

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T XXXXX—XXXX

高压直流输电系统滤波器用电抗器

Filter reactor for HVDC transmission system

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2022-06-29）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家能源局 发布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 使用条件 2

 4.1 正常使用条件 3

 4.2 特殊使用条件 3

5 技术要求 3

 5.1 额定电感值 3

 5.2 额定调谐频率 3

 5.3 品质因数 3

 5.4 额定电流 3

 5.5 额定电流频谱 4

 5.6 暂时电流 4

 5.7 额定冲击电流 4

 5.8 可听噪声 4

 5.9 绝缘水平 5

 5.10 爬电距离 5

 5.11 损耗 5

 5.12 温度限值 5

 5.13 集肤效应系数和热时间常数 5

6 设计和结构 5

 6.1 一般要求 5

 6.2 结构设计 6

 6.3 调感 6

 6.4 电抗器外罩 6

 6.5 支撑绝缘子 6

 6.6 端子 6

 6.7 焊接 6

 6.8 铭牌 6

7 型式试验 7

 7.1 通用要求 7

 7.2 型式试验项目 7

 7.3 温升试验 7

 7.4 电感和电阻值随频率变化的测量试验 7

 7.5 雷电冲击试验 7

 7.6 操作冲击试验 8

 7.7 声级测量 8

8 出厂试验	9
8.1 出厂试验项目	9
8.2 外观检查	9
8.3 电感值测量	9
8.4 损耗测量	10
8.5 绕组电阻测量	10
8.6 品质因数测量	10
8.7 端子间雷电冲击试验	10
8.8 匝间绝缘试验	11
8.9 支柱绝缘子耐受电压试验（干）	11
9 特殊试验	12
9.1 通用要求	12
9.2 特殊试验项目	12
9.3 短时电流试验	12
9.4 耐气候试验	12
9.5 抗地震试验	12
10 现场试验	12
10.1 通用要求	12
10.2 现场检验项目	12
10.3 外观检查	12
10.4 绕组电阻测量	12
10.5 支柱绝缘子绝缘电阻测量	12
10.6 电感值测量	12
11 包装、贮运、安装、运行及维修和技术资料	13
11.1 包装	13
11.2 储运	13
11.3 安装	13
11.4 运行和维护	13
11.5 供方提供的技术资料	13
附 录 A （资料性） 电抗器技术参数	14
附 录 B （资料性） 电抗器设计参数	16
附 录 C （资料性） 型式试验有效性延伸原则	18

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。

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这些专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国高压直流输电设备标准化技术委员会（SAC/TC 333）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

高压直流输电系统滤波器用电抗器

1 范围

本文件规定了高压直流输电系统中滤波器用电抗器的使用条件、额定值、设计和结构、型式试验、出厂试验、特殊试验、现场试验等要求。

本文件适用于 $\pm 1100\text{kV}$ 电压等级及以下高压直流输电系统中的交流滤波器用电抗器和直流滤波器用电抗器。

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 1094.1—2013 电力变压器，第1部分：总则

GB/T 1094.2—2013 电力变压器 第2部分：液浸式变压器的温升

GB/T 1094.3—2017 电力变压器 第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

GB/T 1094.6—2011 电力变压器，第6部分：电抗器。

GB/T 1094.10 电力变压器，第10部分：声级测定

GB/T 1094.11—2022 电力变压器 第11部分：干式变压器

GB/T 5273 高压电器端子尺寸标准化

GB/T 8287.1—2008 标称电压高于1000V系统户内和户外支柱绝缘子 第1部分：瓷或玻璃绝缘子的试验

GB/T 13540 高压开关设备和控制设备的抗震要求

GB/T 20989—2017 高压直流换流站损耗的确定

GB/T 20993—2012 高压直流输电系统用直流滤波电容器及中性母线冲击电容器

GB/T 26218.1—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分：定义、信息和一般原则

GB/T 26218.2—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第2部分：交流系统用瓷和玻璃绝缘子

GB/T 26218.3—2011 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第3部分：交流系统用复合绝缘子

