

JJF X XXX - X XXX

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

软磁材料交流磁特性测量装置校准规范

Calibration Specification of AC Magnetic Properties Measuring

Instruments for Magnetically Soft Materials

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

软磁材料交流磁特性 测量装置校准规范

Calibration Specification of AC Magnetic Properties
Measuring Instruments for Magnetically Soft
Materials

JJF XXXX-XXXX

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	2
4.1 计量特性.....	2
5 校准条件.....	2
5.1 环境条件.....	2
5.2 测量标准及其他设备.....	3
6 校准项目和校准方法.....	4
6.1 校准项目.....	4
6.2 校准方法.....	4
7 校准结果表达.....	19
8 复校时间间隔.....	20
附录 A 测量不确定度评定示例.....	错误! 未定义书签。
附录 B 校准原始记录格式.....	18
附录 C 校准证书内页格式.....	20

引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范是首次制定的国家计量技术规范。

软磁材料交流磁特性测量装置校准规范

1 范围

本规范适用于频率为20Hz~100 kHz，采用环形试样法的软磁材料交流磁特性测量装置(以下称为磁测仪)的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1013 磁学计量常用名称术语及定义

JJF 1094 测量仪器特性评定

JJF 1587-2016 数字多用表校准规范

GB/T 3658 软磁材料交流磁性能环形试样的测量方法

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 概述

软磁材料交流磁特性测量装置是采用环形试样法，测量软磁材料交流磁特性参数的专用仪器。主要由交流励磁电源、峰值电流表、功率表、频率计、平均值电压表、有效值电压表、示波器等仪表或具有相同功能的测量电路组成，其测量原理如图 1 所示。测量时将环形试样的初级和次级绕组分别接入磁测仪，由环形试样构建闭合磁路并形成空载的变压器。通过测量初级电流、次级感应电压、频率、相位、功率等电参量，结合样品参数，利用特定的算法得到磁场强度、磁通密度、比总损耗、比视在功率、幅值磁导率等磁特性参数。

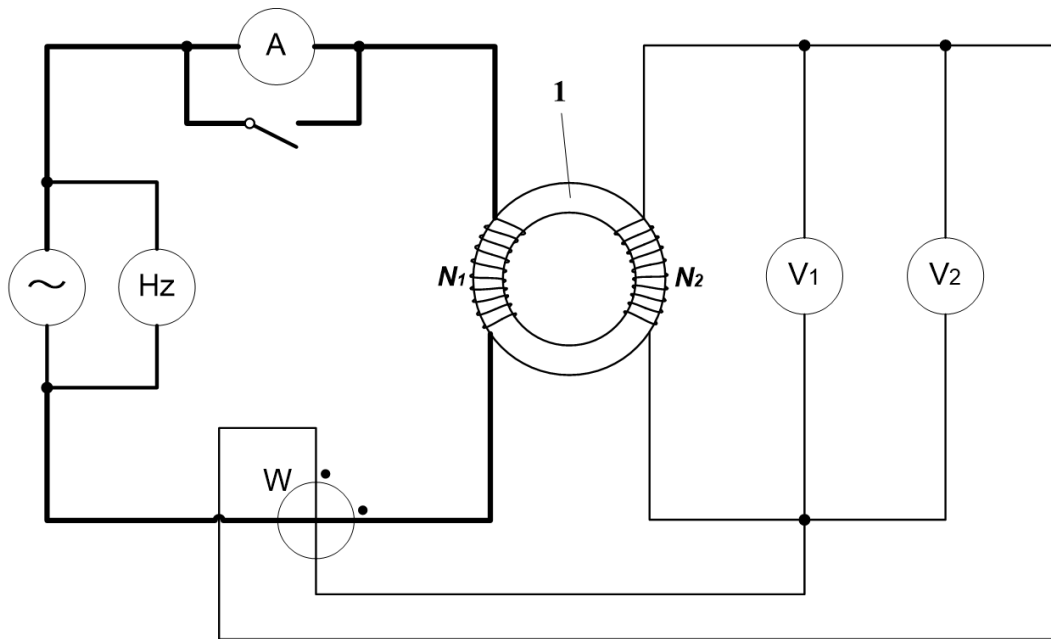


图1 软磁材料交流磁特性测量仪原理图

图中：

- 1——试样；
- N_1 ——初级绕组；
- N_2 ——次级绕组；
- ~——励磁电源；
- Hz——频率计；
- A——电流表；
- W——功率表；
- V_1 ——平均值电压表；
- V_2 ——有效值电压表。

