

中 华 人 民 共 和 国

国家计量检定规程

硅钢片(带)标准样品

JJG 405—86

(试 行)

国家计量局

北 京

硅钢片（带）标准样品
试行检定规程
Verification Regulation
of the Standard Specimen
of Magnetic Sheet and Strip

JJG 405—86

本检定规程经国家计量局于 1986 年 2 月 3 日批准，并自 1987 年 1 月 1 日起施行。

归口单位： 中国计量科学研究院

起草单位： 中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释。

本规程主要起草人：

杜树兰（中国计量科学研究院）

目 录

一	概述.....	(1)
二	技术要求.....	(1)
三	检定条件.....	(2)
四	检定装置.....	(2)
五	检定项目和检定要求.....	(2)
六	检定方法.....	(3)
七	检定结果处理和检定周期.....	(6)
附录 1	符号和定义	(9)
附录 2	检定证书格式	(11)
附录 3	检定原始记录格式	(13)

硅钢片（带）标准样品试行检定规程

本规程适用于新制造、使用中频率为 50Hz、60Hz 的各种不同类型的冷轧、热轧硅钢片（带）标准样品比总损耗值和交流磁感应强度峰值的检定。

对非标准样品试样的检定可参照本规程执行。

一 概 述

硅钢片（带）是一种磁性材料，主要用来制造各种类型的电动机、发电机、变压器、磁放大器等机电产品的铁心。

为了确保硅钢片（带）磁性参数测量结果的准确一致，由计量部门负责发放若干种典型材料的标准样品作为参考标准。这些样品应定期送计量部门按本规程进行检定。

二 技 术 要 求

1 标准样品的规格为长 300 ± 0.5 mm；宽 30 ± 0.2 mm。剪切应平直整齐、直角性良好、边沿无明显毛刺。

2 标准样品的条片为四的倍数，将质量约为 1kg 的条片分成质量尽可能接近的四份。

冷轧取向材料标准样品的条片，其长度方向与轧向平行，为消除剪切应力，应进行退火。

热轧或冷轧无取向材料标准样品的条片，其长度方向半数与轧向平行，另外半数与轧向垂直。相同轧向的条片分成两份，分别放入相对的螺管中。

3 标准样品每片均有编号，检定时应按顺序放入方圈中。

4 标准样品的质量 m 、涡流损耗系数 e 、截面积 A 和长度 l ，应以发放单位的数值为准，不得任意更改。

5 标准样品必须在 120°C 下保温 120h 进行人工老化。样品表面涂有绝缘漆，以保证在长期使用中数据稳定。

三 检定条件

6 所有的交流磁性参数,都应在磁通正弦条件下进行检定。当方圈次级电压的波形系数偏离 1.111 的 $\pm 0.5\%$ 时,比总损耗值应加以修正,但波形系数不得超过 1.111 的 $\pm 5\%$ 。

7 检定的环境温度为 $23 \pm 5^\circ\text{C}$,相对湿度不大于 80%。

四 检定装置

8 仪器和设备

8.1 磁化方圈:使用符合国家标准 GB 3655—83 电工钢片(带)磁性能测量方法所要求的 25cm 爱泼斯坦方圈。

8.2 电源:要求低内阻(最好小于 1Ω),容量大于 500VA,最大输出电压不小于 120V;检定期间的频率应稳定,其准确度优于 0.05%;检定过程中电压的变化应小于 0.05%,波形系数不得偏离 1.111 的 $\pm 5\%$ 。

8.3 平均值电压表:要求确保平均值测量误差小于 0.25%,输入电阻大于 $1000\Omega/\text{V}$ 。

8.4 有效值电压表:要求确保有效值测量误差小于 0.5%。

8.5 低功率因数功率表:要求测量误差小于 0.5% ($\cos\phi = 0.1 \sim 0.2$),其电压支路电阻大于 $200\Omega/\text{V}$ (此支路的电阻应大于电抗 5000 倍)。

