

中华人民共和国国家标准

GB/T 9632.1—2002
idt IEC 60367-1:1982

通信用电感器和变压器磁心测量方法

Measuring methods of cores for inductors and
transformers for telecommunications

2002-07-18 发布 2002-12-01 实施

中华人民共和国
国家质量监督检验检疫总局 发布

目 次

前言	Ⅲ
IEC 前言	Ⅳ
IEC 序言	Ⅳ

第一篇 总 则

1 范围	1
2 目的	1
3 环境条件	1
4 有关磁导率测量方法的一般注意事项	2
5 低磁通密度下损耗测量的一般注意事项	2
6 磁正常[状态]化	3
7 电感测量	4

第二篇 通用测量方法

8 减落	5
9 磁导率(或电感因数 A_L)随温度的变化	6
10 电感量调节范围	8
11 损耗	9

第三篇 特殊测量方法

12 三次谐波畸变	14
13 磁性冲击灵敏度	15
14 调节装置对磁心稳定性的影响	16
15 稳态磁场的影响	18
16 脉冲状态下的磁特性	19
17 (有效)振幅磁导率	24
附录 A(标准的附录) 利用电容器放电的磁正常[状态]化装置	27
附录 B(标准的附录) 用于磁正常[状态]化的功率放大器	28
附录 C(标准的附录) 用于交变场方法进行磁正常[状态]化的装置	29
附录 D(标准的附录) 用于磁正常[状态]化的加热法	29
附录 E(标准的附录) 用于新近发展的各类磁心的电感测量线圈的设计指南	30
附录 F(标准的附录) 表示温度关系的几种方法	31
附录 G(标准的附录) 损耗测量定标的阻尼振荡法	35

附录 H(标准的附录)	损耗测量定标的传输法	37
附录 J(标准的附录)	测量磁心总损耗的电路实例	39
附录 K(标准的附录)	测量三次谐波畸变的电路实例(低阻抗法)	42
附录 L(标准的附录)	存在静态磁场时的电感测量方法	42
附录 M(标准的附录)	脉冲测量的电路实例	44
附录 N(标准的附录)	(有效)振幅磁导率测量的电路实例	45

前 言

本标准是 GB/T 9632—1988《通信用电感器和变压器磁心测量方法》的修订版。GB/T 9632—1988 原等同采用 IEC 60367-1:1982《通信用电感器和变压器磁心测量方法》和 IEC 60367-1 补充 1:1984。本标准主要根据 IEC 60367-1 补充 2:1992 进行修订。

本标准修订依据是：

IEC 60367-1:1982《通信用电感器和变压器磁心测量方法》

AMD1:1984

AMD2:1992

本标准等同采用上述 IEC 标准。

本标准与 GB/T 9632—1988 的主要区别是：在高磁通密度下的损耗测量中增加了有效值法，并对其测量线圈、测量仪器、测量程序、计算方法进行了相应规定，在附录 J 中补充了用有效值法测量磁心总损耗的电路实例。增加了脉冲测量情况下磁心功耗的计算式，其次统一了有关术语，并且将原标准中直接引用的 IEC 标准改为直接引用采用 IEC 标准的我国国家标准和行业标准。

本标准自实施之日起，同时代替 GB/T 9632—1988。

IEC 60367:1982 标准中所引用的 IEC 标准均被采用为我国国家标准和行业标准，采用情况如下：

GB/T 2421—1999(idt IEC 60068-1:1988)电工电子产品基本环境试验 第 1 部分：总则

GB/T 2423.1—2001(idt IEC 60068-2-1:1990)电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温

GB/T 2423.2—2001(idt IEC 60068-2-2:1974)电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温

GB/T 7676.2—1998(idt IEC 60051-2:1984)直接作用模拟指示电测量仪表及其附件 第 2 部分：电流表和电压表的特殊要求

GB/T 6109.9—1989(neq IEC 60317-2:1970)漆包圆绕组线 第 9 部分：热粘合或溶剂粘合直焊性聚氨酯漆包圆铜线

SJ/T 10281—1991(idt IEC 60205:1966)磁性零件有效参数的计算

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 H、附录 J、附录 K、附录 L、附录 M、附录 N 都是标准的附录。

本标准由全国磁性元件与铁氧体材料标准化技术委员会提出并归口。

本标准负责起草单位：中国西南应用磁学研究所。

本标准主要起草人：邓元、刘剑、周世昌、胡滨、李克文。

本标准于 1988 年首次发布。

IEC 前言

- 1) 有关技术问题的正式决议,由所有对此感兴趣的国家委员会组成技术委员会进行描述、表达,尽可能在此问题的处理上取得国际间的一致意见。
- 2) 推荐它们在国际通用,并且由国家委员会同意接受。
- 3) 为了促进国际统一,只要本国条件允许,IEC 希望所有国家委员会能采用 IEC 推荐版本,并在其国家法律中规定。任何 IEC 推荐版本与相关国家法律相抵触的部分应在后者尽可能清楚的指出。

IEC 序言

本标准由 IEC 第 51 技术委员会(磁性元件和铁氧体材料)拟制。

本标准中引用的其他 IEC 标准:

IEC 60051:直读式电测仪表及其附件

IEC 60068-1:基本环境试验规程总则

IEC 60068-2-1:基本环境试验规则 试验 A:低温试验

IEC 60068-2-2:基本环境试验规则 试验 B:干热试验

IEC 60205:磁性零件的有效参数的计算

IEC 60317-2:特殊型绕组线规范 第 2 章:热或溶剂粘合自熔漆包圆铜线

IEC 60367-1:1982 是在下列文件的基础上完成的:

51(中办)79	51(中办)102	51(中办)163	51(中办)237
51(中办)80	51(中办)107	51(中办)184	51(中办)238
51(中办)87	51(中办)126	51(中办)193	
51(中办)89	51(中办)144	51(中办)226	

AMD1:1984 是在 51(中办)247 基础上完成的。

AMD2:1992 是在下列文件基础上完成的:

六月法则	投票报告
51(中办)269	51(中办)279

通信用电感器和变压器磁心测量方法

Measuring methods of cores for inductors and
transformers for telecommunications

GB/T 9632.1—2002
idt IEC 60367-1:1982

代替 GB/T 9632—1988

本标准等同采用国际标准 IEC 60367-1《通信用电感器和变压器磁心 第一部分：测量方法》。

第一篇 总 则

1 范围

本标准适用于主要由磁性氧化物或金属粉末制成的磁心，这些磁心用于通信设备和采用类似技术的电子仪器的电感器和变压器中。

本标准叙述的某些方法，也适用于其他元件用磁心。

2 目的

对磁心规范中磁心电磁特性的测量方法的起草工作给予指导。本标准只限于各种可能的测量方法应遵循的一般原则，列出在决定该规范中包括的测量方法的种类时需要考虑的各种因素。

按照测量方法的用途，本标准分成以下三篇：

第一篇：总则，包括一般的规定和通常用于与第二、第三篇测量方法相配合的方法；

第二篇：通用测量方法，包括用于对电感器和变压器磁心测量的重要部分的方法；

第三篇：特殊测量方法，包括以获得数据为目的，仅在专门场合应用于技术规范的方法。

注：本标准的所有公式均采用 SI 单位，当使用倍数或约数时，必须引入恰当的 10 的幂。

t ——时间；

θ ——温度；

L ——自感量；

μ_0 ——磁常数， $\mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-6} \text{H/m}$ ；

μ_r ——相对磁导率¹⁾；

μ_i ——起始磁导率；

μ_e ——有效磁导率， $\mu_e = LC_1/\mu_0 N^2$

μ_{rev} ——可逆磁导率；

N ——测量线圈匝数；

C_1, C_2 ——磁心因数(定义按 SJ/T 10281(idt IEC 60205))；

A_e ——有效横截面积；

ω ——角频率， $\omega = 2\pi f$ (f 为测量频率)。

1) 在对磁导率作限制性解释时(例如起始磁导率 μ_i)，除非另有说明，则均指相对磁导率。

3 环境条件

3.1 总则

通常,至少应提前 24 h,按照第 6 章将磁心进行磁正常[状态]化处理,然后再进行测量。

在整个过程中,磁心必须受到保护,使其不受机械的冲击和振动以及磁性干扰的影响。应避免温度变化可能产生测量绕组的缩聚现象。

3.2 环境温度

除另有规定外,整个测量过程应遵循 GB/T 2421(idt IEC 60068-1),在试验的标准大气条件范围内某一温度下进行,但在整个测量周期中,温度不能变化到以致明显影响测量结果的程度。在某些情况下,需使用控温室。

装上测量线圈以及夹紧装置的磁心,应在试验温度的环境里放置一段足够的时间使之达到热平衡。应标明测量期间的温度。

注:本条的意思是:测量可以在 15℃至 35℃范围内的任何温度进行,但是若超过了规定的范围,允许重新测量,可优先考虑在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 或其他仲裁试验的标准温度中的某一个温度($(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ 或 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$)进行。

4 有关磁导率测量方法的一般注意事项

4.1 有关的参数

磁心的有效磁导率依赖于多种因素,其中有磁性经历、时间、温度、场强、机械压力、测量电流的频率、磁心的几何形状以及测量线圈的几何形状和位置。本标准规定的各种方法,每次挑选以上因素中的一个因素(如时间或者温度),在测量时应注意准确地消除所有其他因素的影响。例如,一个夹紧装置,应随时间和温度保持压力恒定,使测量结果不受压力变化的影响。

4.2 与实际应用的关系

测量条件应这样来选择,使得测量结果适合于用来预计磁心在实际环境中的性能,这并不意味着所有的条件都必须与实际条件一致。

4.3 多于一个零件的磁心的装配

装有测量线圈的磁心,在测量过程中应自始至终用一个夹紧装置。这个夹紧装置应能使:

- 压力均匀地分布在接触表面上,不在磁心中引起弯曲应力;
- 磁心零件间的相对位置固定;
- 刚合上时施加约 10%的瞬时过压,以打破清洁表面之间的细小的不规则;
- 施加规定的夹紧力, $\pm 5\%$;
- 在整个测量过程中,夹紧力变化不超过 1%。

注:当规定的夹紧力选择在磁导率-压力曲线的平直部分所对应的力时,变化在 $\pm 1\%$ 内是合适的,在非平直部分对夹紧力偏差的要求更严。

上述磁心的装配,应按以下规程进行:

应检查接触表面的损伤和清洁度。损伤的磁心不应使用。必要时,接触表面要用非磨损方法来清洁处理,例如在干洗皮革上缓慢摩擦。

用清洁、干燥的压缩空气吹去尘粒,决不能用裸露的手指接触表面。将磁心零件装上测量线圈,用适当的方法,例如用泡沫垫圈,将线圈与磁心的相对位置固定。磁心对中心后,再放到夹紧装置中去。然后加上按有关规定的夹紧力。已夹紧的磁心,必须在规定的环境条件(参见第 3 章)之下保持足够的时间,以使得由于夹紧所引起的有效磁导率随时间的任何变化可以忽略不计。

5 低磁通密度下损耗测量的一般注意事项

5.1 各种原因引起的损耗

在低磁通密度下(即在瑞利区),用一个线圈或者其他耦合器件在磁心上测出的损耗是由许多原因引起的,有的来自磁心本身,有的来自耦合器件,还有的来自耦合器件和测量仪器之间的连接。采用线圈来测量,就可以区分以下各种损耗:

磁心损耗,线圈直流损耗,由集肤效应和临近效应产生的损耗,线圈中的介电损耗,连接导线损耗以及任何其他元件(如谐振电容)损耗。

应尽量通过校正或选择条件以使其他的损耗忽略不计,从而将磁心损耗从测得的总损耗中分离出来。线圈直流损耗和其他有关元件损耗可以分别测量;而其余的各种损耗可以计算或由实验确定。

对无气隙或气隙很小的铁氧体磁心(例如环形和未特意开气隙的罐形磁心),确定其磁心损耗并不困难,因为在线圈设计适当的情况下,磁心损耗明显地高于其他各种损耗。

对有气隙的磁心损耗的测量,因为它难以单独得到磁心损耗的足够精确的结果,此时可按以下两种方法进行。

1) 在开气隙之前测量其损耗因数,计算有气隙磁心的损耗。

注:当无气隙磁心和有气隙磁心存在几何形状或尺寸的差别时,不能用无气隙磁心(例如同一种材料的环状样品)来测量损耗因数,因为磁心涡流损耗强烈依赖于磁心的几何形状和尺寸。

2) 不必分开磁心和线圈的损耗,但是应该把磁心测量线圈的组合损耗同另外的磁心作类似测量所得到的结果进行比较;此时应该采用结构相同并且直流电阻相等的线圈。

最好的方案是从同一来源获得这些测量线圈,并且经常把同一磁心上不同线圈的测量结果进行比较。此外,测量结果应附有线圈的直流电阻值。当比较不同的线圈所得到的结果时,应根据线圈的电阻差对测量加以校正。

5.2 安装

应避免磁心的杂散场与外部物体之间的耦合。测量线圈或其他耦合器件与测量仪器间的连接应尽量短,而且应直接连接并将其固定,以使样品移动不会引起附加的误差。

当装有测量线圈的磁心不是由一个零件组成时,一般按 4.3 的规定夹紧,但受力不必象在电感测量中要求的那样严格。

磁心中测量线圈的定位问题将在 7.2 中叙述。

6 磁正常[状态]化

6.1 目的

使磁心在测量前有一个充分确定的和可重复的磁状态。

6.2 方法的原理

有两个主要方法。

1) 电方法,样品受到幅度足够大且逐渐减小到零的交变磁场的作用。

2) 加热方法,样品加热到高于居里点。

6.3 电方法的程序

场强的起始峰值应远高于磁心磁化曲线的膝点,在减小幅度时,对于每个完整的周期,在磁心中应有两次磁通方向的翻转。

有两种可能:

1) 一个下降的交流电流通过样品上的测量线圈。电流的下降可以是:

a) 线性下降,例如用电位器,连续降低幅度应不少于 50 个周期。

b) 指数下降,例如用电容器放电,在这种场合,两个同向相邻电流峰值比不能低于 0.78。

在磁正常[状态]化过程中,线圈不应因电流引起明显的发热。

这些方法的详细内容在附录 A(标准的附录)和附录 B(标准的附录)中给出。

2) 将样品通过电磁铁板间的交流场这个方法的详细内容在附录 C(标准的附录)中给出。

6.4 加热方法的程序

磁心应以规定的温度变化速率加热,在超过居里点大约 25 °C 的温度下,保温约 40 min,应以规定的

速度冷却,详细情况见附录 D(标准的附录)。

7 电感测量

7.1 目的

对电感器和变压器绕组的电感量的测量作一般性介绍,而未涉及测量方法的细节,因为测量方法与所用的电气测量设备有关。

应区分两个测量目的:

- 1) 测量磁心电感参数的绝对值。
- 2) 测量在一定条件下电感参数的依赖关系。

7.2 耦合方式

通常应使用测量线圈,但在原则上任何同轴线、谐振腔或其他合适的装置,只要它提供磁性材料与电磁信号之间必要的相互作用均可采用。

对于用线圈来测量环形样品,测量线圈的线匝应这样分布:以使杂散电容和杂散场二者均低到能满足精确测量的程度。

对于装配在线圈周围的磁心的测量,测量线圈的形状要与磁心正常应用时线圈的形状一致,并对测出的电感量变化的影响应可忽略。

除非另有规定,带有线圈骨架或灌封(或两者)的整个测量线圈应该与它包围的磁心部分同轴放置,而且,应持线圈起头所在的那一端轻轻压下,与磁心的一端相接触,有如下两种情况:

- 1) 对于对称磁心,线圈组件应与磁心接触;
- 2) 对于除气隙外对称磁心,线圈组件应与含最小部分气隙的那一般磁心形成端接触。

线圈的一个面应有标志,以便确定它的方向,为了得到最大的测量重复性,在整个测量过程中,线圈应保持其确定的位置。

线圈结构和位置的全部细节由有关规范给出。附录 E(标准的附录)给出了电感测量线圈的设计指南。

7.3 绝对测量

考虑了测量方法的其他部分的重复性以后,只要准确度仍符合规定的偏差,任何适当的测量设备均可采用。

测量电流的频率应该足够的低,以避免测量线圈的电容对测量结果的影响。频率加倍不应有明显的影响。对应于起始磁导率的电感测量来说,磁通密度应很低,即低到这样的水平,将磁通密度加倍引起测量值的变化仍是可忽略的。如果需要,其结果可以由低磁通密度的测量值线性外推来校正。

测量电流的频率和有效值磁通密度应予以规定。

注:磁心中有有效峰值密度 $\dot{B}_e$ 按式(1)计算:

$$\dot{B}_e = \frac{U \sqrt{2}}{\omega N A_e} \dots\dots\dots (1)$$

式中: U ——加在线圈上的正弦电压有效值。

7.4 相对测量

只要能在相应的测量范围测定出电感量的相对变化 $\Delta L/L$,并具有所要求的准确度,则测量仪器的绝对准确度就无关紧要。除此之外,相对测量的细节和绝对测量是一样的。在磁心的任何部分,峰值磁通密度的实际上限为 0.25 mT。且每次测量时,施加该峰值磁通密度的时间不得超过 1 min。