4 计量特性

4.1 初级电流

环形试样法，初级电流范围：0~10 A，最大允许误差：±0.05%及以下，输出稳定度：0.01%/60s 及以下。

4.2 次级感应电压

感应电压范围：0~100 V，最大允许误差：±0.05%及以下。

4.3 频率

频率范围：20 Hz~100kHz，最大允许误差：±0.1%及以下。

4.4 相位

相位范围：0° ~360°，最大允许误差：±0.005° 及以下。

4.5 视在功率

测量范围为输出电流与电压的乘积，最大允许误差：±0.1%及以下。

4.6 有功功率

测量范围为输出电流、电压、功率因数的乘积，功率因数设定范围：0.005~1，最大允许误差：±0.1%及以下。

4.7 磁场强度设定值

磁测仪在测量试样的磁通密度时，通常需要设定磁场强度测试点，其设定值误差应控制在±0.1%范围内。

4.8 磁通密度设定值

磁测仪在测量试样的比总损耗时，通常需要设定磁通密度测试点，其设定值误差应控制在±0.1%范围内。

4.9 波形系数

磁测仪在测量试样的磁特性参数时，要求次级电压波形为正弦，波形失真度应控制在 $1.111 \times (1 \pm 1\%)$ 范围内。

4.10 磁特性参数

磁特性参数包括：磁场强度 H 、磁通密度 B 、比总损耗 P_s 、比视在功率 S_s 、幅值磁导率 μ_a 。

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

温度：(20±5) °C；

相对湿度：(55±20) %；

供电电源：电压（220±22）V，频率（50±0.5）Hz；

其他干扰：周围无明显影响测量的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 功率源

功率源应具有电压和电流幅值、频率、相位可调的功能，输出范围能覆盖被校磁测仪的测量范围，校准功率时，功率因数的设定范围应覆盖 0.005~1；功率源应足够稳定，其电压、电流、频率、功率的短期稳定度（每分钟）应优于被校磁测仪对应功能的最大允许误差绝对值的 1/10。

5.2.2 功率分析仪

功率分析仪的电压、电流、频率、功率的测量范围应覆盖被校磁测仪的测量范围，扩展不确定度（k=2）应不大于被校磁测仪对应功能的最大允许误差绝对值的 1/3。

功率分析仪可集成在功率源内，也可以单独外置；也可使用满足要求的标准电压表、电流表、频率计、功率表来实现功率分析仪的功能。

5.2.3 典型环形试样

试样的选取应尽量覆盖检测实验室日常所测量的试验种类，至少包含硅钢、铁基非晶、坡莫合金、铁氧体等类型，同时通过改变励磁条件实现整个测量范围的校准。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	外观及通电检查	-	6.2.1
2	初级电流	4.1	6.2.3
3	初级电流稳定度	4.1	6.2.4
4	次级感应电压	4.2	6.2.5

5	频率	4.3	6.2.6
6	相位	4.4	6.2.7
7	视在功率	4.5	6.2.8
8	有功功率	4.6	6.2.8
9	磁场强度设定值	4.7	6.2.9
10	磁通密度设定值	4.8	6.2.10
11	波形系数	4.9	6.2.11
12	磁特性参数	4.10	6.2.12

6.2 校准方法

6.2.1 外观及通电检查

目测或手动操作，检查被校磁测仪，应符合以下要求：

- a) 外形结构完好，无影响正常工作的机械损伤；
- b) 外露部件（面板、按钮、接线端子等）无松动；
- c) 产品名称、制造厂家、仪器型号和出厂编号等均应由明确标记；
- d) 通电后，所有开关、旋钮及按键应灵活可靠；
- e) 各指示灯工作正常，数值显示清晰，无影响示值的缺陷；
- f) 各测量功能正常，测量软件能正常使用。

6.2.2 校准点的选取原则

- a) 校准点应覆盖所有量程并兼顾各量程之间的覆盖性及量程内的均匀性；
- b) 同时应参考被校磁测仪使用说明书中对校准点的建议；
- c) 并可根据实际情况或送检单位的校准需求选取校准点。

6.2.2.1 初级电流的校准点

- a) 预留有电流输入专用校准端钮的磁测仪

选取 2~3 个频率点，建议在 50 Hz、60 Hz、400 Hz、1 kHz、5 kHz、10 kHz、20 kHz、50 kHz、100 kHz 中优先选取。