8.6 频率表:要求频率测量误差应小于 0.05%。

8.7 天平:准确度优于二级,其感量为 500mg。

五 检定项目和检定要求

9 硅钢片(带)标准样品比总损耗值的检定

9.1 硅钢片(带)标准样品的比总损耗值应在给定的内禀磁感应强度峰值下进行检定。

9.2 比总损耗值的检定点按表 1 的规定进行检定。

10 硅钢片(带)标准样品交流磁感应强度峰值的检定

表 1

内禀磁感应 强度峰值 (T)	频 率 (Hz)			
		50	60	
钢 种				
热 轧 或 冷 轧 无 取 向		1.0	1.5	
冷 轧 取 向		1.0	1.5	1.7

10.1 硅钢片（带）标准样品交流磁感应强度峰值，应在给定磁场强度峰值下进行检定。

10.2 交流磁感应强度峰值的检定点按表 2 的规定进行检定。

表 2

磁场强度 峰值 (A/m)	频 率 (Hz)				
		50		60	
钢 种					
热 轧 或 冷 轧 无 取 向		2500	5000	10000	
冷 轧 取 向		1000	2500	5000	10000

六 检 定 方 法

11 硅钢片（带）标准样品比总损耗值的检定

标准样品比总损耗值用功率表法进行检定，检定原理如图 1 所示。

11.1 首先根据图 1 检查线路，为确保检定准确度，应选择适当的仪表使用量程，并调节好仪表的零点。

11.2 求被检标准样品的截面积

根据被检标准样品的质量，按式（1）求出截面积：

$$A = \frac{m}{4l_s\rho_m} \quad (\text{m}^2) \tag{1}$$