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

交流滤波器电抗器 AC filter reactor

在直流系统交流侧与电容器和电阻器等元件共同组成对一种或多种谐波电流提供低阻抗通道的交流滤波器的电抗器。

注：常见类型是空心电抗器。

3.2

直流滤波器电抗器 DC filter reactor

在直流系统直流侧与电容器和电阻器等元件共同组成对一种或多种谐波电流提供低阻抗通道的直流滤波器的电抗器。

注：常见类型是空心电抗器。

3.3

调谐频率 tuning frequency

设计滤波器时所规定的呈现某一给定低阻抗的频率。

[来源 GB/T 20993—2012, 3.1.9]

3.4

额定电流 rated current

通过电抗器的最大持续电流（方均根值），包括基波电流和谐波电流。

3.5

额定电流频谱 rated current spectrum

通过电抗器的最大持续电流的各频率下的电流的方均根值。

3.6

暂时电流 temporary current

系统运行中出现在滤波器电抗器上的短时扰动电流。

3.7

可听噪声电流 audible noise current

用于评价电抗器可听噪声的电流。

3.8

工频等效电流 equivalent current at power frequency

用于计算的工频电流方均根值，其产生的绕组损耗相当于额定电流频谱产生的损耗之和。

3.9

额定冲击电流 rated impulse current

当交流滤波器或直流滤波器发生故障或系统故障时，通过滤波器电抗器的最大电流。

3.10

额定冲击电流的谐振频率 resonance frequency of rated impulse current

额定冲击电流的谐振频率。

3.11

额定冲击电流的时间常数 time constant of rated impulse current

额定冲击电流衰减到0.37倍所需的时间。

3.12

额定电感 rated reactance

调谐频率下的滤波器电抗器的电感。

3.13

有效电阻 effective resistance

用特定频率和参考温度下的损耗导出的该频率下的电阻，其中损耗包括电阻损耗和该特定频率的附加杂散损耗。

3.14

参考温度 reference temperature

用于衡量有效电阻的温度。

3.15

品质因数 quality factor

Q

调谐频率下的电抗和有效电阻的比。

[来源GB/T 1094.6—2011, 9.3.18, 有修改]

3.16

爬距计算电压 Creepage calculation voltage

用于计算电抗器高压端对地、低压端对地支柱绝缘子和套管绝缘表面爬电距离的电压

3.17

最大偏差 maximum tolerance

包括电抗器制造及温度变化所引起的变化在内的电感值与额定电感的偏差最大允许值。

注：温度变化范围指从最低环境温度下通以最小电流时的温度到最高环境温度下通以最大持续电流达到热平衡时的温度。

4 使用条件

4.1 正常使用条件

4.1.1 温度

周围空气最高温度不超过40℃。

最低周围空气温度的优选值为-10℃，-25℃，-30℃和-40℃。

4.1.2 污秽

交流滤波器电抗器的污秽等级不得超过GB/T 26218.1—2010中8.3条规定的d级。

直流滤波器电抗器应满足购方提供的爬电比距要求。购方应根据当地污秽等级和交流爬电比距提供爬电比距。

4.1.3 海拔

海拔不超过1000m。

4.1.4 风速

离地面高10m处，维持10min的平均最大风速不超过34m/s。

4.1.5 地震

安装运行点的地震烈度不超过8度。

4.1.6 覆冰

覆冰厚度不超过20mm。

4.1.7 日照强度

日照强度不超过1000W/m²。

在一定的阳光辐射条件下，为了不超过规定的温升，必要时，可采取适当的措施，如加盖屋顶、强迫通风，降低/减弱阳光的聚集等，或者使用降容的方法。

4.2 特殊使用条件

特殊使用条件由供方和需方商定。

5 技术要求

5.1 额定电感值

交流滤波器电抗器的电感值按照满足交流滤波器滤波需要确定，和交流系统条件和直流容量有关，在购方技术协议中规定。

直流滤波器电抗器的电感值按照满足直流滤波器滤波需要确定，和直流系统条件有关，在购方技术协议中规定。

至少应满足：最大偏差不大于±2%。

5.2 额定调谐频率

由交流滤波器和直流滤波器设计确定，也是通过滤波器电抗器的主要电流分量的谐波次数。对交流滤波器电抗器是12k±1次等交流侧特征谐波次数和3次等低频谐波次数，对直流滤波器电抗器是12k次等直流侧特征谐波次数和2次等低频谐波次数。依据具体工程需求可设计其他调谐频率。