电流基本量程选取不少于 3 个校准点，非基本量程取不少于 2 个校准点，校准点应包括 100% 点，且均匀分布。

- b) 未预留有电流输入专用校准端钮的磁测仪

该类型磁测仪需要采用典型试样作为负载，该方式的可能受限于样品的种类

与尺寸及激励条件，难以覆盖所有电流校准点，应尽量选取典型试样常用的磁通密度测试点进行校准。

6.2.2.2 次级感应电压的校准点

频率点的选取见 6.2.2.1 a)。

电压基本量程选取不少于 3 个校准点，非基本量程取不少于 2 个校准点，校准点应包括 100% 点，且均匀分布。

6.2.2.3 频率的校准点

在电压或电流基本量程下，整个频率测量范围内均匀选取不少于 5 个校准点，建议在 50 Hz、60 Hz、400 Hz、1 kHz、5 kHz、10 kHz、20 kHz、50 kHz、100 kHz 中优先选取。

6.2.2.4 相位的校准点

a) 预留有电流输入专用校准端钮的磁测仪

频率点的选取见 6.2.2.1 a)。

电压和电流应逐量程选取 100% 点进行组合。

结合频率点和电压电流的组合，选取 0° 、 30° 、 60° 、 90° 为相位校准点。

b) 未预留有电流输入专用校准端钮的磁测仪

采用典型样品作为负载，应尽量选取典型试样常用的测试点进行校准。

6.2.2.5 功率的校准点

a) 预留有电流输入专用校准端钮的磁测仪

频率点的选取见 6.2.2.1 a)。

校准有功功率时，应选取 2~3 个功率因数，兼顾低功率因数和高功率因数。建议在 0.005、0.01、0.1、0.5 和 1 中优先选取。

结合频率点和功率因数的选取，电压和电流应逐量程选取 100% 点进行组合。

b) 未预留有电流输入专用校准端钮的磁测仪

采用典型样品作为负载，应尽量选取典型试样常用的测试点进行校准。

6.2.2.6 磁场强度设定值误差的校准点

a) 采用典型试样作为负载。

b) 频率点的选取见 6.2.2.1 a)。

c) 选取 2~3 个磁场强度点，建议在 1 A/m、5 A/m、10 A/m、20 A/m、50 A/m、

100 A/m、200 A/m、500 A/m、1000 A/m 中优先选取；也可以选取典型试样常用的测试点进行校准。

6.2.2.7 磁通密度设定值误差的校准点

- a) 采用典型试样作为负载。
- b) 频率点的选取见 6.2.2.1 a)。
- d) 选取 2~3 个磁通密度点，根据材料的性能建议在 0.05 T、0.1 T、0.2 T、0.5 T、0.8 T、1.0 T、1.2 T、1.5 T 中优先选取；也可以选取典型试样常用的测试点进行校准。

6.2.2.8 波形系数的校准点

- a) 采用典型试样作为负载。
- b) 选取典型试样常用的测试点进行校准。

6.2.2.9 磁特性参数的校准点

- a) 采用典型试样作为负载。
- b) 频率点的选取见 6.2.2.1 a)。
- c) 磁场强度 H 、磁通密度 B 、幅值磁导率 μ_a 在典型试样常用的磁场强度测试点下校准。
- d) 比总损耗 P_s 、比视在功率 S_s 在典型试样常用的磁通密度测试点下校准。