式中： m ——标准样品的质量 (kg) ；
 l_s ——标准样品的长度 (m) ；

ρ_m ——标准样品的材料密度 (10^3 kg/m^3)。

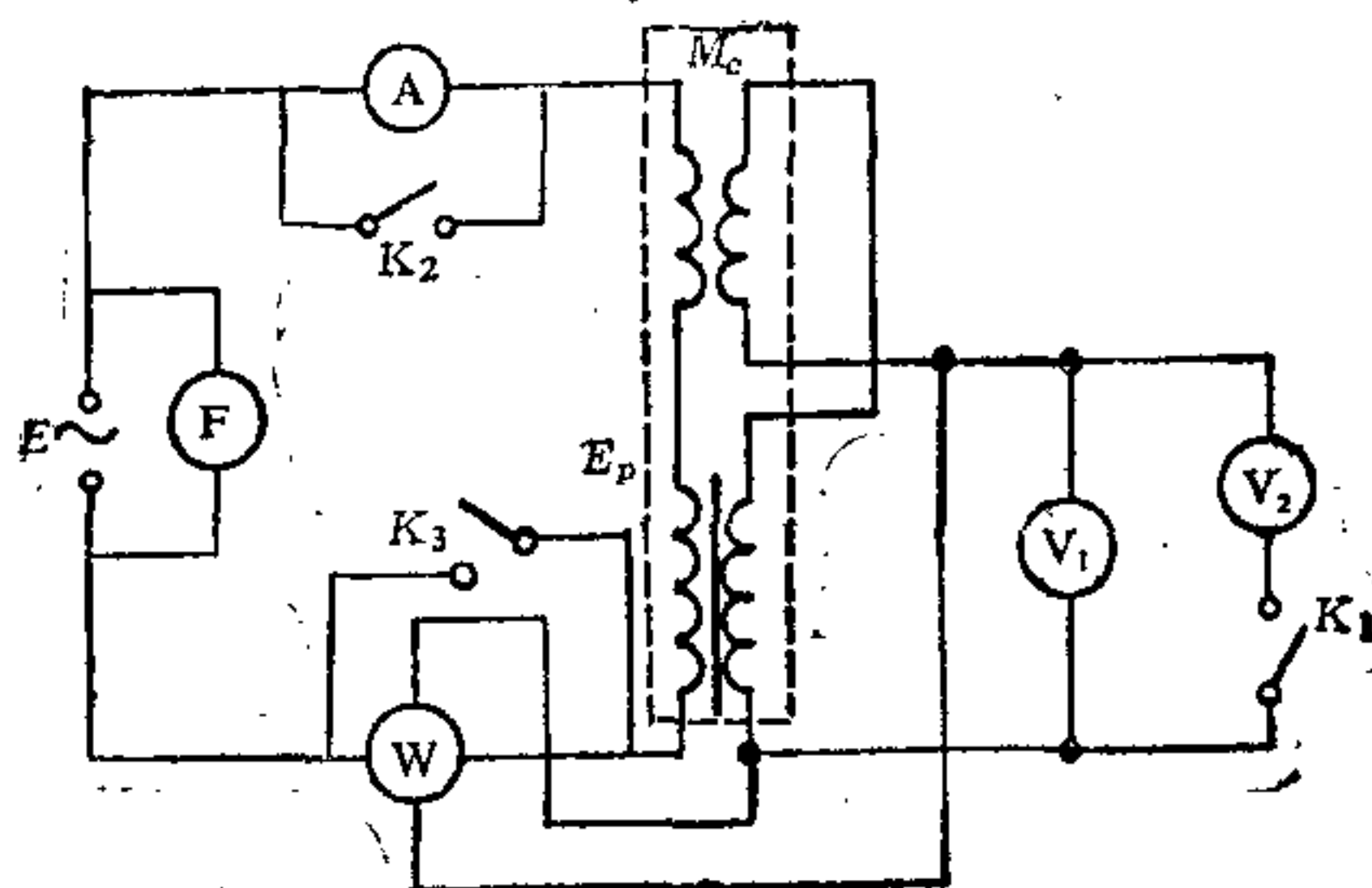


图1 用功率表法检定比总损耗值线路图

E_p —25cm 爱泼斯坦方圈；F—频率计；W—功率表； V_1 —平均值电压表； V_2 —有效值电压表； K_1 、 K_2 、 K_3 —单刀单掷开关；E—交流励磁电源；A—有效值电流表

11.3 按式(2)计算被检标准样品在方圈次级感应电压的平均值。

$$\bar{U}_2 = 4fN_2 \left(\frac{R_i}{R_i + R_t} \right) A\hat{B}_i \quad (\text{V}) \quad (2)$$

式中： R_i ——功率表电压支路与平均值电压表输入电阻并联值 (Ω)；

R_t ——方圈次级绕组的电阻值 (Ω)；

N_2 ——方圈次级绕组匝数；

f ——电源频率 (Hz)；

$\hat{B}_i$ ——内禀磁感应强度峰值 (T)。

注： $\hat{B}_i = \hat{B} - \mu_0 H$ ，其中， $\hat{B}$ 为磁感应强度峰值 (T)， μ_0 为真空磁导率 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$) (H/m)， H 为磁场强度 (A/m)。

