



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 14480.1—2015/ISO 15548-1:2008

---

## 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 15548-1:2008, Non-destructive testing—Equipment for eddy current  
examination—Part 1: Instrument characteristics and verification, IDT)

2015-12-10 发布

2016-07-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 仪器性能 .....	1
5 检验 .....	6
6 仪器电气性能的测量 .....	7
附录 A (资料性附录) 差频法原理 .....	21
附录 B (资料性附录) 输出 $O$ 和输入 $I$ 之间线性范围的测量方法 .....	22
附录 C (规范性附录) 测量输入阻抗的替代方法 .....	23

## 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。

本部分为GB/T 14480的第1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分采用翻译法等同采用ISO 15548-1:2008《无损检测 涡流检测设备 第1部分：仪器性能和检验》。

为便于使用，本部分对ISO 15548-1:2008做了下列编辑性修改：

——修改了标准名称。

与本部分规范性引用的国际文件存在一致性关系的我国文件如下：

GB/T 30565—2014 无损检测 涡流检测 总则(ISO 15549:2008, MOD)。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本部分负责起草单位：长春机械科学研究院有限公司、爱德森(厦门)电子有限公司、济宁鲁科检测器材有限公司、辽宁仪表研究所、深圳国技仪器有限公司、长春黄金设计院。

本部分主要起草人：刘智力、林俊明、马军、于志军、朱平、刘钟励。

# 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

GB/T 14480 的本部分规定了通用涡流仪器的功能特性、测量和检验方法。

通过对这些性能的评价使得准确地描述和比较涡流检测设备成为可能。

通过仔细选择系统性能,可以设计出符合要求的专用涡流检测系统。

本部分的规定亦适用于涡流辅助设备。

本部分未规定检验性能的技术指标,也未规定验收准则,这些内容在应用技术文件中给出。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 词汇(Non-destructive testing—Eddy current testing—Terminology)

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

### 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

涡流检测设备按下列要求分类:

- a) 通用涡流仪:由使用者将测量参数和显示或输出之间建立起联系的具有一般用途的应用仪器。系列探头能够与仪器连接,仪器的制造者应提供仪器内部电气性能的详细说明,以便使用者设计检测系统。检测系统应符合 ISO 15549 的规定。使用者应能改变频率、增益、平衡点(除自动平衡以外)、相位和滤波值,并显示增益和零点。
- b) 专用涡流仪:测量参数和显示或输出之间的应用范围被明确规定的具有专门用途的仪器,仪器的探头是专用的。对于这种类型的仪器本部分可以部分适用。

##### 4.1.2 电源

仪器能够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应用安全规则,例如电气危害、表面温度和爆炸等。

#### 4.1.4 技术要求

仪器可以是全部模拟式或部分模拟和部分数字式。

激励频率可以是单频、多频、扫频或脉冲式。

仪器可以是单通道或多通道。

仪器设置可以是手动、遥控、信号存储和预置等。

仪器应有输出单元,并可有或无独立的显示单元。

#### 4.1.5 物理特征

仪器可以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装置的质量和尺寸。

应标明接插件插头、插座的型号和各引脚相互连接的编号。

仪器的型号和编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。

应标明仪器及其辅助装置正常使用的温度、湿度、振动范围及存放和运输条件。

仪器应符合电磁兼容(EMC)的规定。

### 4.2 电气性能

#### 4.2.1 一般要求

仪器应该在预热后再评价其电气性能。

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,适用的场合由制造者提供。某些性能应根据第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。

