

中华人民共和国国家标准

GB/T 20840.10—XXXX

互感器 第10部分：低功率无源电流互感器的补充技术要求

Instrument transformers - Part 10: Additional requirements for low-power passive current transformers

(IEC 61869-10:2017, MOD)

(工作组讨论稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	IV
引言	VI
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 通用定义	1
3.4 有关准确度的定义	2
3.7 符号与名称	5
5 额定值	5
5.3 额定绝缘水平和电压	5
5.5 额定输出	6
5.6 额定准确级	6
5.1001 额定一次电流(I_{pr})的标准值	8
5.1002 额定扩大一次电流系数(K_{pcr})的标准值	8
5.1003 额定连续热电流(I_{cth})的标准值	8
5.1004 额定二次电压(U_{sr})的标准值	8
5.1005 短时电流额定值	8
5.1006 额定相位偏移(φ_{or})	9
6 设计和结构	9
6.11 电磁兼容 (EMC)	9
6.13 标志	9
6.601 光学传输系统和光学输出链接的要求	10
6.602 电气传输系统和输出链接电线的要求	10
6.603 信噪比	11
6.604 故障检测和维修告示	11
6.605 可操作性	11
6.606 可靠性和可信赖性	11
6.607 振动	11
7 试验	11
7.1 一般要求	11
7.2 型式试验	13
7.4 特殊试验	16
601 咨询、招标和订货须知	16
601.1 规范内容	16

601.2 可靠性.....	17
附录 10A (资料性附录) 本文件与 IEC61869-10:2017 结构编号对照情况.....	18
附录 10B (资料性附录) 本文件与 IEC61869-10:2017 技术差异及其原因.....	19
附录 10C (资料性附录) 使用修正后的变比和变比修正系数的标称准确级.....	20
附录 10D (资料性附录) 罗戈夫斯基线圈的工作原理.....	24
附录 10E (资料性附录) 低功率铁芯式电流互感器的工作原理 (比例型无源 LPCT).....	28
附录 10F (规范性附录) 与一次导体位置相关的准确度试验.....	30
参考文献.....	32
图 1001 单相低功率无源电流互感器通用框图.....	VIII
图 1002 端子标志.....	10
图 1003 邻相磁场影响的试验布置.....	16
表 10A.1 本文件与 IEC 61869-10:2017 结构编号对照情况.....	18
图 10C.1 基于单独的变比修正系数 C_F 的标称准确级的提高.....	20
图 10C.2 无源 LPCT 的准确度试验.....	21
图 10C.3 基于额定变比的标称为 1% 的准确级.....	22
图 10C.4 基于变比修正系数和修正变比的标称为 0.1% 的准确级.....	23
图 10D.1 罗戈夫斯基线圈的等效电路.....	26
图 10D.2 罗戈夫斯基线圈的积分和非积分输出信号.....	26
图 10D.3 罗戈夫斯基线圈频率相关性试验.....	27
图 10E.1 铁芯式电流互感器原理.....	28
图 10E.2 电压输出的铁芯式电流互感器等效电路.....	29
图 10F.1 一次导体和无源 LPCT 之间的角度定义.....	30
图 10F.2 由位置因数确定的一次导体位置示意图.....	31
图 10F.3 准确度测量试验布置.....	31
表 1001 测量用无源 LPCT 比值差和相位误差限值.....	7
表 1002 误差限值.....	8
表 1003 无源 LPCT 用 RJ45 接插件的引脚分配.....	11
表 11 试验项目.....	11
表 1004 无源 LPCT 的规范内容.....	16
表 10B.1 本文件与 IEC 61869-10:2017 技术差异及其原因.....	19
表 10C.1 比值、基于平均值的比值差及相应的一次电流.....	22

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是GB/T 20840《互感器》的第10部分。GB/T 20840已经发布了以下部分：

- 第1部分：通用技术要求；
- 第2部分：电流互感器的补充技术要求；
- 第3部分：电磁式电压互感器的补充技术要求；
- 第4部分：组合互感器的补充技术要求；
- 第5部分：电容式电压互感器的补充技术要求；
- 第6部分：低功率互感器的补充通用技术要求；
- 第7部分：电子式电压互感器；
- 第8部分：电子式电流互感器；
- 第9部分：互感器的数字接口；
- 第10部分：低功率无源电流互感器的补充技术要求；
- 第11部分：低功率无源电压互感器的补充技术要求；
- 第14部分：直流电流互感器的补充技术要求；
- 第15部分：直流电压互感器的补充技术要求；
- 第100部分：电力系统保护用电流互感器应用导则；
- 第102部分：带有电磁式电压互感器的变电站中的铁磁谐振；
- 第103部分：互感器在电能质量测量中的应用。

本文件修改采用IEC 61869-10:2017《互感器 第10部分：低功率无源电流互感器的补充技术要求》。

本文件与IEC 61869-10:2017相比，在结构上有所调整。两个文件之间的结构变化对照一览表见附录10A。

本文件与IEC 61869-10:2017相比，存在一些技术性差异，在所涉及的条款外侧页边空白位置用垂直单线（|）进行了标示。这些技术差异及其原因一览表见附录10B。

本文件还做了下列编辑性修改：

- 删除IEC 61869-10:2017的前言；
- ……。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国互感器标准化技术委员会（SAC/TC 222）归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、沈阳变压器研究院有限公司、……。

本文件主要起草人：……。

引 言

互感器标准的制定，是为了给互感器建立一套最佳的评价准则，为互感器从生产材料选择、产品设计、产品生产、产品检验、产品选用及运行维护等方面所需的注意事项提供指导。GB/T 20840 旨在确立适用于互感器的设计、制造、试验方法、运行维护等方面的遵循原则和相关规则，拟由 14 个部分构成。

- 第 1 部分：通用技术要求。目的在于确立适用于各类互感器设计制造和生产试验等所需要遵循的通用技术要求；
- 第 2 部分：电流互感器的补充技术要求。目的在于确立适用于各类电流互感器的补充技术要求；
- 第 3 部分：电磁式电压互感器的补充技术要求。目的在于确立适用于各类电磁式电压互感器的补充技术要求；
- 第 4 部分：组合互感器的补充技术要求。目的在于确立适用于各类组合式互感器的补充技术要求；
- 第 5 部分：电容式电压互感器的补充技术要求。目的在于确立适用于各类电容式电压互感器的补充技术要求；
- 第 6 部分：低功率互感器的补充通用技术要求。目的在于确立适用于各类低功率互感器的补充技术要求；
- 第 7 部分：电子式电压互感器。目的在于确立适用于各类电子式电压互感器的补充技术要求；
- 第 8 部分：电子式电流互感器。目的在于确立适用于各类电子式电流互感器的补充技术要求；
- 第 9 部分：互感器的数字接口。目的在于确立适用于各类电子式互感器数字接口的技术要求；
- 第 14 部分：直流电流互感器的补充技术要求。目的在于确立适用于各类直流电流互感器的补充技术要求；
- 第 15 部分：直流电压互感器的补充技术要求。目的在于确立适用于各类直流电压流互感器的补充技术要求；
- 第 100 部分：电力系统保护用电流互感器应用导则。目的在于对各类电流互感器在电力系统保护的应用方面提供指导；
- 第 102 部分：带有电磁式电压互感器的变电站中的铁磁谐振。目的在于对各类带有电磁式电压互感器的变电站有关铁磁谐振的产生和抑制等方面提供指导；
- 第 103 部分：互感器在电能质量测量中的应用。目的在于对各类互感器在电能质量测量的应用方面提供指导。

本文件与GB/T 20840.1—2010《互感器 第1部分：通用技术要求》和GB/T 20840.6—2017《互感器 第6部分：低功率互感器的补充通用技术要求》配套使用。本文件遵循GB/T 20840.1—2010和GB/T 20840.6—2017的编写结构，是对其相应条款的增补和修改。当GB/T 20840.1—2010或GB/T 20840.6—2017的条款在本文件未被提及，只要合理，则这些条款也同样适用于本文件。当本文件中指明“增补”、“修改”或“替代”时，则意味着GB/T 20840.1—2010或GB/T 20840.6—2017的相关条款在本文件中被相应改编。

对于在GB/T 20840.1—2010和GB/T 20840.6—2017的基础上增补的章、条、图、表、注和附录，本文件采用下列编号形式：

- 章、条、图、表和注的编号从 1001 开始；

——附录的编号为 10A、10B 等。

GB/T 20840通过14个部分明确了各类互感器产品的技术规范，给出了具体的技术要求、试验项目、试验程序、试验方法及运行指导等。通过确立各类产品明确的范围、术语、技术要求和试验要求等，让从事相关产品设计、生产、试验、及使用等方面的人员能够更加清晰、准确地进行操作，从而为设计、制造高质量的产品奠定基础，更好地促进贸易、交流和技术合作，并为我国电网的正常运行提供保障。

低功率无源电流互感器（无源LPCT）基于无源技术，不包含任何有源电子元器件，可以输出与一次电流成比例的信号，比如采用集成并联电阻作为电流电压转换器（一次转换器）的铁芯线圈，或者可以输出与一次电流的导数成比例的信号，比如空心线圈（罗戈夫斯基线圈）。GB/T 20840的本文件不包含带有有源积分器的空心线圈。

根据GB/T 20840.6-2017的图601中给出的通用框图，低功率无源电流互感器不使用有源一次转换器（即不使用任何有源电子元器件）；因此，不需要一次电源。另外，也不使用二次转换器和二次电源。

图1001给出了低功率无源电流互感器的通用框图。

依据所采用的技术确定低功率无源电流互感器所需的部件，即图1001中列出的传输电缆或一次转换器并非低功率无源电流互感器必不可缺的。导数型无源LPCT解决方案仅将空心线圈作为一次传感器，将传输电缆作为传输系统。采用这种技术时，一次转换器不予考虑。比例型无源LPCT解决方案将铁芯线圈作为一次传感器，负载电阻与线圈输出直接连接作为一次转换器，将传输电缆作为传输系统。