由于 $R_i/(R_i + R_t)$ 值近似等于 1，故式(2)可写为：

$$\bar{U}_2 = 4fN_2 A\hat{B}_i \quad (\text{V}) \quad (3)$$

注：有的情况平均值电压表刻度已乘以1.111，这时（2）、（3）两式的示值也应相应地乘以1.111。

11.4 将被检标准样品条片按编号顺序以双搭接的形式相互搭接（见图2），并紧靠方圈内框内侧，构成一正方形闭合磁路。在磁路四角搭接处，可施加1N的压力。

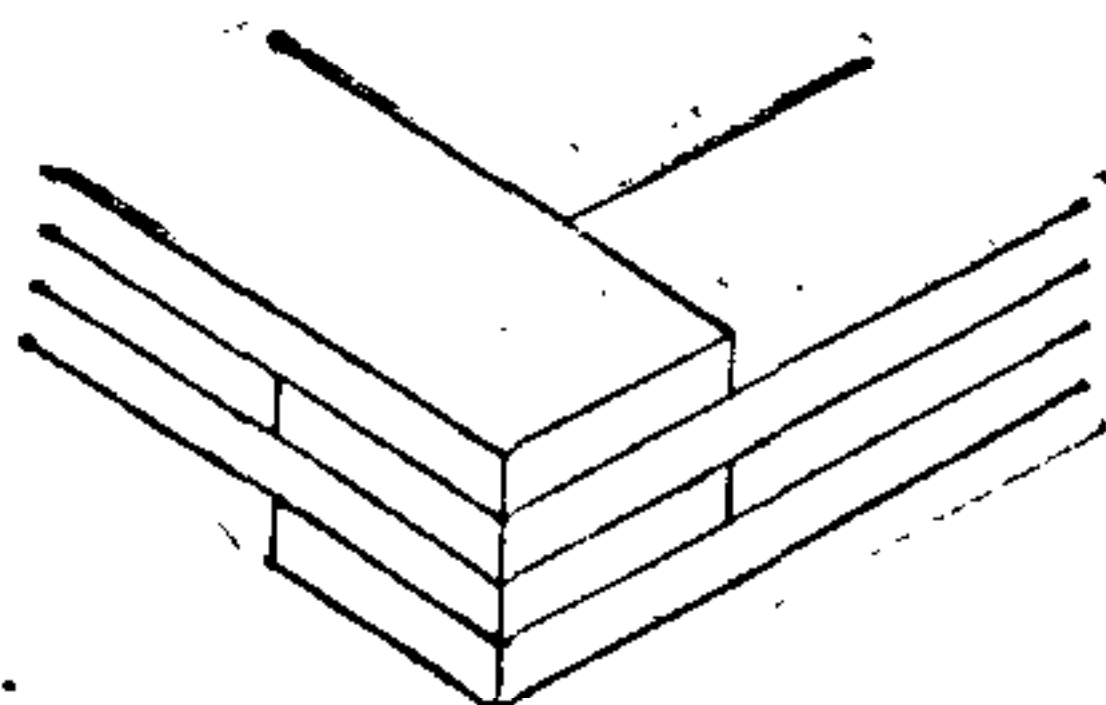


图2 标准样品条片的相互联接——双搭接

11.5 退磁

接通 K_3 （见图1），在方圈里进行退磁。退磁场频率为50Hz，磁场强度峰值大于5000A/m，以很小的递减量将磁化场缓慢地减到零。

11.6 调准检定点

断开开关 K_1 、 K_3 ，接通开关 K_2 （图1）。调节电源输出电压，使方圈次级感应电压的平均值达到式（3）的计算值时，读取功率表示值，然后接通开关 K_1 ，读取有效值电压表示值。

12 交流磁感应强度峰值的检定

用感应法检定交流磁感应强度峰值的原理如图3所示。

12.1 根据图3按11.1的方法检查线路和选择仪表量程。

12.2 在给定磁场强度峰值下，对应的互感次级感应电压的平均值按式（4）计算：

$$U_M = \frac{4fMl_m\hat{H}}{N_1} \quad (\text{V}) \quad (4)$$

式中: f ——检定时的频率 (Hz);
 l_m ——25cm 爱泼斯坦方圈的等效磁路长度 (m);
 $\hat{H}$ ——检定点磁场强度峰值 (A/m);
 N_1 ——方圈励磁绕组匝数;
 M ——标准互感值 (H)。