6.2.3 初级电流的校准

a) 预留有电流输入专用校准端钮的磁测仪

采用功率源、功率分析仪作为标准设备，校准线路如图 2 所示，其连接线宜采用同轴电缆且尽可能短，。

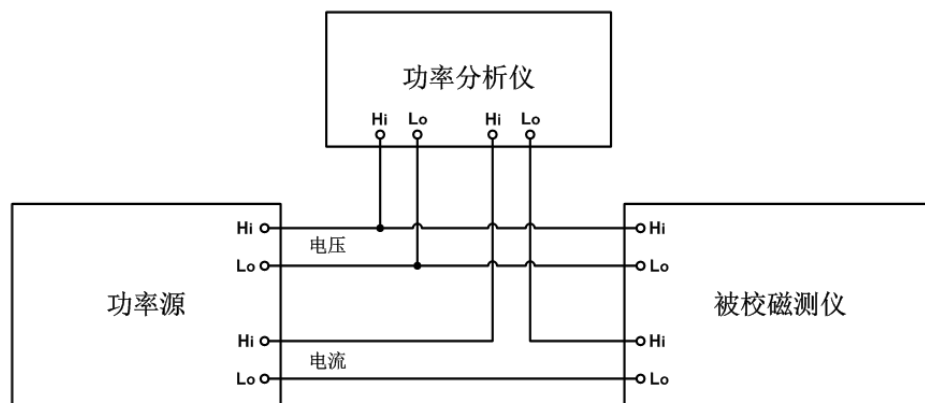


图 2 电参量校准示意图（有电流输入专用校准端钮）

调节功率源输出电流至校准点，分别记录功率分析仪的测量值 I_N 和被校磁测仪的示值 I_X ，则被校磁测仪的电流示值误差按式（1）计算：

$$\Delta_I = I_X - I_N \quad (1)$$

被校磁测仪的电流相对误差按式（2）计算：

$$\gamma_I = \frac{\Delta_I}{I_N} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

Δ_I ——被校磁测仪电流示值误差，A；

γ_I ——被校磁测仪的电流相对示值误差，%；

I_X ——被校磁测仪的示值，A；

I_N ——电流标准值（功率分析仪的示值），A。

b) 未预留有电流输入专用校准端钮的磁测仪

该类型磁测仪无法使用可调功率源，故需要采用典型样品作为负载，功率分析仪作为校准标准器，校准线路如图 3 所示。该方式校准点受限于样品的种类与尺寸及激励条件，难以覆盖所有电流校准点，因此应尽量选用检测实验室日常进行测量的材料样品。

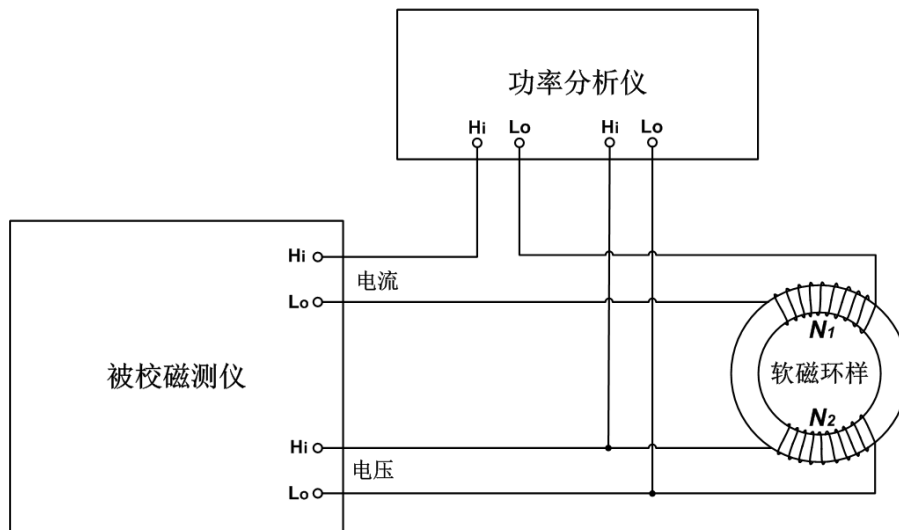


图 2 电参量校准示意图（无电流输入专用校准端钮）

根据电流校准点，结合样品的参数，计算出对应的磁场强度值 H ，并控制被校磁测仪输出电流，分别记录功率分析仪的测量值 I_N 和被校磁测仪的示值 I_X ，则被校磁测仪的示值误差分别按式（1）、（2）计算。

6.2.4 初级电流稳定度的校准

校准路线与输出方式依据 6.2.3，可与电流示值误差校准同时进行。

电流输出稳定后，记录在规定时间间隔内（一般为 60 秒）被校磁测仪输出电流示值的最大值 I_{\max} 和最小值 I_{\min} ，用公式（3）计算稳定度。

$$S = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

S ——规定时间间隔内初级电流稳定度，%；

I_{\max} ——规定时间间隔内电流输出最大值，A；

I_{\min} ——规定时间间隔内电流输出最小值，A；

I_0 ——被校准点的电流值，A。

6.2.5 次级感应电压的校准

校准线路如图 2 所示。

调节功率源输出电压至校准点，分别记录功率分析仪的测量值 U_N 和被校磁测仪的示值 U_X ，则被校磁测仪的电压示值误差按式（4）计算：

$$\Delta_U = U_X - U_N \quad (4)$$

被校磁测仪的电压相对误差按式（5）计算：

$$\gamma_U = \frac{\Delta_U}{U_N} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