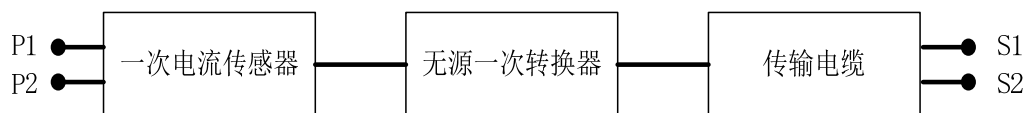


图 1001 单相低功率无源电流互感器通用框图

互感器 第10部分：低功率无源电流互感器的补充技术要求

1 范围

GB/T 20840的本文件是产品标准，仅包括低功率无源电流互感器的补充技术要求。低功率无源电流互感器的产品标准包括GB/T 20840.1，GB/T 20840.6和具有特定要求的本文件。

本文件适用于额定频率为15 Hz~100 Hz、供电气测量仪表或继电保护装置使用的新制造的模拟量输出的低功率无源电流互感器。

本文件包含用于测量或保护的无源电流互感器，以及用于测量和保护的多用途低功率无源电流互感器。

5.6.1003条款包含与电气测量仪表一起使用的低功率无源电流互感器所必需的准确度要求。

5.6.1004条款包含与电气继电保护装置一起使用的低功率无源电流互感器所必需的准确度要求，特别是以电流达到额定电流数倍时仍保持其准确度为主要要求的保护方式。如有要求，5.6.1004还给出了故障期间低功率无源电流互感器的暂态准确度。

低功率无源电流互感器仅有模拟电压输出（对于数字输出或使用任何类型的有源电子元器件的技术参考GB/T 20840.8）。这样的低功率无源电流互感器可以包括二次信号电缆（传输电缆）。附录10E给出了使用空心线圈（罗戈夫斯基线圈）的导数型低功率无源电流互感器的工作原理，附录10F给出了使用集成并联电阻的铁芯线圈的比例型低功率无源电流互感器的工作原理。

2 规范性引用文件

下列文件中的部分或全部内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 20840.6-2017的第2条与下列增补的内容均适用：

GB/T 762，标准电流等级

GB/T 3954 电工圆铝杆

GB/T 5585.1 电工用铜、铝及其合金母线 第1部分：铜和铜合金母线

GB/T 20840.2-2014 互感器 第2部分：电流互感器的补充技术要求

GB/T 20840.6-2017 互感器 第6部分：低功率互感器的补充通用技术要求

GB/T 20840.7 互感器第7部分：电子式电压互感器

GB/T 20840.8 互感器第8部分：电子式电流互感器

3 术语和定义

GB/T 20840.1和GB/T 20840.6界定的以及下列增补的术语和定义适用于本文件。

3.1 通用定义

3.1.613

传输系统 transmitting system

GB/T 20840.6-2017的3.1.613 与下列增补的内容均适用：

注1001：对于低功率无源电流互感器，传输系统只是传输电缆。

3.1.621**输出信号 output signal**

GB/T 20840.6-2017的3.1.621用下列内容替代：

注1：在电稳态下，输出信号按下列公式定义：

$$u_s(t) = U_s \sqrt{2} \sin(2\pi ft + \varphi_s) + u_{sres}(t)$$

式中：

$u_{s(t)}$ ——输出信号；

U_s —— $u_{sres}(t) = 0$ 时二次电压的方均根值；

f ——基波频率；

φ_s ——二次相位；

$u_{sres}(t)$ ——二次剩余电压，包括谐波，谐间波和次谐波分量；

t ——时间瞬时值；

f , U_s , φ_s 在稳态下保持恒定。

3.1.1001**导数型 LPCT derivative LPCT**

低功率无源电流互感器，提供与输入信号的导数成比例的输出信号。

注：没有内置积分器的基于非磁心线圈技术（例如罗戈夫斯基线圈）的LPCT是导数型LPCT。

3.1.1002**比例型 LPCT proportional LPCT**

低功率无源电流互感器，提供与输入信号成比例的输出信号。

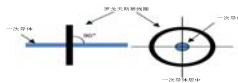
注：内置一次转换器提供输出电压基于铁心技术的无源LPCT是比例型LPCT。

3.4 有关准确度的定义**3.4.3****比值差 ratio error**

ε

GB/T 20840.1-2010和GB/T 20840.6-2017的3.4.3与下列增补的内容均适用：

注1001：用百分数表示的比值差按下式：



式中：

K_r ——额定变比；

I_p ——一次电流方均根值；

U_s ——二次电压方均根值。

3.4.602

额定延迟时间 rated delay time

t_{dr}

不适用。

3.4.607

复合误差 composite error

ε_c

GB/T 20840.6-2017的3.4.607与下列增补的内容均适用：

注1001：用百分数表示的复合误差按下式：

$$\varepsilon_c(\%) = \frac{1}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [K_r u_s(t) - i_p(t)]^2 dt} \times 100$$

式中：

K_r ——额定变比；

I_p ——一次电流方均根值；

$i_p(t)$ ——瞬时一次电流；

$u_s(t)$ ——瞬时二次电压；

T ——一个周波的时间；

t ——时间瞬时值。

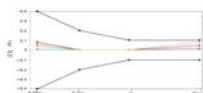
3.4.1001

变比修正系数 ratio correction factor

CF

为达到规定的准确度等级，单台无源LPCT在额定负荷和额定频率下的额定变比所乘的系数。

注：导数型无源LPCT是一个与频率相关的设备，其输出随频率线性变化。它可以在不同的系统频率下使用，而无需更改其设计，准确度也不会降低。当系统频率与额定频率不同时，修正系数由以下公式给出：



式中：

CF_{if} ——频率 f 时的变比修正系数；

CF_{ifr} ——额定频率 f_r 时的变比修正系数；

f_r ——无源LPCT的额定系统频率；

f ——实际系统频率。

3.4.1002

修正后的变比 corrected transformation ratio

K_{cor}

一台无源LPCT单独的变比。

注：修正后的变比和额定变比之间的关系为：

$$K_{\text{cor}} = CF_1 \times K_r$$

3.4.1003

相位偏移修正值 phase offset correction

φ_{cor}

为达到规定的准确度等级，单台无源LPCT在额定负荷和额定频率下的额定相位偏移所加的值。

3.4.1004

修正后的相位偏移 corrected phase offset

$\varphi_{\text{cor } \phi_0}$

一台无源LPCT单独的相位偏移。

注：修正后的相位偏移和相位偏移修正值之间的关系为：

$$\varphi_{\text{cor } \phi_0} = \varphi_{\text{o cor}} + \varphi_{\text{or}}$$

3.4.1005

修正后的比值差 corrected ratio error

$\varepsilon_{\text{cor1}}$

由3.4.1001定义的系数修正的单台无源LPCT比值差。

注：修正后的比值差按下式：

$$\varepsilon_{\text{cor1}}(\%) = \frac{CF_1 \cdot K_r \cdot U_s - I_p}{I_p} \times 100$$

式中：

CF_1 ——单台无源LPCT的变比修正系数。

3.4.1006

修正后的复合误差 corrected composite error

$\varepsilon_{\text{ccor1}}$

由3.4.1001定义的系数修正的单台无源LPCT复合误差。

注：修正后的复合误差按下式：

$$\varepsilon_{\text{ccor1}}(\%) = \frac{1}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [CF_1 \cdot K_r \cdot u_s(t + \delta t) - i_p(t)]^2 dt} \times 100$$

式中：

CF_1 ——单台无源LPCT的变比修正系数；

$\delta t = \varphi_{\text{cor}} \cdot T/2\pi$ ——由相位误差修正引起的时间调整。

3.4.1007

修正后的相位误差 corrected phase error

φ_{ecor}

由3.4.1004定义的值修正后的单台无源LPCT相位误差。

注：修正后的相位误差按下式：

$$\varphi_{e\text{cor}} = \varphi_s - \varphi_p - \varphi_{\text{cor}\varphi_0}$$

3.7 符号与名称

GB/T 20840.1-2010的3.7由下列内容替代：

CF_1	变比修正系数
f_r	额定频率
I_{cth}	额定连续热电流
I_{dyn}	额定动稳定电流
I_{epr}	额定扩大一次电流
$i_{p(t)}$	暂态一次电流
I_{pr}	额定一次电流
I_{psc}	额定一次短路电流
I_{th}	额定短时热电流
K_{cor}	修正后的变比
K_{pcr}	额定扩大一次电流系数
K_r	额定变比
K_{ssc}	额定对称短路电流倍数
LPCT	低功率电流互感器
LPIT	低功率互感器
R_{br}	额定负荷
T_p	规定的一次时间常数
U_m	设备最高电压
U_{sr}	额定二次电压
ε	比值差
ε_c	复合误差
$\varepsilon_{\text{corI}}$	修正后的复合误差
$\varepsilon_{\text{corI}}$	修正后的比值差
$\varphi_{\text{cor}\varphi_0}$	修正后的相位偏移
φ_0	相位偏移
φ_{ocor}	相位偏移修正值
φ_{or}	额定相位偏移
φ_{ecor}	修正后的相位误差

5 额定值

5.3 额定绝缘水平和电压

5.3.5 二次端绝缘要求

GB/T 20840.6-2017的5.3.5适用。

5.3.601 额定辅助电源电压 (U_{ar})

不适用。

5.5 额定输出

5.5.601 额定负荷 (R_{br})

GB/T 20840.6-2017的5.5.601与下列增补的内容均适用：
无源LPCT中包含的电缆不应变更，以保持设备的指定特性。

5.5.602 额定延迟时间的标准值 (t_{dr})

