值。  
线性回归在  $I$  和  $O$  这些值之间进行。这样得到一个  $O_{\text{lin}}(I)$  的关系式。  
偏差  $\Delta(I)$  按式 (B.1) 计算，用百分数表示：

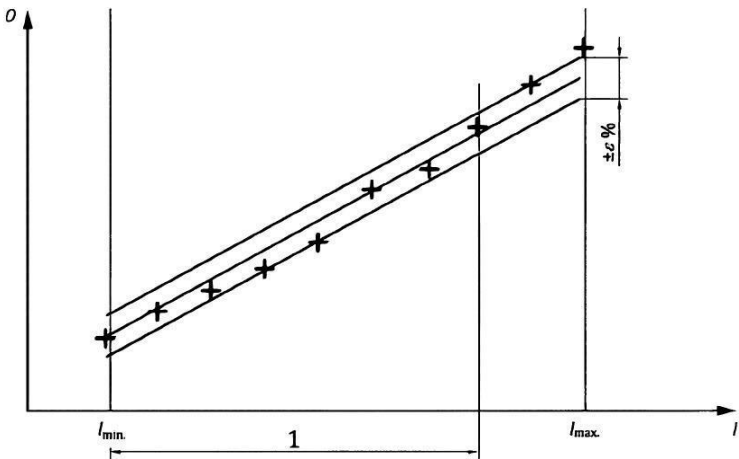
$$\Delta(I) = [|O(I) - O_{\text{lin}}(I)| / |O_{\text{lin}}(I_{\max}) - O_{\text{lin}}(I_{\min})|] \times 100\% \tag{B.1}$$

$\varepsilon\%$  线性范围是满足式 (B.2) 的  $I$  的数值组：

$$\Delta\% \leq \varepsilon\% \tag{B.2}$$

式中：  
 $\varepsilon$  ——线性最大允许偏差，%。

图B.1给出了用上述方法测定的线性范围。



标引序号说明：  
1 ——线性范围。  
注：这种测量适用于幅值线性。对于相位线性，以度为单位（0°至360°标度代替0至100%）测量偏差。

图 B.1 线性范围的测定



## 附录 C

(规范性)

## 测量输入阻抗的替代方法

正弦波信号发生器通过一个可调电阻器  $R_V$  馈入到涡流仪的输入端（见图C.1，仪器的输入阻抗用电阻器  $R_e$  与电容  $C_e$  的并联表示）。

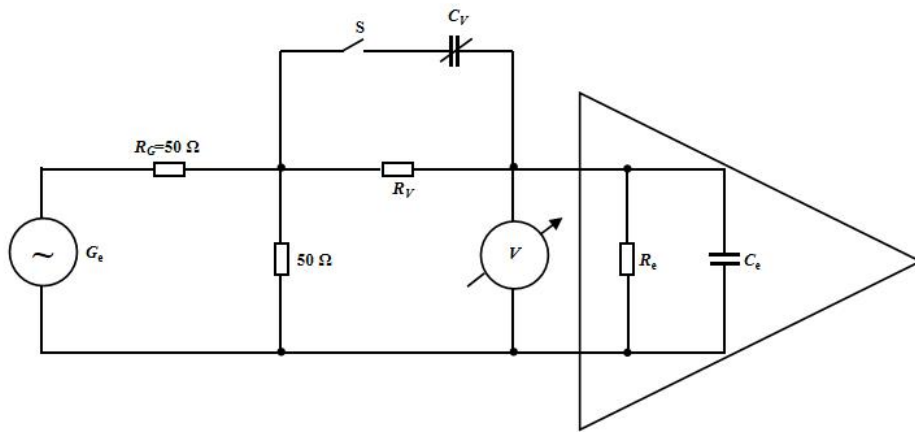


图 C.1 测量输入阻抗的配置图

信号发生器 ( $G_e$ ) 的源阻抗  $R_G$  应小于涡流仪的输入电阻  $R_e$ 。通常情况下，如果施加  $50\ \Omega$  的标准电阻就会满足这个条件。

首先，打开开关S，信号发生器以低频  $f_{G1}$ （优选  $1\ \text{kHz}$ ）测定  $R_e$ 。目的是测量  $R_e$  两端的输入电压  $V_e$ 。增加  $R_V$  阻值，直到获得的输入电压  $V_{e1}$  值达到  $R_V$  阻值为零时获得的电压值的一半。如式 (C.1) 所示：

$$V_{e1} = 0.5V_e, (R_V = 0) \quad (\text{C.1})$$

此时， $R_V$  和  $R_e$  的值相等，即  $R_V = R_e$ 。

其次，测定  $C_e$ 、 $R_V$  的设置保持不变，信号发生器的频率值增加到  $f_{G2}$ ，使其输入电压值减小到  $V_{e1}$  值的一半。如式 (C.2) 所示：

$$V_{e2} = 0.5V_{e1}, (R_V = R_e) \quad (\text{C.2})$$

接下来，闭合开关S，改变电容  $C_V$ ，直到再次达到初始电压  $V_{e1}$  ( $R_V = R_e$ )。当频率在  $f_{G1}$  和  $f_{G2}$  之间变化时，输入电压  $V_{e1}$  和  $V_{e2}$  不应出现任何变化。在这些条件下：

当  $C_V = C_e$  时，可借助于万用电桥测量  $R_V$  和  $C_V$ 。

选择测定旁路电容  $C_e$  的测量装置宜具有极小的电容设计。尤其应记住：电压表的输入电容迭加到了  $C_e$  中。

当测定  $C_e$  时，必须从测定的  $C_V$  值中减去测量装置的寄生电容值。

对所有可能采用的输入电路方法，均应测定  $R_e$  和  $C_e$ 。