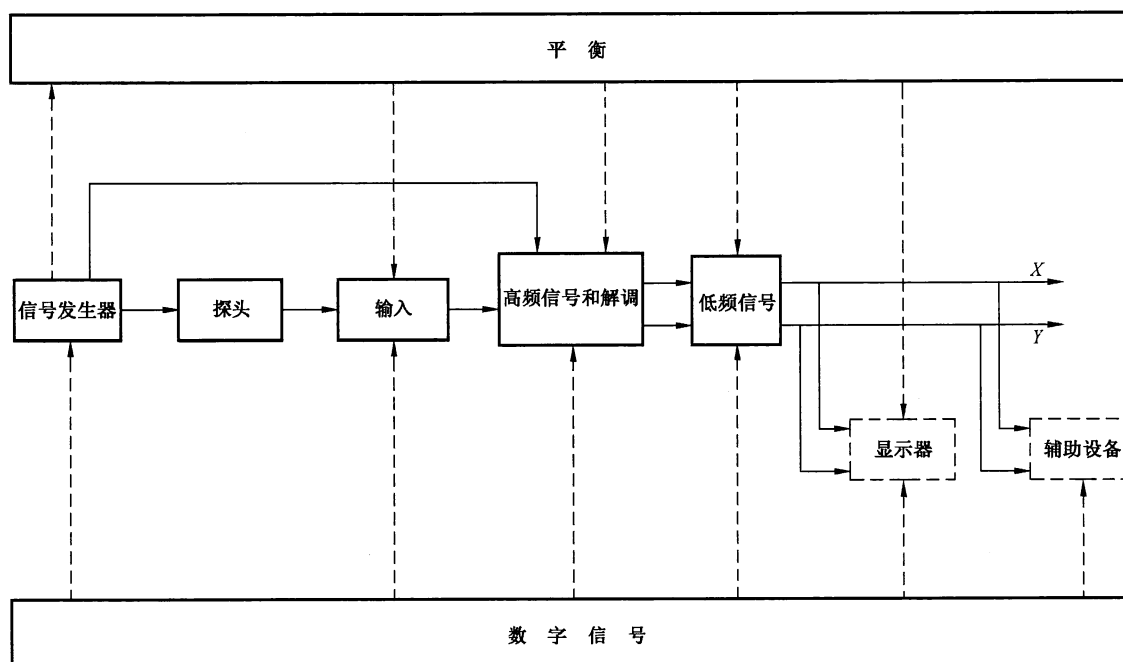


图1 涡流仪功能框图

#### 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:

- 信号发生器的类型:电流型或电压型;
- 激励的类型: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 输入单元性能

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;
- 最大输入电压;
- 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)。补偿可以在输入时、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,这些分量可以用不同的增益放大。

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)。频带宽度的选择应满足应用的需求,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;
- 信号矢量的幅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

显示的类型可以是指示器显示、硬拷贝显示或屏幕显示。

显象的方式可以是复平面、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。

输出可以是模拟输出、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;
- 采样速率;
- 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,需要表征参数如下:

- 信号处理过程的数字化阶段;
- 数字化技术方式;
- A/D 转换分辨率;
- 采样速率。

为此,制造者提供的信息应包括 4.2.9.2~4.2.9.5 中的参数数据。

##### 4.2.9.2 数字化阶段

数字化可以在信号解调前或解调后进行。

##### 4.2.9.3 数字化技术方式

可以用内部时钟或外部编码器进行数字化。

##### 4.2.9.4 A/D 转换分辨率

分辨率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,即使它能够直接通过最大输入电压和分辨率确定。

##### 4.2.9.5 采样速率

采样速率是进行 A/D 转换时的频率,单位为赫兹。

## 5 检验

### 5.1 一般要求

为保证涡流检测的一致性和有效性,有必要对组成涡流检测系统各部件的性能进行检验,以使其保持在允许的限值内。

在使用检验系统或探头之前,应对参考试块的物理条件进行检验,使其在允许限值内。

检验用的测量设备应在校准的有效期内使用。

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 检验的级别

检验分三个级别。每一级都规定了检验和复检的时间周期。

应由制造者或在制造者监控状态下完成首次型式检验。

#### 1 级——总体功能检查

应使用参考试块对涡流检测系统定期进行检验以验证其性能处于规定的限值内。

检验通常在现场进行。

在检验程序文件中应确定检验周期和参考试块。

## 2 级——具体功能检查和校准

通过延长设备规定的使用周期进行的检验,以保证涡流检测仪器、探头、辅助设备和参考试块所选性能的长期稳定性。

## 3 级——性能检查

对涡流仪、探头附件和参考试块进行检验以评定是否与制造者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 列出了检验的主要性能。

表 1 检验级别

级 别	项 目	典型时间周期	仪 器	责任承担
1 总体功能检查	系统性能的稳定性	经常进行。 例如:按小时、按天	参考试块	用户
2 具体功能检查和校准	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以后进行	已校准的测量仪器、参考试块	用户
3 性能检查	仪器、探头和辅助设备的全部性能	一次。 首次交付和需要时	校准实验室测量仪器和参考试块	制造者,用户

## 5.3 检验程序

被检验的系统性能取决于实际应用。检验的基本性能和级别应在检验程序文件中予以规定。

应用的检测程序应参考检验程序。这样,根据特定的应用可以限定要检验性能的项目数。

为了能在本部分的范围进行检验,应提供表征仪器、探头和参考试块性能的足够数据。

## 5.4 修正操作

1 级——当系统性能不在规定限值内时,应先对相关的被检产品检验以后,再决定是否对其进行修正。修正操作应使其性能在可接受的限值内。

2 级——当系统性能偏差大于制造者或应用技术文件规定的可接受限值时,应决定对相关的被检仪器、探头和辅助设备修正。

3 级——当系统性能超出制造者或应用技术文件规定的可接受范围时,应决定对相关的被检仪器、探头和辅助设备修正。

## 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,需遵循黑箱原理并应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  $\Omega$ ,另外还可以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需使用不同的负载,需要强调的是仪器的性能会明显改变。在这种情况下,使用的负载应记录在检测报告中。