用改变频率的方法时,应保证频率足够低,使之对应于材料的磁导率-频率特性的平直部分,还应保证避免由于测量线圈中的涡流对电流分布产生明显的影响。

应标明测量频率(近似)和磁通密度。

第二篇 通用测量方法

8 减落

8.1 目的

测定磁心的磁导率随时间的变化。

注

- 1 复数磁导率的两个分量都表现出减落,但本标准仅考虑了实数部分。
- 2 减落和减落因数,都可用于描述随时间的变化,见 8.6。

8.2 方法原理

将磁心进行磁正常[状态]化处理后,在其后的两个指定时间上,测出电感量或者其他对应于起始磁导率的量。减落因数(或减落)可由测量值之差来计算。

注:减落通常随磁通密度的增加而减小,因此一般要求给出在低磁通密度情况下的减落值。

8.3 样品

应采用正常生产的磁心来测量。

当整个磁心由多于一个零件组成,例如罐形磁心,而且用一个轴向线圈测量减落时,磁路中唯一的气隙最好就是两个接触面间的剩余气隙。然而,对于在磁路中气隙各不相同的磁心系列,允许用具有最小有效气隙的磁心进行测量。

注

- 1 在某些场合,如具有中心孔的罐形磁心,磁心零件可当作磁环绕线,在确认它的结果等于用轴向线圈测得的结果或两者有确定的关系后,而且沿环形磁通方向的起始磁导率与轴向磁通方向的起始磁导率没有明显的差别时,可以用这种方法来测量减落。这种方法应极其慎重的使用。当一个开槽罐形磁心绕制环形绕组时,外壁对磁路的贡献可以忽略。
- 2 对某些材料,在紧接烧结后的一段时间里,减落变化较大,在这种情况下,产品规范可以规定在磁心做成后一段特定时间内不进行验收试验的减落测量,而且应说明这段时间从什么时刻算起。

8.4 计时器

计时误差不得超过 1%。在用磁正常[状态]化装置启动计时器的场合,这个数字应包括启动技术和计时器两者的误差。

注:原则上,对于电的方法,参考时间应是场强从饱和值开始下降的瞬间,对自动磁正常[状态]化系统,如电容器放电和功率放大器法,整个磁正常[状态]化过程很短,以致落到第一次测量时间的误差范围内。

8.5 测量程序

1) 磁心按照 4.3 与测量线圈装配在一起。

2) 磁心应按照第 6 章中的一种方法进行磁正常[状态]化处理。所采用的方法,必须与磁正常[状态]化装置的主要性能一起予以说明。在所有情况下,仪器都要清楚地和可重复地指出磁正常[状态]化的这段时间,因为这将形成时间的测量起点,并且它强烈地影响减落测量的不确定度。

3) 根据 7.4,读取两个读数:

——在电方法中,在磁正常[状态]化后 10 min 读取第一次,100 min 读第二次。

——在加热方法中,在测量参考时间 t_0 之后 24 h 读第一次,48 h 读第二次,参考时间定义为冷却到高于测量温度 10℃时的瞬间。

别的时间也可以用,但是对电的方法,最好是整个测量过程不多于 24 h。两次测量的测量程序和环境条件是相同的。

8.6 计算

t_1 和 t_2 之间的减落 D ,是以两次读数之差与第一次读数之比来计算的。在电感测量情况下,计算公

式为：

$$D = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \dots\dots\dots (2)$$

减落因数 D_F 可按式(3)计算：

$$D_F = \frac{\mu_0 N^2 (L_1 - L_2)}{C_1 L_1^2 \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

式中： L_1 ——磁正常[状态]化后 t_1 分钟测量的自感量；

L_2 ——磁正常[状态]化后 t_2 分钟测量的自感量。

注：已经发现，减落近似正比于时间的对数，基于这一原因，减落因数通常用做表示对时间变化的理由。在近似值范围内，带空气隙的磁心的减落，可由材料的减落因数推导出来。

$$D = \mu_r D_F \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \dots\dots\dots (4)$$

由于生产过程所限，由相同材料制成的不同几何形状的磁心性能也可能有差别。

9 磁导率(或电感因数 A_L)随温度的变化

9.1 目的

测定磁心的磁导率(或电感因数 A_L)随温度的变化。

注

- 1 复数磁导率两个部分都表现出随温度的变化。但本标准只考虑实数部分。
- 2 当磁心的磁导率和温度同时记录时，就可以在很宽的范围内得到一些测量点。磁导率随温度变化仅仅在一个无穷小温度范围内，可用一个单一数字来绝对精确地表示。
应用于一定温度范围的温度系数或温度因数的概念仍然是需要的。一个可以计算的具有足够准确度的实际值，可以适当地选择测量条件和温度范围来获得，这个范围就是温度系数或温度因数的应用范围。

9.2 方法原理

方法要求的不确定度与方法的简繁和持续的时间有关，由此，可分为三种不同的测量原理。

方法 A：将装上测量线圈的磁心以很低的温度变化速率经过一个温度循环，至少经过两次稳定循环后，连续记录温度和电感量。

方法 B：将装上测量线圈的磁心以中等变化速率经过一个温度循环，至少经过两次稳定循环后，循环在确定的温度中止。每次中断时间，温度在足够长的时间内保持恒定，以使磁心在测量前达到热平衡。

方法 C：将装上测量线圈的磁心以中等变化速率经过一个温度循环，至少经过两次稳定循环后，循环在指定的温度中止。每次中断时间，温度保持恒定，在磁心达到热平衡后，将磁芯进行磁正常[状态]化，在一个指定时间之后进行测量。

注：因为减落随温度变化，方法 C 给出的结果与用方法 A 或方法 B 所得结果可能有明显的差别。但是，因为方法 C 比较快，若其测得的结果与方法 A 和方法 B 有可靠的关系，则是可以利用的。

9.3 样品

应采用正常生产的磁心来测量。

当整个磁心由一个以上的零件组成时，如罐形磁心，并且照方法 C 用一个轴向线圈测量温度变化率时，磁路中的唯一的气隙最好就是接触面间的剩余气隙。

注：在某些场合，如具有中心孔的罐形磁心，磁心零件可绕制成一个环形绕组。当确认其测量结果等同于用轴向线圈测量的结果或两者有确定的关系后，可用这种方法测量温度变化率。这种方法应极其慎重的使用。当一个开槽罐形磁心绕制环形绕组时，外壁对磁路的贡献可以忽略。

9.4 温度循环装置

1) 方法 A

必须用一个控温箱，箱内温度对时间的变化是线性的，可保持以 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 变化。

2) 方法 B 和 C

用于此试验的控温箱,必须在放置元件的任何区域均能保持规定的温度,其偏差为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度随时间的变化不得超过 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

控温箱的温度应这样控制,以使磁心不致受到任何超过 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度波动和过冲。

3) 温度计

温度测量(或感温)装置应有这样的灵敏度和准确度,它可以:

——检验温度是否恒温在 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内;

——测量被测温度范围内的总温差,其准确度应为: $\pm 1\%$ 或 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (取其大者)。

9.5 计时器(仅用于方法 C)

计时误差不得超过 1% 。在用磁正常[状态]化装置启动计时器的场合下,这个数字应包括启动技术和计时器两者的误差。

注:原则上,参考时间应当是场强从饱和值开始下降的瞬间。对自动磁正常[状态]化系统,如电容器放电和功率放大器法,整个磁正常[状态]化过程是很短的,以致落到测量时间的误差范围内。

9.6 测量程序

1) 磁心按照 4.3 要求与测量线圈装配在一起。

夹紧力偏差应不大于 $\pm 1\%$,其中包括因温度改变引起的任何力的变化。

2) 磁心应该经受几次稳定化循环和一次测量循环。通常两次稳定化循环已足够。关于温度范围和规定的温度变化速率,稳定化循环和下述的测量循环相同,但专用于测量循环的恒温下则不作考虑。

方法 A:把装配好的磁心放入控温箱中,经稳定循环后,把磁心升温到指定的最高测量温度,再降到指定的最低测量温度,最后回到开始循环的温度,温度变化速率应近似于 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,并在整个循环中不变。在测量循环中,应同时记录温度和电感量,时间间隔不得超过 1 min ,开始测量的时间也应记录。

方法 B:把装配好的磁心放入控温箱中,经稳定化循环后,待磁心在指定的最低(最高)测量温度达到温度平衡后,保持 30 min ,然后进行依次测量;温度以最大速率 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 改变到下一个较高(较低)的指定测量温度或参考温度(参考值),并按上述规定保持恒定,此后,进行另一次测量;再以最大速率 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,把温度升(降)到下一个更高(更低)的指定测量温度,并按规定保持恒定,此后,又进行一次测量。这一过程继续进行,直至达到最高(最低)规定测量温度,将按规定保持恒定,然后,进行最后一次测量。

注:在相应元件的详细规范中,需规定此方法如何进行,即升温还是降温。

方法 C:装配好的磁心放入控温箱中,以一个足够低的、不致在材料中产生过高的温度梯度的速率(通常 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 视为合适),使磁心降至指定的最低测量温度。在这个温度保持一个足够的时间,使磁心零件与箱内气氛达到热平衡。然后按照 6.3 中第 1) 项,用一个通过测量线圈的逐渐减小的交变电流将磁心进行磁正常[状态]化,在磁正常[状态]化后的 10 min 测出测量线圈的电感量。而后温度以上述指定速率,升到一个较高的指定测量温度。在该温度下再进行保温、磁正常[状态]化和电感量的测量。

这个过程一直进行到规定的最高测量温度。

注:见 9.2 方法 C 的注。

3) 根据 7.4 读出电感量读数。除温度外,测量过程和环境条件在整个测量循环中应相同。

9.7 计算

每次测量的温度系数 α_{μ} 是用测量值和参考值之差除以参考值和对应的温差来计算的。在电感测量情况下,按式(5)计算:

$$\alpha_{\mu} = \frac{L_{\theta} - L_{\text{ref}}}{L_{\text{ref}}(\theta - \theta_{\text{ref}})} \dots\dots\dots (5)$$

式中: L_{ref} ——在参考温度 θ_{ref} (优先用 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$)时测量线圈的自感量;

L_{θ} ——在温度 θ 时测量线圈的自感量。

对于方法 A,各个值由记录曲线读出。

注

1 温度系数通常是用来计算给定的温度范围内磁心磁导率变化的极限。只有在考虑的温度范围内磁心的磁导率-温度关系曲线为线性时,才能用温度系数描述磁心的特性。

必须注意到,由于这个特性的非线性,不同温度范围的温度系数可能不同。进一步讲,当选择一个较小的温度范围时,与直线的偏离也不总是减小的。

附录 F 中给出了表示温度系数及非线性关系的一些方法。

2 对于具有不同气隙的磁心系列(如罐形磁心),温度系数 α_μ 可以由下述磁心的温度因数 α_F 来计算,在该磁心中唯一的磁路气隙就是接触面间的剩余气隙。所需关系式为:

$$\alpha_\mu = \frac{\alpha_F \mu_e}{1 - \alpha_F \mu_e (\theta - \theta_{ref})} \approx \alpha_F \mu_e \dots\dots\dots (6)$$

式中: μ_e ——在参考温度 θ_{ref} 时带气隙磁心的有效磁导率;

α_F ——在 θ_{ref} 到 θ 的范围内,对该磁心测量结果,据下式计算的无气隙磁心的温度因数:

$$\alpha_F = \frac{\mu_0 N^2}{C_1} \cdot \frac{L_\theta - L_{ref}}{L_\theta L_{ref} (\theta - \theta_{ref})} \dots\dots\dots (7)$$

在此温度范围内,当带气隙磁心的磁导率在整个温度范围内的总变化足够小时,公式近似成立,也可写作:

$$\alpha_\mu = \frac{C_1}{\mu_0} \alpha_F A_L \dots\dots\dots (8)$$

式中: A_L ——有气隙磁心的电感因数。

3 一个电感器的温度系数可以完全不同于其磁心的温度系数,这是因为夹紧装置和铜线绕组对这种变化产生了不同的影响。

10 电感量调节范围

10.1 目的

为具有独立调节装置的磁心提供电感量调节范围的测量方法。

10.2 术语

以下的定义适用于本方法:

1) 调节装置:在其完成装配后,通过改变磁心磁阻来调节电感器或者调谐变压器电感量的装置。

2) (调节装置的)固定部分:调节装置的一部分,用类似粘合的方法将其机械的固定在磁心上。

3) 调节器:调节装置的一部分,它可以相对于磁心的气隙取不同位置。

4) 调节范围:当调节器分别处于最大和最小位置时,电感器的电感量之差,用无调节器的电感器的电感量的百分数表示。

5) 调节范围的上(下)限:调节器处于最大(最小)位置与去掉调节器时电感量之差,用后者电感量的百分数表示:

$$a = \frac{L_{min} - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

$$b = \frac{L_{max} - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中: a ——下限(电感量为 L_{min});

b ——上限(电感量为 L_{max});

L_0 ——无调节器时的电感量。

6) 最大(最小)调节器位置:由于机械条件或其他条件而限定的位置,它对应与调节范围的上(下)限。

7) 螺纹型调节装置

调节器螺纹装置旋进或旋于固定部分(螺帽或螺栓)之调节装置。

10.3 测量原理

测量无调节器磁心的电感量,然后将调节器从最小位置以小的步进调到最大位置,逐点测量电感量,将其电感量的相对变化对应于调节器的调节位置作图。

10.4 样品

测量时应采用与相应磁心配合的正常生产的调节器。

10.5 测量程序

- 1) 若固定部分未被生产厂安装于磁心上,应按生产厂的说明书安装好。
- 2) 按 4.3 要求在磁心上装配测量线圈。
- 3) 将调节器装入磁心,在整个调节范围中往返移动两次,然后取下调节器。

注:整个调节器范围内的过多地来回移动可能损害其稳定性,所以应避免。

- 4) 按 7.4 测量电感量。

5) 将调节器连续移动一个小距离,每次测量其电感值直至达到最大位置。为测定调节特性的不规则性,调节距离应当足够小(见 10.6),对螺旋型调节器而言可调节 $1/4$ 圈。

10.6 计算

将相对于无调节器时所测得的电感值的变化对应调节器的机械位置(位移)作出曲线,对于螺纹调节器移动量以圈数来表示,对推进型调节器,用毫米给出,如图 1 所示:

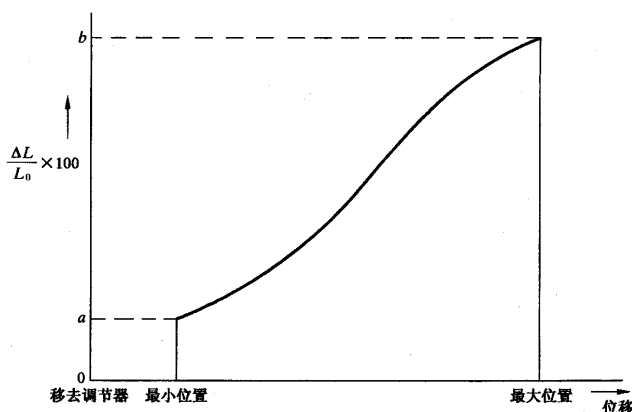


图 1

若需要,应注明曲线斜率的最大值和最小值。

11 损耗

11.1 低磁通密度下的损耗

11.1.1 目的

对有气隙磁心和无气隙磁心的损耗测量作一般性说明,并且建立校正损耗测量仪器的参考方法。

11.1.2 样品

应采用正常生产的磁心来测量。

对于磁路中有气隙的磁心,例如电感器用罐形磁心,其损耗可以在研磨气隙之前测量(见 11.4)。

11.1.3 耦合方法

通常应使用测量线圈。但原则上任何同轴线、谐振腔或者其他合适的装置,只要它可提供磁性材料与电磁信号之间必要的相互作用均可采用。

测量线圈灵敏地受湿度的影响,故应存放在干燥的环境里;最好在仲裁试验的大气条件下进行测量(见 3.2)。

线圈或其他装置的结构的全部细节,将在有关规范中给出,该结构基于以下的考虑:

a) 当有可能时,用在多于一个零件组成的磁心上的线圈应设计成使磁心-线圈组合系统的最佳频率(此时 Q 值最大)远低于测量频率,使得线圈损耗可以忽略不计,若上面的情况不可能的话,应采用多股线少匝数和(或)分段绕成的线圈,使附加绕组损耗和线圈绝缘层中的介电损耗尽可能低,因此测量的结果仅仅只需校正线圈的直流电阻损耗。

当线圈损耗的修正可能导致准确度升高到不允许的程度时,应采用标准线圈,并测定磁心和线圈的组合损耗(见 5.1.2)。对于高 Q 磁心的测量,例如有气隙磁心,在同类磁心上进行测量时标准线圈应可互换。

b) 在环形磁心上绕制的线圈应是均匀分布的,最好采用绝缘实心的铜导线,并且完全覆盖在环上。

注:因为多股线在缠绕环形磁心时有断裂的危险,所以推荐实心铜线。但在高频测量时,应采用多股线。

c) 在所有的情况下,磁心上线圈的固有电容最好小于谐振电容的 2%,以避免过大的介电损耗及电感测量值的修正(需要测量电感时)。

11.1.4 剩余损耗和涡流损耗的测量

任何适当的测量装置都可使用,只要不确定度同规定的损耗误差不矛盾。测量装置还应允许磁心中的磁通密度能调整到规定数值,在测量时,磁通密度一定要规定,当磁通密度不明确时,其数值应等于或者低于用同一磁心按第 7 章测量电感量时所规定的数值。测量频率应符合有关规范的规定。