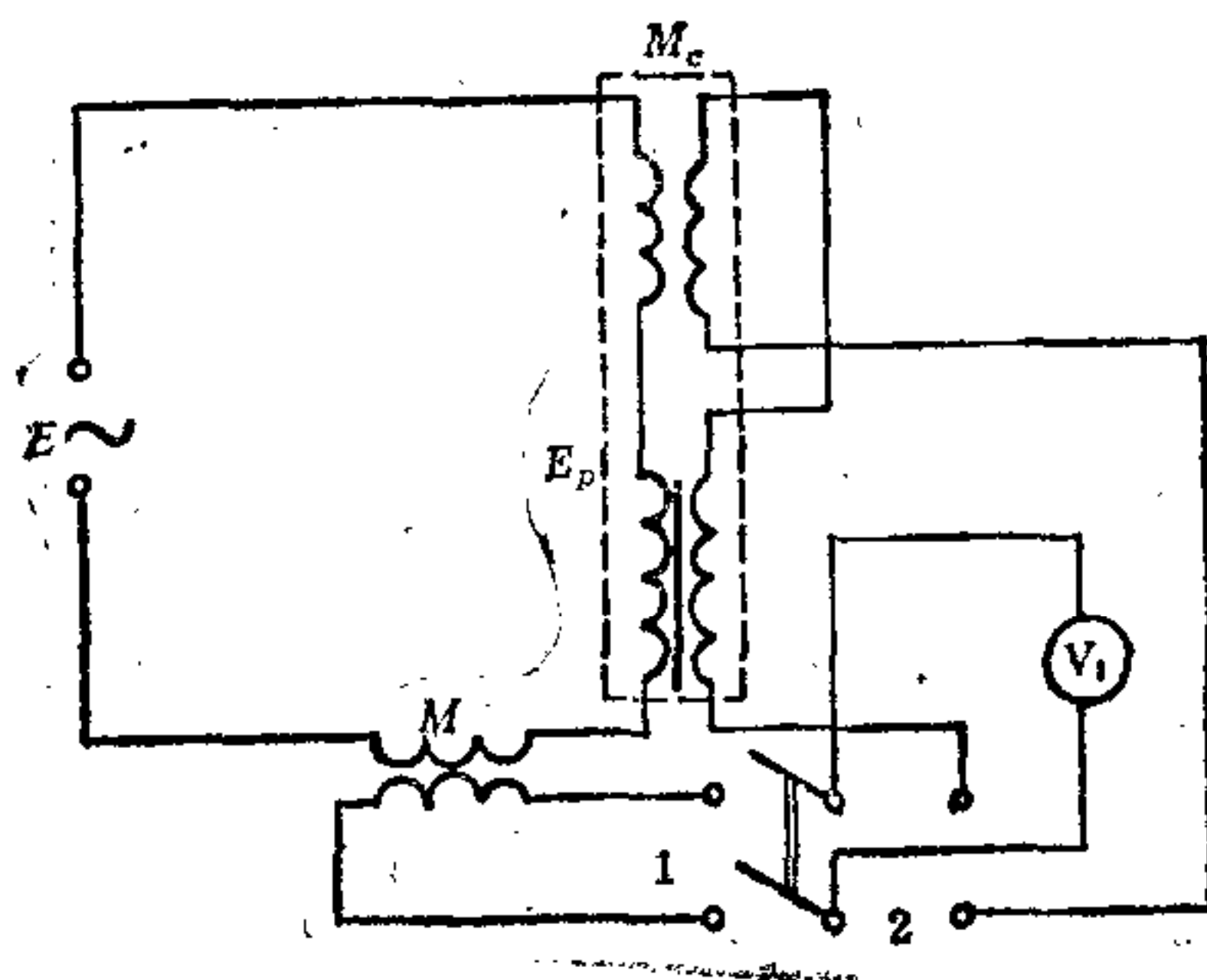


图3 用感应法检定交流磁感应强度峰值

12.3 调准检定点

将开关倒向 1 (见图 3), 调节电源输出电压, 使标准互感次级感应电压平均值达到式 (4) 的计算值, 然后将开关倒向 2, 读取方圈次级感应电压的平均值。

七 检定结果处理和检定周期

13 比总损耗值的计算

13.1 总损耗值 P_0 的计算

由于用功率表读取的损耗值包括方圈次级回路仪表损耗的功率, 因而在计算总损耗值时, 必须减去次级回路仪表的损耗值, 即

$$P_0 = \frac{N_1}{N_2} P_m - \frac{\tilde{U}_1^2}{R_1} \quad (\text{W}) \quad (5)$$

式中: N_1, N_2 ——方圈初、次级匝数;

P_m ——从功率表读取的功率值 (W), $P_m = Ca$ (C 为功率表常数, a 为从功率表读取的格数);

$\tilde{U}_2$ ——方圈次级感应电压有效值 (V)。

13.2 按式 (6) 求出标准样品的比总损耗值:

$$P_s = \frac{P_o}{m_s} = \frac{4P_o l_s}{m l_m} \quad (\text{W/kg}) \quad (6)$$

式中: m_s ——标准样品有效质量 (kg);

m ——标准样品的实际质量 (kg)。

13.3 波形修正

当检定比总损耗值时, 波形系数偏离 $1.111 \pm 0.5\%$ 可按式 (7) 进行修正:

$$P'_s = P_s - \Delta P_s = \left[1 - 2e \left(\frac{\Delta F}{1.111} \right) \right] P_s \quad (7)$$

