

团 体 标 准

T/GSEE0010—2023

光纤直流电流互感器技术规范

Technical specification for optical fiber DC current transformers

2023 - 11 - 21 发布

2023 - 11 - 21 实施

广东省电机工程学会 发布

目 次

前 言	II
光纤直流电流互感器技术规范	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 互感器原理及结构	2
5 正常和特殊使用条件	2
6 技术参数及性能要求	3
7 试验	6
8 标志、包装、储存和运输	10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020的规定起草。

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。

本文件由广东省标准化研究院提出并解释。

本文件由广东省电机工程学会归口。

本文件起草单位：广东省标准化研究院、广东产品质量监督检验研究院、广东中贝能源科技有限公司、中国质量认证中心广州分中心、中山市宝利金电子有限公司、广东中质检测技术有限公司、南方电网供应链集团有限公司、湖南电科院检测集团有限公司、深圳市光辉电器实业有限公司、广东明阳电气股份有限公司、广东中鹏电气有限公司、众源科技（广东）股份有限公司、广东浩城电气有限公司、德丰电创科技股份有限公司、广东必达电器有限公司、海鸿电气有限公司、广东珠江开关有限公司、广东联航智能科技有限公司、广州广高高压电器有限公司、广州市安固信息科技有限公司、广东联德检测技术服务有限公司、达测科技（广州）股份有限公司、广东省高新质量科学研究院、深圳市灿阳电气设备有限公司。

本文件主要起草人：白承宗、林志力、杨仁旭、赵婧、刘野、李鹏、邱恒嘉、肖江村、杨茂昌、林俊容、杜明慧、梁耀明、李斌、王富忠、赖美云、王立新、陈锐涛、张静、胡育军、苏红元、杨斌、张小明、郭晨曦、李朋波、陈海聪、罗学成、唐建乐、曾鲲华、曹武涛、高垣照、刘跃占、邓美华、苏振业、丁前禄、王靖龙、梁羽、张喜娣、陈志平、陆永驰、陈建伸、凌剑雄、华嘉锐、王菊香。

本文件为首次发布。

光纤直流电流互感器技术规范

1 范围

本文件规定了光纤直流电流互感器（以下简称互感器）的原理及结构、正常和特殊使用条件、技术参数及性能要求、试验、标志、包装、储存和运输。

本文件适用于 $\pm 800\text{kV}$ 及以下电压等级、电流在 100A 至 6300A 的直流输电电路直流极母线、双十二脉动换流阀组中点（如果适用）母线及中性母线的互感器。

2 规范性引用文件

下列文件中的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 14537-1993 量度继电器和保护装置的冲击与碰撞试验

GB/T 16927.1-2011 高电压试验技术 第一部分 一般试验要求

GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3-2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.4-2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 17626.8-2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 17626.9-2011 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验

GB/T 17626.10-2017 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验

GB/T 17626.11-2008 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

GB/T 17626.12-2013 电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验

GB/T 17742-2020 中国地震烈度表

GB/T 20635-2006 特殊环境条件 高原用高压电器的技术要求

GB/T 20840.1-2010 互感器 第1部分：通用技术要求

GB/T 20840.8-2007 互感器 第8部分：电子式电流互感器

GB/T 26216.1-2010 高压直流输电系统直流电流测量装置 第1部分：电子式直流电流测量装置；

IEC 61000-4-13 Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-13: Testing and measurement techniques - Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests

IEC 61000-4-29 Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-29: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests

3 术语和定义

GB/T 20840.8-2007和GB/T 26216.1-2010界定的术语和定义适用于本文件。

4 互感器原理及结构

4.1 原理

光源 SLD 发出的光经光纤偏振器、 2×2 耦合器后分别入射到光纤环的两个臂，光纤环由两段光纤构成：一段为传光用的偏振保持光纤，传送线偏振光；另一段为多匝低双折射率的光纤线圈构成的传感光纤环，传送圆偏振光。两部分光纤之间由两个与保偏光纤双折射率轴成 45° 的 $1/4$ 波片连接。保偏光纤中的线偏振光经 $1/4$ 波片后转化成圆偏振光，并在传感光纤环中相向传播。当传感光纤环中有电流通过时，两相向传播的圆偏振光会在电流所产生的闭合磁场的的作用下形成非互易的相位差。圆偏振光通过 $1/4$ 波片后又重新变回到线偏振光，经过耦合器时产生干涉信号，此时相干光中已有因磁场导致的相位信息。通过在光纤环的一端上接入一互易性相位调制器，采用与光纤陀螺同样的相位调制和相干解调技术，便可得到载导体上的电流信息。

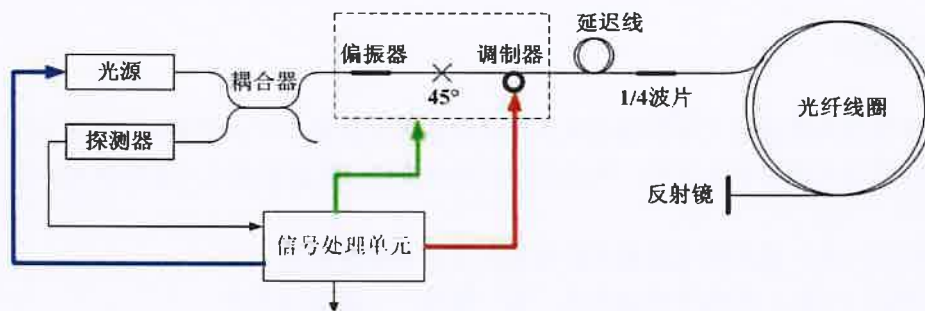


图1 互感器系统示意图

4.2 结构要求

- 4.2.1 互感器的结构便于现场安装、运行、维护。
- 4.2.2 金属件外表面应具有良好的防腐蚀层，产品端子应符合图样要求。
- 4.2.3 互感器应有直径不小于 8 mm 的接地螺栓或其他供接地用的零件（如面积足够且有连接孔的接地板），接地处应有平坦的金属表面，并标有明显的接地符号。
- 4.2.4 所有端子及紧固件应有良好的防锈镀层，足够的机械强度和保持良好的接触面。
- 4.2.5 互感器的传输系统采用光缆，备用光纤的数量应多于实际使用光纤数量的 100%，但至少 3 根。
- 4.2.6 采集模块的光纤接头统一使用 FC 接头，不同功能的光纤通过颜色区分。
- 4.2.7 互感器户外部分应具备防水结构和防鸟筑巢装置。

5 正常和特殊使用条件

5.1 海拔

海拔不超过 1000 m。

5.2 振动及地震

使用地点不出现超过 GB/T 14537-1993 规定的严酷等级为 I 级的振动；能工作在不超过 GB/T 17742-2020 规定的烈度为 8 度的地震。

5.3 环境

风速：≤34m/s（风压不超过700Pa）。

相对湿度：在25℃时月平均不高于90%，应考虑出现凝露或降水；

环境温度为-40℃~70℃；

日照强度：≤1000 W/m²；

污秽等级：IV级；

5.4 特殊使用条件

对于安装在海拔高于1000 m处的互感器设备，外绝缘额定绝缘水平应按GB/T 20635-2006中的5.1进行校正。

6 技术参数及性能要求

6.1 额定一次直流电流 I_r

标准值为：100A, 125A, 150A, 200A, 300A, 400A, 500A, 600A, 750A以及它们的十进制倍数，最高不超过6300A，有下划线者为优先值。

6.2 额定连续热电流

不小于额定一次直流电流的1.2倍。

6.3 额定短时热电流

额定一次直流电流不超过750A时，额定短时热电流的标准值应符合GB/T 20840.8-2007中5.1.4.1.2的要求。额定一次直流电流超过750A时，额定短时热电流应为额定一次直流电流的4倍，持续时间标准值为1s。