线圈的损耗或调谐电容上的损耗,或者这两方面的损耗,可能需要修正,下面推荐线圈损耗的修正方法。

测量有磁心的线圈的串联电阻和电感,然后减去线圈的有效电阻,有效电阻就是被测量线圈的直流电阻加上测量频率下算出的线圈附加损耗所等效的电阻(见 11.1.3a)。最后,如果需要,将结果变换为有效并联电阻、品质因数或者其他能表示磁心的损耗的量。

在研磨磁心气隙之前测量损耗因数时(见 5.1 方法 1),有气隙的磁心损耗可以按式(11)计算:

$$(\tan\delta)_e = \left(\frac{\tan\delta}{\mu_i} \right) \times \mu_e \dots\dots\dots (11)$$

式中: $(\tan\delta)_e$ ——有效磁导率为 μ_e 的有气隙磁心的损耗角正切;

$\left(\frac{\tan\delta}{\mu_i} \right)$ ——开气隙之前,在磁心中(或对同一批或同一系列磁心中)测量的损耗因数。

11.1.5 磁滞损耗的测量

只要能以所要求的准确度测定出磁心损耗随幅度的变化,任何合适的测量装置都可使用。磁滞损耗是由两个峰值电压下测量的损耗而推导来的,峰值电压在有关的规范中规定(测量线圈的匝数也应规定)并选择得使磁心中的有效峰值磁通密度不超过 5 mT。必要时,带磁心的测量线圈的电感应在较低的那个电压下进行测量。

测量频率应符合有关规范的规定。

磁滞损耗正比于被测损耗电阻之差与外加峰值电压之差的比,从而可计算出磁滞损耗。通常不需要对线圈损耗加以修正。

例如:

1) 对于已知有效磁导率的磁心,串联测量:

$$\tan\delta_h = \frac{\hat{U}\Delta R_s}{\omega L_s \Delta \hat{U}} \dots\dots\dots (12)$$

式中: $\tan\delta_h$ ——由磁滞损耗引起的损耗角正切;

$\hat{U}$ ——较高的外加峰值测量电压;

ΔR_s ——串联电阻测量值之差;

$\Delta \hat{U}$ ——外加峰值测量电压之差;

L_s ——在较低的那一外加测量电压下,磁心线圈的串联电感。

2) 对于材料和有不同气隙的磁心,并联测量:

$$\eta_B = \frac{\omega^2 N^3 \mu_0}{C_2} \cdot \frac{\Delta G_p}{\Delta \dot{U}} \dots\dots\dots (13)$$

式中: η_B ——材料磁滞常数;
 ΔG_p ——并联电导测量值的差;
 $\Delta \dot{U}$ ——外加的峰值测量电压的差。

- 注
- 1 其余符号的解释,参看第 2 章。
 - 2 假如 η_B 为不依赖于 μ_c 和 $\hat{B}$ 的材料常数,此时必导致已知 μ_c 的磁芯的 $\tan\delta_h$ 正比于 $\hat{B}$,因为 $\tan\delta_h = \eta_B \cdot \mu_c \cdot \hat{B}$ 。

11.1.6 参考方法

对于具有高品质因数的有气隙磁心的损耗测量以及具有中等品质因数的无气隙或环形磁心的损耗测量,应借助于参考方法来标定。

推荐两种参考方法:阻尼振荡法见附录 G(标准的附录)与传输法见附录 H(标准的附录)。

11.2 高磁通密度下的损耗(磁芯总损耗)

11.2.1 目的

规定高磁通密度下一周波的磁心总损耗的测量方法。

11.2.2 测量原理

以下方法中,根据使用要求有一种以上的方法可以适用。

1) 乘积电压表法

只要峰值因数在仪表的限度范围以内,一般都可以采用这种方法。

无抗电阻与磁芯上的线圈串联,将无抗电阻两端的电压和线圈两端的电压分别接到乘积电压表的两个通道,该电压表指出两个电压瞬时值乘积的平均值,这个平均值正比于磁心的总损耗。

2) 电桥法

这种方法只限于用正弦电压或正弦电流。

用便于控制磁心中规定的磁通密度需要功率的电桥电路,测量磁心线圈的等效并联电阻。

3) 示波器法

这种方法可用于交流的或脉冲的电流和电压以及用于脉冲宽度与重复时间比值很小的脉冲可能存在的高峰值因数,对于高功率和高电压更为合适。

无抗电阻与磁心上的线圈串联,将无抗电阻两端的电压及线圈上的电压对整个时间积分,分别馈送到示波器的水平偏转板与垂直偏转板上,确定显示的回线面积,就可以得到磁心的总损耗。

4) 有效值法

只要峰值因数处于仪表所限定的范围内,本方法是普遍适用的。

用真有效值读数电压表测量两个电压之和与差的有效值,第一个是跨在测量绕组上的电压,第二个是跨在与电流绕组串联的无感电阻上的电压。这两个有效值的平方之差正比于磁心中的总损耗。

11.2.3 样品

应采用正常生产的磁心测量,并应构成闭合磁路。

11.2.4 测量线圈

1) 线圈的匝数应依测量条件、使用仪器以及测量准确度而定。测最线圈的电阻和固有电容应尽量低,以使误差可以忽略。

如果在高频测量,导线需用绝缘多股线,对于环形绕组线圈应沿线圈周围均匀分布。

2) 对于乘积电压表法和示波器法,若采用的单绕组不符合准确度要求,应采用电流绕组和电压绕组分开的双绕组线圈。

在有效值法的情况下,使用具有独立的电流绕组、测量绕组、和电压绕组的三组测量线圈。

注:第三个绕组即电压绕组用以防止各种电压测量引起的测量绕组上的电压与无感电阻之间相移的变化,它又能使电压表接地。

3) 需要测量各个端电压的所有绕组,其阻抗应远小于仪表的阻抗,且应尽可能紧靠磁心绕制。每个绕组的自身电容和绕组间的电容,特别是电流绕组与其他绕组间的电容必须很小,以保证测量误差可忽略不计。

注:当把线圈绕在有锐利棱角的磁芯上时,应注意保证导线绝缘层不破坏,若用多股线,线束应不破坏。

11.2.5 测量仪器

凡适用的仪器都可使用。附录 J(标准的附录)给出几个电路实例。测量应满足以下要求:

1) 带磁心的线圈接入电路时,信号发生器应能供给规定的电压和电流,波形要在规定的容限内。若指定用正弦波,谐波总含量应小于 1%;若指定用方脉冲,应满足第 16 章的有关要求。

2) 电路元件之间的所有连线应尽量短,乘积电压表的两个通道与电路连线应等长,而且应该用同类型的连线,接到示波器的电缆应该是低电容型的(例如空气绝缘电缆)。

在有效值法情况下,使用一个开关联接有效值读数电压表,以便测量两个电压的和与差(见附录 J 的图 J4)。该开关的短路导线应尽可能紧靠开关,有效值读数电压表应由一条单屏蔽电缆联接到开关。

3) 与测量线圈串联的电阻,其阻值误差不应超过 $\pm 0.5\%$ 。对于非正弦电流,这个电阻应该是无抗的,在款 4 规定的频率范围内,电阻上的电流与电压之间的相位角不应超过 0.002 弧度。对于正弦电流,按上面规定,这个电阻也应该是无抗的,若用有抗元件,应在测量频率下,用可变电容加以补偿。这种电容可以用来补偿乘积电压表通道之间的任何相移。

注

1 制作无抗电阻的说明,在附录 J 的 J4 条中给出。

2 对有抗电阻的补偿,一般只对单一频率有效。

4) 电压表和示波器的频率范围应包括外加电压中幅度占基波幅度 1% 或以上的全部谐波频率。这个频率范围应在有关规范中规定。

乘积电压表通道之间的任何相位差在要求的整个频率范围不超过 0.003 弧度。两个通道的输入阻抗应足够高,以使其电路的影响可以忽略。

5) 按 GB/T 7676.2(idt IEC 60051-2)平均值读数电压表和有效值读数电压表应该是 1 级或更高级的电压表。

乘积电压表各通道的固有误差不得超过满刻度读数的 1%,例如,电流表和电压表的这种特殊要求,在用乘积电压表代替单个电压表测定线圈上平均电压时适用。

当乘积电压表用于乘积方式,且已知电压表常数时,它应能指示出两个通道测量电压瞬时乘积的时间平均值,误差不超过满刻度读数的 2%。

注

1 应注意乘积电压表和有效值读数电压表的峰值因数极限。

2 如果组合线圈的品质因数大于 10,用乘积电压表法和有效值法测量磁心损耗的误差增大。

6) 对于示波器应准备校准条件,使显示电压的准确度高于满偏转的 3%,应设法保证面积测量误差不超过 5%。

7) 应准备控温环境,装上线圈的磁心在开始测量之前处于规定温度下。

11.2.6 测量程序

1) 被测磁心与测量线圈按 5.2 装配。

2) 若规定了温度,磁心应置于 11.2.5 中规定的控温环境里。测量应尽快地进行,以保证线圈与磁心的自身发热可以忽略。

3) 组合线圈接到电路上,信号发生器在指定频率下调出指定电压或电流波形,对信号源电压进行调节,使测量线圈上每半周的平均电压值达到式(14)给出的值:

$$U_{av} = 2f \cdot N \cdot A \cdot \Delta B \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中: f ——测量频率;

N ——测量线圈或电压绕组线圈的匝数;

ΔB ——测量时规定的磁通密度的变化量。对于峰值为 B 以对称形式交变的磁通密度:

$$\Delta B = 2\hat{B}$$

A ——按规范要求的磁心有效截面积 A_e 或最小截面积 A_{min} 的标称值;

计算 A_{min} 所用的全部尺寸应取自零件图上标注的尺寸公差限度之间的平均值。

注

1 若用示波器法而不带平均值读数电压表,线圈两端最大积分电压为:

$$\left(\int u dt \right)_{\max} = N \cdot A \cdot \Delta B \quad \dots\dots\dots (15)$$

2 对于脉冲测量,可以采用 16 章中的一种电路,其中的一个电路图示于附录 M(标准的附录),适当时附加一乘积电压表。

4) 对于乘积电压表法,电压表开关接到乘积档,读出示值。

对于电桥法,进行最后平衡之后,记下电桥的读数,与接入组合磁心之前的读数相比较,读出组合线圈上的有效电压值。

对于示波器法,将显示的回线拍成照片,如果可能,应包括两个坐标中的校准电压脉冲。

注:若用数字处理法能获得更小的准确度,这种情况下面积直接求得。

对于有效值法,先记下两个有效值电压之和的示值,然后记下两个有效值电压之差的示值。

11.2.7 计算

1) 乘积电压表法

磁心总损耗(瓦特)由式(16)给出:

$$P = (\overline{u \cdot i}) = a \cdot K \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中: $(\overline{u \cdot i})$ ——组合线圈两端的电压和通过它的电流乘积的时间平均值;

a ——电压表读数;

K ——电表常数,由两个通道的灵敏度、测量电流的电阻器 R_i 的数值与表头刻度的满度偏转来决定。

应参照制造厂随仪器所附说明书中对可能出现的误差及其修正的建议。

2) 电桥法

组合线圈的等效并联电阻 R_p 由电桥元件的调定值确定,则磁心的总损耗(瓦特)由式(17)给出:

$$P = \frac{U^2}{R_p} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中: U ——最后平衡时测量线圈两端的有效值电压(见附录 J 的 J2)。

注:这个电压等于电桥平衡时信号发生器 G 两端的电压(见附录 J 和 J2)。

3) 示波器法

通过脉冲校准,以焦耳为单位的每周能量 E 由回线面积测得,则磁心总损耗(瓦特)由式(18)给出:

$$P = f \cdot E \quad \dots\dots\dots (18)$$

4) 有效值法

磁心总损耗(瓦特)由下式给出:

$$P = (\overline{u \cdot i}) = \frac{|U_1^2 - U_2^2|}{\frac{4N_2}{N_1}R} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中: $(\overline{u \cdot i})$ ——组合线圈两端的电压和通过它的电流乘积的时间平均值;

U_1 ——测量绕组两端电压及与电流绕组串联的电阻器两端电压之和的有效值;

U_2 ——上述两电压之差的有效值;

N_1 ——测量线圈电流绕组的匝数；

N_2 ——测量线圈测量绕组的匝数；

R ——电流测量电阻器 R 的阻值(见附录 J 图 J4)。

5) 功率损耗密度

功率损耗密度由式(20)给出：

$$P_v = \frac{P}{V_e}, \text{通常以 W/dm}^3 (= \mu\text{W/mm}^3) \text{ 表示} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中： P_v ——功率损耗(体积)密度；

V_e ——磁心有效体积。

或由式(21)给出：

$$P_m = \frac{P}{m}, \text{通常以 W/kg 表示} \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中： P_m ——功率损耗(质量)密度；

m ——磁心质量。

6) 脉冲测量

在脉冲测量情况下,根据脉冲恢复时间选择脉冲重复频率 f_p ,因此这种情况最好用每周期能量 $E = (\overline{u \cdot i}) / f_p$ 表示损耗,对于给定的脉冲幅度和脉冲持续时间, E 与 f_p 无关,一般 $P = E \cdot f_p$ 。

第三篇 特殊测量方法

12 三次谐波畸变

12.1 目的

测定磁心中所产生的三次谐波畸变。

12.2 术语

对于这种测量方法,三次谐波材料常数定义为：

$$\delta_B = \frac{E_3}{\mu_e \cdot \dot{B} \cdot U_1} \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中： U_1 ——外加基频电压；

E_3 ——由磁心所产生的三次谐波频率的电动势；

$\dot{B}$ ——对应于 U_1 的磁通密度的峰值。

12.3 测量原理

用以下两种主要的方法：

1) 低阻抗法

振荡器对磁心测量线圈提供基频电流,滤波器滤去振荡器中产生的任何三次谐波电流。与测量线圈串联的电路阻抗,在三次谐波频率下,比测量线圈在同样频率的电抗小得多。

三次谐波电压由电路中已知电阻(可以是和线圈串联的总电阻)的两端测得,材料常数 δ_B 由该测量值施加于测量线圈的基波电压、电路和线圈参数计算。

2) 高阻抗法

振荡器对磁心测量线圈提供基频电流,滤波器滤去振荡器中任何三次谐波电流,与测量线圈串联的电路阻抗,在三次谐波频率下,比测量线圈在同样频率的电抗大得多。

测出线圈中的三次谐波电动势,材料常数 δ_B 由该测量值、测量线圈上的基波电压、电路及线圈参数计算。

注：当与线圈串联的阻抗足够高时，电动势可以看作是线圈两端的电压，否则应采用注入法（见 12.6.4）。

12.4 样品

应采用正常生产的磁心来测量。

12.5 测量仪器

可应用任何市售的、适用的三次谐波测量仪，或使用具有相应特性的测量设备的组合装置，应满足下述要求：

1) 被测电压的误差应小于 5%；

2) 与样品邻近的电路元件实际上应无非线性失真，用一线性元件替代样品（例如空心线圈）时，三次谐波至少应低于基波 120 dB。

为了检验测量系统，应具有适宜的已知非线性的装置，例如，齐纳二极管电阻网络。

注：对滤波器的要求也与上述要求相同，并由选测量回路来决定，某些细节在附录 K（标准的附录）中给出。

12.6 测量程序

1) 按 4.3 要求在磁心上装配测量线圈。

2) 采用高阻抗法，则按 7.3 测量线圈电感，得到磁心有效磁导率。

3) 直接测量：

线圈接入测量回路，调整到指定频率，并按照该回路的测量程序测量三次谐波电压。

4) 注入法：

采用高阻抗法，若测量线圈串联的阻抗相对于线圈的阻抗不是足够高时，则应将测量线圈和已知阻值很小的电阻（如 1 Ω ）相串联接入电路。

按照适当的程序调整测量回路，将规定的基频电压加到回路中，记下三次谐波电压表的偏转。然后，撤去基波电压，将三次谐波电压加到与线圈串联的电阻器的两端。当三次谐波电压表达到相同偏转时，加到电阻器两端的电压被认为与电动势相等，于是测出该外加电压。

12.7 计算

三次谐波材料常数 δ_B 计算如下：

1) 当采用低阻抗法和三次谐波电压已被测出时：

$$\delta_B = \frac{3\omega_1^2 \mu_0 N^3}{C_2 R \sqrt{2}} \cdot \frac{U_3}{U_1^2} \dots\dots\dots (23)$$