式中: P'_s ——波形修正后的比总损耗值 (W/kg);

P_s ——波形未修正的比总损耗值 (W/kg);

ΔP_s ——比总损耗修正量 (W/kg);

e ——涡流损耗系数;

ΔF ——波形系数偏离量。

注: $\Delta F = (\tilde{U}_2 / \bar{U}_2) - 1.111$, 其中, $\tilde{U}_2$ 和 $\bar{U}_2$ 为方圈次级感应电压的有效值和平均值。

13.4 比总损耗值的检定结果取小数点后第三位。本规程比总损耗值的检定结果不确定度为 $\pm 1\%$ 。

14 交流磁感应强度峰值的计算

14.1 被检标准样品检定点所对应的磁感应强度峰值按式 (8) 计算:

$$\hat{B} = \hat{B}_i + \mu_0 H = \frac{R_v + R_t}{R_v} \frac{\bar{U}_2}{4f N_2 A} + \mu_0 H \quad (\text{T}) \quad (8)$$

式中: $\hat{B}_i$ ——内禀磁感应强度峰值 (T);

R_v ——平均值电压表输入电阻值 (Ω)。

由于 $(R_v + R_t)/R_v$ 值近似等于 1, 因而式 (8) 可写为:

$$\hat{B} = \frac{\bar{U}_2}{4fN_2A} + \mu_0 H \quad (\text{T}) \quad (9)$$

14.2 交流磁感应强度峰值的检定结果取小数点后第三位。本规程交流磁感应强度峰值检定结果不确定度为 $\pm 0.5\%$ 。

15 硅钢片（带）标准样品的检定周期为一年。

附录 1

符号和定义

1 磁场强度 (H)

在一个由被测试样组成的闭合磁路中, 根据全电流定律, 则

$$\oint H dl = NI$$

式中: N ——励磁绕组匝数;

l ——磁路长度(m);

I ——流过励磁绕组的电流(A)。

在爱泼斯坦方圈中, 假定沿磁路各处磁场均匀, 且引入等效磁路长度时, 则磁场强度 H 可按下式计算:

$$H = \frac{N_1 I}{l_m} \quad (\text{A/m})$$

当磁场为周期性交变函数时, 一周期内磁场强度最大的绝对值, 称为磁场强度峰值 ($\hat{H}$); 一周期内磁场强度的均方根值, 称为磁场强度的有效值 ($\bar{H}$)。磁场强度的有效值按下式计算:

$$\bar{H} = \frac{N_1 \bar{I}}{l_m} \quad (\text{A/m})$$

式中, $\bar{I}$ 为流过励磁绕组中的电流有效值(A)。

2 磁感应强度 (B)

穿过均匀磁化的试样, 单位横截面积的磁通称为磁感应强度。即

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (\text{T})$$

式中: ϕ ——穿过试样的磁通(Wb);

A ——试样的截面积(m^2)。

磁感应强度包括两个分量: 其中一个与试样无关, 是由外施磁场在试样所在空间引起的; 另一个是由试样自身的磁化强度产生的, 称为内禀磁感应强度, 用 B_i 表示。

3 比总损耗 (P_s)

在给定频率、给定磁感应强度峰值下, 单位质量试样中消耗的有功功率称为比总损耗。比总损耗用符号 P_s 表示, 单位为 W/kg 。

4 等效磁路长度(l_m)和有效质量(m_s)

满足国家标准 25cm 爱泼斯坦方圈(GB3655—83)要求的磁路长度的约定值称为等效磁路长度。等效磁路长度用符号 l_m 表示,其值为 0.94m。

样品的有效质量与有效质量系数 $\frac{l_m}{4l_s}$ 有关,有效质量系数与试样的实际质量 m 的乘积即为样品的有效质量。其表达式为:

$$m_s = \frac{l_m}{4l_s} m \quad (\text{kg})$$

附录 2

检定证书格式

(正 面)