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。

应注意的是,对于一些特殊应用而进行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,检验的测量条件应在应用技术文件中规定。

## 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:

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

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以测量频率。

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:

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

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:

$$k = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U} \dots\dots\dots (3)$$

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。

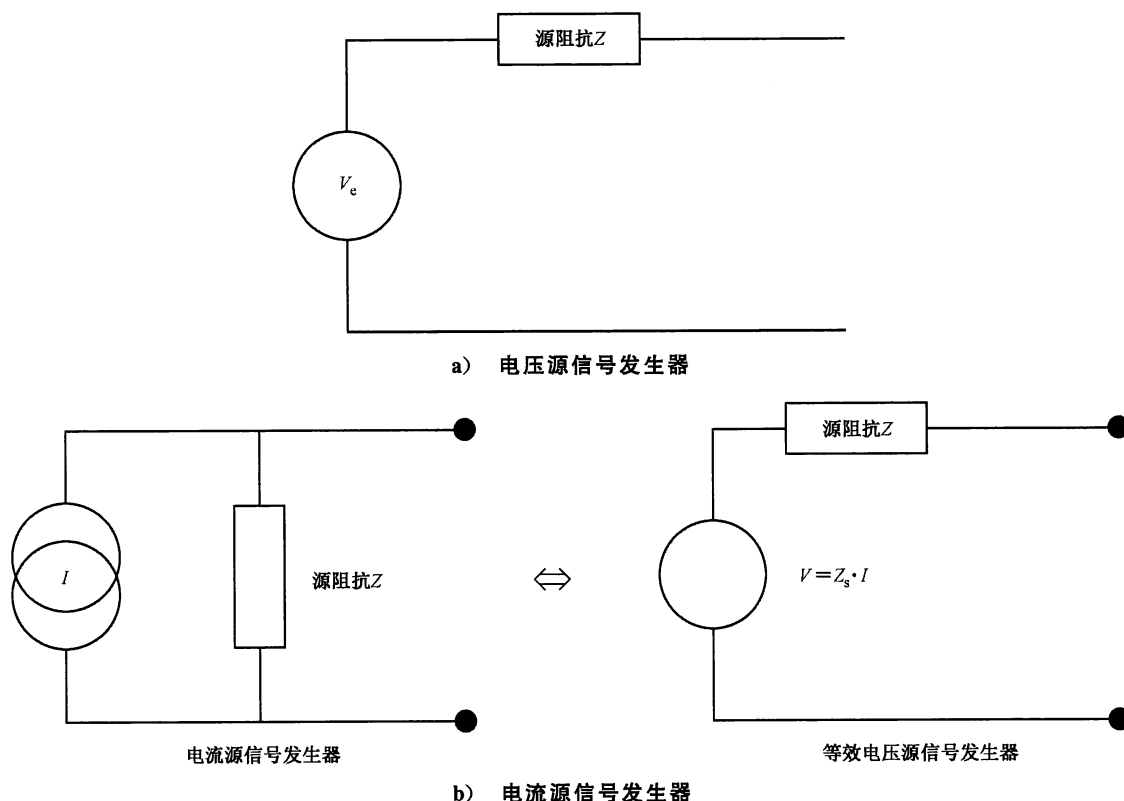
#### 6.2.2.2 测量方法

可以用失真因子电桥、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 2 a)和图 2 b),在它们各自独立的输出端测量。



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,检验测得的电压值要小于最大输出电压值。

用电阻器  $R_2$  (标称值为  $R_2 = 0.5 R_1$ ) 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:

$$Z_s = \frac{V_1 - V_2}{(V_2/R_2) - (V_1/R_1)} \dots\dots\dots (4)$$

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 $V_{Omax}$

##### 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。

测量值可以用图像的形式显示。

#### 6.2.5 最大输出电流 $I_{Omax}$

##### 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者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。

测量值可以用图像的形式显示。

### 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) 由制造者给出的最大值。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%。