5.3 品质因数

品质因数和滤波器电抗器的损耗有关，购方应规定额定调谐频率下的品质因数要求，一般大于100。

5.4 额定电流

电抗器的额定电流由购方规定，考虑工况包括但不限于交流系统条件，直流系统输送功率和运行方式，滤波器支路的投切组合和元件偏差等。

电抗器应允许额定电流长期通过。

额定电流 I_{cont} 计算见式（1）。

$$I_{\text{cont}} = \sqrt{\sum_{n=1}^{50} I_n^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

I_n ——最大持续电流的第 n 次谐波电流方均根值。

5.5 额定电流频谱

电抗器的额定电流频谱由购方规定。电抗器在额定电流频谱下的温升应满足5.12的要求。

5.6 暂时电流

电抗器的暂时电流值由购方规定。

通过暂时电流后，电抗器不应损坏，绝缘性能仍能满足规定要求。

通常包括暂时电流 I_0 、 I_{10} 。在最高环境温度下，假定电抗器开始处在最大持续电流稳定状态，电流在数秒内迅速上升到初始暂时电流 I_0 ，接着经过10 min线性降到10 min暂时电流 I_{10} ，再经过30 min降到最大持续电流 I_{cont} 。 I_0 、 I_{10} 和 I_{cont} 的关系如图1所示。

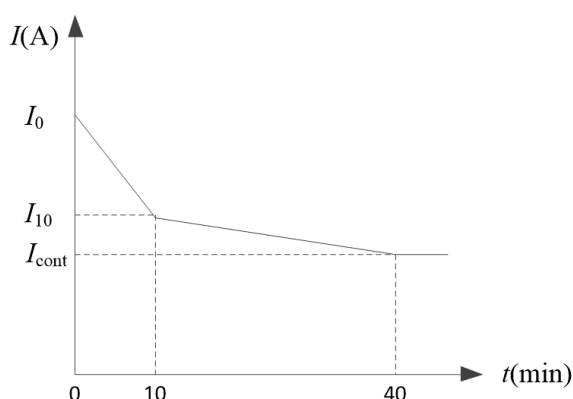


图1 暂时电流示意图

5.7 额定冲击电流

滤波器电抗器的额定冲击电流由购方规定，应考虑工况包括但不限于运行时滤波器本体故障和各种系统故障时可能在滤波器电抗器上产生的最大冲击电流。购方应一并给出该最大冲击电流对应的谐振频率和时间常数，一般谐振频率宜小于2500Hz，衰减时间常数宜小于50ms。如购方无另行规定，每年故障频次应小于10次，故障间隔时间至少是6h。

电抗器应在上述冲击电流产生的热和机械作用以及相应的电场作用后不损伤，绝缘性能仍能满足相应要求。供方应用计算或者试验的方法验证该耐受能力，验证方法由购方和供方协商确定。电抗器在耐受额定冲击电流后的绕组温升不应超过5.12的要求。

5.8 可听噪声

电抗器的可听噪声电流由购方规定，供方应根据购方提供的噪声计算电流进行最大声级水平的计算或试验，滤波器电抗器的噪声声压级应不超过50dB。

可听噪声电流 I_{audibleL} 的计算公式见式（2）：

$$I_{\text{audibleL}} = \sqrt{\sum_{n=1}^{50} I_{\text{naudi}}^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

I_{naudi} ——可听噪声电流中第 n 次谐波电流方均根值。

电抗器的设计宜避开可听噪声电流频谱上的机械谐振。

5.9 绝缘水平

滤波器电抗器的绝缘水平由供需双方技术协议中规定。应考虑工况包括但不限于滤波器的绝缘配合，运行时滤波器投切、放电等操作，滤波器本体故障和各种系统故障时可能在滤波器电抗器上产生的最大冲击电压，以及可能受到的雷电冲击。