式中： ω_1 ——基波角频率；

U_1 ——加到测量线圈上的基波电压；

U_3 ——在回路中已知电阻器 R 两端（它可以是与线圈串联的总回路电阻）的三次谐波电压。

2) 当采用高阻抗法时：

$$\delta_B = \frac{\omega_1 N A_e}{\mu_e \sqrt{2}} \cdot \frac{E_3}{U_1^2} \dots\dots\dots (24)$$

式中： E_3 ——由磁心产生的三次谐波频率的电动势；

A_e ——磁心的有效横截面积。

注：在材料频率范围的低端上，三次谐波材料常数和磁滞材料常数有以下近似关系：

$$\eta_B \approx \frac{5}{3} \delta_B \dots\dots\dots (25)$$

以上表达式仅在瑞利-约旦关系成立时是正确的。

13 磁性冲击灵敏度

13.1 目的

规定由单个磁化脉冲所引起的磁心有效磁导率变化的测量方法。

13.2 术语

对这种测量方法,磁心的磁性冲击灵敏度 K_s 定义为在磁正常[状态]化处理以后的有效磁导率 (μ_{ec})和经单个脉冲磁化后的有效磁导率 (μ_{em})之差与有效磁导率 μ_{ec} 之比。

$$K_s = \frac{\mu_{em} - \mu_{ec}}{\mu_{ec}} \dots\dots\dots (26)$$

13.3 测量原理

磁心经磁正常[状态]化后测出其对应于起始磁导率的电感量,在短时间里加上一个使材料饱和的静态磁场(磁性冲击)之后,再一次测出其电感量。磁性冲击灵敏度就由测量值之差计算。

13.4 样品

应采用正常生产的磁心来测量。评价一种材料的磁性冲击灵敏度时,可取环形磁心作测量样品。

13.5 脉冲发生器

脉冲发生器应能在约 2 s 时间内保持直流,然后约在 2 s 时间内下降到零并应避免振荡。

注:对于负载线圈的特殊情况,确定电流脉冲的时间约为 5 s。

13.6 计时器

计时误差不得超过 1%。

注:原则上,参考时间应是磁场强度从饱和值开始下降的瞬间。除了负载线圈以外,磁正常[状态]化和脉冲过程两者与 13.7 中规定的 ± 10 s 时间误差相比是很短的。

13.7 测量程序

1) 测量线圈与磁心按 4.3 的规定装配。

对于环形绕组,线匝分布应使杂散电容以及杂散场尽可能小,通以脉冲电流时,线圈不得过热。

2) 磁心应按照 6.3 中一种方法进行磁正常[状态]化,测量线圈通以衰减的交流电。所用方法应与磁正常[状态]化装置的主要特性同时说明。

3) 在磁正常[状态]化处理后的 (300 ± 10) s 时,按 7.4 的方法测出电感。测量过程中,磁心任何部分磁通密度峰值不得超过 0.25 mT,时间不大于 1 min。测量频率应当说明。

4) 按 3)测出电感后立即给测量线圈一个使磁心饱和的直流脉冲(见 13.5)。

注:某些情况下,磁心也许不能达到饱和,实际上线圈匝数和电流应予规定。

5) 在直流脉冲结束后 (300 ± 10) s 时,即按 13.7 的 3)的同样条件再次测出电感。

13.8 计算

磁性冲击灵敏度 K_s 按式(27)计算:

$$K_s = \frac{(L_m - L_c)}{L_c} \dots\dots\dots (27)$$

式中: L_c ——按 13.7 的 3)测出的自感;

L_m ——按 13.7 的 5)测出的电感。

注:对于尺寸、形状和材料均相同,但气隙不同的磁芯而言,只要它们的有效磁导率都处于其材料起始磁导率的 10%~50%的范围,就可以通过一个磁心来计算另一个磁芯的参数,即:

$$K_{s2} = \frac{\mu_{e2}}{\mu_{e1}} K_{s1} \dots\dots\dots (28)$$

式中: K_{s1} ——在有效磁导率为 μ_{e1} 的磁心上测出的磁性灵敏度;

K_{s2} ——相同尺寸、形状和材料,有效磁导率为 μ_{e1} 的磁心所推导出的磁性冲击灵敏度。

但是,由于气隙的退磁效应,要从无气隙磁心的磁性冲击灵敏度来预测有气隙磁心的性能是不可能的。

14 调节装置对磁心稳定性的影响

14.1 目的

确定在磁心中使用不同类型的调节装置对稳定性的影响。

注

- 1 可逆变化(如由温度等引起的变化)不属本方法范围。
- 2 调节组件的不稳定性通常可归因于机械应力的松弛所引起的小位移,在正常条件下,这种松弛可继续很长时间,例如几年。

14.2 术语

下述定义与 10.2 的定义一起应用于本方法中:

- 1) 磁心(组件),装在测量线圈周围的磁心,可与调节装置一起使用,但不包括实际的调节器。除非另有说明,调节装置的固定部分是连在磁心上的。
- 2) 调谐组件:装有调节器的磁心组件。这些组件并不意味着已调谐到某一指定电感值。

14.3 方法的原理

通过适当热循环使磁心组件稳定。当磁心组件上测得电感的残留的不稳定性足够低时,将调节器引入磁心中并在给定的循环次数里,测出调谐组件的电感的不稳定性。

注:当单独应用时,这个方法用来确定时效所引起的调节装置的不稳定性。可将本方法与 GB/T 2423 (eqv IEC 60068)的环境试验,例如碰撞、振动、潮湿试验结合使用。

14.4 样品

应采用正常生产的磁心及调节装置来测量。

若电感器制造厂已在磁心中安装好了调节装置,可以利用一组稳定化的磁心来逐批检测调节装置。

若电感器制造厂家将调节装置的固定部分装入磁心应当逐批地加以稳定。

若调节装置不限于在某一个制造厂的磁心上使用,应标明足以保证与调节装置相配合的磁心尺寸(例如孔径极限),或者有关的制造厂家之间应达成协议。

注:调节装置对稳定性的影响取决于调节器本身外部的某些因素,例如磁心的尺寸(某一调节器可以用于多种磁心尺寸)、磁心的几何形状、材料磁导率、气隙尺寸和受几何形状影响的调节范围。只有在引入因素相同的情况下,这种比较才有意义。因此,必须使这些因素标准化。

14.5 调温箱

这种装置应能在 4 h 中完成特定的温度循环,它应满足 GB/T 2423.2(idt IEC 60068-2-2)中所规定的一般要求。

14.6 测量程序

- 1) 若固定部分未装入磁心,则应按照制造厂的规定装配好。
- 2) 磁心线圈按第 4.3 条的方法装配,遵照制造厂的说明,将成套磁心对准定位,检查调节器是否容易装入及调谐组件是否能满足规定的有关要求。例如:对罐形磁心中的螺旋型调节器,应检查其固定部分的偏心度,不符合规定要求的磁心则应剔除。
- 3) 磁心放在控温箱的非导电架上,其位置应保证调节器的装入,并且使磁心不受环境的物理干扰,邻近的磁心彼此不相接触,连接导线应固定。
- 4) 磁心组件应受到一系列相同的温度循环,如图 2 所示:

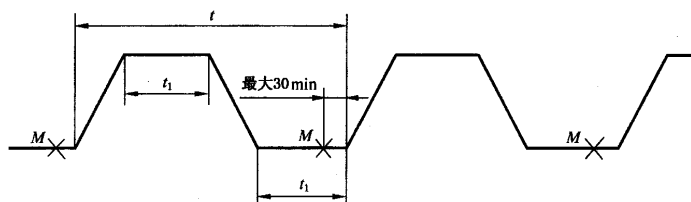


图 2

循环的温度下限应为 30℃,上限为 70℃,在整个试验期间,除测量电感时外(见第 14.6 条 5)),温

度应保证在 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的误差范围内。

循环时间 t 依据不同磁心尺寸定为 $4\text{ h}\sim 10\text{ h}$,也可选择为 24 h ,或在人工操作的情况下采用其他适当的时间值,恒温范围 t_1 在测量时间应保持不变,并且不少于 1.5 h , M 点表示电感测量时间,它应当在温度开始上升前 0.5 h 之内。

在整个程序中对于已选定的循环时间间隔,误差应保持在 $\pm 0.5\%$ 。

注:在特殊情况下,可能要求较低的温度(如低于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$)。在这种场合应按照 GB/T 2423.1(idt IEC 60068-2-1)中规定来选择标准温度。

5) 按 7.4 的方法,最好用“自激多谐振荡器”法测量电感。另外,在磁心的任何部分,其磁通密度的峰值不应超过 2.5 mT ,而且在所有的测量中,均应保持选定值的变化不超过 $\pm 0.005\text{ mT}$ 。每一次测量,测量电流的作用时间不能大于 1 min ,任意两次测量,磁心温度的差异不得超过 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

采用的方法及测量设备的主要性能应说明。

在测量过程中,任何时候均不对磁心进行磁正常[状态]化处理。

注:采用选择磁通密度的偏差来保证电感的相对变化小于 50×10^{-6} 。

6) 测量连续进行,直到在测量时刻 M 上完成对电感的变化连续进行三次测量,其中的任意两次测量值之差不大于 150×10^{-6} 为止。

注:如后来根据 14.7 得到的结果并不明显比这个数值大,试验可采用适合的较低数值重做。

7) 将调节器仔细装入磁心,并且在整个调节范围调节两次,最后调到标称电中心范围上而不妨碍磁芯、线圈和引线等,此工作应在磁心温度达到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,在 30 min 之内完成(见 14.6 的 4)的注)。

8) 测量循环至少应连续进行六次,这期间不应因插入调节器和测量电感(按 14.6 的 5))而出现任何不一致性。

9) 当完成足够次数的循环,可以得出有意义的结论后,小心地取出调节器,此工作应在磁心达到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,在 30 min 之内完成(见 14.6 的 4))。在这以后,磁心组件应进行附加的温度循环。

在下一测量点 M 上得到的电感值与参照 14.6 的 6)进行最后三次测量的平均值之差不能大于 150×10^{-6} 。如果超过此值,则有关调节器的试验结果必须舍弃,包括磁心稳定性评价在内的整个程度应当重复进行。

14.7 计算

应将调谐组件的电感与 14.6 的 8)中的首次测量电感值之间相对变化作曲线于图上,其参考坐标轴如图 3 所示:

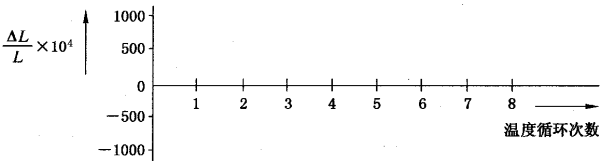


图 3

为使上面的比较具有实际意义,测量结果应附有调节装置试验条件(磁心的类别、气隙等,见 14.4 的注)。磁心的温度系数和减落也应标出,以便注意可能的测量误差的来源。

15 静态磁场的影响

15.1 目的

为评价因静态磁化变化引起的磁导率的变化规定测量方法。

15.2 测量原理

磁心经磁正常[状态]化后,测量不同的静态磁场下可逆磁导率对应的电感量。静态磁场强度从零加起。

15.3 样品

应采用正常生产或专为测量材料准备的磁心。

注：在同尺寸的磁心上开不同气隙，测量结果之间没有简单的关系。

15.4 测量线圈

所有测量线圈均应符合 7.4 电感测量的规定。

对金属线的要求是，在所需最大直流电流的测量过程中，由于温度变化引起电感量变化可以忽略。

在两个绕组情况下，应该有最大的耦合，最好用直径相同的两根铜线并绕。

注：对于已开气隙的磁心的测量，建议按可利用的空间和电流通过能力尽量多绕线匝。

15.5 测量程序

1) 磁心与测量线圈按 4.3 装配。若为环形绕组，线圈应沿圆圈均匀分布。

2) 磁心应按第 6 章进行磁正常〔状态〕化。

3) 达到磁正常〔状态〕化 15 min 后，应按 7.4 测量电感。测量时，磁心任何部分的交流磁通密度的峰值不得超过 0.25 mT。测量电流的频率应该说明。

4) 接着将直流电流调到规定值。从最低电流开始调到规定的最大值。每调一次电流后 3 min $\pm$ 15 s，再按 15.5 的 3) 的步骤测量电感。

注

1 关于存在静态磁场的电感量测量方法在附录 L (标准的附录) 中给出。

2 应仔细慢调直流电流，防止静态磁场过冲。

3 若只规定最大值，应加一些中间步骤。

16 脉冲状态下的磁特性

16.1 目的

规定几种测量方法以测量用于脉冲状态下磁心的一些重要特性，即：脉冲电感因数或脉冲磁导率以及与规定的电压-时间乘积的限度有关的磁化电流非线性度。

16.2 术语

以下定义适用于这些测量方法：

16.2.1 无偏场的脉冲触发状态

这种触发状态，磁心受脉冲电压激励，从剩余磁通密度到同一方向的较高磁通密度，又恢复到原剩余磁通密度。在 B - H 平面上因这种脉冲产生的变动范围如图 4 所示：

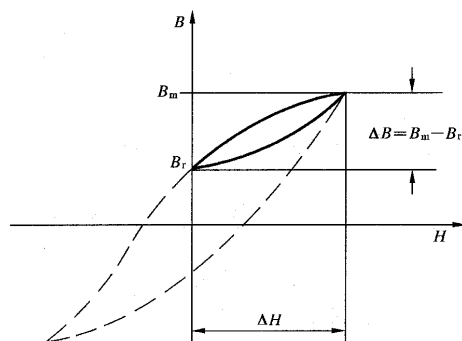


图 4 无偏场的脉冲触发状态

对 16.2.1 和 16.2.2 的注释。

假如恢复时反向电动势只受测量电路时间常数限制，则磁化电流按指数规律衰减。

反向电动势可以用另一种办法限制为一个常数，例如通过次级线圈将能量送回电压源，这样磁化电

流就近似为线性衰减。后一种方法可以防止过高的反向电动势和高的磁通变化率。两者的差别主要与损耗有关。

16.2.2 有偏场的脉冲触发状态

这种触发状态,磁心受脉冲电压激励,从偏场确定的磁通密度到偏场确定的相反方法的一个磁通密度在恢复到偏场确定的同一数值。在 $B-H$ 平面上,因这种脉冲产生的变动范围如图 5 所示:

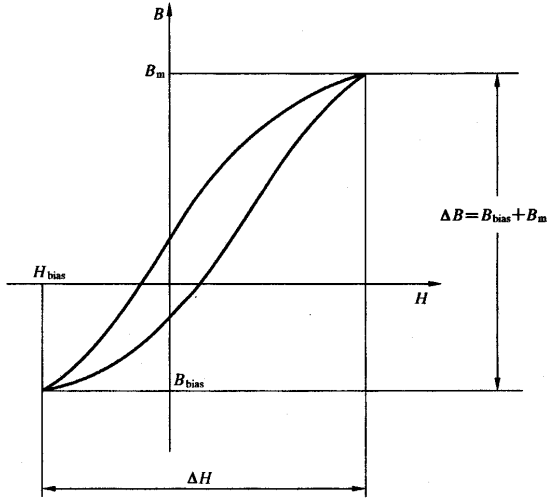


图 5 有偏场的脉冲触发状态

16.2.3 脉冲磁导率 μ_p

当磁通密度与磁场强度在规定的范围之间以任意形式变化时,由磁通密度的变化和磁场强度的变化的相应变化获得的相对磁导率。

$$\mu_p = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H} \text{ (见图 4、图 5)} \dots\dots\dots (29)$$

- 注
- 1 脉冲磁导率的数值严重地受磁通密度或磁场强度变动范围的影响,这些变动范围不一定对称于零点。
 - 2 脉冲磁导率往往适用于激励线圈上加方脉冲电压,因此该磁通密度波形为近似三角形的特定情况。

16.2.4 脉冲幅度 U_m

一个理想电压脉冲,相对于脉冲之间的电压稳定值而言,理应具有最大瞬时值。理想脉冲是由实际脉冲忽略多余的或不相干现象(例如过冲)得到的(见图 6)。

16.2.5 脉冲宽度 t_d

脉冲电压瞬时值大于脉冲幅度 50% 期间的时间间隔(见图 6)。

16.2.6 脉冲电感 L_p

脉冲幅度除以通过磁心特定位置上的特定形状的测量线圈的磁化电流 i_m 的平均变化率。

$$L_p = \frac{U_m}{\Delta i_m / t_d} \dots\dots\dots (30)$$

式中: Δi_m —— 脉冲持续过程中 i_m 总变化量;

对于单向激励的脉冲 $\Delta i_m = \hat{i}_m$ 。

16.2.7 脉冲电感因数 A_{LP}

脉冲电感除以测量线圈匝数的平方:

$$A_{LP} = \frac{L_p}{N^2} \dots\dots\dots (31)$$

16.2.8 电压-时间乘积的密度($U \cdot t$)_{lim}

电压脉冲幅度与从脉冲开始经过时间的乘积所规定的限度。在这个限度内,通过磁心上测量线圈的磁化电流的非线性度不得超过规定值。

16.2.9 非线性度(相对于时间)