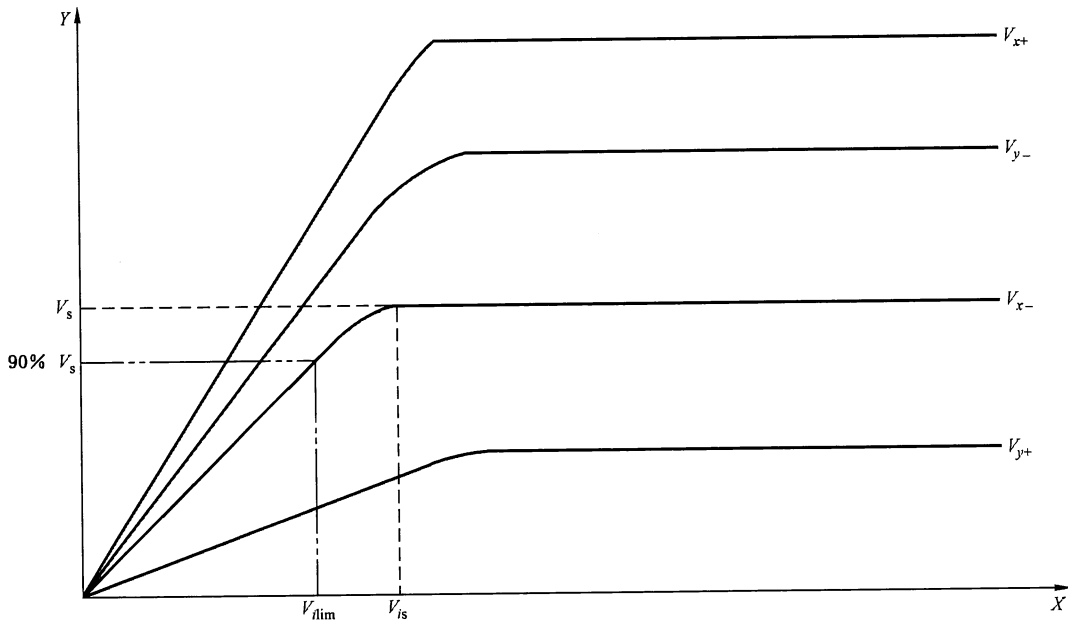
仪器的增益设置成最小值且滤波器的影响调到最小。把纯电阻加载到仪器的输入端和每个输出端。

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者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  $V_{lim}$  表示,见图 3。



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;

$I_{\min}$  —— 零;

$I_{\max}$  —— 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

可以使用网络分析和阻抗仪。

可以使用附录 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。

应该注意的是,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应按照制造者推荐的值设置。

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则的频率的差值  $f_d$  应小于制造者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以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

是指  $n$  次谐波响应电压  $V_{in}$  与基波响应电压  $V_n$  的电压比,其衰减等于  $20 \log \frac{V_{in}}{V_n}$ , 以分贝 (dB) 表示。

### 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  $f_d$ 。测量某一输出分量的电压

值  $V_{f_1}$ 。

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，所以本部分也使用这些值。

##### 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，最高值是制造者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。

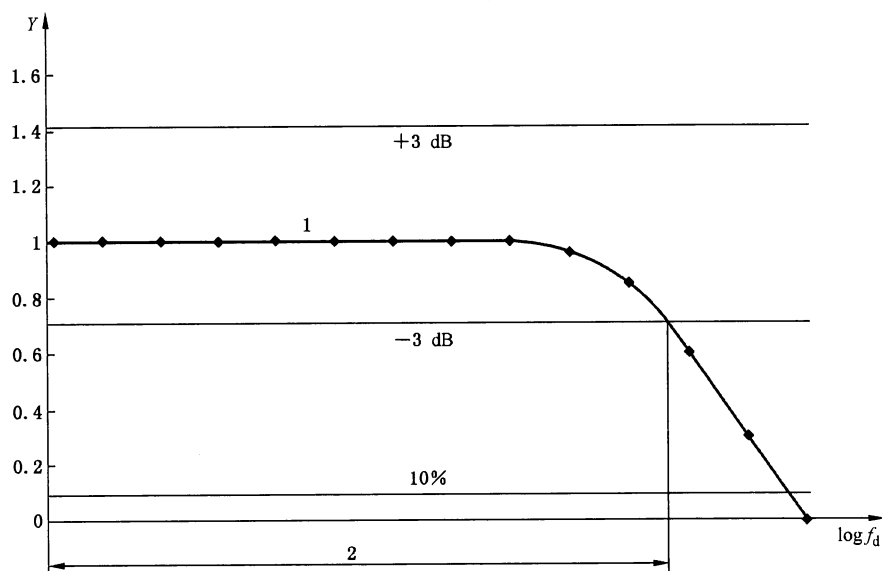
用超低频电压表和频率计测量输出分量的峰-峰值和差频  $f_d$ 。对输出信号每个分量的测量结果可以用幅频图表的形式标出。