6.4 额定动稳定电流

为额定短时热电流的2.5倍。

6.5 额定一次电压 U_{dr}

作为互感器性能基准的一次电压值。

额定一次电压标称值标准系列：20 kV, 60 kV, 100 kV, 400 kV, 500 kV, 660 kV, 800 kV。

6.6 最高持续运行电压 U_{dm}

设备所在系统正常运行电压的最高值，它是直流测量设备绝缘设计的依据。

最高持续运行电压标准系列：20 kV, 60 kV, 100 kV, 408 kV, 515 kV, 680 kV, 816 kV。

6.7 绝缘要求

互感器的一次端绝缘水平应满足表1的要求。

表1 绝缘水平

最高持续运行电压 kV	直流耐受电压 kV	操作耐受电压 kV	雷电耐受电压 kV
20	30	-	170

最高持续运行电压 kV	直流耐受电压 kV	操作耐受电压 kV	雷电耐受电压 kV
			325
			550
60	90	-	170
			325
			550
100	150	-	650
408	600	850	950
		950	1175
515	750	1175	1425
		1300	1550
		1425	1675
680	990	1600	1800
816	1224	1600	1950

6.8 低压器件电压耐受能力

GB/T 20840.8-2007中的6.1.1.3适用。

6.9 局部放电

互感器在1.5倍的额定一次电压下，局放大于1000 pC 的脉冲数10分钟内应小于10个。

极性反转试验过程中局放大于1000 pC的脉冲数10分钟内应小于10个（试验电压为在1.25倍的额定一次电压）。

6.10 爬电比距

对于采用硅橡胶复合绝缘子的互感器，其爬电比距应大于48 mm/kV；对于采用瓷绝缘子的互感器，其爬电比距应大于60 mm/kV。

6.11 无线电干扰电压要求

在1.1倍的设备最高额定直流电压下，互感器与电网连接的外部零件表面在晴天的夜间不应有可见电晕，其无线电干扰电压不应大于2500 μ V。

6.12 电磁兼容抗扰度要求

互感器的电磁兼容性能应满足表2的要求。

表2 电磁兼容抗扰度要求

试验	参考标准	严酷等级	评价准则
谐波和谐间波抗扰度 a	IEC 61000-4-13	2	A
电压慢变化抗扰度 a	GB/T 17626.11	+10%~20%	A
电压慢变化抗扰度 b	IEC 61000-4-29	+20%~20%	A
电压暂降和短时中断抗扰度 a	GB/T 17626.11	30%暂降×0.1 s	A

		中断×0.02 s	
电压暂降和短时中断抗扰度 b	IEC 61000-4-29	50%暂降×0.1 s 中断×0.05 s	A
浪涌(冲击)抗扰度	GB/T 17626.5	4	B
电快速瞬变脉冲群抗扰度	GB/T 17626.4	4	B
振荡波抗扰度	GB/T 17626.12	3	B
静电放电抗扰度	GB/T 17626.2	2	B
工频磁场抗扰度	GB/T 17626.8	5	A
脉冲磁场抗扰度	GB/T 17626.9	5	B
阻尼振荡磁场抗扰度	GB/T 17626.10	5	B
射频电磁场辐射抗扰度	GB/T 17626.3	3	A
<p>A: 满足准确度规范限值以内的正常性能</p> <p>B: 允许与保护无关的测量性能短时下降。不允许复位或重新启动。不允许输出过电压超过 500 V。对于保护用互感器, 不允许性能下降致使继电保护装置误动。</p> <p>a 仅适用于带交流电源端口的互感器</p> <p>b 仅适用于带直流电源端口的互感器</p>			

6.13 温升要求

互感器的设计和构造, 应能承受下述条件的热效应而温升不超过60K且无损伤:

- a) 规定的最高环境温度;
- b) 额定频率;
- c) 额定连续热电流。

6.14 频率响应

其对频率为 1200 Hz 及以下的正弦输入信号的幅值和相位的测量误差, 应满足幅值误差不超过 0.75%, 相角误差不超过 500 μ s。

6.15 阶跃响应

超调量	<20%阶跃电流
上升时间(达到阶跃值90%的时间)	<250 μ s
建立时间(幅值偏差不超过阶跃值1.5%)	<5 ms

6.16 直流电流测量准确级

互感器的准确级以额定电流下所规定的最大允许电流误差百分数来标称, 标准准确级为: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5。