特性曲线上在时刻 t 的实际瞬时值与按曲线上线性部分外推到同一时刻得到的数值之比(见图 8)。

16.2.10 脉冲重复率

周期性脉冲序列中脉冲的重复频率。

16.3 方法原理

磁心受方脉冲电压激励。有两种主要方法:

a) 脉冲以适当的频率重复。对测量线圈两端的电压加以整流以消除反冲,并以平均值电压表测量。同时测量出磁化电流的峰值。

b) 磁化电流为时间的函数 $i_m(t)$,而电感器两端电压对时间的积分又是磁化电流的函数 $\int u dt (i_m)$,这两组曲线均在适当校准过的示波器上显示出来。这种方法可用于重复脉冲与单个脉冲,后者的显示可拍成照片。

脉冲电感因数或脉冲磁导率可用这两种方法测定;与规定的电压-时间乘积的限度有关的磁化电流的非线性度只能用第二种方法测定。

16.4 样品

应采用正常生产并形成完整的磁路的磁心。

16.5 测量线圈

线圈匝数应根据测量条件、使用仪器和测量准确度而定。测量线圈的电阻和固有电容在测量频率下应尽量低,以使误差可以忽略。测量线圈应按规定尽可能紧贴磁心,并均匀地沿着磁心零件或组件缠绕,线圈排列通常接近于磁心的实际应用情况。对于环形磁心,线圈应沿圆周均匀分布。

当线圈电阻不能做得足够小,因而外加电压不能以满意的准确度近似等于电动势,则应采用包含电压绕组与电流绕组的双绕组。电压绕组的电阻应远小于电压表的阻抗,它的固有电容应非常小,使误差可以忽略。电压绕组应尽可能紧贴磁心绕,而电流绕组应完全覆盖电压绕组。

注

- 1 两绕组之间最好加一层静电屏蔽。
- 2 若线圈绕在磁心锐利的棱角上,应避免导线绝缘层破坏。

16.6 测量仪器

凡适用的测量仪器均可使用。在附录 M(标准的附录)中列出了几种按指数恢复方法进行测量的电路。应满足以下要求:

a) 脉冲发生器

在测量电路调到适当的反冲和恢复时间的条件下,测量用的脉冲发生器接上线圈后应输出所需幅度、宽度和重复率的电压脉冲,并应满足以下要求:

- 1) 调到给定值后,脉冲幅度应保持恒定在 5% 以内。
- 2) 由电源获得的功率应能足以获得顶降不超过 10% 的电压脉冲。
- 3) 开关应足够快,不明显影响上升时间与下降时间。
- 4) 过冲不应超过规定限度。

b) 电流测量

通过测量线圈(或通过电流线圈)的电流应用以下方法之一测量:

- 1) 用电流探头,它产生的信号与电流成正比,准确度在 2% 以内,接入示波器不引起脉冲电压下降。
- 2) 测量线圈与地之间接一精密电阻器,它所引起的电压降不超过标准脉冲幅度的 1%,且其电感可以忽略。

c) 回复时间

对于重复脉冲测量,为保证磁心内磁通回到初始值,电路的时间常数应能使恢复时间小于脉冲之间间隔。

d) 电压表

当用平均值电压表法时,电压表应为 I 级或更高级别的电表¹⁾,而且应选择使引入误差可以忽略的二极管。

e) 示波器法

当用示波器法时,电压积分电路的时间常数应大于脉冲宽度或有效的回复时间常数(取其中大者)的 100 倍,相位漂移应尽量小。

为使脉冲电感因数的测量准确度小于 5%,需要对电压和电流的显示提供校准条件。

连接示波器的电缆应是低电容型的(如空气绝缘电缆)。

16.7 测量程序

16.7.1 总则

a) 被测磁心与线圈按 4.3 和 7.2 装配。

b) 对于重复脉冲测量,脉冲重复率的选择要使磁心与线圈的自身发热可以忽略。

c) 校验信号发生器,保证它满足规定的脉冲电压特性,测量线圈由一个电阻器代替,这个电阻器的阻值近似等于脉冲条件下线圈的阻抗绝对值。为了给出有关参数的定义,图 6 给出了一个夸大的变形的脉冲。

在示波器显示的脉冲上,画一条与脉冲中间的平稳电压正好重合的直线,在画一条与脉冲顶部大部分重合的直线或一条简单的指数型曲线,后一条线与实际脉冲前沿相交给出脉冲幅度 U_m 。在 U_m 的 -10% , $+10\%$, $+50\%$, $+80\%$, $+90\%$ 各点平行于时间轴画线,通过脉冲右侧 $0.9 U_m$ 和 $0.1 U_m$ 两点画一直线;若顶降接近 U_m 的 10% 时,应以 $0.8 U_m$ 代替 $0.9 U_m$ 。这条线与脉冲顶的画线的交点是脉冲顶与后沿的交界。

注:见 11.2.5 的 5)。

16.7.2 脉冲电感因数和磁化电流的测量

a) 对于无偏场测量,应采用符合 16.5 规定的测量线圈。对于有偏场测量,规定匝数的附加偏场绕组应绕在测量线圈上,而且通过一个阻抗接到直流电源上。此阻抗的数值要适当。使偏流线圈对测量线圈的电流没有明显的影响。

在进行偏场测量时,偏流线圈中的电流 I_b 调到与规定的偏场 H_b 对应的值。

$$I_b = \frac{H_b \cdot l_c}{N_b} \dots\dots\dots (32)$$

式中: l_c ——磁心的有效磁路长;

N_b ——测量线圈的偏流绕组的匝数。

注:偏流安-匝数通常参照下式:

$$I_b N_b = H_b \cdot l_c$$

b) 测量电路调到能给出规定的脉冲特性,包括脉冲宽度与回复时间。

注:线圈接入测量电路后,指数回复与线性回复的电压脉冲典型波形如图 7。

1) 见 11.2.5 的 5)。

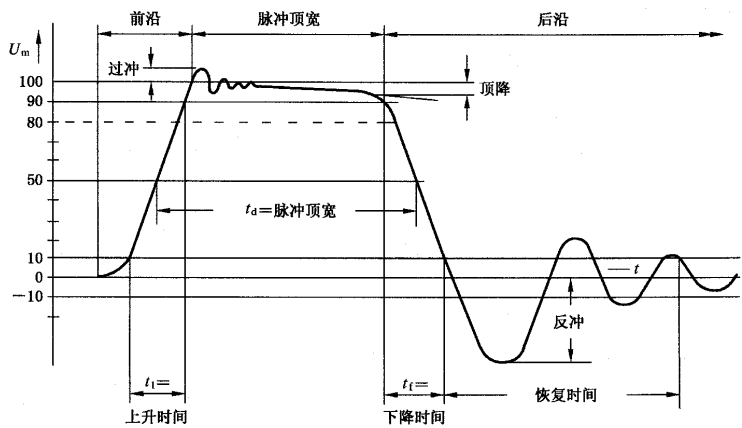


图 6 电压脉冲参数

注：为清晰地图示顶降，用 80% 和 10% 两点绘制的线来确定脉冲顶与后沿之间的分界。

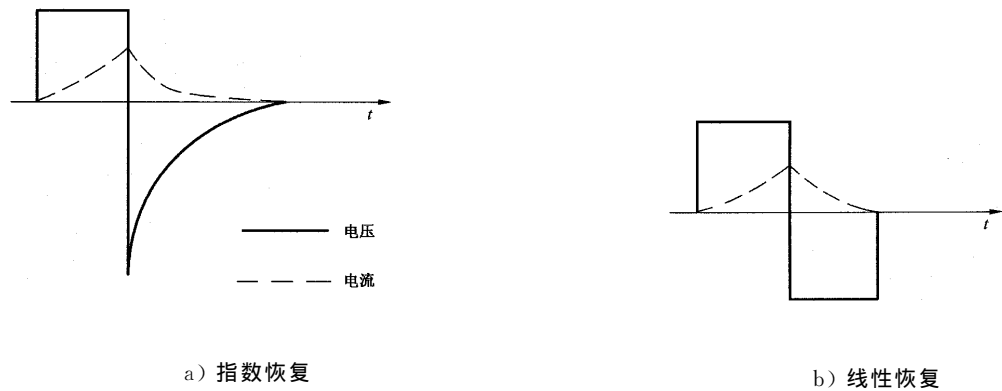


图 7 典型的测量波形

然后增大脉冲幅度，维持规定的脉冲特性，在平均值电压表上或在示波器上读出对应于规定的磁心内磁通变化量 $\Delta\phi$ 的读数表达式如下：

——对于重复脉冲测量，
$$U_{av} = N \cdot \Delta\phi \cdot f_p \dots\dots\dots (33)$$

——对于孤立脉冲测量，
$$\int u dt = N \cdot \Delta\phi \dots\dots\dots (34)$$

式中： N ——接到电压表或示波器的测量绕组的匝数；
 f_p ——脉冲重复频率。

对于重复脉冲测量，必要时要核对和调整脉冲的形状与重复频率，并记录平均值电压 U_{av} 和峰值磁化电流 $\hat{i}_m$ 。

对于孤立脉冲测量，将显示的 $\int u dt$ 对 i_m 的回线照相，若可能，要将校准电压脉冲包含在两个坐标中，将总的 $\int u dt$ 值和磁化电流的相应变化记录下来。

注：当用数字法时可获得更好的准确度。

16.7.3 磁化电流的非线性度测量

本测量方法用以确定在规定的电压-时间乘积极限值，磁化电流的非线性度不超过要求的数值。

注：非线性度的典型值为 1~1.5 之间。

重复的或孤立的电压脉冲按 16.7.2 要求加在测量线圈上。磁化电流作为时间的函数显示在示波器上，必要时可照相。改变电压脉冲直到电压-时间乘积等于规定限度值，测量在脉冲末端的磁化电流非线性度（见图 8）。

非线性度 = $\frac{i_m}{i_{lin}}$ (见 16.2.9) (35)

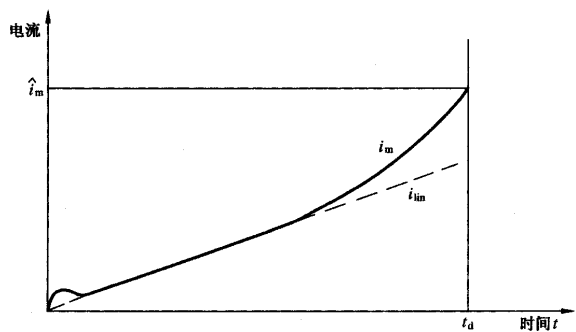


图 8 磁化电流的非线性度

16.8 计算

a) 脉冲电感因数

脉冲电感因数按以下公式之一计算：

$A_{LP} = \frac{U_{aV}}{f_p \cdot \hat{i}_m \cdot N^2}$ (36)

或

$A_{LP} = \frac{\int u dt}{\hat{i}_m \cdot N^2}$ (37)

式中： $\int u dt$ —— 测量线圈上的电压在脉冲宽度范围积分(即总的变化范围)；

U_{aV} —— 测量线圈上的平均(半波)检波电压；

f_p —— 脉冲重复频率；

$\hat{i}_m$ —— 峰值磁化电流；

N —— 接于电压表或示波器的测量线圈匝数。

b) 磁化电流的非线性度

对按 16.7.3 方法记录下来的磁化电流与时间的关系曲线,将其线性部分外推。图 8 中标注 i_m 的曲线,表示原曲线,而标注 i_{lin} 的线表示外推的线性部分。

磁化电流的非线性度定义为 $\frac{i_m}{i_{lin}}$,在 t_d 时刻的测量结果,不应超过对应于规定的电压-时间乘积极限的规定值,对 16.7.3 所述的测量条件,此电压时间乘积极限由式(38)给出：

$(U \cdot t)_{lim} = U_m \cdot t_d$ (38)

c) 电压-时间乘积极限点的脉冲电感因数

对应于电压-时间乘积极限的规定值的脉冲电感因数由式(39)计算：

$A_{LP} = \frac{(U \cdot t)_{lim}}{\hat{i}_m \cdot N^2} = \frac{U_m \cdot t_d}{\hat{i}_m \cdot N^2}$ (39)

这里一些符号的意义在上面已给出, i_m 和 U_m 对应于 16.7.3 的规定。

17 (有效)振幅磁导率

17.1 目的

规定受对称交变波(例如正弦波)激励时磁心(有效)振幅磁导率的测量方法,激励波的振幅应限制在磁导率与场强有关的范围内。另外也可以在规定峰值场强下测量峰值磁通密度。

注：因为在一般情况下，磁心断面是不均匀的，而且一般线圈也是不均匀的，故测量结果将不是材料的振幅磁导率，而是适合于特定振幅的有效磁导率，即（有效）振幅磁导率。

17.2 测量原理

磁心内的磁场强度与磁通密度分别由与磁心线圈串联的电阻两端的峰值电压和线圈两端每半周期的平均值电压所决定。测量工作是在规定的频率、磁通密度或场强度下进行。

17.3 样品

用来测量的磁心应采用正常生产的产品，并形成完整磁路。若整个磁心包括一个以上零件，例如 EC 磁心，磁路中唯一的气隙只能是由接触面形成的剩余气隙。

17.4 测量线圈

1) 线圈匝数应按有关测量条件、使用仪器以及测量准确度而定。在测量频率下，线圈的电阻和固有电容应尽量低，以使误差可以忽略。测量线圈应按规定尽量紧贴磁心，并均匀地沿着磁心零件或组件缠绕，线圈排列通常接近于磁心的应用情况。对于环形磁心，线圈应沿圆周均匀分布。

2) 若线圈电阻不能做得足够小，因而外加电压不能以满意的不确定度近似等于电动势时，则应采用分电流绕组与电压绕组的双绕组线圈。电压绕组的电阻应远远小于仪表的阻抗，线圈的固有电容应小到它引起的误差可以忽略。电压绕组应尽量紧贴磁心，而电流绕组应完全覆盖电压绕组。

注

- 1 若线圈绕在磁心的锐利棱角上，要注意保证导线的绝缘层不受损坏。
- 2 使用双绕组时，两绕组间最好有一层静电屏蔽。

17.5 测量仪器

凡适用的仪器均可采用。附录 N(标准的附录)中给出适用的电路举例。

对测量(电流)线圈的电流和电压波形一般不严格要求。假如要求电压波形维持近似正弦波，那么发生器阻抗与测量电阻应小于线圈阻抗。在另一种极端情况下，即高电源阻抗或高测量电阻则易于获得近似的正弦电流。选择哪种情况，主要取决于测量频率。低频有利于用高阻抗及(或)高电阻。

应满足以下要求：

- 1) 在测量时间内，交流信号发生器电压幅度的变化不应超过 0.2%，频率变化不应超过 0.2%。
- 2) 测量电阻器的误差不得超过 0.5%。
- 3) 两个电压表都应为 1 级高阻抗交流电压表，以便对电路的影响可以忽略。

测量电阻器两端的峰值电压应由以下的一种仪表来测定：

- a) 峰值响应交流电压表。
- b) 有效值读数或平均值读数电压表，用适当的倍乘系统。这种情况应使测量电阻上电压的谐波含量小于 1%。

测量线圈(在双绕组情况下的电压绕组)两端的平均值电压应使用平均值响应的电压表测量。

注：关于“1 级电压表”的含义见 GB/T 7676.2(idt IEC 60051-2)。

- 4) 应准备控温环境，使磁心能保持在规定的温度下测量。

17.6 测量程序

- 1) 磁心与线圈或线圈组按 4.3 和 7.2 装配。

2) 磁心的温度规定后，应按 17.5 的 4) 规定将磁心置于控温环境中。测量工作应尽快进行，以保证磁心与线圈的自身发热可以忽略。

3) 交流信号发生器调到规定的频率，并借适应的电压表指示，再调到磁心要求的峰值磁通密度 $\hat{B}$ 或峰值磁场强度 $\hat{H}$ 。按式(40)、式(41)计算：

$$\hat{u} = R I_e \hat{H} / N_1 \quad \dots\dots\dots (40)$$

或

$$U_{av} = 4 f N_2 A \hat{B} \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中： $\hat{u}$ ——串联的电阻器两端峰值电压；

U_{av} ——测量线圈两端的平均值电压(每半周);

R ——串联的电阻阻值;

f ——测量频率;

N_1 ——电流线圈匝数;

N_2 ——电压线圈匝数;

(若采用单线圈时, $N_1 = N_2 = N$ 为单线圈匝数)

A ——按规范要求的磁心有效截面积 A_c 或最小截面积 A_{min} 的标称值;

用来计算 A_{min} 的全部尺寸, 应是零件图上尺寸的上下限的平均值。

l_e ——有效磁路长度。

4) 两电压表调到恰当的数值后立即读数, 以便磁心与线圈的自身发热可以忽略。

5) 若规范只要求在规定的峰值场下测量峰值磁通密度, 则只需把串联电阻上的峰值电压调到适当的值, 并在平均值电压表上读出指示电压, 据此可推算 B 。

17.7 计算

有效振幅磁导率按式(42)计算:

$$(\mu_a)_e = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \hat{H}} = \frac{R \cdot l_e}{4\mu_0 f N_1 N_2 A} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{u}} \dots\dots\dots (42)$$

式中: U_{av} ——平均值电压表读数;

$\hat{u}$ ——峰值电压表读数;

其余符号按 17.6 的 3) 解释。

附录 A
(标准的附录)