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 的幅值各点是频率响应的极值点。

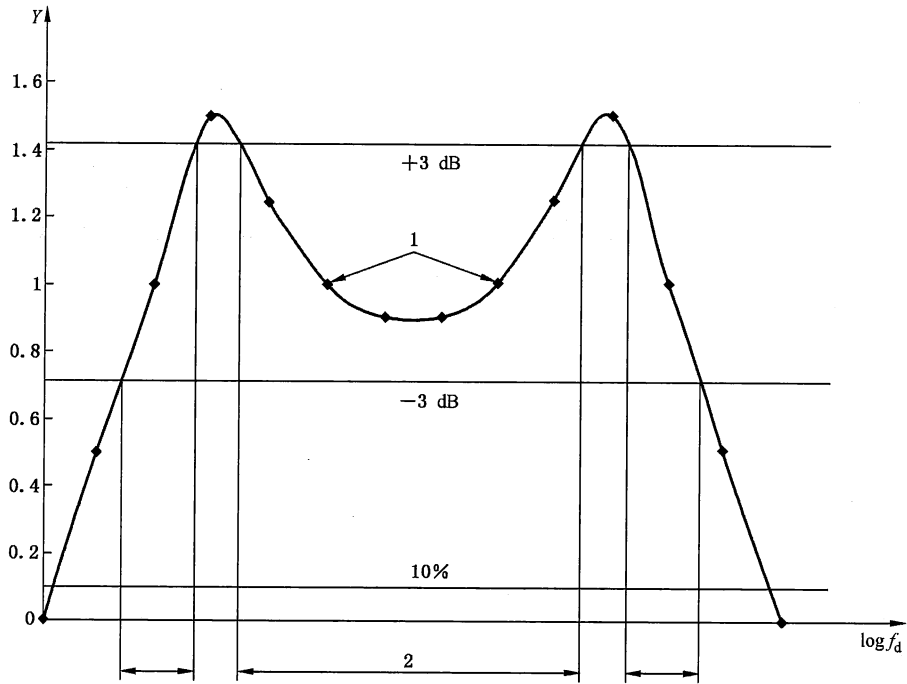
图 4a)、图 4b) 和图 4c) 示出了频率响应的不同示例。

由此可见，在某些情况下，频率响应范围可以包括若干个频段。

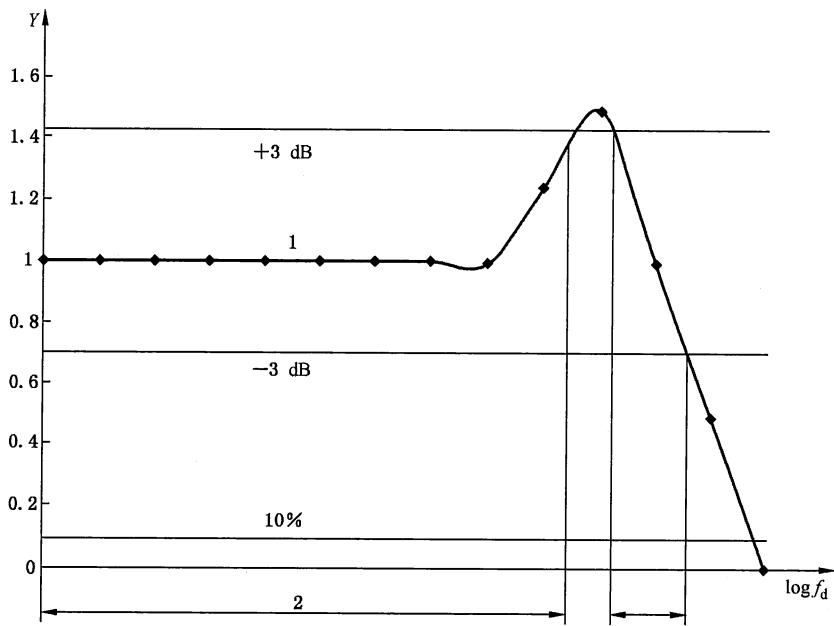


a) 示例 1

图 4 频率响应的示例



b) 示例 2



c) 示例 3

说明:

Y —— 输出(任意单位);

1 —— 中间值;

2 ——  $\pm 3$  dB 响应。

图 4 (续)

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  $f_s$  应大于  $36f_d$  (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(5)和式(6)计算,其中连续分量  $X_{av}$  和  $Y_{av}$  分别为各自采样的平均值:

$$X_{irec} = X_i - X_{av} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$Y_{irec} = Y_i - Y_{av} \quad \dots\dots\dots (6)$$

第  $i$  次采样的相角值按式(7)和式(8)计算:

$$\Phi_{mi} = \arctan(Y_{irec}/X_{irec}), (X_{irec} \geq 0) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\Phi_{mi} = \arctan(Y_{irec}/X_{irec}) + 180^\circ, (X_{irec} < 0) \quad \dots\dots\dots (8)$$

此值要与第  $i$  次采样的理论值相比较,采样的理论值按式(9)计算:

$$\Phi_{thi} = i(f_d / f_e) \times 360^\circ + \Phi_{mi} \quad \dots\dots\dots (9)$$

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(10)计算,单位为度。

$$\Delta\Phi_{m\max} = \max(\Phi_{mi} - \Phi_{thi}) \dots\dots\dots(10)$$

#### 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:可以按照 6.4.7 的方法采集数据,但其采样频率  $f_s$  大于  $360f_d$ (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 或 10 dB。