不适用。

5.6 额定准确级

5.6.1001 额定变比和额定相位偏移下的准确级

比值差 ε 或复合误差 ε_c 由定义3.4.3和3.4.607注1001中的公式计算。无源LPCT单独的偏差未作修正。

相位误差由GB/T 20840.6-2017的定义3.4.605注601中的公式计算。对于无源LPCT，仅考虑额定相位偏移 φ_{or} 。额定延迟时间不适用于无源LPCT，因此 φ_{dr} 为0。

5.6.1002 基于单独的修正后的变比和修正后的相位偏移的准确级

作为基于额定变比和额定相位偏移的准确度的另一种表达方式，对于无源LPCT，可以基于单独的修正后的变比或单独的变比修正系数和单独的修正后的相位偏移或单独的相位偏移修正值来计算准确度。附录10C中给出了有关单独的修正的更多信息。

修正后的比值差 ε_{cor1} 或修正后的复合误差 ε_{ccor1} 由定义3.4.1005和3.4.1006注释中的公式计算。修正系数CFI应在0.900到1.100的范围内，并依据相关的准确级指定适当的准确度和小数点位数（最小分辨率为0.001）。

修正后的相位误差由定义3.4.1007注释中的公式计算。对于无源LPCT，用单独的修正后的相位偏移 $\varphi_{cor\phi}$ 代替额定相位偏移 φ_{or} 。由于额定延迟时间不适用于无源LPCT，因此 φ_{dr} 为0。相位偏移修正值应在 $\pm 300'$ 范围内，并依据相关的准确级指定适当的准确度和小数点位数（最小分辨率为 $1'$ ）。

如果准确度是基于单独的修正，修正系数或修正后的变比和修正后的相位偏移都应在铭牌上标明。

5.6.1003 测量用低功率无源电流互感器

5.6.1003.1 测量用低功率无源电流互感器准确级的标称

测量用无源LPCT的准确级是以该准确级在额定一次电流和额定输出时最大允许比值差 (ε) 的百分数来标称的。

5.6.1003.2 标准准确级

测量用无源LPCT的标准准确级为：

0.1、0.2、0.2S、0.5、0.5S、1、3

5.6.1003.3 测量用无源LPCT的比值差和相位误差限值

在额定频率和额定或更高负荷下的比值差和相位误差应不超过表1001所列值。

表 1001 测量用无源 LPCT 比值差和相位误差限值

准确级	下列电流的比值差 $\varepsilon, \varepsilon_{cor1}$					下列电流下的相位误差									
	$\pm\%$					$\pm (')$					$\pm \text{crad}$				
	0.01 I_{pr}	0.05 I_{pr}	0.2 I_{pr}	I_{pr}	K_{per} $\times I_{pr}$	0.01 I_{pr}	0.05 I_{pr}	0.2 I_{pr}	I_{pr}	K_{per} $\times I_{pr}$	0.01 I_{pr}	0.05 I_{pr}	0.2 I_{pr}	I_{pr}	K_{per} $\times I_{pr}$
0.1	-	0.4	0.2	0.1	0.1	-	15	8	5	5	-	0.45	0.24	0.15	0.15
0.2	-	0.75	0.35	0.2	0.2	-	30	15	10	10	-	0.9	0.45	0.3	0.3
0.2S	0.75	0.35	0.2	0.2	0.2	30	15	10	10	10	0.9	0.45	0.3	0.3	0.3
0.5	-	1.5	0.75	0.5	0.5	-	90	45	30	30	-	2.7	1.35	0.9	0.9
0.5S	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	90	45	30	30	30	2.7	1.35	0.9	0.9	0.9
1.0	-	3.0	1.5	1.0	1.0	-	180	90	60	60	-	5.4	2.7	1.8	1.8
3	-	-	4.5	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

有关准确度和保护等级限值的更多信息和说明图表见 GB/T 20840.6-2017 附录 6E。

对于没有自身一次导体的无源 LPCT，附录 10F 定义了与一次导体位置有关的准确级标称。

5.6.1003.4 谐波准确度要求

如对谐波有要求，GB/T 20840.6-2017 附录 6A 中对谐波准确度的要求适用，IEC TC38 正在考虑对给定的相关试验程序进行改进。

5.6.1004 保护用低功率无源电流互感器

5.6.1004.1 额定准确限值一次电流

额定准确限值一次电流的标准值应符合 GB/T 762。

优先值为：

5000 A、10000 A、2500 A、5000 A、31500 A、40000 A、50000 A、63000 A、80000 A

5.6.1004.2 准确级的标称

保护用无源 LPCT 的准确级是以最大允许复合误差百分数来标称的，其后标以字母“P”（表示“保护”）或字母“TPE”（表示“暂态保护电子式准确级”）和额定准确限值一次电流。

注：有关TPE准确级的更多说明，详见GB/T 20840.6-2017附录6C。

5.6.1004.3 标准准确级

保护用无源 LPCT 的标准准确级为：

5P、10P、5TPE

5.6.1004.4 保护用无源 LPCT 的比值差和相位差限值

在额定频率和额定或更高负荷下的比值差、相位差和复合误差应不超过表 1002 所列值。

对于 TPE 准确级，在规定的工作循环中，最大峰值瞬时误差应不超过表 1002 中所列值。GB/T 20840.6-2017 的附录 6C 中给出了更多信息。

表 1002 误差限值

准确级	额定一次电流下的 的比值差 $\varepsilon, \varepsilon_{\text{cor1}}$ $\pm\%$	额定一次电流下的相位误 差		额定准确限值一次 电流下的复合误差 $\varepsilon_c, \varepsilon_{\text{cor1}}$ $\%$	额定一次短路电流 I_{psc} 下的最大峰值误差 $\%$
		$\pm (')$	$\pm \text{crad}$		
5TPE	1	60	1.8	5	10
5P	1	60	1.8	5	-
10P	3	-	-	10	-

注：GB/T 20840.6-2017 的附录 6B 给出了与 TPE 准确级有关的暂态特性和 GB/T 20840.2 中定义的其他准确级（PR, PX, PXR, TPX, TPY 和 TPZ）的相关信息。

对于没有自身一次导体的无源 LPCT，附录 10F 定义了与一次导体位置有关的准确级标称。

5.6.1004.5 谐波准确度要求

如果对谐波有要求，GB/T 20840.6-2017 附录 6A 中对谐波准确度的要求适用，IEC TC 38 正在考虑对给定的相关试验程序进行改进。

5.1001 额定一次电流 (I_{pr}) 的标准值

额定一次电流的标准值为：

25 A、50 A、80 A、100 A

以及它们的十进制倍数或小数。

5.1002 额定扩大一次电流系数 (K_{pr}) 的标准值

由于其线性特征，同一台无源 LPCT 可以使用在很宽的一次电流值范围内。额定扩大一次电流系数的标准值为：

5、10、20、50、100

注：根据测量或保护设备的输入限值选择合适的一次和二次额定值。

5.1003 额定连续热电流 (I_{cth}) 的标准值

额定连续热电流的标准值是额定一次电流 (I_{pr}) 或额定扩大一次电流 (I_{ep}) (如果指定)。

5.1004 额定二次电压 (U_{sr}) 的标准值

额定一次电流下的额定二次电压 U_{sr} 的标准方均根值为：

22.5 mV、150 mV、225 mV

5.1005 短时电流额定值

5.1005.1 额定短时热电流 (I_{th})

对无源 LPCT 应规定额定短时热电流 (I_{th})。
 额定短时热电流的持续时间标准值为 1s。

5.1005.2 额定动稳定电流 (I_{dyn})

额定动稳定电流 (I_{dyn}) 的标准值是额定短时热电流 (I_{th}) 的 2.5 倍。当与该值不同时, 应在铭牌上标注。

5.1006 额定相位偏移 (φ_{or})

比例型 LPCT 的额定相位偏移为 0° 。
 导数型 LPCT 的额定相位偏移为 90° (超前)。

6 设计和结构

6.11 电磁兼容 (EMC)

6.11.3 抗扰度要求

不适用。

6.11.601 发射要求

GB/T 20840.6-2017 的 6.11.601 条款与下列增补的内容均适用:

除了无线电干扰电压(RIV)测试和传递过电压(TOV)测试外, 对无源 LPCT 没有规定进一步的发射要求。

6.13 标志

GB/T 20840.6-2017 的 6.13 条款与下列增补的内容均适用:

6.13.1001 端子标志——一般规则

端子标志应标识:

- a) 一次和二次绕组;
- b) 绕组的极性关系。

6.13.1002 标志方法

一次端子标志应清晰、牢固, 并标在端子表面或其近旁处。如可能, 二次端子应清晰、牢固的标志在无源 LPCT 的表面或在有接插件的集成电缆的情况下, 标志在接插件的近旁处。如不能, 制造方应在产品文件中提供相关信息。