利用电容器放电的磁正常[状态]化装置

A1 原理

一个电容器充电到预定的电压,然后通过一个与要进行磁正常[状态]化的磁心试验绕组串联的电感放电。电容器、电感器和磁心绕组以及在放电电路中的其他元件,如继电器的触点和布线,确定了振荡放电电流,这个流经磁心绕组的电流,使磁心受到一个可重现的磁扰动,从而消去磁心原有的磁经历。

A2 主要特性

下列数据为试验绕组端点短路时完全放电电路的数据:

- 时间常数 $\tau < 0.25 \text{ s}$
- 放电电流频率 $f < 150 \text{ Hz}$
- 时间常数期间的周期数 $\tau f > 4^{1)}$
- 调至最大位置时电容器两端的峰值电压 $\geq 200 \text{ V}$
- 调至最大位置时最高峰值放电电流 $\geq 3 \text{ A}$
- 磁心绕组的电感量和电阻值应该使放电电路的特征仍保持在上述规定的范围内。

A3 设计建议

根据本附录 A2 规定,下列元件应具备如下参数:

- 放电电感约 70 mH ;
- 放电电容约 $25 \text{ }\mu\text{F}$ 。

放电电感在最大峰值放电电流 3 A 时应不被饱和,而电容器应提供这个电流。放电电路的控制继电器必须具备低而稳定的触点电阻,例如,水银继电器。

为了获得可重复的结果,电容器必须由一个精密稳压直流电源来充电。对于本装置进行磁正常[状态]化的试验绕组应该这样设计,使要磁正常[状态]化的磁心上试验绕组的电感量不超过 5 mH ,其电阻不超过 $0.5 \text{ }\Omega$ 。

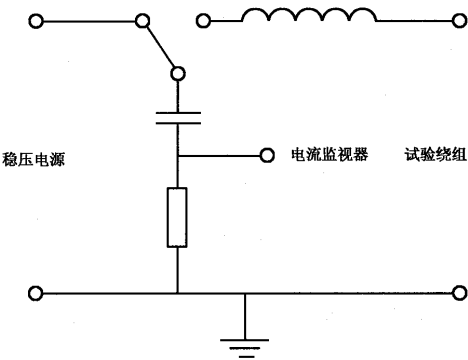


图 A1

1) 这相当于一个放电电流的峰值与后一个相同方向峰值的最大比率为 1.28。

应备有一个测量端用以监视通过磁心绕组的放电电流。因监视而在放电电路中引入的串联电阻应尽可能小,如 $0.1\ \Omega$ 。

该装置可以被间接控制,如用一个计时装置。

附 录 B
(标准的附录)

用于磁正常[状态]化的功率放大器

B1 原理

一个正弦波发生器将输入信号供给功率放大器并用一个合适的增益控制电路对放大器输出的幅度在一段时间内整形,以便为进行磁正常[状态]化的磁心试验绕组提供一个电流,使该电流具有所需要的频率和预定的峰值幅度变化。

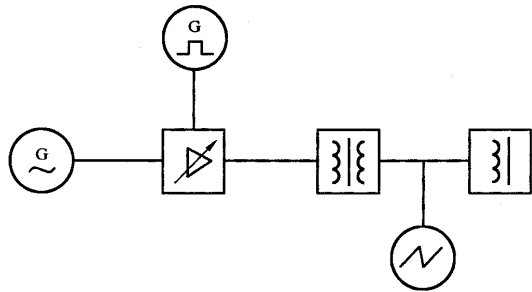


图 B1

B2 主要特性

下列数据系指放大器接入标准负载电阻时而言:

- 输出电流频率: $f < 150\ \text{Hz}$
 - 起始输出功率: $P \geq 20\ \text{W}$
 - 输出电流脉冲特性: 线性的或指数的
 - 对线性特性而言:
 - 最大和最小输出之间的周期数: $\eta \geq 50$
 - 对于指数特性而言:
 - 时间常数: $\tau < 0.25\ \text{s}$
 - 时间常数期间的周期数: $\tau f > 4^{1)}$
 - 在 $20\ \text{W}$ 时的失真: $< 3\%$
 - 最大交流声电压:
 - 最大噪声电压:
 - 最小增益时的最大输出电压:
- 这些电压的组合可以在要进行磁正常[状态]化磁芯中产生 $0.1\ \text{mT}$ 的峰值磁通密度

功率放大器和试验磁心应以这种方式耦合,使得能够把磁心驱动到饱和状态并能在试验线圈中保持所需要的电流包络线。

1) 这相当于一个输出电流的峰值对后一个相同方向峰值的最大比率为 1.28,与附录 A 相一致。

B3 推荐的装置

下面是一个实际试验装置的例子,这个装置将在 B2 条的范围内工作。

B3.1 正弦波发生器

频率范围的下限应不高于 100 Hz,它应有足够的输出以驱动放大器达到 20 W 的输出,这时发生器的输出失真不应超过 1%。

发生器应适用于不平衡工作状态。

B3.2 功率放大器

频率特性低端 3 dB 的点应等于或低于 70 Hz,高端 3 dB 的点应等于或高于 2 000 Hz。当终端接入标准负载电阻并由一个正弦波输入激励时,输出 20 W 的失真应不超过 2%。

输出阻抗应是低阻抗(例如 16 Ω)。

B3.3 匹配变压器

额定功率不应低于 20 VA,对于输出阻抗为 16 Ω 的放大器,可用一个开关来选择阻抗比,推荐下列阻抗比:

16 : 1	16 : 6	16 : 20	16 : 60
16 : 3	16 : 10	16 : 35	16 : 100

当两边正确端接并用正弦波输入时,20 W 输出的失真不应超过 1%。

B3.4 增益控制

这应符合本标准 6.3 项目 1) a)或 b)的要求(也可参见 B2)。

放大器的增益-时间特性可以通过机械方法如用电位器或通过一个电子电路来获得。后者可利用一个电压脉冲,例如用电容器或者通过一个电阻器或者通过能以光或其他激励源的闪烁来显示特性变化的半导体器件放电发生的电压脉冲。

增益控制可以用一个计时装置来间接控制。

附 录 C
(标准的附录)

用于交变场方法进行磁正常[状态]化的装置

绕组的匝数,通过绕组的电流大小和空气隙的尺寸应这样选择,使在空气隙内能获得约为 25 kA/m 的场强。频率一般是工频。

附 录 D
(标准的附录)

用于磁正常[状态]化的加热法

D1 要进行磁正常[状态]化的磁心应放入一个控温箱中,以不超过 2℃/min 的速率加热到约高于居里点 25℃的温度。磁心在该温度下保温 30 min~50 min。

注:当居里点未知时,加热期间应监视电感量,或用另一个单独试验来确定居里点。

D2 使磁心以不超过 5℃/min 的速率,在不少于 1.5 h、不多于 2.5 h 里冷却到测量温度。建议在到达基准时间之前最后 10 min 时,冷却速率应控制在 3℃~5℃之间。

D3 当磁心已经冷却到测量温度时,它可放进一个绝热的恒温箱中,并保持到测量开始。在转移时,应注意避免在材料中产生机械应力。

D4 使用此方法之前,应核实热循环的结果,磁心的材料通过热循环应不可逆变化(例如在具有蜂腰回

线材料中可产生不可逆变化)以及导线的绝缘和安装件不出现显著的副作用。

在整个过程中,磁心应防止磁性干扰。

附 录 E
(标准的附录)

用于新近发展的各类磁心的电感测量线圈的设计指南

E1 目的

给出用于新近发展起来的通信用变压器和电感器的各类铁氧体磁心的电感测量线圈的通用设计原理。此原理将使发展这些新型磁心的制造者能确定相应的电感测量线圈,而这种线圈通常是可接受的,并且能够得到电感因数的重复值。

注:这些原理还给设计者留有斟酌的余地,但希望磁心的最初设计者提出的测量线圈的尺寸与本指南相符,并且这些尺寸应可作为标准。

E2 电感测量线圈的设计指南

F2.1 绕在两凸缘间轴上的线圈应按机械上的自支撑缠绕,推荐用蜂房绕法,而且所用的导线应该符合 GB/T 6109.9(neq IEC 60317-2)。

注:为了减小直径的公差,有时可能需要从备料中选择一批特殊的导线。

E2.2 磁心测量线圈的几何尺寸应与采用该磁心的正常生产的电感器和变压器所使用的线圈组的几何尺寸相一致。也就是说它们的横截面必须类似,同时注意正规线圈骨架凸缘厚度和间距应适合于特殊设计的磁心。

E2.3 按 E2.2 选取的轴径公差为 -0.01 mm ,其绕组内径 d_{ei} 公差没有进一步要求。

E2.4 设计的匝数应约 100 匝,并且所有层应满绕以保证匀称。

E2.5 由每层的匝数和所选导线的最大直径可以导出绕组宽度的最大值 h ,并且应与 E2.2 符合。标称绕组宽度应由计算的最大值导出,其公差不应超过 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

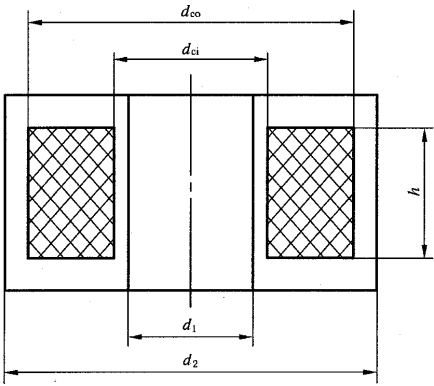


图 E1

E2.6 绕组外径 d_{co} 的最大值由轴径、层数、所选导线的最大直径及对蜂房绕组不可避免的椭圆度来确定,此椭圆度等于一个蜂房绕组导线的 0.14 倍。

d_{co} 的最大值不能超过磁心设计的最小绕组腔直径减去 1.1 mm,如果可能的话,其外径应近似于满铜绕组的 80%。

$$d_{\text{co}} \leq d_2 - 1.1 \text{ mm}$$

进而：

$$d_{\text{co}} \approx d_3 + 0.8(d_2 - d_3) = 0.8d_2 + 0.2d_3$$

式中： d_{co} ——铜线绕组的外径；

d_2 ——磁心内腔的最小直径；

d_3 ——磁心的中心柱最大直径。

铜导线绕组外径由此计算值导出，在忽略线圈的椭圆度时，它的公差不超过：

对于小磁心为 $\pm 0.1 \text{ mm}$ ；

对于最大磁心为 $\pm 0.3 \text{ mm}$ 。

E3 计算举例

RM6 测量线圈的设计，根据可适用的线圈骨架可确定以下尺寸：

心轴直径 $=7.3^{+0.01}_0 \text{ mm}$

最大许可绕组宽度 $=7.1 \text{ mm}$

磁心的直径：

内腔最小直径 $d_2=12.4 \text{ mm}$

中心柱最大直径 $d_3=6.4 \text{ mm}$

铜线绕组外径 d_{co} 由下式导出：

最大： $12.4-1.1=11.3 \text{ mm}$

80%满绕： $0.8 \times 12.4 + 0.2 \times 6.4 = 11.2 \text{ mm}$

现在可选择不同的导线直径来完成设计，并根据其结果，选择一种最合适的线径。下面将对最合适的线径给出蜂房绕组的计算为：

导线直径选 0.315 mm ；最大外径 0.357 mm ，每层匝数 $7.1/0.357 = \text{接近 } 20$ ，取合理值应为 19 ，并且蜂房绕组的实际宽度 $19.5 \times 0.357 = 9.96 \text{ mm}$ （最大值），该绕组宽度确定为 $7^{+0}_{-0.1} \text{ mm}$ 。

铜线绕组最大外径 d_{co} （包括椭圆度） $=7.3 + 0.357[2.14 + (n-1)\sqrt{3}]$ 在层数 N 为 6 的情况下， $d_{\text{co}}=11.16 \text{ mm}$ （最大值）。其铜线绕组外径确定在 $(11.1 \pm 0.1) \text{ mm}$ 。

匝数 $N=6 \times 19 - 1 = 113$ 。

附 录 F
（标准的附录）

表示温度关系的几种方法

F1 原理

有几个参数可用来描述电感量或磁导率与温度的依赖关系，磁心参数的选择因材料的不同而不同。对于一个给定的参数，有三种规定温度关系的方法，按以下定义顺序依次说明：

- I) 平均温度关系（见 F3.1）；
- II) 温度关系的绝对极限（见 F3.2）；
- III) 斜率极限（见 F3.3）。

F2 参数

对于某一磁心，参数应定义为：

$$P = \frac{L_{\theta} - L_{\text{ref}}}{L_{\text{ref}}} \text{ 或 } P = \frac{A_{\text{L},\theta} - A_{\text{L,ref}}}{A_{\text{L,ref}}}$$

式中： $L_{\theta}[A_{\text{L},\theta}]$ ——在任意温度 θ 测得的自感量[比电感量]；

$L_{\text{ref}}[A_{\text{L,ref}}]$ ——在基准温度 θ_{ref} 测得的自感量[比电感量]。

在给出的 P 对 θ 的函数曲线上，切线或弦的斜率表示磁心电感量的温度系数。

对于某一材料，参数应定义为：

$$P = \frac{\mu_{\theta} - \mu_{\text{ref}}}{\mu_{\theta}\mu_{\text{ref}}} = - \left(\frac{1}{\mu_{\theta}} - \frac{1}{\mu_{\text{ref}}} \right)$$

式中： μ_{θ} ——在任一温度 θ 测得的相对磁导率（例如起始磁导率）；

μ_{ref} ——在基准温度 θ_{ref} 下测得的相对磁导率。

在给出的 P 对 θ 函数曲线上，其切线或弦的斜率表示材料磁导率的温度因数，如 F6.3 条方程(F8)中所定义的。

F3 表示方法

F3.1 平均温度关系

这个方法中将基准温度 θ_{ref} 和在一个指定温度 θ_1 时的参数极限值固定，不考虑这些温度之间的性能。这个方法沿用了通常的习惯，它适用于温度关系不需要严格定义的地方。

对 $\frac{P_1}{\theta_1 - \theta_{\text{ref}}}$ 规定一个上限 μ 和一个下限 l 。

式中： P_1 是对应于 $\theta_1 - \theta_{\text{ref}}$ 的参数值。

这个说明可以由图 F1 上三个点图解来表示：

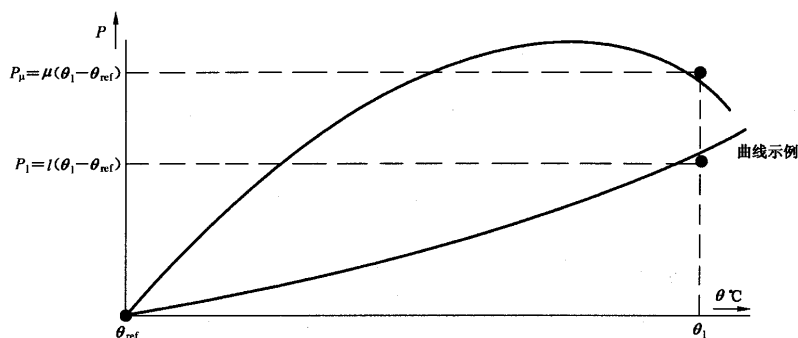


图 F1

注：这个说明可由带公差的标准值、基准温度和极限温度来表示。

例如，在材料的情况下；

在 $25^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 之间平均温度因数 $(1 \pm 0.5) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；

在磁心情况下；

在 $25^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 之间平均温度系数 $(100 \pm 50) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

F3.2 温度关系的绝对极限

除上述对平均温度关系规定的上下极限外，本条又对在基准温度和极限温度之间的整个范围内的参数规定了一些限度。这给出一个更好的温度关系的定义。

除 F3.1 的极限，即 $\frac{P_1}{\theta_1 - \theta_{\text{ref}}}$ 的上限 μ 和下限 l 外，在 θ_{ref} 至 θ 的整个温度范围， P 应在固定偏差 $P_{\mu} - P_1$ 范围内随 θ 线性变化。

数学表示式为：

$$P = \left(\frac{\mu + l}{2}\right) (\theta_1 - \theta_{\text{ref}}) \pm \left(\frac{\mu - l}{2}\right) (\theta_1 - \theta_{\text{ref}})$$

也可由一个点(基准温度下)和一个平行四边形以图解形式表示如下：

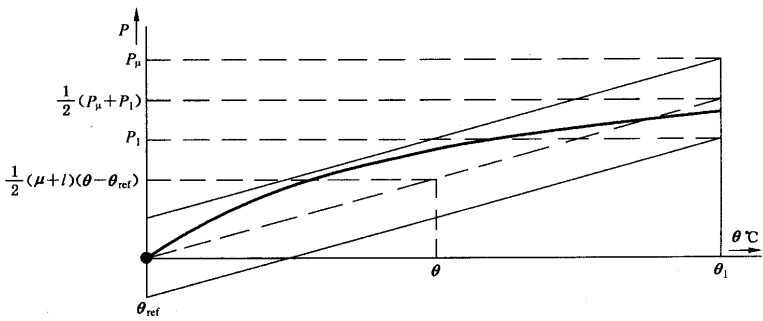


图 F2

注：这个说明可以由温度范围内带公差的标称值表示，例如：对某一材料，在温度范围 25℃~70℃，温度因数的绝对极限 $(1 \pm 0.5) \times 10^{-6}/\text{℃}$ 。