Δ_U ——被校磁测仪的次级感应电压示值误差，V；

γ_U ——被校磁测仪的次级感应电压相对示值误差，%；

U_X ——被校磁测仪的示值，V；

U_N ——电压标准值（功率分析仪的示值），V。

6.2.6 频率的校准

校准路线与输出方式依据 6.2.3，可与电流示值误差校准同时进行。

根据校准点输出电流、频率，分别记录功率分析仪的测量值 f_N 和被校磁测仪的示值 f_X 。则被校磁测仪的频率示值误差按式 (6) 计算：

$$\Delta_f = f_X - f_N \quad (6)$$

被校磁测仪的频率相对误差按式 (7) 计算：

$$\gamma_f = \frac{\Delta_f}{f_N} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

Δ_f —— 被校磁测仪的频率示值误差，Hz；

γ_f —— 被校磁测仪的频率相对示值误差，%；

f_X —— 被校磁测仪的频率示值，Hz；

f_N —— 频率标准值（功率分析仪的示值），Hz。

6.2.7 相位的校准

校准路线与输出方式依据 6.2.3。

根据校准点设定输出频率、电压、电流和相位，分别记录功率分析仪的测量值 φ_N 和被校磁测仪的示值 φ_X 。则被校磁测仪的相位示值误差按式 (8) 计算：

$$\Delta_\varphi = \varphi_X - \varphi_N \quad (8)$$

被校磁测仪的相位相对误差按式 (9) 计算：

$$\gamma_\varphi = \frac{\Delta_\varphi}{\varphi_N} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

Δ_φ —— 被校磁测仪的相位示值误差，°；

γ_φ —— 被校磁测仪的相位相对示值误差，%；

φ_X —— 被校磁测仪的相位示值，°；

φ_N —— 相位标准值（功率分析仪的示值），°。

6.2.8 功率的校准

校准路线与输出方式依据 6.2.3。

根据校准点设定输出频率、电压、电流和相位（或功率因数），分别记录功率分析仪的有功功率测量值 P_N 和视在功率测量值 S_N ，记录被校磁测仪的有功功率示值 P_X 和视在功率示值 S_X 。

被校磁测仪的有功功率示值误差按式（10）计算：

$$\Delta_P = P_X - P_N \quad (10)$$

被校磁测仪的相位相对误差按式（11）计算：

$$\gamma_P = \frac{\Delta_P}{P_N} \times 100\% \quad (11)$$

式中：

Δ_P —— 被校磁测仪的有功功率示值误差，W；

γ_P —— 被校磁测仪的有功功率相对示值误差，%；

P_X —— 被校磁测仪的有功功率示值，W；

P_N —— 有功功率标准值（功率分析仪的示值），W。

被校磁测仪的视在功率示值误差按式（12）计算：

$$\Delta_S = S_X - S_N \quad (12)$$

被校磁测仪的视在相对误差按式（13）计算：

$$\gamma_S = \frac{\Delta_S}{S_N} \times 100\% \quad (13)$$

式中：

Δ_S —— 被校磁测仪的视在功率示值误差，VA；

γ_S —— 被校磁测仪的视在功率相对示值误差，%；

S_X —— 被校磁测仪的视在功率示值，VA；

S_N —— 视在功率标准值（功率分析仪的示值），VA。

6.2.9 磁场强度设定值的校准

校准路线依据 6.2.3 b)。

根据校准点设定磁场强度峰值 \hat{H}_X ，记录功率分析仪测量的电流峰值 \hat{H}_N 。

被校磁测仪的磁场强度设定值示值误差按式（14）计算：

$$\Delta_H = \hat{H}_X - \hat{H}_N \quad (14)$$

被校磁测仪的磁场强度设定值相对误差按式（15）计算：

$$\gamma_H = \frac{\Delta_H}{\hat{H}_N} \times 100\% \quad (15)$$

式中：

Δ_H —— 被校磁测仪的磁场强度设定值示值误差，A/m；

γ_H —— 被校磁测仪的磁场强度设定值相对误差，%；

\hat{H}_X —— 被校磁测仪的磁场强度设定值，A/m；

\hat{H}_N —— 由功率分析仪测量的电流峰值计算所得的磁场强度峰值，A/m。

\hat{H}_N 按式（16）计算：

$$\hat{H}_N = \frac{N_1 \cdot \hat{I}_N}{l_m} \times 100\% \quad (16)$$

式中：

N_1 —— 典型试样的初级绕组匝数；

\hat{I}_N —— 功率分析仪测量的电流峰值，A；

l_m —— 典型试样的有效磁路长度，m。

6.2.10 磁通密度设定值的校准

校准路线依据 6.2.3 b)。

根据校准点设定磁通密度峰值 \hat{B}_X ，记录功率分析仪测量的电压平均值 \bar{U}_N 。

被校磁测仪的磁通密度设定值示值误差按式（17）计算：

$$\Delta_B = \hat{B}_X - \hat{B}_N \quad (17)$$

被校磁测仪的磁通密度设定值相对误差按式（18）计算：

$$\gamma_B = \frac{\Delta_B}{\hat{B}_N} \times 100\% \quad (18)$$

式中：

Δ_B —— 被校磁测仪的磁通密度设定值示值误差, T;