标记应由字母组成, 必要时字母后跟数字。字母应大写。

6.13.1003 采用的标志

无源 LPCT 的端子标志应按图 1002 所示。

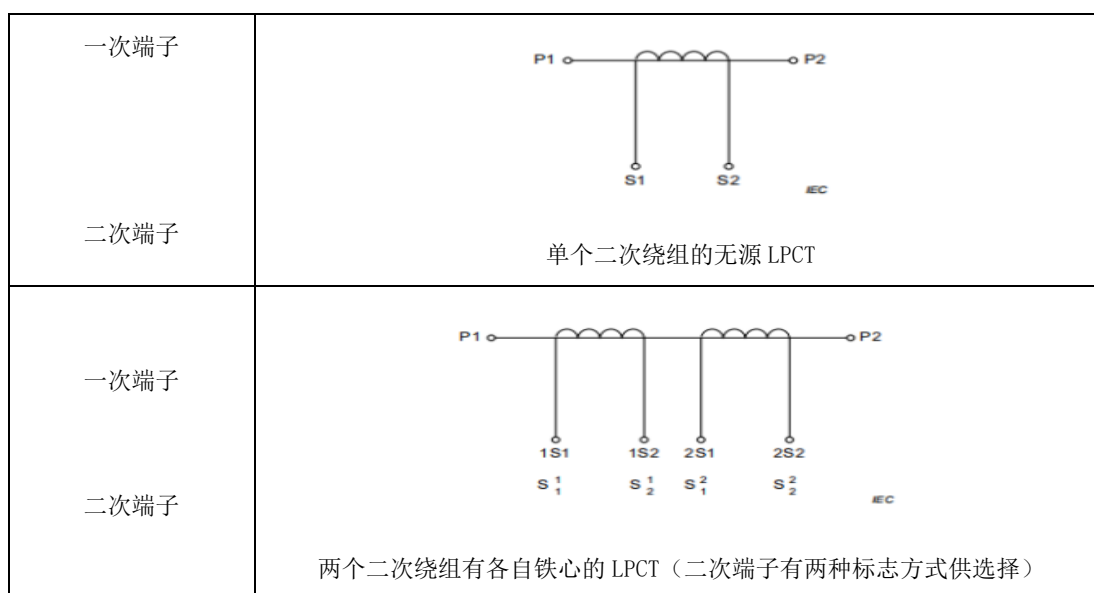


图 1002 端子标志

6.13.1004 极性关系的表示

标有 P1 和 S1 的所有端子在同一瞬间应具有同一极性。

注：对导数型 LPCT，输出相位偏移典型值为 90° （超前）。

6.13.1005 铭牌标志

作为对 GB/T 20840.1-2010 的 6.13 和 GB/T 20840.6-2017 的 6.13 所列标志的增补，所有低功率无源电流互感器还应标有下列通用铭牌标志：

- 额定一次电流和二次电压（例如 100A/22.5mV）；
- 额定扩大一次电流系数（例如 $K_{pcr} = 10$ ）；
- 额定短时热电流（例如 $I_{th} = 40$ kA）；
- 不同于 $2.5 \times I_{th}$ 的额定动稳定电流（例如 $I_{dyn} = 80$ kA）；
- 低功率无源电流互感器有两个或多个二次绕组时，各绕组的用途及其对应的端子；
- 额定连续热电流（如果不等于 $K_{pcr} I_{pr}$ ）；
- 基于额定变比和修正变比的准确级（如果适用）；

示例 1：测量用无源 LPCT 的 0.2 级。

示例 2：保护用无源 LPCT 的 5P 31000A。

示例 3：多用途无源 LPCT 的 0.2/5P 31000A。

示例 4：没有自身一次导体无源 LPCT 的 0.5-A3（见附录 10D）。

- 变比修正系数或修正后的变比，如标明的准确级需要（例如 $CF_1 = 0.9657$ ，或 $K_{cor} = 16.11$ kA/V）；
- 相位偏移修正值或修正后的相位偏移，如标明的准确级需要（例如 $\varphi_{cor} = -33'$ ，或 $\varphi_{cor\phi_0} = 89.45^\circ$ ）；
- 输出信号类型，比例型或导数型。

6.601 光学传输系统和光学输出链接的要求

不适用。

6.602 电气传输系统和输出链接电线的要求

6.602.1 接插件

GB/T 20840.6-2017 的 6.602.1 与下列增补的内容均适用：

表 1003 无源 LPCT 用 RJ45 接插件的引脚分配

RJ45 接插件	引脚	1	2	3	4	5	6	7	8
无源 LPCT		S1	S2						
无源 LPVT 预留的								a	n
TEDS 预留的				+			-		
电源预留的（见 IEC61869.7 和 IEC61869.8）					+	-			

注：如果有一个以上的二次绕组，则每个输出信号都通过单独的电缆和接插件连接。

6.603 信噪比

不适用。

6.604 故障检测和维修告示

不适用。

6.605 可操作性

不适用。

6.606 可靠性和可信赖性

不适用。

6.607 振动

不适用。

7 试验

7.1 一般要求

7.1.2 试验项目

GB/T 20840.6-2017 的 7.1.2 的表 11 用以下内容替代。

表 10 试验项目

试验	条款
型式试验	7.2

温升试验	7.2.2
一次端冲击耐压试验	7.2.3
户外型互感器的湿试验	7.2.4
电磁兼容试验（RIV 试验）	7.2.5
准确度试验	7.2.6
外壳防护等级的检验	7.2.7
环境温度下密封性能试验	7.2.8
压力试验	7.2.9
短时电流试验	7.2.1001
例行试验	7.3
气体露点测量	7.3.1
一次端工频耐压试验	7.3.2
局部放电测量	7.3.3
电容量和介质损耗因数测量	7.3.4
二次端工频耐压试验	7.3.6
准确度试验	7.3.7
标志的检验	7.3.8
环境温度下密封性能试验	7.3.9
压力试验	7.3.10
特殊试验	7.4
一次端截断冲击耐压试验	7.4.1
一次端多次截断冲击试验	7.4.2
传递过电压试验	7.4.3
机械强度试验	7.4.4
内部电弧故障试验	7.4.5
低温和高温下的密封性能试验	7.4.6
腐蚀试验	7.4.7
着火危险试验	7.4.8

振动试验	7.4.601
谐波和低频准确度试验	附录 6A, 6A.6.1
抽样试验	7.5

7.1.1001 集成在其他设备中的无源 LPCT

对于将无源 LPCT 集成在其他设备（例如，可分离连接器，套管，终端等）中的特定应用，应考虑该设备相关标准的试验电压和程序。TC 38 正在考虑该内容。

7.2 型式试验

7.2.2 温升试验

GB/T 20840.1-2010 的 7.2.2 条款与下列增补的内容均适用：

7.2.2.1001 试验布置

对于三相气体绝缘金属封闭开关设备中的无源 LPCT，三相应同时进行试验。

无源 LPCT 的安装状态应代表其运行安装情况，且二次绕组应连接规定的负荷。由于无源 LPCT 在各种开关柜中的位置可能不相同，应由制造方自行选择如何安排试验布置。

温升试验不适用于没有集成一次导体的导数型无源 LPCT（穿心型）。

7.2.2.1002 环境温度测量

测量环境温度的传感器应环绕无源 LPCT 分布，间距按与无源 LPCT 额定值相应的适当值，高度约为无源 LPCT 高度的一半，并免受直接的热辐射。

为了尽量减小冷却空气波动的影响，尤其在试验的最后阶段，应对温度传感器采取适当的措施，例如使用热时间常数与无源 LPCT 大致相同的散热器。

试验应采用至少两个传感器的平均读数。

7.2.2.1003 试验持续时间

满足下列条件时可以终止试验：

- 试验持续时间至少等于无源 LPCT 热时间常数的三倍；
- 绕组和油浸式无源 LPCT 油顶层的温升变化率连续三次不超过 1 K / h。

制造方应以下列方法之一估计热时间常数：

- 试验前，依据对同类结构产品先前试验的结果。热时间常数应在温升试验时确认；
- 试验中，用试验过程记录的温度上升曲线或温度下降曲线并按照 GB/T 20840.2-2014 附录 2F 进行计算；
- 试验中，取温升曲线起始在 0 点处的切线与最高温升预计值的相交点；
- 试验中，取到达 63% 最高温升预计值所经历的时间。

7.2.2.1004 温度和温升

本试验的目的是测定稳定状态的绕组平均温升以及油浸式互感器油顶层温升。

绕组的平均温度应在可行时采用电阻法测定，但对电阻值很小的绕组，可以采用温度计、热电偶或其他适当的温度传感器。

绕组以外其他部位的温升应采用温度计或热电偶测量。油顶层温度应采用放在金属头部顶端直接接触油的传感器测量。

温升应是相对于环境温度的差值，该环境温度按 7.2.2.1002 的规定测得。

7.2.2.1005 $U_m < 550$ kV 无源 LPCT 的试验方式

试验应在对一次绕组施加额定连续热电流时进行，二次绕组连接额定负荷。

7.2.2.1006 $U_m \geq 550$ kV 油浸式无源 LPCT 的试验方式

应同时对无源 LPCT 进行如下两项试验：

——对一次绕组施加额定连续热电流，二次绕组连接额定负荷；

——除以 $\sqrt{3}$ 的设备最高电压施加在一次绕组与地之间，各二次绕组的一个端子接地。

7.2.5 电磁兼容 (EMC) 试验

7.2.5.2 抗扰度试验

不适用。

7.2.5.601 EMC 发射试验

不适用。

7.2.6 准确度试验

7.2.6.601 一般要求

GB/T 20840.6-2017 的 7.2.6.601 与下列增补的内容均适用：

铭牌上标明的修正系数和相位偏移应用于所有准确度试验（如未在铭牌上标明，则假定 $CF_1 = 1$ ）。

7.2.6.602 基本准确度试验

7.2.6.602.1 测量用 LPIT 的基本准确度试验

GB/T 20840.6-2017 的 7.2.602.1 与下列增补的内容均适用：

为验证符合规定准确级要求，试验时应使一次导体居中并垂直于无源 LPCT（如果一次导体不是无源 LPCT 的一部分）且不受外部载流导体的影响。

7.2.6.602.2 保护用 LPIT 的基本准确度试验

GB/T 20840.6-2017 的 7.2.602.1 与下列增补的内容均适用：

为验证符合规定准确级要求，试验时应使一次导体居中并垂直于无源 LPCT（如果一次导体不是无源 LPCT 的一部分）且不受外部载流导体的影响。

7.2.6.604 准确度与频率关系的试验

GB/T 20840.6-2017 的 7.2.6.604 与下列增补的内容均适用：

对与频率相关的设备，如导数型无源 LPCT，需要在与其连接的设备（测量设备、继电保护装置等）中对频率范围进行调整。见条款 10D.5。

7.2.6.605 元器件更换有关的准确度试验

不适用。

7.2.6.606 保护用无源 LPCT 的补充准确度试验

GB/T 20840.6-2017 的 7.2.6.606 与下列增补的内容均适用：

7.2.6.606.1001 复合误差试验

为验证是否符合表 1002 所列的复合误差限值，应采用直接法试验，以实际正弦波的额定准确限值一次电流通过一次绕组，二次绕组接额定负荷。

试验可在类似于交货产品的互感器上进行，可以减少绝缘，但要保持相同的几何布置尺寸。

无源 LPCT 的安装状态应代表其运行安装情况，且二次绕组应连接规定的负荷。由于无源 LPCT 在各种开关柜中的位置可能不相同，应由制造方自行选择如何安排试验布置。应以模仿运行条件来考虑一次返回导体或其他临近导体与无源 LPCT 之间的距离。