用这个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。

每个间隔值的增益误差按式(11)或式(12)计算,以分贝(dB)表示。

$$E_x = 20 \log(V_x/V_{xref}) \dots\dots\dots(11)$$

$$E_y = 20 \log(V_y/V_{yref}) \dots\dots\dots(12)$$

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幅值偏差。

##### 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  $X_{ref}$  和  $Y_{ref}$ 。

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(13)、式(14)和式(15)计算输出矢量的幅值和相角。

$$V_0 = \sqrt{(X_0 - X_{ref})^2 + (Y_0 - Y_{ref})^2} \dots\dots\dots(13)$$

$$\Phi_o = \arctan \frac{(Y_o - Y_{ref})}{X_o - X_{ref}}, (X_o - X_{ref} \geq 0) \dots\dots\dots(14)$$

$$\Phi_o = \arctan \frac{(Y_o - Y_{ref})}{X_o - X_{ref}} + 180^\circ, (X_o - X_{ref} < 0) \dots\dots\dots(15)$$

用不大于  $10^\circ (i\Phi_e)$  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(16)计算, 单位为度( $^\circ$ )。

$$\Phi_d = \Phi_i - (i\Phi_e) \dots\dots\dots(16)$$

幅值偏差按式(17)计算, 以百分数表示:

$$V_d = [(V_i - V_o)/V_o] \times 100 \dots\dots\dots(17)$$

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(18)计算:

$$|V_{Sj}| = \sqrt{V_{Xj}^2 + V_{Yj}^2} \dots\dots\dots(18)$$

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(19)计算:

$$t_i = 20 \log \left\{ \max_{j \neq i} \frac{|V_{Sj}|}{|V_{Si}|} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

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

用两个匹配的电阻器代替探头(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。

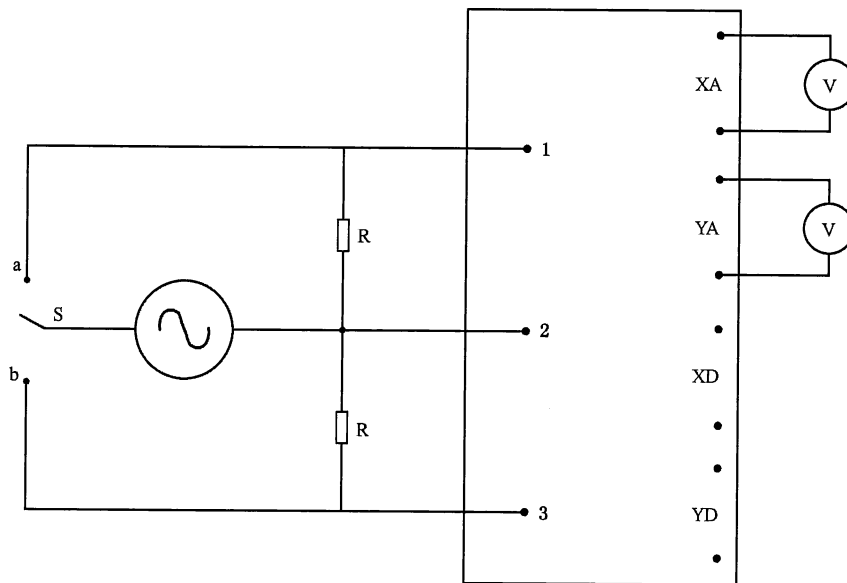
$V_{XA}$  和  $V_{YA}$  就变成了  $V_{XA2}$  和  $V_{YA2}$ 。

第  $i$  个通道的输出按式(20)计算:

$$|V_{SAi}| = \sqrt{V_{XAi}^2 + V_{YAi}^2}, (i=1 \text{ 或 } 2) \quad \dots\dots\dots(20)$$