对于上述准确级电流测量装置, 电流误差应不超过表 3 所列限值。

表3 电流测量误差

准确级	在下列额定电流(%)下的电流(比值)误差 %
-----	---------------------------

	10	20	20~120	120~300 (不含 120%)	300~600 (不含 300%)
0.1	±0.4	±0.2	±0.1	±1.5	±10
0.2	±0.75	±0.35	±0.2		
0.5	±1.5	±0.75	±0.5		
1.0 ^a	±3.0	±1.5	±1.0	±3, ±5, ±10	
1.5 ^a	±4.5	±2.25	±.5		
a: 对于 1 级和 1.5 级, 100%以上额定电流下的误差可从推荐值 ±3, ±5, ±10 中选取。					

6.17 机械强度要求

互感器能承受的静载荷应符合 GB/T 20840.1-2010 中 6.7 的要求

6.18 数字输出要求

数字输出的额定值应符合 GB/T 26216.1-2019 中 5.8 的要求。

6.19 防护等级

互感器中有密封要求的部件(如一次转换器箱体及光缆熔接箱体)的防护性能应满足 IP67 要求。

6.20 外观工艺要求

外观工艺应符合:

- a) 外观清洁, 美观。
- b) 所有部件齐全、完整、无变形。
- c) 金属部件无锈蚀, 漆面无脱落。
- d) 铭牌及端子标志字迹清晰。
- e) 紧固件安装牢固, 密封件密封良好。

6.21 故障自检及维修警告

互感器应能对其一次转换器、传输系统及合并单元的工作状态进行自检, 当自动检测出设备故障或输出数据异常时, 应及时触发数字量输出数据无效标志。当检测出互感器要求维修时, 应给出维修警告指示。

7 试验

7.1 试验分类

本部分所规定的试验分为型式试验、出厂试验及现场验收试验。

- a) 型式试验: 对每种型式互感器所进行的试验, 用它验证按同一技术规范制造的直流电流测量装置均应满足, 且在例行试验中未包括的要求。
- b) 出厂试验: 每台互感器在出厂前都应经受的试验。

- c) 现场验收试验：在安装完好并完成所有的连接后应当进行现场试验，用来检查直流电流测量装置设备没有因运输和储存而损坏。

7.2 型式试验

7.2.1 短时电流试验

按照GB/T 20840.8-2007中8.1的规定进行短时电流试验（包括短时热电流和动稳定电流试验），短时热电流试验电流值为额定一次电流的4倍，动稳定电流试验电流峰值为额定一次电流的10倍。如果互感器冷却到环境温度（10℃与40℃之间）后满足下列要求，则认为通过本试：

- 无可见损伤；
- 误差与试验前的差异，不超过误差限值的一半，且满足相应准确度的要求；
- 能承受7.2.2中直流电压耐受试验，但试验电压应降至原规定值的90%；
- 经检查，与导线表面接触的绝缘无明显的劣化现象（例如碳化现象）。

7.2.2 绝缘试验

7.2.2.1 直流电压耐受试验

对互感器的一次端施加表1中的相应电压值，正负极性各施加60 min。如果试验结果如下，则认为互感器通过本试验：

- a) 未发生破坏性放电；
- b) 电流测量误差不超过表3限值的一半。

7.2.2.2 雷电冲击耐受试验

按照GB/T 20840.7-2007中8.1.2的规定进行雷电冲击试验，试验电压根据设备最高电压取表1的相应电压值。

- a) 一次端 $U_{dm} < 300$ kV。试验应在正、负两种极性下进行，每一极性连续冲击15次。如果试验情况如下，则互感器通过本试验：
 - 1) 非自恢复内绝缘未发生击穿；
 - 2) 非自恢复外绝缘未出现闪络；
 - 3) 每一极性下自恢复外绝缘出现闪络不超过2次；
 - 4) 未发现绝缘损伤的其他证据（例如所录各种波形的变异）。
- b) 一次端 $U_m \geq 300$ kV。试验应在正、负两种极性下进行，每一极性连续冲击3次。如果试验情况如下，则互感器通过本试验：
 - 1) 未发生击穿；
 - 2) 未发现绝缘损伤的其他证据（例如，所录各种波形的变异）。