7.2.6.606.1002 暂态特性试验

为验证是否符合表 1002 所列准确限值条件下达到 t' 和/或 t'' 的瞬时误差限值，应采用直接法试验，试验时一次绕组通过 3.3.613 定义的暂态电流，在额定负荷、额定一次短路电流、规定的一次时间常数和规定工作循环下进行。

7.2.6.1001 考虑一次导体位置的准确度试验

本试验是为验证一次导体不居中和/或不垂直于无源 LPCT 时的准确度要求。

本试验适用于没有集成一次导体的无源 LPCT。详细的试验程序见 10F.3。

7.2.6.1002 邻相的磁场影响试验

本试验是为验证邻相对无源 LPCT 准确度的影响。

如果无源 LPCT 要嵌入或安装到电气设备中(例如安装在 GIS 中)，试验应在代表实际安装的结构中进行。

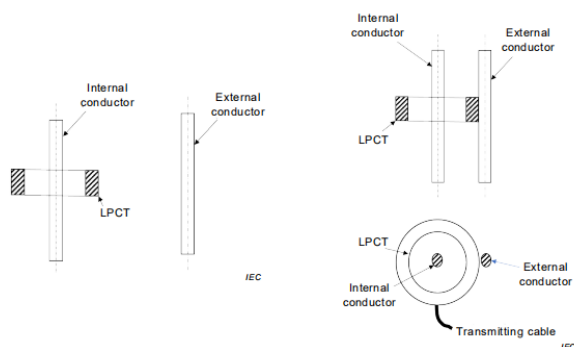
对于设计为与电缆一起使用的无源 LPCT，应在被试的无源 LPCT 外部布置一根外部电缆(见图 1003)。

第一步，额定一次电流通过被试无源 LPCT 的内部导体。内部导体应居中并平行于无源 LPCT 的轴线。试验布置应使外部导体中任何电流的影响都可以忽略不计。

记录比值差和相位差。

第二步，将外部导体接触到无源 LPCT 的外侧并平行于内部导体。无源 LPCT 的外部导体和外表面应相对于无源 LPCT 的输出线位置或输出接插件成 90° 接触，如图 1003b) 所示。

额定一次电流同时流过被试无源 LPCT 的内部导体和外部导体。第一步和第二步测量的比值差和相位差变化应在相应准确级误差限值的 $1/3$ 之内。



额定一次电流	I_{pr}	3.3.601	5.1001
额定扩大一次电流	I_{epr}	3.3.602	5.1002
额定二次电压	U_{sr}	3.1.623	5.1004
额定负荷	R_{br} (阻性/容性)	3.4.7	5.5.601
额定准确限值一次电流		3.3.604	5.6.1004.1
准确级		3.4.5	5.6.1003.2 5.6.1004.3
使用方式 (例如独立式、GIS、母线悬挂、断路器安装)			
相位偏移	φ_0	3.4.603	5.1006
变比修正系数 (如适用)	CF_1	3.4.1003	5.6.1002
修正后的相位偏移 (如适用)	$\varphi_{cor \varphi_0}$	3.4.1004	5.6.1002
特殊使用:			
暂态特性的额定一次短路电流	I_{psc}	3.3.608	-
暂态特性的额定对称短路电流倍数	K_{ssc}	3.3.609	-
暂态特性的规定一次时间常数 (不适用于导数型无源 LPCT)	T_p	3.3.610	-
用户应声明是否允许采用修正后的系数和/或相位偏移进行修正以达到准确级要求。			

601.2 可靠性

不适用。

注：GB/T 20840.6-2017中的601.2条款引用了6.606，这在GB/T 20840的本文件中不适用，因为无源LPCT在维护期间没有需要更换的组件。

附录 10A
(资料性附录)

本文件与 IEC61869-10:2017 结构编号对照情况

表10A.1给出了本文件与IEC 61869-10:2017结构编号对照一览表。

表 10A.1 本文件与 IEC 61869-10:2017 结构编号对照情况

本文件结构编号	IEC 61869-10:2017结构编号
7.3.2	7.3.1
7.3.3	7.3.2
7.3.6	7.3.4
7.3.7	7.3.5
7.3.8	7.3.6
7.3.9	7.3.7
7.3.10	7.3.8
7.3.1	7.4.8
7.3.4	7.4.3
附录C	附录A
附录D	附录B
附录E	附录C
附录F	附录D
表10C.1	表10A.1
表10C.2	表10A.2
表10F.1	表10D.1
图10C.1	图10A.1
图10C.2	图10A.2
图10C.3	图10A.3
图10C.4	图10A.4
图10D.1	图10B.1
图10D.2	图10B.2
图10D.3	图10B.3
图10E.1	图10C.1
图10E.2	图10C.2
图10F.1	图10D.1
图10F.2	图10D.2
图10F.3	图10D.3

附录 10B
(资料性附录)

本文件与 IEC61869-10:2017 技术差异及其原因

表10B.1给出了本文件与IEC 61869-10:2017技术差异及其原因一览表。

表 10B.1 本文件与 IEC 61869-10:2017 技术差异及其原因

本文件结构编号	技术差异	原因
2	关于规范性引用文件，本文件做了具有技术性差异的调整，调整的情况集中反映在第2章“规范性引用文件”中，具体调整如下： a)用修改采用国际标准的GB/T 726代替了IEC60059、GB/T 20840.6—2017代替了IEC 61869-6:2016； b)增加了对GB/T 3954、GB/T 5585.1、GB/T 20840.2、GB/T 20840.7、GB/T 20840.8的引用。	适应我国国情，便于标准使用
5.1006	将“导数型无源LPCT的额定相位偏移为90°”修改为“导数型无源LPCT的额定相位偏移为90°（超前）”。	使技术要求更明确
6.602.1	补充“表1003中给出了使用RJ45型接插件的无源LPCT的引脚分配。”	是标准描述更规范
7.1.2中表10	将“气体露点测量”和“电容量和介质损耗因数测量”由特殊试验调整为例行试验。	加强考核要求，使产品制造质量控制更趋严格

附录 10C (资料性附录)

使用修正后的变比和变比修正系数的标称准确级

10C.1 通用要求

附录 10C 提供了使用单独的变比修正系数 CF_1 定义低功率无源电流互感器（无源 LPCT）的准确级的说明，其中 I 为标称电流。使用单独的变比修正系数代替传统的额定变比 (K_r) 定义准确级的优势在于，可以为无源 LPCT 标称更高的准确级。GB/T 20840.6 中的标称准确级是基于额定变比规定的。为了阐明这一点，定义了比值差，它是互感器测量电流时出现的误差，是由于单台互感器的实际变比不等于额定变比而产生的。传统的测量和保护设备设计的不够灵活，无法识别单台互感器的变比。因此，使用额定变比代表同一准确级的所有互感器。由于每个互感器的变比略有不同，因此必须标称准确级以覆盖相同等级的所有互感器，从而导致了标称准确级的降低。当今的技术使保护、测量和控制设备中的无源 LPCT 有效使用单独的变比成为可能，可以通过使用变比修正系数 CF_1 和额定变比，或者使用修正后的变比 K_{cor1} 来实现。以下基于对相同设计的无源 LPCT 的准确度试验，说明基于变比修正系数和修正后的变比的标称准确级。该方法适用于任何类型的互感器。

变比修正系数 CF_1 由下式定义：

$$CF_1 = \frac{1}{1 - \frac{x}{100}}$$

式中 x 是在额定电流下额定变比与实际变比之间的单位误差。

修正变比由下式定义：

$$K_{cor} = CF_1 \times K_r$$

在实际应用中，继电保护装置可以设计为分别接收额定变比 (K_r) 和变比修正系数 CF_1 或结合 K_r 和 CF_1 的修正后的变比 K_{cor} 。

图 10C.1 举例说明了三台无源 LPCT 使用变比修正系数 CF_1 后标称准确级的提高。

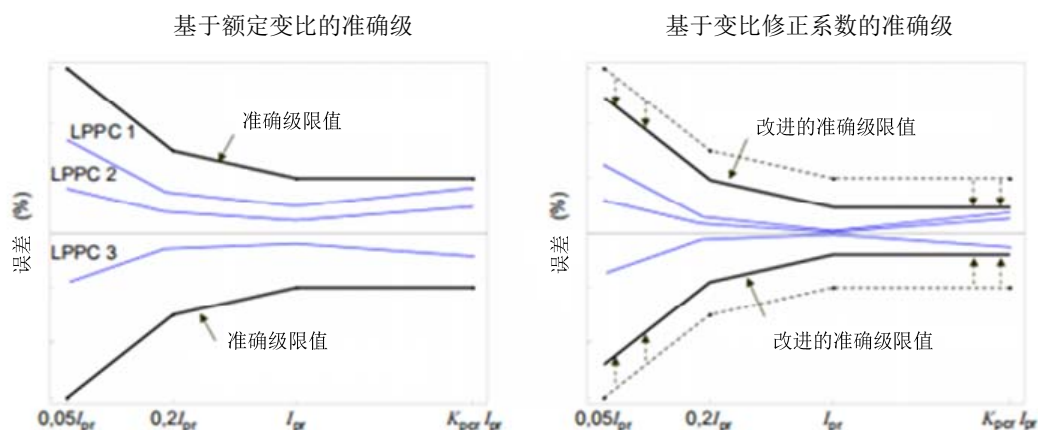


图 10C.1 基于单独的变比修正系数 CF_1 的标称准确级的提高

10C.2 基于额定变比的准确级

定义 3.4.3 通过以下公式定义了模拟量输出的比值差 ε :

$$\varepsilon = \frac{K_r \cdot U_s - I_p}{I_p} \times 100\%$$

式中:

K_r ——额定变比;

I_p ——当 $i_{\text{pres}}(t) = 0$ 时实际一次电流的方均根值, 其中 $i_{\text{pres}}(t)$ 是一次剩余电流, 包括谐波和次谐波分量以及一次直流电流;

U_s ——当 $U_{\text{sd}} + u_{\text{sres}}(t) = 0$ 时二次转换器输出的方均根值, 其中 U_{sd} 是二次直流电压, $u_{\text{sres}}(t)$ 是包括谐波和次谐波分量的二次剩余电压。

10C.3 基于单独的变比修正系数的准确级

基于变比修正系数 CF_1 的误差称为修正后的比值差 ($\varepsilon_{\text{cor1}}$), 由以下公式定义:

$$\varepsilon_{\text{cor1}} = \frac{CF_1 \cdot K_r \cdot U_s - I_p}{I_p} \times 100\%$$

与 10C.2 中的公式的不同之处在于, 此处的额定变比 K_r 乘了变比修正系数 CF_1 。

10C.4 应用举例

在此示例中, 随机选取五台无源 LPCT 进行准确级试验。如图 10C.2 所示, 试验中无源 LPCT 以一次导体为中心且垂直于一次导体。试验结果列于表 10C.1 和表 10C.2 中。依据表 1001, 在 $0.05 I_{\text{pr}}$ 、 $0.2 I_{\text{pr}}$ 、 I_{pr} 和 $K_{\text{per}} I_{\text{pr}}$ (此处, $K_{\text{per}} = 10$) 下进行测量。在一次电流 I_{pr} 下, 校准系统 [3]¹⁾ 的幅值和相位的扩展不确定度 (包含因子 $k = 2$) 分别为 0.007% 和 90 μrad 。

为了强调单独的变比修正系数的优势, 先将测量的单个变比的平均值作为额定变比标称准确级的方法代表传统方法, 然后将单独的修正变比标称准确级的方法代表新方法。图 10C.3 给出了基于额定变比的标称准确级, 图 10C.4 给出了基于包含变比修正系数 CF_1 的修正变比的标称准确级。

结论是, 如果测量仪器 (功率计, 继电保护装置等) 允许输入变比修正系数, 则准确级标称为 1 的无源 LPCT 可以有 0.1 的标称准确级。

注: 附录 10C 说明了一种使用变比修正系数和修正变比来提高无源 LPCT 的标称准确级的方法。实际标称准确级还包括其他参数, 例如温度的影响, 此处未涵盖。但是, 即使包括了这些附加参数, 使用这种新方法也会提高标称准确级。

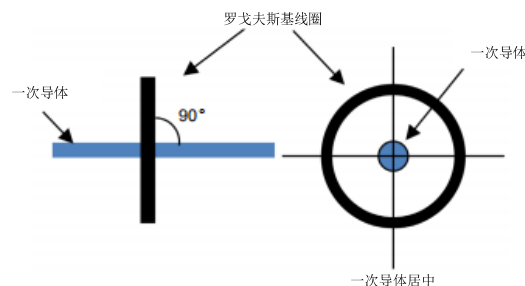


图 10C.2 无源 LPCT 的准确度试验

1) 方括号中的数字指参考文献。

表 10C.1 比值、基于平均值的比值差及相应的一次电流

无源 LPCT	比值 kA/V	基于平均值的比值差 %	二次电压 22.5mV 时的一次电流 A
无源 LPCT1	41.263	0.789	928
无源 LPCT2	40.776	-0.401	917
无源 LPCT3	41.110	0.415	925
无源 LPCT4	40.998	0.142	922
无源 LPCT5	40.556	-0.938	913
平均值	40.94		

表 10C.2 测量的五台无源 LPCT 的比值差、修正系数及基于变比修正系数的比值差

无源 LPCT	ε (%)				CF_1	ε_{cor1} (%)			
	$0.05 I_{pr}$	$0.2 I_{pr}$	I_{pr}	$K_{pr} I_{pr}$		$0.05 I_{pr}$	$0.2 I_{pr}$	I_{pr}	$K_{pr} I_{pr}$
无源 LPCT1	0.871	0.789	0.789	0.836	1.008	0.084	0	0	0.049
无源 LPCT2	-0.395	-0.401	-0.401	-0.388	0.996	0.007	0	0	0.014
无源 LPCT3	0.483	0.415	0.415	0.425	1.004	0.069	0	0	0.011
无源 LPCT4	0.191	0.142	0.142	0.227	1.001	0.051	0	0	0.087
无源 LPCT5	-0.903	-0.938	-0.938	-0.849	0.991	0.036	0	0	0.09

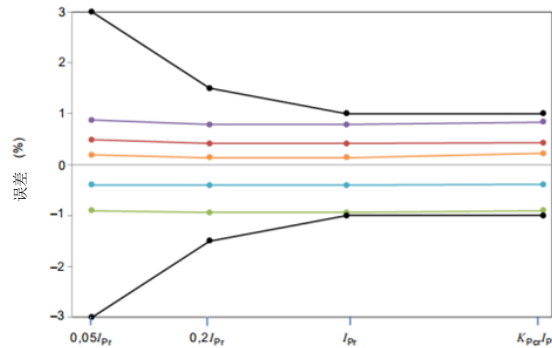


图 10C.3 基于额定变比的标称为 1%的准确级

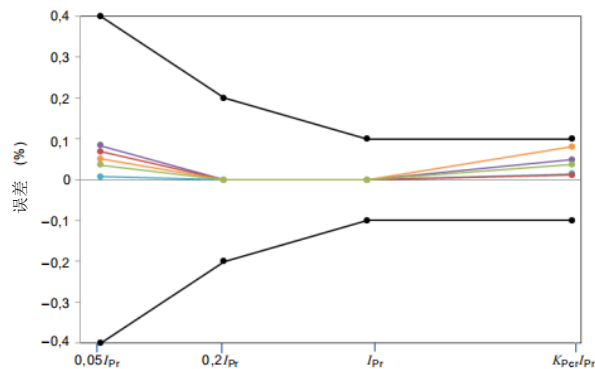


图 10C.4 基于变变比修正系数和修正变比的标称为 0.1%的准确级

附录 10D
(资料性附录)
罗戈夫斯基线圈的工作原理

10D.1 通用要求

导数型无源 LPCT 大多制造成空心线圈，通常称为罗戈夫斯基线圈，积分器不是导数型无源 LPCT 的一部分。它提供一个与一次电流的导数成正比的输出信号。附录 10D 描述了这种设备的工作原理。

10D.2 工作原理

罗戈夫斯基线圈与传统的铁芯电流互感器工作的磁场原理相同。罗戈夫斯基线圈和传统的铁芯电流互感器之间的主要区别在于罗戈夫斯基线圈绕组绕在非磁芯（空心）上，而不是绕在铁芯上。由于空心不会饱和，罗戈夫斯基线圈是线性的。但是，罗戈夫斯基线圈中一次导体和二次绕组之间的互耦比传统的铁芯电流互感器中小得多，导致输出功率较小。因此，罗戈夫斯基线圈无法像传统的铁芯电流互感器那样驱动电流通过低电阻负荷。罗戈夫斯基线圈输出信号的强度足以驱动具有高输入电阻的基于微处理器的设备，它们实际上测量的是罗戈夫斯基线圈二次输出端子的电压。

罗戈夫斯基线圈的主要特性包括高测量准确度和宽工作电流范围（线性），可同时用作测量和保护功能。罗戈夫斯基线圈可以通过合适的接插件经双绞线屏蔽电缆连接到继电保护装置。由于线圈输出信号为二次电路开路时的最小电压，因此不需要安全接线端子。

传统的罗戈夫斯基线圈由绕在非磁芯上的绕组组成（见图 10D.1）。将线圈放置在要测量其电流的导体周围，输出电压 U_s 与所测电流的变化率成正比，如公式所示：

$$u_s(t) = -M \frac{di(t)}{dt}$$

式中， M 是互感系数。

罗戈夫斯基线圈的一次电流和二次电压之间的相角接近 90° （相角 φ 的 90° 偏移由线圈电感 L_s 和电阻 R_s 引起）。电容 C_s 主要由线圈屏蔽电容，输出电缆电容和一些杂散电容组成。电容 C_s 在测量和保护应用关注的频率下很小，可以忽略。

为了获得高质量的电流传感器，设计罗戈夫斯基线圈时需要满足两个主要条件：

- 罗戈夫斯基线圈输出信号与线圈回路内的一次导体位置无关；
- 通有大电流的邻近导体对罗戈夫斯基线圈输出信号的影响很小。

为获得与线圈回路内的一次导体位置无关的罗戈夫斯基线圈输出信号，对于一次导体在线圈回路内任何位置的互感系数 M 具有恒定值。互感系数 M 由以下公式定义：

$$M = \mu_0 \times n \times S$$

为达到这一目标，罗戈夫斯基线圈的空心骨架具有恒定的横截面 S ，且导线垂直绕在中线 I （图 10D.1 中的虚线）上，匝数密度 n 恒定。

罗戈夫斯基线圈中的一次导体和二次绕组是弱耦合的，在设计罗戈夫斯基线圈时，需要将两个二次绕组回路以电气相反的方向连接，以防邻近大电流导体产生的影响，这种设计抵消了线圈回路外部的电磁场。绕组可以由一个或两个回路构成。如果绕组仅由一个回路构成，则可以通过使导线返回时穿过或