γ_B —— 被校磁测仪的磁通密度设定值相对误差, %;

\hat{B}_N —— 被校磁测仪的磁通密度设定值, T;

\hat{B}_N —— 由功率分析仪测量的电压值计算所得的磁通密度峰值, T。

\hat{B}_N 按式 (19) 计算:

$$\hat{B}_N = \frac{1}{4fN_2A} \bar{U}_N \quad (19)$$

式中:

N_2 —— 典型试样的次级绕组匝数;

\bar{U}_N —— 功率分析仪测量的电压平均值, V;

f —— 励磁频率, Hz;

A —— 试样的横截面积, m^2 。

6.2.11 波形系数的校准

校准路线依据 6.2.3 b)。

根据校准点设定磁通密度 \hat{B} , 记录功率分析仪测量的电压平均值 \bar{U} 和电压有效值 $U\%$ 。

被校磁测仪的波形系数的示值误差按式 (20) 计算:

$$\Delta_K = K - 1.111 \quad (20)$$

被校磁测仪的波形系数的相对误差按式 (21) 计算:

$$\gamma_K = \frac{\Delta_K}{1.111} \times 100\% \quad (21)$$

式中:

Δ_K —— 被校磁测仪的波形系数示值误差;

γ_K —— 被校磁测仪的波形系数相对误差, %;

K —— 被校磁测仪的实际波形系数;

K 按式 (22) 计算:

$$K = \frac{U\%}{\bar{U}} \quad (22)$$

式中：

$U^{\%}$ —— 功率分析仪测量的电压有效值，V；

\bar{U} —— 功率分析仪测量的电压平均值，V。

6.2.11 磁特性参数的校准

校准路线依据 6.2.3 b)。

选择典型的样品如坡莫合金 1J50、铁氧体、非晶合金、纳米晶合金等环形样品作为测量试样，根据校准点设定磁场强度峰值或磁通密度峰值，记录被校磁测仪相应磁参量的示值。记录功率分析仪测量的电压、电流、频率、功率等电参量的示值，并根据 GB/T 3658 中的相应磁参量算法计算得到磁参量的标准值。完成对磁场强度 H 、磁通密度 B 、比总损耗 Ps 、比视在功率 Ss 、幅值磁导率 μ_a 参量的校准。

被校磁测仪的磁场强度 H 的示值误差按式 (23) 计算：

$$\Delta_H = \hat{H}_X - \hat{H}_N \quad (23)$$

被校磁测仪的磁场强度 H 的相对误差按式 (24) 计算：

$$\gamma_H = \frac{\Delta_H}{\hat{H}_N} \times 100\% \quad (24)$$

式中：

Δ_H —— 被校磁测仪磁场强度 H 的示值误差，A/m；

γ_H —— 被校磁测仪磁场强度 H 的相对误差，%；

\hat{H}_X —— 被校磁测仪磁场强度 H 的示值，A/m；

\hat{H}_N —— 磁场强度 H 的标准值，A/m。

\hat{H}_N 按式 (16) 计算：

被校磁测仪的磁通密度 B 的示值误差按式 (26) 计算：

$$\Delta_B = \hat{B}_X - \hat{B}_N \quad (26)$$

被校磁测仪的磁通密度 B 的相对误差按式 (27) 计算：

$$\gamma_B = \frac{\Delta_B}{\hat{B}_N} \times 100\% \quad (27)$$

式中：

Δ_B —— 被校磁测仪磁通密度 B 的示值误差, T;

γ_B —— 被校磁测仪磁通密度 B 的相对误差, %;

\hat{B}_X —— 被校磁测仪磁通密度 B 的示值, T;

\hat{B}_N —— 磁通密度 B 的标准值, T。

\hat{B}_N 按式 (19) 计算:

被校磁测仪的比总损耗 P_S 的示值误差按式 (28) 计算:

$$\Delta_P = P_X - P_N \quad (28)$$

被校磁测仪的比总损耗 P_S 的相对误差按式 (29) 计算:

$$\gamma_P = \frac{\Delta_P}{P_N} \times 100\% \quad (29)$$

式中:

Δ_P —— 被校磁测仪比总损耗 P_S 的示值误差, W/kg;

γ_P —— 被校磁测仪比总损耗 P_S 的相对误差, %;

P_X —— 被校磁测仪比总损耗 P_S 的示值, W/kg;

P_N —— 比总损耗 P_S 的标准值, W/kg。

P_N 按式 (30) 计算:

$$P_N = \frac{P_c}{m} = \frac{1}{m} \left(\frac{N_1}{N_2} P_m - \frac{U_2^2}{R_1} \right) \quad (30)$$

式中:

P_c —— 计算得到的试样总损耗, W;

m —— 典型试样试样的质量, kg;

N_1 —— 典型试样的初级绕组匝数;

N_2 —— 典型试样的初级绕组匝数;

P_m —— 功率分析仪测得的有功功率值, W;

U_2 —— 功率分析仪测得的次级感应电压的有效值, V;

R_1 —— 与次级绕组连接的仪表总等效电阻, Ω 。

被校磁测仪的比视在功率 S_S 的示值误差按式 (31) 计算:

$$\Delta_S = S_X - S_N \quad (31)$$

被校磁测仪的比视在功率 S_S 的相对误差按式 (32) 计算:

$$\gamma_S = \frac{\Delta_S}{S_N} \times 100\% \quad (32)$$

式中:

Δ_S —— 被校磁测仪比视在功率 S_S 的示值误差, W/kg;

γ_S —— 被校磁测仪比视在功率 S_S 的相对误差, %;

S_X —— 被校磁测仪比视在功率 S_S 的示值, W/kg;

S_N —— 比视在功率 S_S 的标准值, W/kg。

S_N 按式 (33) 计算:

$$S_N = \frac{N_1}{N_2 m} I_1^{\%} U_2^{\%} \quad (33)$$

式中:

m —— 典型试样试样的质量, kg;

N_1 —— 典型试样的初级绕组匝数;

N_2 —— 典型试样的初级绕组匝数;

$I_1^{\%}$ —— 功率分析仪测得的初级电流的有效值, A;

$U_2^{\%}$ —— 功率分析仪测得的次级感应电压的有效值, V。

被校磁测仪的幅值磁导率 μ_a 的示值误差按式 (34) 计算:

$$\Delta_\mu = \mu_X - \mu_N \quad (34)$$

被校磁测仪的幅值磁导率 μ_a 的相对误差按式 (35) 计算:

$$\gamma_\mu = \frac{\Delta_\mu}{\mu_N} \times 100\% \quad (35)$$

式中:

Δ_μ —— 被校磁测仪幅值磁导率 μ_a 的示值误差;

γ_μ —— 被校磁测仪幅值磁导率 μ_a 的相对误差, %;

μ_X —— 被校磁测仪幅值磁导率 μ_a 的示值;

μ_N —— 幅值磁导率 μ_a 的标准值。

μ_N 按式 (36) 计算：

$$\mu_N = \frac{\hat{H}_N}{\mu_0 \hat{B}_N} \quad (36)$$

式中：

\hat{H}_N —— 磁场强度 H 的标准值，A/m；

\hat{B}_N —— 磁通密度 B 的标准值，T；

μ_0 —— 真空磁导率，约 $4\pi \times 10^{-7}$ H/m。

\hat{H}_N 按式 (16) 计算， \hat{B}_N 按式 (19) 计算：

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书（报告）上反应，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和联系信息；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期和发布日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；

- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 B, 校准证书(报告)内页格式见附录 C、附录 D。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。

送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A 测量不确定度评定示例

初级电流示值误差测量结果不确定度评定

A.1 初级电流测量不确定度

A.1.1 测量方法

调节功率源输出电流至校准点，分别记录功率分析仪的测量值 I_N 和被校磁测仪的示值 I_X 。

A.1.2 测量模型

$$\Delta I = I_X - I_N \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔI ——被校磁测仪电流示值误差，A；

I_X ——被校磁测仪的示值，A；

I_N ——功率分析仪的示值（标准值），A。

A.1.3 不确定度来源及合成标准不确定度计算公式

A.1.3.1 不确定度来源

A.1.3.1.1 被校仪器引入的标准不确定度 $u(I_X)$ ，其包括：

1) 被校磁测仪的重复性引入的不确定度 $u_1(I_X)$

2) 被校磁测仪的分辨力引入的不确定度 $u_2(I_X)$

A.1.3.1.2 功率分析仪引入的标准不确定度 $u(I_N)$ ：

A.1.3.1.3 合成标准不确定度

全部不确定度来源不相关，合成标准不确定度计算公式如下：

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2[u_1^2(I_X) + u_2^2(I_X)] + c_3^2 u^2(I_N)} \quad (\text{C.2})$$