串扰因子按式(21)计算,以分贝表示。

$$t_i = 20 \log \frac{|V_{SA2}|}{|V_{SA1}|} \quad \dots\dots\dots(21)$$



- 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

用两个匹配的电阻器代替探头(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。

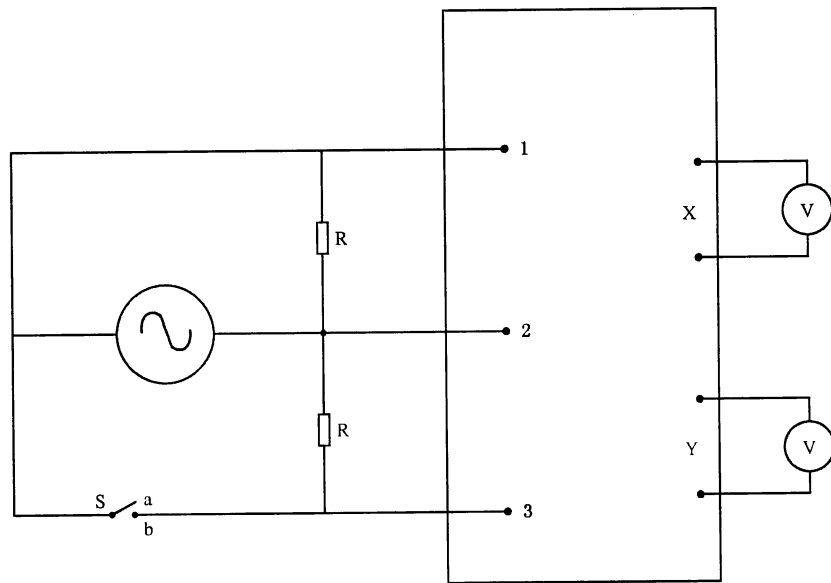
$V_X$  和  $V_Y$  就变成了  $V_{X2}$  和  $V_{Y2}$ 。

第  $i$  个通道的输出值按式(22)计算:

$$|V_{Si}| = \sqrt{V_{Xi}^2 + V_{Yi}^2}, (i = 1 \text{ 或 } 2) \dots\dots\dots (22)$$

抑制特性因子  $q_r$  按式(23)计算:

$$q_r = V_{S1} V_{S2} \dots\dots\dots (23)$$



- 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。

仪器的噪声可以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  $V_{max in}$  (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  $V_{max out}$ 。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(24)计算仪器在输入端的等效噪声电平  $V_{\text{eq}}$  :

$$V_{\text{eq}} = V_{\text{noise out}} \frac{V_{\text{max in}}}{V_{\text{max out}}} \times \frac{G_{\text{min}}}{G_{\text{max}}} \dots\dots\dots(24)$$

## 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  
(资料性附录)  
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,说明差分法原理见图 A.1。

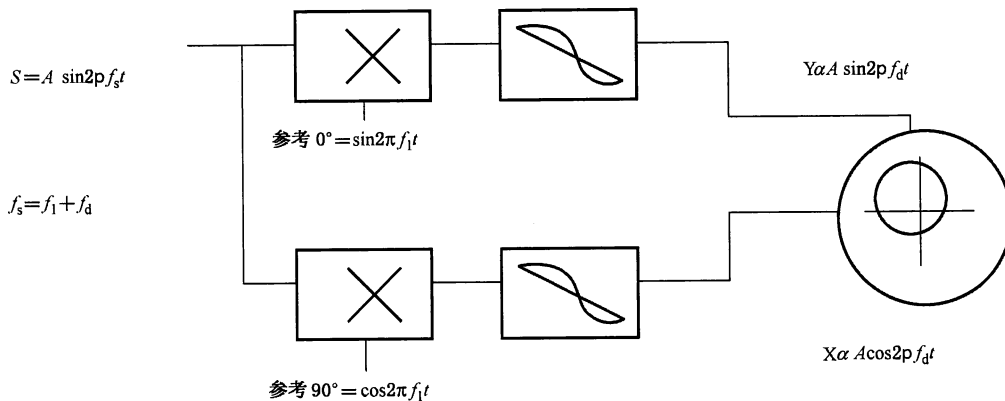


图 A.1 解调电路

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,用信号发生器频率  $f_1$  产生了差频。

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:

$$S_x(t) = A \sin[2\pi(f_1 + f_d)t] \sin 2\pi f_1 \cdot t$$

换算成方程(A.1)式:

$$S_x(t) = A/2 [\cos 2\pi f_d \cdot t - \cos 2\pi(2f_1 + f_d) \cdot t] \dots\dots\dots (A.1)$$

解调在 Y 方向的函数关系式为:

$$S_y(t) = A \sin[2\pi(f_1 + f_d)t] \cos 2\pi f_1 \cdot t$$

换算成方程(A.2)式:

$$S_y(t) = A/2 [\sin 2\pi f_d \cdot t + \sin 2\pi(2f_1 + f_d) \cdot t] \dots\dots\dots (A.2)$$

电路中的低通滤波器抑制方程(A.1)和方程(A.2)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  $f_d$  应小于制造者规定的仪器频带宽度的 10%。

为测量仪器信号发生器的频率,可以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  
(资料性附录)

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。

$$\Delta(I) = \frac{|O(I) - O_{\text{lin}}(I)|}{|O_{\text{lin}}(I_{\max}) - O_{\text{lin}}(I_{\min})|} \times 100 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