对某一磁心，温度范围 25℃~70℃，温度系数的绝对极限 $(100 \pm 50) \times 10^{-6}/\text{℃}$ 。

这个标称值等于 $\frac{\mu + l}{2}$ ，并对应于上图的平行四边形的中心虚线。公差为 $\pm \frac{\mu - l}{2}$ 。

在某些场合，例如当温度延伸到基准温度的两边时，为了获得较小的公差范围，可采用非对称公差。

例如：温度范围 5℃~70℃温度因数的绝对极限在 $(1.2^{+0.3}_{-0.6}) \times 10^{-6}/\text{℃}$ 范围内。在那种情况，标称值被作为平行四边形结构的基线，而平行四边形对于基准点也不对称。

F3.3 斜率极限

除按 F3.2 对 P 规定的绝对极限外，在 θ_{ref} 至 θ_1 之间测到的 P- θ 曲线任何一点的斜率也需要加以限制(例如，要求曲线不变号)。它可进一步描述给定的曲线的形状，例如，曲线凹向上(或者向下)。

F4 温度范围的再分割

上述规定也可用于延伸至基准温度两边的温度范围，在图解表示法中，第一种方法归结为 5 个点，一个点在基准温度上，每一个极限温度都有一对相应的点，而每一对相应点都可按 F3.1 的方法进行计算。

然而，总的温度范围可在基准温度处再分割，对于每个部分再分成规定的范围，以得到更窄的偏差范围。

例如：一个磁心的特性由四个平行四边形表征，形成一个内区和外区。如图 F3 所示：

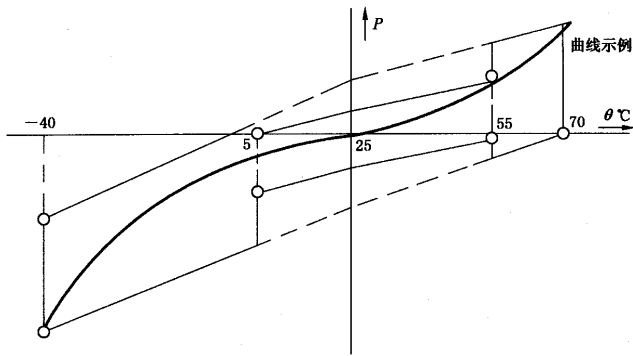


图 F3

F5 标准温度

优选的基准温度是 25℃。

优选的极限温度是：-40℃，-25℃，+5℃，+55℃，+70℃。

F6 说明

F6.1 用来表示材料磁导率温度关系的参数

$$P = \frac{\mu_\theta - \mu_{\text{ref}}}{\mu_\theta \mu_{\text{ref}}} = - \Delta \left(\frac{1}{\mu_r} \right) \text{ 的选择, 考虑到两点;}$$

I) 这个参数的形式适于表示调谐回路中性电容器温度系数的补偿(见 F6.2);

II) 当在一个气隙最小的磁心上用一轴向绕组测出这个参数后,就能用它来对开了气隙从而具有一定有效磁导率的磁心在同样温度范围内从理论上正确计算其温度系数(见 F6.3)。

F6.2 在一个调谐回路中, LC 乘积必须随温度保持不变。从而, C 随温度线性变化时,对磁心的要求是其电感量的倒数也必须线性变化。

一个线圈电感量的倒数是正比于磁心的有效磁阻率(有效磁导率的倒数),在一个精心设计的线圈中,这是唯一将随温度作可知变化的参数。所以,要求磁阻率的温度系数 α_v 在所考虑的温度范围上是一个常数:

$$\alpha_v = \frac{\mu_{\text{eref}} \Delta(1/\mu_e)}{\Delta\theta} \dots\dots\dots (\text{F1})$$

式中: μ_{eref} 是基准温度下的磁心有效磁导率。

在一个开气隙磁路中产生的有效磁导率 μ_e ,是由材料相对磁导率 μ_r 而来的:

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{1}{\mu_r} + \delta \dots\dots\dots (\text{F2})$$

式中: δ 是基于有效横截面积的空气隙长度与材料内部磁路长度之比(SJ/T 10281)。

在多数情形下, $(1+\delta)$ 接近于 1,所以近似地得到:

$$\Delta \left(\frac{1}{\mu_e} \right) = \Delta \left(\frac{1}{\mu_r} \right) = -P \dots\dots\dots (\text{F3})$$

所以

$$\alpha_v = \mu_{\text{eref}} \frac{\Delta \left(\frac{1}{\mu_r} \right)}{\Delta\theta} = - \mu_{\text{eref}} \frac{P}{\Delta\theta} \dots\dots\dots (\text{F4})$$

这就归结为,当要求 α_v 与温度无关时,参数 P 必须随温度线性变化。

F6.3 磁心有效磁导率的温度系数

$$\alpha_{\mu_e} = \frac{\Delta\mu_e}{\mu_{\text{eref}} \Delta\theta} \dots\dots\dots (\text{F5})$$

由本式及方程(F1),可简化表示为:

$$\alpha_{\mu_e} = \frac{\alpha_v}{1 + \alpha_v \Delta\theta} \dots\dots\dots (\text{F6})$$

与(F4)结合,得:

$$\alpha_\mu = \frac{P \mu_{\text{eref}}}{\Delta\theta(I - P \mu_{\text{eref}})} \dots\dots\dots (\text{F7})$$

这表示 P 也是计算磁心有效磁导率温度系数的校正参数。

当材料磁导率的温度因数定义为:

$$\alpha_F = \frac{\Delta\left(\frac{1}{\mu_r}\right)}{\Delta\theta} = \frac{P}{\Delta\theta}$$

.....(F8)

方程(F7)可以写作：

$$\alpha_{pe} = \frac{\alpha_F \mu_{ref}}{1 - \alpha_F \mu_{ref} \Delta\theta}$$

.....(F9)

注

1 当在整个温度范围内认为 $\frac{\Delta L}{L}$ 是很小的时候(这是调谐回路通常的情况),公式(F9)分母接近于 1,方程简化为：

$$\alpha_{pe} = \alpha_F \mu_{ref} = - \alpha_v$$

2 下列的磁导率温度因数的定义也被采用：

$$\alpha'_F = \frac{\Delta \mu_r}{\mu_{ref}^2 \Delta\theta}$$

因为不能推导出这个因数与磁导率或磁阻率温度系数之间关系的精确公式,且此近似值比本附录中(F8)式定义的温度因数准确度大,所以不赞成采用此定义。

附 录 G

(标准的附录)

损耗测量定标的阻尼振荡法

G1 原理

将被测电感器 L_x 与一个高品质电容器 C 并联,使两者并联的谐振频率实质上等于测量的频率。这电路由脉冲激励,产生的阻尼振荡在经校准的示波器上观察。在已知的时间间隔的始末测量该电压幅度,品质因数由这些测量得出。

通常只有总品质因数可以用这种方法测量。
可以采用不同的测量方法,其中之一作为一例子示于图 G1 中并说明如下。

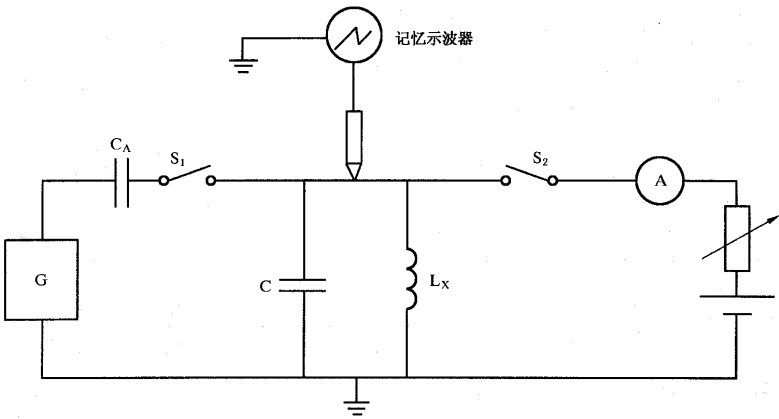


图 G1

G2 本方法的准确度

只要探头电阻及电容损耗的校正量比较小,就能够得到小于 2%的准确度。

G3 测量电路细则

耦合电容 C_A 同谐振电容 C 比较,必须很小才行,由此振荡器的阻抗对谐振电路的影响可以忽略不计。探头的阻抗必须很高,否则其阻抗应已知,并按如下说明进行定标:

当开关 S_2 断开,而示波器工作于非存储状态时,接通开关 S_1 ,通过观察示波器上最大幅度指示来把振荡器的频率调至谐振频率。电感器两端的电压应该近似的符合规定的磁通密度。

假如振荡频率不够接近规定的测量频率,此时必须调节电容 C 。当谐振频率足够趋近于测量频率时,断开开关 S_1 ,然后再断开振荡器。

随后接通开关 S_2 ,并把直流电流调至与规定的磁通密度相当的数值。小心不使过大的电流通过电感器,这时示波器拨到存储状态并断开 S_2 。

随之发生的阻尼振荡被记录在示波器上。如果记录图像不适合于测量,必须调整示波器的垂直灵敏度及扫描范围,并且按前述步骤重复进行,直到记录图像的包络出现如图 G2(高品质因数)或图 G3(低品质因数)所示为止。

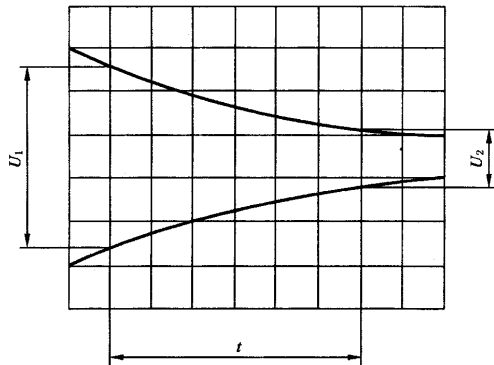


图 G2

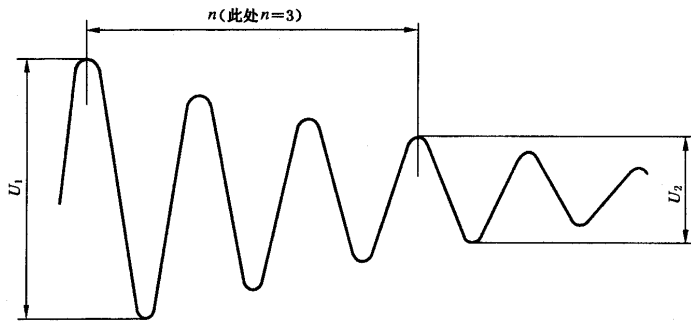


图 G3

G4 计算

高品质因数(见图 G2):测量电压 U_1 和 U_2 (或与其成比例的量)以及时间间隔 t :

$$Q_i = \frac{\omega t}{2 \ln \frac{U_1}{U_2}}$$

低品质因数(见图 G3),测量电压 U_1 和 U_2 (或与其成比例的量)以及周期数 n :

$$Q_i = \frac{\pi n}{\ln \frac{U_1}{U_2}}$$

式中: Q_i ——谐振电路未校正的品质因数。

如果探头的并联电阻不是大到足以忽略不计,按下式给予校正:

$$Q_{LC} = \frac{RQ}{R - Q\omega L}$$

式中: Q_{LC} ——谐振电路的已校正的品质因数;

R ——探头的并联电阻;

L ——待测电感器的并联电感。

对于电容器损耗的校正:

$$Q_L = \frac{Q_{LC} \cdot Q_C}{Q_C - Q_{LC}}$$

式中: Q_L ——待测电感器的总品质因数;

Q_C ——电容器的品质因数。

G5 另外的测量技术

例如:

- ① 可以用一个触发示波器和照像机代替存储示波器(见图 G1)。
- ② 可以用通用的重复时基示波器,在此情况下,激发电路必须加脉冲于谐振电路,也应与时基同步;然而必须注意,激发电路不能加载于谐振电路,因此可以用低电容耦合,它可通过在谐振电路附近的一天线来形成。保证扫描像稳定地重复也是重要的。
- ③ 另一种方法是用一个电压敏感电路装置代替示波器,用它来计算和显示在初置电压 U_1 和 U_2 之间的周期数,如果 U_1 对 U_2 之比等于 23.1 的话,其指示的周期数等于 Q_i 。

附 录 H

(标准的附录)

损耗测量定标的传输法

H1 原理

被测电感器与一个高品质电容器组合形成一个在测量频率上谐振的 L_C 电路。通过测量传输路径(包括谐振电路在内)的衰减量来测量谐振时的有效电阻。由此电阻和在相同条件下测得的电感器的电抗来计算其品质因数,这时应考虑由电路元件产生的损耗。

注: 如果愿意的话,也可以采用电感和电容并联电路,但是这时电路元件特性需适当改变。

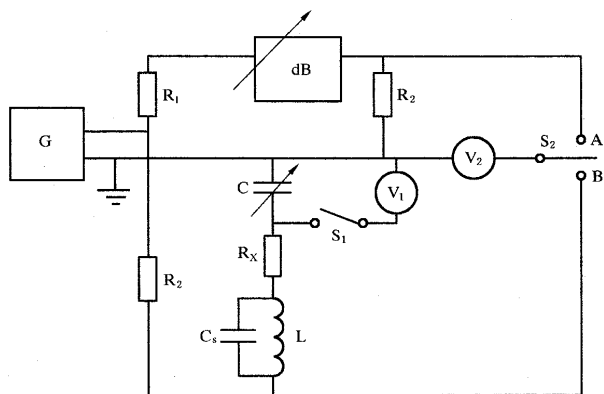


图 H1

H2 电路

振荡器 G 的频率和电压是可变的。电阻器电阻 R_1 等于衰减器的特性电阻,电阻 R_2 近似于谐振电路的有效串联电阻(R_X)的两倍(R_X 应预先估计)或为 $5\ \Omega$,选其大者。

衰减器应具有足够小的准确度,能分辨 $0.1\ \text{dB}$ 。此种方法的准确度主要取决于衰减器的准确度。

电压表 V_2 是一个高阻电压表。

电压表 V_1 是一个选频电平表,其输入阻抗远大于 R_1 和 R_2 。

H3 测量顺序

接通开关 S_1 ,以电压表 V_1 的最大偏转为指示,把振荡器的频率调谐至 LC 电路的谐振频率。如果该频率不在规定范围内,则应该重新调节电容器的电容 C 。

振荡器的电压应该按 11.4 的要求进行调节,必要时重调频率至谐振,然后断开开关 S_1 。

把开关 S_2 放在位置 B,调节检波器 V_2 为最大偏转,然后再重调电容 C ,使 V_2 为最小偏转(补偿 S_1 开路),调节衰减器直到开关 S_2 的两个位置上电平表指示都相同为止。记录衰减器的位置 $a(\text{dB})$ 。

H4 计算

$$Q_{LC} = \frac{\omega L}{R_X} = \frac{\omega L}{R_2} (2 \cdot 10^{d/20} - 1)$$

式中: Q_{LC} ——LC 电路的品质因数;

L ——待测电感器的串联电感(参看 7.3);

R_X ——LC 电路的等效串联电阻。

考虑到电容器损耗和电感器的固有电容,按下式修正:

$$Q_L = \frac{Q_{LC} \cdot Q_C}{Q_C - Q_{LC}} \left(1 + \frac{2C_S}{C} \right)$$

式中: Q_L ——待测电感已校正的品质因数;

Q_C ——电容器的品质因数;

C_S ——待测电感器的固有电容;

C ——谐振电容器的电容。

附录 J
(标准的附录)
测量磁心总损耗的电路实例

J1 乘积电压表法

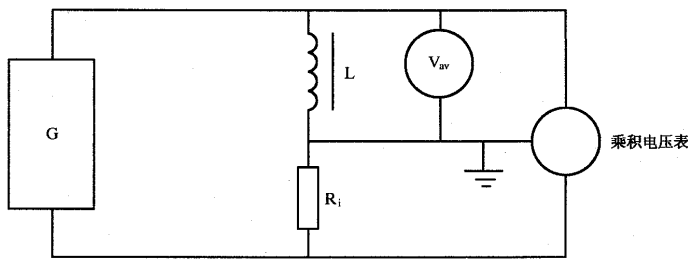


图 J1

最好由乘积电压表的公共端使电路接地。

J2 电桥法

这是一个适用的电桥实例,用下列所列的数值,在中心频率约为 20 kHz 的一个频带范围,测量线圈两端有 30 V 有效值电压时,能测量磁心总损耗约达 30 W。发生器在适当的频率范围应能提供足够的功率(即至少为待测元件要求功率的两倍)。