A.1.3.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_X} = 1, \quad c_3 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_N} = -1。$$

A.1.4 各分量的标准不确定度评定

A.1.4.1 由被校磁测仪的重复性引入的不确定度 $u_1(I_X)$

由功率分析仪输出 10mA 初级电流至被校磁测仪，读取并记录被磁测仪的显示值。

被校磁测仪 10 次的读数如表 A.1 所示。

表 A.1 被校仪器初级电流测量重复性

次数	读数 (mA)
1	10.0055
2	10.0056
3	10.0057
4	10.0058
5	10.0059
6	10.0062
7	10.0066
8	10.0068
9	10.0069
10	10.0075
测量的平均值:	10.0063
单次测量的实验标准偏差 s :	0.00067

$$\text{则 } u_1(I_X) = s(I) = 0.00067 \text{ mA}$$

A.1.4.2 由被校磁测仪的分辨力引入的不确定度 $u_2(I_X)$

被校仪器在初级电流 10.0000mA 点的分辨力为 0.0001mA, 在 ± 0.00005 mA 区间内为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_2(I_X) = \frac{0.00005}{\sqrt{3}} = 0.000029 \text{ mA}$$

A.1.4.3 由功率分析仪引入的标准不确定度 $u(I_N)$

功率分析仪的电流经过校准, 符合技术指标要求。使用说明书中技术指标给出 10mA, 1kHz 点的最大允许误差为:

$$\pm (0.12\% \times \text{读数} + 0.02\% \times \text{量程}) = \pm (0.12\% \times 10 + 0.02\% \times 30) = \pm 0.018 \text{ mA}$$

区间半宽 $a = 0.018$ mA, 认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u(I_N) = \frac{a}{k} = \frac{0.018}{\sqrt{3}} = 0.01 \text{ mA}$$

A.1.5 标准不确定度分量汇总

表 3 标准不确定度分量汇总表(频率: 1kHz)

输入量 X_i	不确定度来源	概率分布	灵敏系数	不确定度分量 u_i/mA
I_X	被校仪器的重复性 $u_1(I_X)$	/	1	0.00067
I_X	被校仪器的分辨力 $u_2(I_X)$	均匀分布	1	0.000029
I_N	功率分析仪 $u(I_N)$	均匀分布	-1	0.01

A.1.6 合成标准不确定度

依照合成标准不确定度计算公式可得:

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2[u_1^2(I_X) + u_2^2(I_X)] + c_3^2 u^2(I_N)} = 0.01\text{mA}$$

A.1.7 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度 $U=k \cdot u_c(\Delta I)=2 \times 0.01\text{mA}=0.02\text{mA}$

附录 B 校准原始记录格式

软磁材料交流磁特性测量仪校准原始记录

委托单位		记录编号			
样品名称		校准日期			
型号规格		校准地点			
出厂编号		环境温度	℃		
制造厂家		相对湿度	%		
校准依据					
校准所使用的主要测量标准：					
名称	测量范围	出厂编号	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至

1. 外观及工作正常性检查：

项目	结果
外观	
工作正常性	

2. 初级电流

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

3. 次级感应电压

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

4. 频率

示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

5. 相位

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

6. 视在功率

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

7. 有功功率

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

8. 磁场强度设定值

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

9. 磁极化强度设定值

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

10. 波形系数

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

11. 磁特性参数

参数	频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$
磁场强度				
磁通密度				
比总损耗				
比视在功率				
幅值磁导率				

附录 C 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明：				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名 称	测量范围	不确定度/准确度等级 /最大允许误差	溯源机构/ 证书编号	有效期至

第×页，共×页

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准结果

1. 初级电流

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

2. 次级感应电压

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

3. 频率

示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

4. 相位

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

5. 视在功率

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

6. 有功功率

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

7. 磁场强度设定值

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

8. 磁极化强度设定值

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

9. 波形系数

频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$

10. 磁特性参数

参数	频率	示值	实际值	不确定度 $U(k=2)$
磁场强度				
磁通密度				
比总损耗				
比视在功率				
幅值磁导率				

说明:

根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下_____个月校准一次。

声明:

1. 仅对加盖“XXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校准员:

核验员:

第×页, 共×页