靠近该绕组来构造第二个绕组回路。如果绕组由两个回路构成，则它们将以相反的方向缠绕。在这种情况下，罗戈夫斯基线圈由内部导体的电流感应的输出电压将翻倍。

由于罗戈夫斯基线圈信号是一次电流对时间的导数 $di(t)/dt$ ，因此需要进行信号处理以提取基于相量的继电保护装置的工频信号。如果测量仅限于单一频率正弦电流（50 Hz 或 60 Hz），则罗戈夫斯基线圈的二次信号将偏移 90° ，电压方均根值可使用以下公式计算：

$$U_{\text{RMS}} = \omega \times M \times I_{\text{RMS}}$$

10D.3 设计

罗戈夫斯基线圈可以设计成不同的形状。通常，对于测量和保护应用，常用的形状是圆形和椭圆形。线圈可以由刚性或柔性材料制成。它们可以制成非开口型，也可以制成可打开安装在一次导体周围的开口型结构。线圈的横截面形状通常为圆形或矩形。

刚性罗戈夫斯基线圈比柔性罗戈夫斯基线圈具有更高的准确度，并且可以设计成圆形或椭圆形的使用刚性材料的非磁心或印制电路板（PCBs）。刚性线圈也可以设计成穿心型（非开口型）或开口型。PCB 罗戈夫斯基线圈可以设计成使用一个或两个印制电路板。使用一个 PCB 的设计将两个绕组都印制在同一块 PCB 上。当使用两个 PCB 制作罗戈夫斯基线圈时，每块板的每一面上都印有一个线圈，并通过电镀孔（过孔）互连。这两块板上的线圈以相反的方向缠绕并串联连接。

类似于传统的套管型电流互感器，穿心型（非开口型）罗戈夫斯基线圈设计成可围绕易打开的一次导体移动的结构。开口型罗戈夫斯基线圈设计成无需打开一次导体即可安装在一次导体周围的结构。

10D.4 准确度

可能影响罗戈夫斯基线圈的幅值差和相位差的主要因素有：

- 由于制造过程中绕组匝数密度 n 和空心骨架的横截面 S 变化以及温度变化引起的互感系数 M 的变化；
- 罗戈夫斯基线圈的固有参数 R_s 和 L_s 。

不同罗戈夫斯基线圈之间的互感系数 M 的变化可能会导致线圈之间的变比略有变化。需要考虑每一个罗戈夫斯基线圈的修正系数。罗戈夫斯基线圈的准确级还可能受到罗戈夫斯基线圈对一次导体的相对位置以及邻近导体的影响。制造方应定义所用准确级的规定使用条件。

罗戈夫斯基线圈的固有参数 R_s 和 L_s 将影响幅值差和相位差，如下所示：

罗戈夫斯基线圈电阻负荷 R_b 的二次电压 U_s 可通过以下公式计算：

$$U_s = E - (R_s + j\omega L_s)I_s$$

$$I_s = \frac{U_s}{R_b}$$

幅值差 ε 由以下公式定义：

$$\varepsilon = \frac{U_s - E}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{(R_s)^2 + (\omega L_s)^2}}{\sqrt{(R_b + R_s)^2 + (\omega L_s)^2}}$$

由于 $\omega L_s \ll R_b + R_s$ 和 $R_s \ll R_b$ ，幅值差 ε 可以近似由以下公式确定：

$$\varepsilon \approx \frac{R_S}{R_b}$$

相位差 φ_e 由以下公式定义:

$$\tan \varphi_e = \frac{\omega L_S}{R_b + R_S} \approx \frac{\omega L_S}{R_b}$$

$$\varphi_e = \arctan \left(\frac{\omega L_S}{R_b + R_S} \right) \approx \arctan \left(\frac{\omega L_S}{R_b} \right)$$

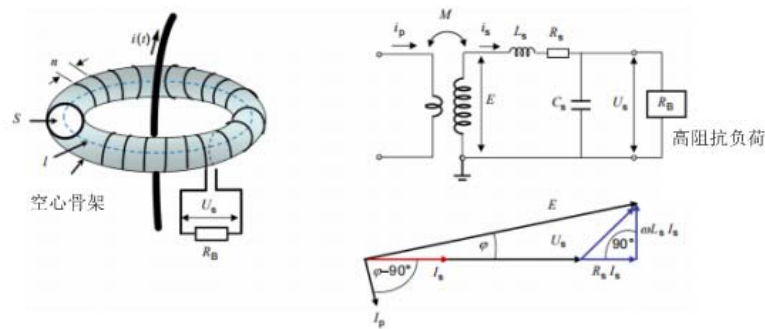


图 10D.1 罗戈夫斯基线圈的等效电路

对于罗戈夫斯基线圈,由于不含磁性铁心,因此线圈性能不受较高的一次时间常数和占空比的影响。

10D.5 频率响应

罗戈夫斯基线圈相对于传统 CT 通常具有较高的频率响应范围。罗戈夫斯基线圈的频率响应可以设计成高于 1MHz, 这使其适用于行波保护。罗戈夫斯基线圈是与频率相关的设备, 因此输出信号与频率成线性比例关系。但是, 积分信号在典型工作频率范围内与频率无关, 直到达到传感器的自谐振区域为止, 如图 10D.2 所示。

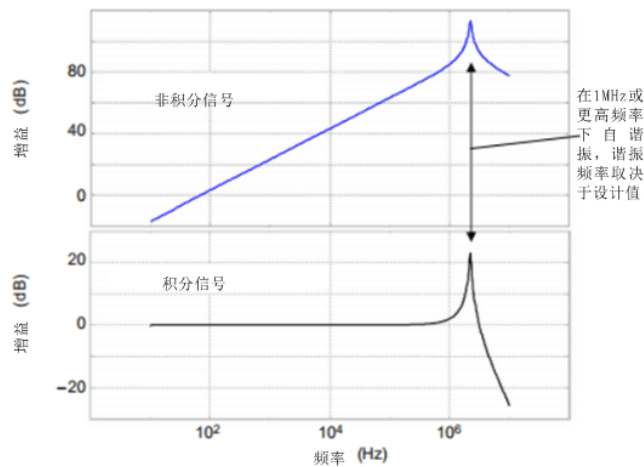


图 10D.2 罗戈夫斯基线圈的积分和非积分输出信号

GB/T 20840.6-2017 的 5.4 规定了与频率相关的要求，如下所示：

- 对测量用准确级，额定频率范围为额定频率的 99%~101%；
- 对保护用准确级，额定频率范围为额定频率的 96%~102%。

对于试验过程，GB/T 20840.6-2017 规定准确度试验应在额定频率范围的两个极限值、额定输入信号，额定负荷（如果适用）和恒定环境温度下进行。误差应在相应准确级的限值以内。

如上文所述，罗戈夫斯基线圈是与频率相关的设备，因此输出信号与频率成线性比例。为验证罗戈夫斯基线圈的频率特性，可以按照 GB/T 20840.6-2017 的规定进行试验，然后用频率对试验结果进行修正。

例如，对于在 99% 额定频率下进行的试验，可以将试验结果修正为：

$$U_{s\text{-corrected}} = U_s \times \frac{100}{99}$$

式中， U_s 是在 99% 额定频率下测得的二次电压。

对于在 101% 额定频率下进行的试验，可以将试验结果修正为：

$$U_{s\text{-corrected}} = U_s \times \frac{100}{101}$$

式中， U_s 是在 101% 额定频率下测得的二次电压。

然后使用 $U_{s\text{-corrected}}$ 的值来验证罗戈夫斯基线圈是否在相应准确级的限值以内。如图 10D.3 所示。

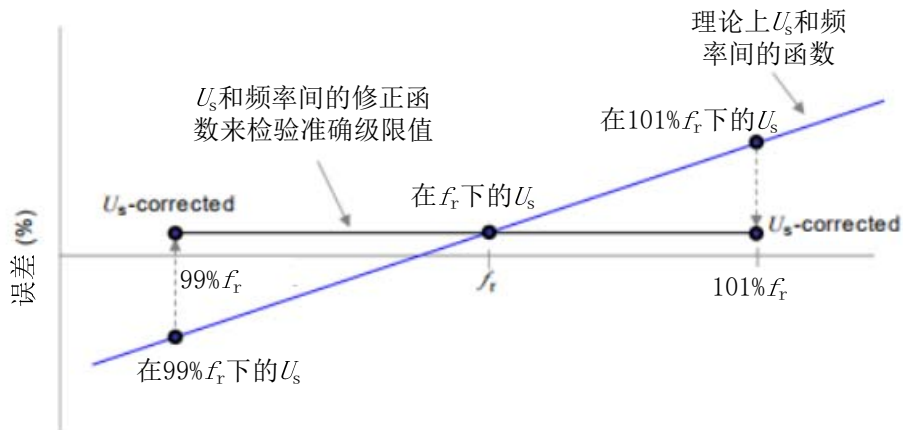


图 10D.3 罗戈夫斯基线圈频率相关性试验

附录 10E
(资料性附录)

低功率铁芯式电流互感器的工作原理（比例型无源 LPCT）

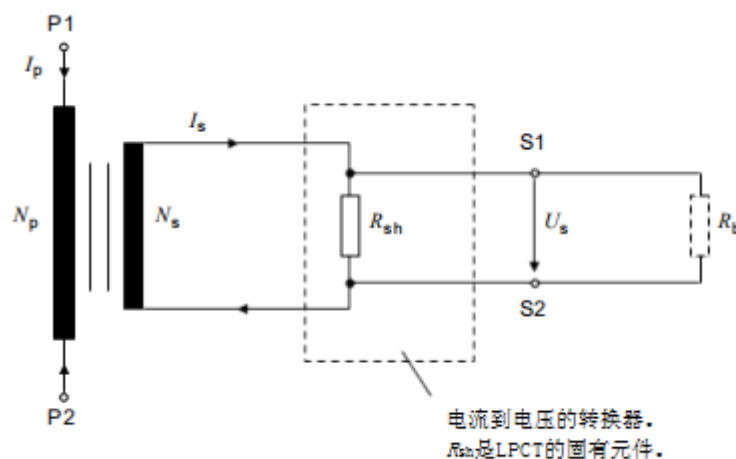
10E.1 通用要求

比例型 LPCT 主要是由铁心构成，具有固有的并联电阻作为电流到电压的转换器（一次转换器）。它提供与一次电流成比例的输出信号。附录 10E 描述了这种设备的工作原理。