检定单位名称

检定证书

字第_____号



计量器具名称_____

型号规格_____

制造厂_____

出厂编号_____

设备编号_____

送检单位_____

根据检定结果, 准予该计量器具作_____使用。

实验室主任_____

核 验 员_____

检 定 员_____

检定日期 年 月 日

有效期至 年 月 日

检 定 证 书 格 式

(背 面)

检 定 结 果

样品质量 m _____ (kg)
材料密度 ρ_m _____ (10^3 kg/m^3)
材料厚度 _____ ($\text{m} \times 10^{-3}$)
样品截面积 A _____ ($\times 10^{-4} \text{ m}^2$)
涡流损耗系数 e _____

- (1) 在频率为 _____ Hz 时, 样品交流磁化的比总损耗值:
内禀磁感应强度峰值 B_i _____ 比总损耗值
(T) (W/kg)

检定结果不确定度为 $\pm$ _____ %

- (2) 在频率为 _____ Hz 时, 样品交流磁化时磁感应强度峰值:
磁场强度峰值 H _____ 磁感应强度峰值 B
(A/m) (T)

检定结果不确定度为 $\pm$ _____ %

硅钢片（带）比总损耗值检定原始记录

送检单位_____

样品编号_____

材料牌号_____

制造者_____

证书编号_____

样品质量 M _____ (kg)

有效质量 M_e _____ (kg)

材料密度 ρ_m _____ (10^3kg/m^3)

样品尺寸 _____ ($\times 10^{-3} \text{m}$)

频率 f _____ (Hz)

涡流损耗系数 e _____

内禀磁感应强度峰值	感应电压平均值	感应电压峰值	感应电压有效值	波形系数	功率表读数(格)	功率表量程	功率表常数	功率表总损耗	仪表损耗	样品总损耗 P_c (W/kg)	比总损耗 P_b (W/kg)	比总损耗修正量	修正后比总损耗	校正
$\hat{B}_t$	$\bar{U}_2$	$1.111\bar{U}_2$	U_2	F	a_1 a_2 a_3 (格)	U (V)	I (A)	$\frac{N_1}{N_2} C \bar{a}$	$\frac{\tilde{U}_2^2}{R}$	$\frac{N_1}{N_2} C \bar{a} - \frac{\tilde{U}_2^2}{R}$	$\frac{N_1}{N_2} C \bar{a} - \frac{\tilde{U}_2^2}{R}$	ΔP_b (W/kg)	P'_b (W/kg)	(W/kg)
(T)	(V)	(V)	(V)	$\tilde{U}_2/\bar{U}_2$										

检定结果不确定度 (%)

备注

(1) 有的情况平均值电压表刻度已乘以1.111, 这时 $\bar{U}_2 = 4 \times 1.111 f N_2 A \hat{B}_t$

(2) 功率表常数 $C = \frac{\text{电流量程} \times \text{电压量程}}{\text{满量程刻度}} \cos \phi$

检定员 _____ 计算 _____ 检验 _____ 室温 _____ 日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日

硅钢片（带）交流磁感应强度峰值检定原始记录

送检单位

样品编号

材料牌号

制造者

证书编号

样品质量 M

材料密度 ρ_m

样品尺寸

频率 f

磁场强度峰值 $\hat{H}$ (A/m)	互感次级感应电压 平均值 $\bar{U}_M$ (V)	方圈次级感应电压 平均值 $\bar{U}_2$ (V)	方圈次级感应 电压磁通伏特值 $1.111\bar{U}_2$ (V)	内禀磁感应 强度峰值 $\hat{B}_i$ (V)	磁感应强度峰值	整
					$\hat{B}$ (V)	

检定结果不确定度 (%)

检定员

计算

核校

室温

日期 年 月 日

附加说明

该规程经国家计量检定规程审定委员会 电磁专业委员会审定通过。

主审人：吕包岭

中 华 人 民 共 和 国
国家计量检定规程
硅钢片（带）标准样品
JJG 405—86
（试 行）

◆◆

中国计量出版社出版

（北京和平门内大街11号7号）

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

◆◆

开本 850×1168/32 印张 0.625 字数 15 千字

1986 年 8 月第 1 版 1988 年 8 月第 2 次印刷

印数 5 001—10 000

统一书号 155026-103