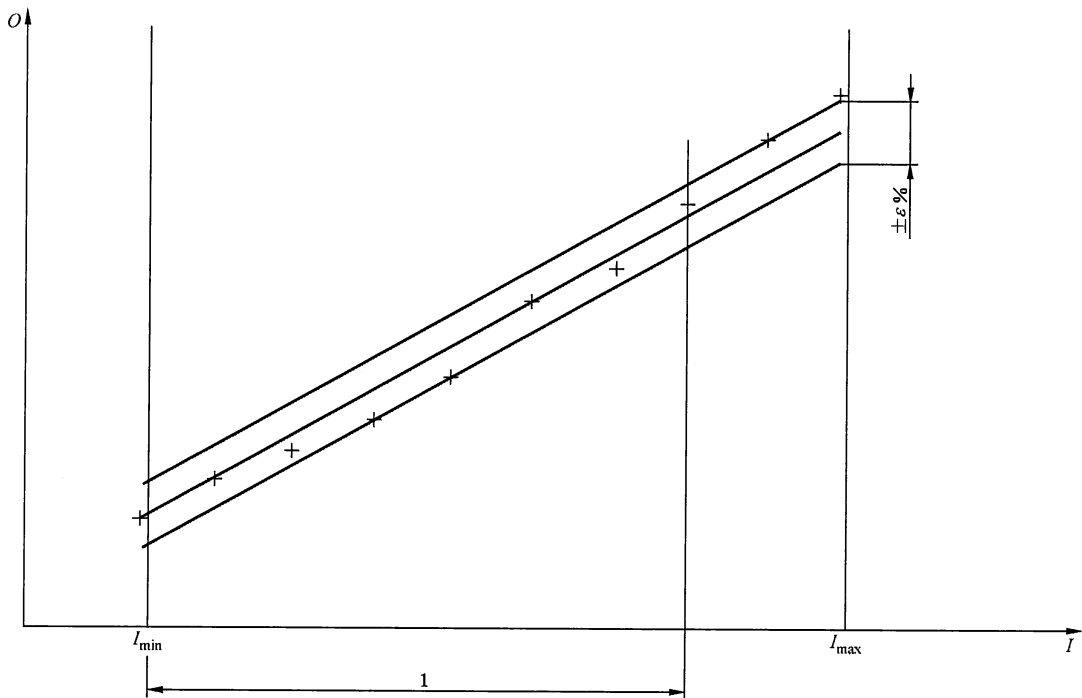
$\epsilon\%$  线性范围是满足式(B.2)的 I 的数值组:

$$\Delta\% \leq \epsilon\% \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$\epsilon$ ——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。



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  
(规范性附录)

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)。

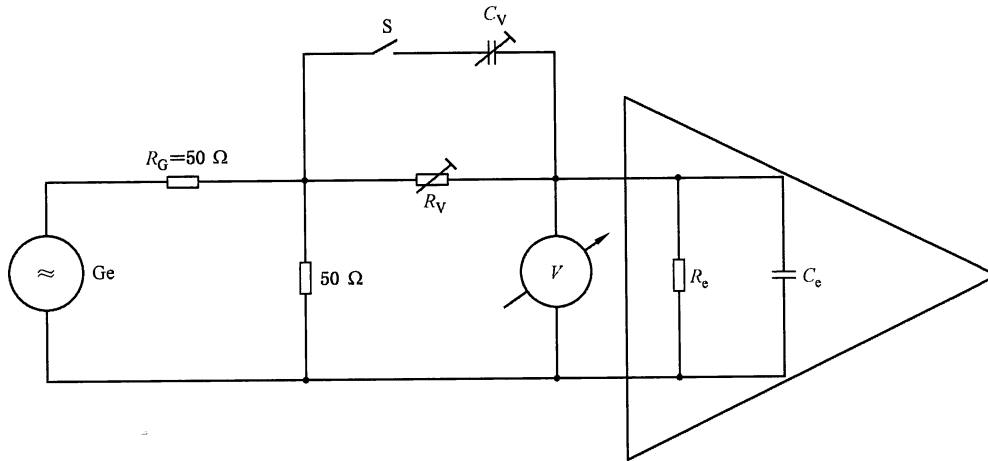


图 C.1 测量输入阻抗的配置图

信号发生器(Ge)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  $V_{e1}$ 。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:

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

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:

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

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,可以借助于万用电桥测量  $R_v$  和  $C_v$ 。

选择测定旁路电容  $C_e$  的测量装置应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案,均应测定  $R_e$  和  $C_e$ 。

中华人民共和国  
国家标准  
无损检测仪器 涡流检测设备  
第1部分：仪器性能和检验

GB/T 14480.1—2015/ISO 15548-1:2008

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

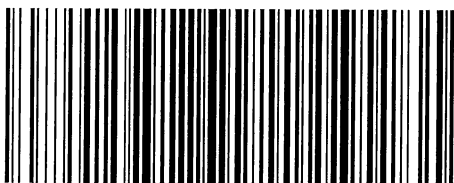
\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 46 千字  
2016年3月第一版 2016年3月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-53161 定价 27.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 14480.1-2015