10E.2 原理

比例型无源 LPCT 由一个电磁式电流互感器组成，它包含一次绕组，小铁心和一个与并联电阻 R_{sh} 连接的损耗极小的二次绕组，此电阻是比例型无源 LPCT 的固有元件，对互感器的功能和稳定性极为重要。并联电阻两端的电压是比例型 LPCT 的输出信号。

并联电阻 R_{sh} 的设计方式是使互感器的功率损耗几乎为零。二次电流 I_s 在并联电阻上产生电压降 U_s ，其幅值与一次电流成比例且同相位。而且，互感器的测量范围和准确度越理想，其二次负荷和内部损耗要求的功率越小（见图 10E.1 和图 10E.2）。



符号说明：

I_p ——一次电流；

R_{sh} ——并联电阻（电流到电压的转换器）；

U_s ——二次电压；

R_b ——负荷， Ω ；

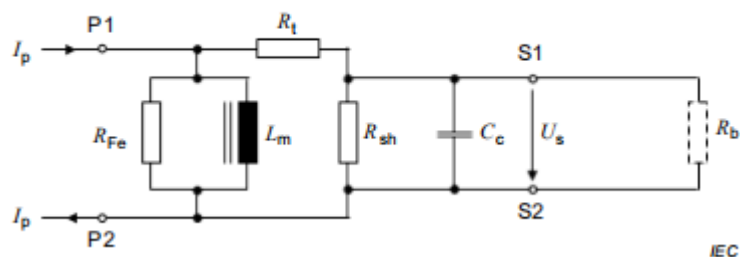
N_p ——一次绕组的匝数；

N_s ——二次绕组的匝数；

P1、P2 ——一次端子；

S1、S2 ——二次端子。

图 10E.1 铁心式电流互感器原理



符号说明：

- I_p ——一次电流；
- R_{Fe} ——等效铁损电阻；
- L_m ——等效励磁电感；
- R_t ——二次绕组和引线的总电阻；
- R_{sh} ——并联电阻（电流到电压的转换器）；
- C_c ——电缆的等效电容；
- U_s ——二次电压；
- R_b ——负荷， Ω ；
- P1、P2 ——一次端子；
- S1、S2 ——二次端子。

图 10E. 2 电压输出的铁心式电流互感器等效电路

10E. 3 准确度

总消耗功率的降低，便有可能无饱和地准确测量高达短路电流的过电流，对全偏移短路电流也能满足。除了量程更宽，无源 LPCT 的设计尺寸可以比传统电磁式电流互感器更小。因此，由于全部应用范围可以由单台电流互感器来承担，无需区分测量用和保护用互感器。

宽线性测量范围使比例型无源 LPCT 成为多用途电流互感器，如 GB/T 20840.6-2017 附录 6E 中所述。

附录 10F
(规范性附录)
与一次导体位置相关的准确度试验

10F.1 通用要求

附录 10F 适用于不含集成一次导体的无源 LPCT。在这种情况下，一次导体的位置可能会影响无源 LPCT 的准确度。

附录 10F 规定了满足标称准确级要求的一次导体的三级位置，并描述了相关的试验过程。

10F.2 扩展准确级的规定

准确级应以代表一次导体对位置的敏感度的扩展准确级来标称。此扩展准确级由表 10F.1 中的字母和其后的数字给出。

表 10F.1 无源 LPCT 一次导体的极限位置

扩展准确级标称	准确级允许的最大位置因数 (PF)	准确级允许的最大相位
A1	0	0
A2	0.5	15°
A3	1	45°

位置因数根据以下公式定义：

$$PF = (d_{\max} - d_{\min}) / (d_{\max} + d_{\min})$$

式中：

d_{\min} —— 一次导体和 LPCT 窗口之间的最小距离；

d_{\max} —— 一次导体与 LPCT 窗口之间的最大距离。

这两个距离的定义适用于无源 LPCT 轴线和一次导体轴线之间的任意角度。图 10D.2 演示了一次导体位置的三个示例。

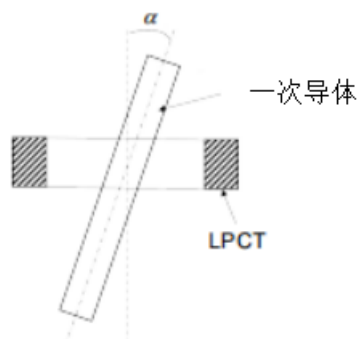


图 10F.1 一次导体和无源 LPCT 之间的角度定义

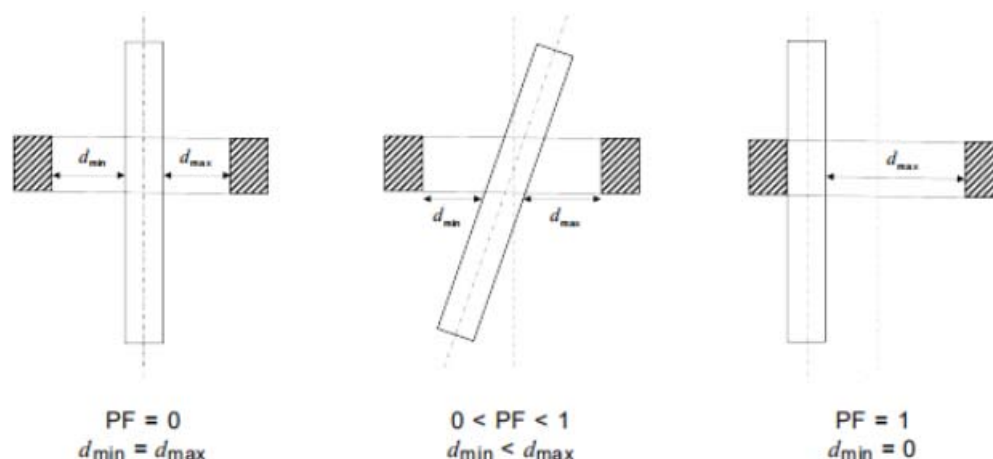


图 10F.2 由位置因数确定的一次导体位置示意图

与标明的扩展准确级关联的“Ax”示例：

- 0.5-A1 级：0.5 级无源 LPCT，确保一次导体居中；
- 0.5-A3 级：0.5 级无源 LPCT，确保一次导体与 LPCT 窗口的内部接触。

注：同一无源 LPCT 的准确级可以为 0.2-A2 或 0.5-A3。

10F.3 试验程序

使用圆截面和直径小于或等于无源 LPCT 窗口的 20% 的一次导体。

应进行两次准确度测量。第一次，一次导体与无源 LPCT 的轴线平行，且根据表 10F.1 位于最大位置因数处。第二次测量应在一次导体居中的情况下进行，且根据表 10F.1 中的定义位于最大角度处。如果由无源于 LPCT 或者一次导体的设计无法达到表 10F.1 中的最大角度，则应达到最大可能的角度。

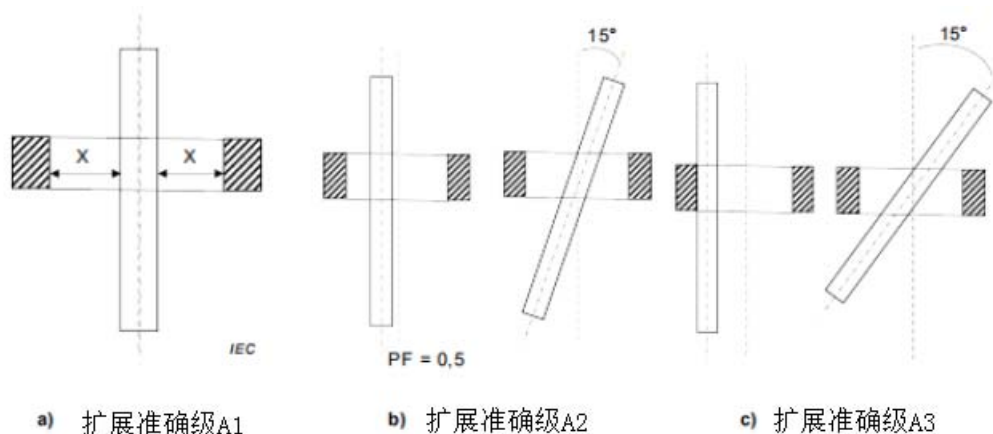


图 10F.3 准确度测量试验布置

对于扩展准确级 A2 或 A3，一次导体与无源 LPCT 之间的最小距离应位于最靠近无源 LPCT 二次端子的位置，并且应靠近无源 LPCT 二次绕组（如果有）的每匝。

在进行此项试验时，无源 LPCT 和裸导体之间应有一层薄的绝缘层（其厚度相比导体直径可以忽略）。如果对于所有试验位置误差限值均满足标明的准确级要求，则试验通过。

参 考 文 献

- [1] IEC 60028, International standard of resistance for copper
 - [2] IEC 60121, Recommendation for commercial annealed aluminium electrical conductor wire
 - [3] B. N. Taylor, C. E. Kuyatt, "Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results", United States Department of Commerce Technology Administration National Institute of Standards and Technology, NIST Technical Note 1297, 1994 Edition
 - [4] IEC 61869-8, Instrument transformers – Part 8: specific requirements for electronic current transformers
-