带通滤波器应调到在测量器件发生器调到的频率,它在所有谐波频率下的衰减必须不小于 40 dB。

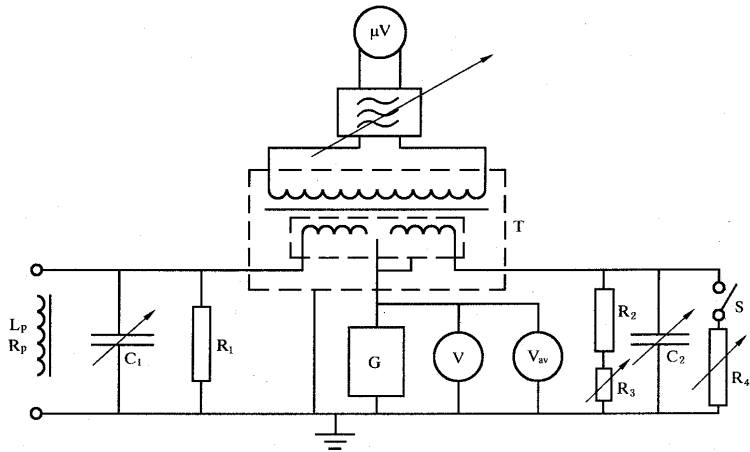


图 J2

L_p } 在测量条件下测量线圈的并联电感与并联电阻。
 R_p }

C_1 ——100 pF~1 μ F 的四位十进电容器,并联一个 100 pF 空气可变电容器。

C_2 ——100 pF 空气可变电容器。

R_1 ——50 k Ω 高稳定性固定电阻器。

R_2 ——47 k Ω 高稳定性固定电阻器。

R_3 ——50 k Ω 高稳定性电位器。

R_4 ——0.1 k Ω ~1 k Ω 四位十进电阻器,对其额定功率的要求是:在电阻高于 30 Ω 时,都可以在 30 V 工作。

T——电感性比例臂变压器。例如

——铁氧体磁心:高磁导率磁心,大约有 18.5 mm 可利用的绕组宽度,例如 RM14.42 $\times$ 29 罐形磁心或适当的 E 型磁心对。

——初级绕组:铜线直径 0.63 mm,一级绝缘,两股并绕两层,2 $\times$ 26 匝,两绕组串联正接。

——次级绕组:铜线直径 0.28 mm,一级绝缘,绕 542 匝。

——屏蔽:两股并绕的绕组,其内外应用铜箔封闭屏蔽。该屏蔽应连接到初级绕组的中点。整个变压器应封装在一个外屏蔽壳里,外壳接到电桥地端。

图 J2 按上述要求构成的变压器 T,总的初级电感应不小于 18 mH,至少在 5 kHz~50 kHz 整个频率范围(如果可能为 1 kHz~200 kHz)有足够的灵敏度,必须能传递 1 A 的桥臂电流,初级绕组中点与电桥各端之间连接的任何阻抗(例如杂散电容),不影响电桥平衡。

在装配好的线圈接入电路之前,电容 C_1 置于它的最小值,断开开关 S,电桥借助于 $R_3 \cdot C_2$ 调至平衡,必须时,可在电桥两边的任一边附加电容或电阻以获得平衡。

测量线圈接到电桥的相应端之后,接通开关 S,只用 C_1 和 R_1 使电桥最后平衡,由此 $R_4 = R_p$ 。

J3 示波器法

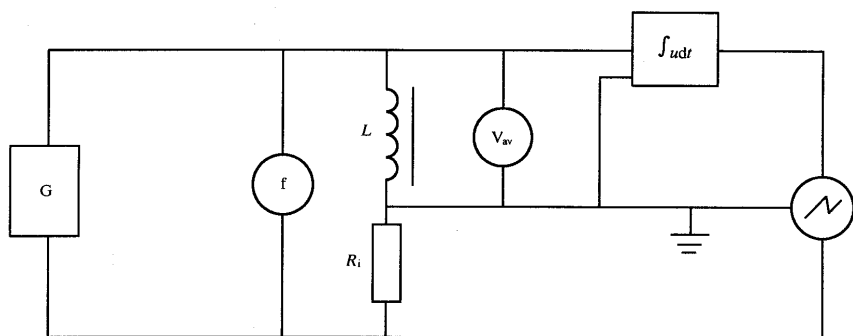


图 J3

发生器应满足 11.2.5 的 1) 规定的关于正弦电流和电压的要求,对于有偏场或无偏场的矩形电压脉冲,发生器应满足 16.6 要求。

为了从每周能量算出功率,用频率计测量频率。电压积分电路的时间常数应超过脉冲宽度 100 倍。

J4 有效值法

对于正弦电压或电流,振荡器 G 应满足 11.2.5 的 1) 中规定的要求,对于有或无偏置的矩形电压脉冲,振荡器应满足 16.6 的要求。若磁心由正弦或矩形脉冲以外的波形激励,仿照 16.6,应在相关的规范中规定相应的要求。

变压器 T 由被测磁心和绕在它上面的三个独立线圈组成: N_1 为电流绕组, N_2 为测量绕组, N 为电压绕组,测量绕组 N_2 的匝数是适于调整的,能使它两端的电压与电流测量电阻器 R 两端的电压降保持同一数量级。该方法的准确度随这两个电压接近相等而减小。

对于开关 S 两个位置的有效值电压读数,应一个接一个地尽快读取,这样,这些读数只受到磁心和

测量线圈热状态变化的轻微影响。

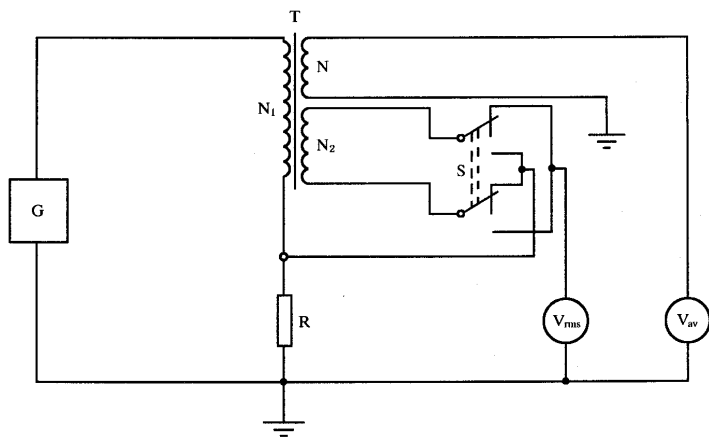


图 J4

J5 无抗电阻

适用于电流测量的低抗电阻在市场上可以买到, $1\ \Omega\ 5\ W$ 电阻器的结构, 其电感小于 $0.01\ \mu H$, 说明如下, 并示于图 J5。

10 个 $0.5\ W\ 10\ \Omega$ 厚膜电阻器, 并联焊接到两个黄铜片上。每个电阻器本体与黄铜片之间的引线长最好小于 $1\ mm$ 。应注意使组件的电阻等于或稍大于 $1\ \Omega$; 然后, 该值可以用黄铜片连接合适数值的低功率电阻器来调整。

该组合件的相位漂移在 $25\ kHz$ 时将小于 0.002 弧度。

到电压表, 到电路约 $10\ mm$; 约 $5\ mm$ 。

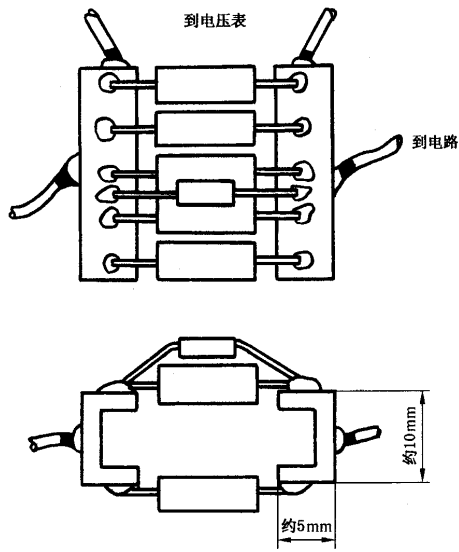


图 J5

附录 K
(标准的附录)

测量三次谐波畸变的电路实例(低阻抗法)

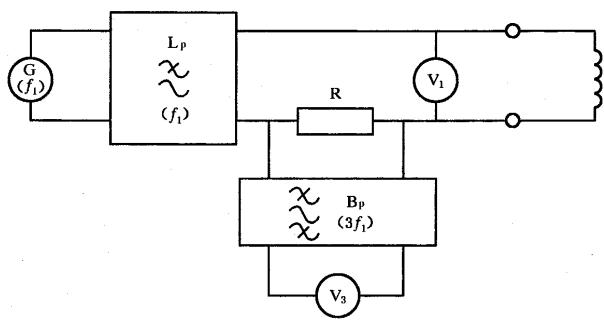


图 K1

G——给出基频 f_1 的可调电压源(振荡器)。
 L_p ——在基频时具有低插入损耗的低通滤波器。其输入阻抗最好与振荡器相匹配;在三次谐波频率上,其输出阻抗是纯阻,且阻值 R_s 为:

$$R + R_s < 0.3\omega_1 L_X$$

对 G 和 L_p 的组合要求是:
在 L_p 输出端,三次谐波至少应低于基波 120 dB。
 V_1 ——测基波(或总)电压的电压表。
R——已知数值的测量电阻器。
 V_3 ——测三次谐波电压的电压表,当它不是选频的电压表(例如波形分析仪)时,它应被 B_p 预选。
 B_p ——具有在三次谐波频率上低插入损耗的带通滤波器。在基频时,其衰减至少应为 120 dB,在与总回路的组合中,对五次或更高次谐波频率,其衰减至少均应是 120 dB。三次谐波频率时的输入阻抗应远大于 R。

附录 L
(标准的附录)

存在静态磁场时的电感测量方法

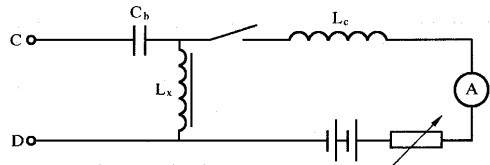
L1 叠加直流的 Maxwell 型电感电桥

符号:
A,B,C,D:电桥结点
 C_1 :测量电容器
 C_2 :隔直电容器
 R_1, R_2, R_3 :电桥电阻器
 L_{X1}, L_{X2} :未知电感,假设为等同的、在相同磁心上绕相同匝数线圈构成的两个电感器。直流绕组也应有相同匝数。

图 L1

注

- 1 本电路适用的频率为 20 kHz 以下。
- 2 只要 D 点接地,任何结构的电桥都可以用。
- 3 开关 S 断开,电桥是稳定的,当 S 合到短路位置时,电桥仍应保持平衡。然后 S 置于另一个位置。按 15.5 规定调节直流电流。
- 4 CD 支路的一种可供选用的方案,用一个具有单绕组测量线圈的单个未知电感器,给出如下:



其中 C_b 是隔直电容器,在测量频率下的阻抗是很小的,而 L_c 是扼流圈,它的阻抗比起 L_x 的阻抗大得多,并且有要求的准确度。可用一个并联 LC 电路代替 L_c ,调节可变电容器使在测量频率下谐振。
若用双绕组时,一个是试验绕组 L_x ,另一个是提供静态磁场的绕组,则隔直电容器可以省略。

L2 叠加直流引起微小电感变化的测量电路

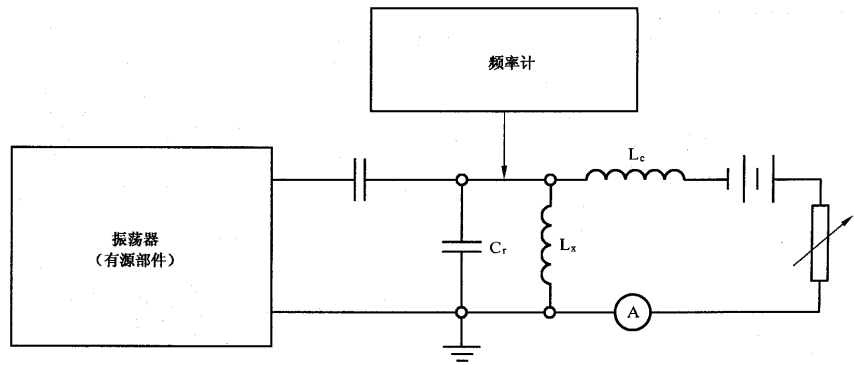


图 L2

注

- 1 L_x 与 C_r 是频率为 f 的振荡器的频率测量元件。
- 2 扼流圈的阻抗必须有低的直流电阻,且对直流的所有值,其阻抗在测量频率下,应比 L_x 的阻抗大得多。
- 3 若 $\frac{\Delta f}{f} < 5\%$, 则 $\frac{\Delta L}{L} \approx 2 \frac{\Delta f}{f}$ 。

4 $\frac{f_2}{f_1} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$ 。

5 建议在 200 kHz 以下使用。

附 录 M
(标准的附录)
脉冲测量的电路实例

电路选择取决于现实条件：

- 有偏场或无偏场测量；
- 单个脉冲或重复脉冲测量。

图 M1 表示一个适合于无偏场和用单个脉冲测量的电路；图 M2 表示一个适合于有偏场和用重复脉冲测量的电路。对于有偏场和用单个脉冲测量，以及无偏场和用重复脉冲测量电路可以容易地由这些实例派生。

在用重复脉冲测量的情况下，必须附加一电阻器与测量线圈并联，如图 M2 所示。图中这个负载电阻 R_L 与一个二极管串联，该二极管在脉冲持续期间，隔断通过它的电流，以便存贮能量并防止过分耗散， R_L 的值应足够高，使恢复时间小于脉冲间隔时间，但不能太高而使反冲过量。

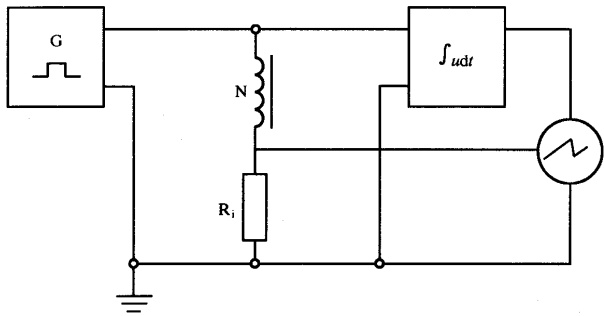


图 M1 无偏场和单个脉冲测量

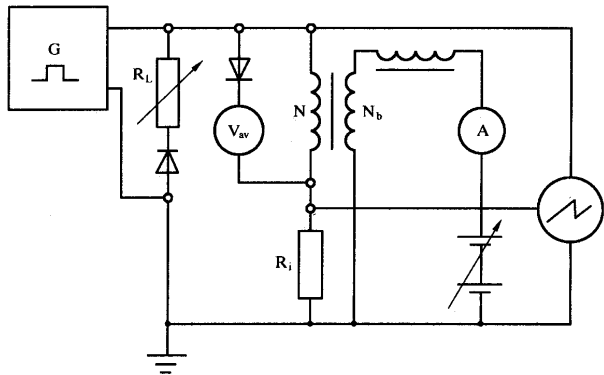


图 M2 有偏场和重复脉冲测量

附 录 N
(标准的附录)
(有效)振幅磁导率测量的电路实例

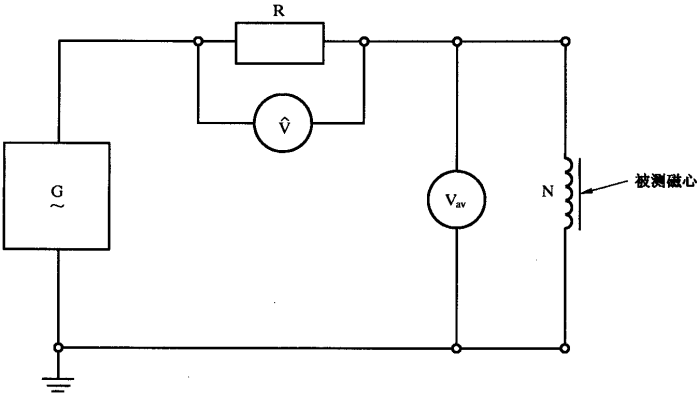


图 N1 用单一绕组测量线圈的电路

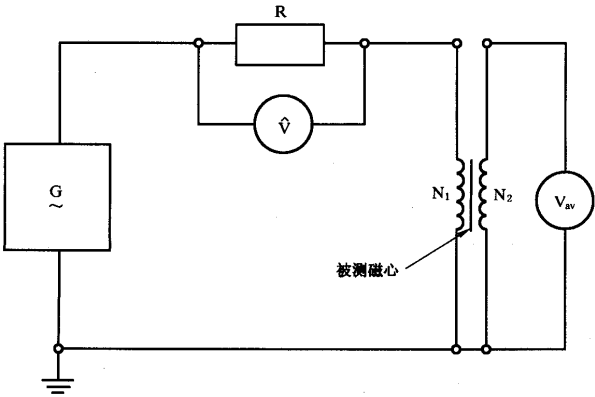


图 N2 用双绕组测量线圈的电路

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
通信用电感器和变压器磁心测量方法
GB/T 9632.1—2002

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045
电话:68523946 68517548
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 880×1230 1/16 印张 $3\frac{1}{4}$ 字数 95 千字
2002年12月第一版 2002年12月第一次印刷
印数 1—1 000

*

书号: 155066·1-18929 定价 21.00 元
网址 www.bzcs.com

*

科 目 625—514

版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 9632.1-2002