7.2.2.3 操作冲击耐受试验

按照GB/T 20840.8-2007中8.3.3的规定进行操作冲击试验，试验电压值根据设备最高电压取表1的相应电压值。

试验应在正、负两种极性下进行。每一极性连续冲击15次。如果试验情况如下，则互感器通过本试验：

- a) 非自恢复内绝缘未发生击穿；
- b) 非自恢复外绝缘未出现闪络；
- c) 每一极性下自恢复外绝缘出现闪络不超过2次；

d) 未发现绝缘损伤的其他证据(例如, 所录各种波形的变异)。

7.2.2.4 户外式互感器的湿试验

为了检验外绝缘的性能, 户外型互感器应承受湿试验。湿试程序应按照GB/T 16927.1 的规定。

对 $U_{dm} < 300$ kV的互感器, 试验应在直流电压下进行。施加的直流电压根据设备最高电压取表1中相应的直流耐受电压值, 其大气条件校正应按GB/T 16927.1的规定。

对 $U_{dm} \geq 300$ kV的互感器, 试验应在正极性操作冲击电压下进行。施加的电压根据设备最高电压取表1中相应的操作冲击耐受电压值。

7.2.2.5 绝缘电阻测量

绝缘试验前后测量一次端子对接地端的绝缘电阻, 绝缘电阻应不小于1000M Ω 。

7.2.3 低压器件耐压试验

按照GB/T 20840.8-2007中8.7的规定进行低压器件耐压试验。包括工频耐压试验和冲击耐压试验。试验电压及电压施加端口按GB/T 20840.8-2007中的6.1.1.3的要求进行, 如果试验结果如下, 则认为互感器通过本试验:

- a) 未发生击穿或闪络;
- b) 互感器的精度满足要求。

7.2.4 局部放电试验

在1.5 U_n 的试验电压下, 如果局放大于1000 pC的脉冲数在10 min内小于10个, 则互感器通过本试验。

7.2.5 无线电干扰电压试验

按照GB/T 20840.8-2007中8.5的规定进行无线电干扰电压试验。

- a) 试验时应预加电压1.5 U_{dm} 并保持30s。然后, 约在10s 内将电压降至1.1 U_{dm} 保持30 s后, 测量该电压下的无线电干扰电压。
- b) 若在1.1 U_{dm} 电压下的无线电干扰水平小于2500 μ V, 则互感器通过本试验。

7.2.6 电磁兼容抗扰度试验

按照GB/T 20840.8-2007中8.8.4的规定进行电磁兼容抗扰度试验。

- a) 试验项目包括: 谐波及谐间波抗扰度试验、电压慢变化抗扰度试验、电压暂降和短时中断抗扰度试验、浪涌抗扰度试验、电快速瞬变脉冲群抗扰度试验、振荡波抗扰度试验、静电放电抗扰度试验、工频磁场抗扰度试验、脉冲磁场抗扰度试验、阻尼振荡磁场抗扰度试验、射频电磁场辐射抗扰度试验。
- b) 若试验结果满足表2的要求, 则互感器通过本试验。

7.2.7 温升试验

按照GB/T 20840.8-2007中8.2的规定进行温升试验, 试验电流为额定连续热电流。试验中, 若温升变化值每小时不超过1 K时, 即认为互感器已达到稳定温度。如果试验结果如下, 则认为互感器通过本试验:

- a) 互感器各部位的温升不超过60 K;
- b) 无可见损伤;
- c) 电流测量误差不超过表3限值的一半。

7.2.8 频率响应试验

测试其对频率为1200 Hz及以下的正弦输入信号的幅值和相位的测量偏差,可以仅在50 Hz以及50 Hz的偶次谐波频率下进行试验。

50 Hz~300 Hz:施加方均根值为10% I_r ,对应的正弦输入信号;300 Hz~1200 Hz:施加方均根值为5% I_r 对应的正弦输入信号。

试验结果应符合6.14规定的要求。

7.2.9 阶跃响应试验

在一次电流发生以下要求的阶跃变化时记录电流测量结果:

- 0 p.u 到 0.1 p.u.
- 0.1 p.u, 到 0 p.u.
- 0.1 p.u 到 0.15 p.u.
- 0.15 p.u 到 0.1 p.u.

试验测得的阶跃响应特性应满足6.15规定的要求。

7.2.10 极性反转试验

按如下方式进行极性反转试验(U_n 为额定运行电压):

- a) 施加-1.25 U_n 直流电压,60 min;
- b) 在2min内极性反转至+1.25 U_n ;
- c) 施加+1.25 U_n 直流电压,60 min;
- d) 在2 min内极性反转至-1.25 U_n ;
- d) 施加-1.25 U_n 直流电压,30 min;

如果试验结果如下,则认为互感器通过本试验:

- a) 无可见损伤;
- b) 电流测量精度满足要求。

7.2.11 直流电流测量准确度试验

分别测试互感器在如下各电流点的误差:0.1 I_r 、0.2 I_r 、 I_r 、1.2 I_r 、2 I_r 、2 I_r 、3 I_r 、4 I_r 、6 I_r ,若各测量点的误差满足表3的要求,则互感器通过本试验。

直流电流测量准确度试验可以采用比较法或稳流法进行:

- a) 比较法:比较法的基本思想是将被试互感器与基准互感器进行比较,从而求得被试互感器的误差。比较法试验线路布置如图1所示;
- b) 稳流法:稳流法的基本思想对被试互感器施以高精度直流稳定电流,由合并单元直接读取测量值从而求得互感器的误差。稳流法要求直流稳流源的准确级高于0.05%。

7.3 出厂试验

互感器出厂试验项目包括:

- a) 外观检查:
 - 检查产品外形是否符合图样要求;
 - 检查产品外观有无破损;
 - 检查产品端子标志是否符合要求;

——检查产品接地是否牢靠；

- b) 极性检查：一次回路注入直流电流, 检查极性是否与端子标志相一致；
- c) 准确度测量：一次回路注入直流电流, 检查准确度是否满足要求；
- d) 频率响应特性和阶跃响应特性按 7.2.8 和 7.2.9 的试验方法检验符合要求；
- e) 低压器件耐压试验。

7.4 现场验收试验

现场验收试验项目包括：

- a) 外观及端子标志检验；
- b) 准确度试验；
- c) 直流耐受电压试验；
- d) 极性测试；
- e) 光纤损耗测试：若光纤损耗小于 2dB，则互感器通过本试验。

8 标志、包装、储存和运输

8.1 铭牌标志

互感器的铭牌应采用不锈钢板制造，铭牌应包含如下内容：

- a) 厂家；
- b) 品名；
- c) 型号及编号；
- d) 额定频率；
- e) 设备最高电压；
- f) 额定绝缘水平；
- g) 额定二次输出及其准确级；
- h) 采样率；
- i) 数据输出格式；
- j) 出厂日期；
- k) 净重。

8.2 包装

包装应满足运行重量与运输尺寸的限制要求，并采取相应的防水、防潮措施；应在产品包装箱上标出“防潮”，“小心轻放”，“向上”等必要的图形指示。

8.3 储存和运输

产品在运输过程中，必须保证产品不被破坏，要避免产品因为潮湿、振动、碰撞、摩擦等因素造成的任何形式的破坏。

传感器及其合并单元的结构在经过正常运输后，不应出现破裂、划伤、相互位置变化等现象。