5.10 爬电距离

爬距计算电压 U_{creep} 宜采用相电压的形式给出，包括高压端对地、低压端对地和高、低两端间。对直流滤波器电抗器应考虑直流电压的影响。

由购方选定的爬电比距来确定爬电距离。

交流爬电距离的计算公式见式（3），适用于交流滤波器端间、端对地和直流滤波器电抗器的端间爬距计算：

$$l_t = l_f \times U_{\text{creep,ac}} \quad (3)$$

式中：

l_f ——适用于交流电压计算的爬电比距，mm/kV；

$U_{\text{creep,ac}}$ ——交流爬距计算电压，kV。

交流爬距计算电压的计算公式见式（4）

$$U_{\text{creep,ac}} = \sqrt{\sum_{n=1}^{50} U_n^2} \quad (4)$$

式中：

U_n ——端间或者端对地第 n 次谐波电压有效值；

n ——谐波次数，从1~50。

直流爬电距离的计算公式宜采用式（5），适用于直流滤波器电抗器的端口对地爬距计算。

$$l_t = l_f \times U_{\text{creep,ac}} + l_d \times U_{\text{creep,dc}} \quad (5)$$

式中：

l_f ——适用于交流电压计算的爬电比距，mm/kV。

l_d ——适用于直流电压计算的爬电比距，mm/kV。

$U_{\text{creep,ac}}$ ——交流爬距计算电压，kV。

$U_{\text{creep,dc}}$ ——直流爬距计算电压，对直流滤波器电抗器来说为中性线最大连续直流电压，kV。

直流滤波器电抗器端口对地的爬电距离也可用购方指定的方法计算。

5.11 损耗

按照GB/T 20989—2017 5.3.3和5.7.3的规定进行计算。电抗器损耗的参考温度为80° C。

5.12 温度限值

滤波器电抗器的绕组平均温升不超过75K，最热点温升应不超过90K。

5.13 集肤效应系数和热时间常数

供应商应向购方提供电抗器在各次频率下的集肤效应系数和电抗器的热时间常数，用以计算电抗器的等效工频热电流和保护定值。

6 设计和结构

6.1 一般要求

滤波器电抗器应为单相、干式、户外安装的空芯设计。采用空气自然对流冷却。

电抗器设计应能耐受下列因素且不损坏或减少寿命：

- a) 在运行、安装和维护期间的机械负荷；
- b) 内部或外部故障对电抗器的电磁力；
- c) 技术协议要求的风力，冰雪负荷；
- d) 技术协议要求的地震烈度；
- e) 温度和负荷变化引起的伸缩力影响。

6.2 结构设计

滤波器电抗器导线应为连续绕制，无接头。

滤波器电抗器的包封面应不发生树枝状放电，在协议规定的最低环境温度下应不发生开裂。

供方提供的电抗器支柱绝缘子和置于基础上的支撑结构不应形成电气上的回路。绝缘子和支撑结构的高度应满足电抗器与电抗器基础之间的电气净距。

电抗器的设计应当便于升降，以进行电抗器的安装和更换。

电抗器各包封之间的温度应均匀。

6.3 调感

如购方要求滤波器电抗器需具备调感功能，供方应提出满足设定范围的电抗器的调感方法，调感方法应考虑制造误差。

6.4 电抗器外罩

如果电抗器带外罩，外罩的设计应作为整个电抗器设计的一部分，并考虑下列设计要求：

- a) 在所有规定的运行条件下，应当保证电抗器的冷却；
- b) 所使用的材料应为阻燃材料。对于声音吸收材料尤其如此。
- c) 温升试验、声级试验应当在完整组装的带外罩和其他附件的电抗器上进行。如果外罩或其他附件的杂散磁场的影响到了电抗器的电感和性能，应对完整安装了外罩或其他附件的电抗器进行所有型式和例行试验。

6.5 支撑绝缘子

电抗器支撑绝缘子应能承受所在位置的电压，并能满足机械强度和沿面爬距的要求。

6.6 端子

电抗器对外连接的端子应满足通流密度和机械强度的要求。

出线端子应长期耐受以下应力不变形：

——水平纵向分量：不小于 2 000 N；

——水平横向分量：不小于 1 000 N；

——垂直分量：不小于 1 000 N。

——弯矩：不小于 400 N·m。

端子厚度应不小于10mm，但应满足降低涡流的要求。

端子位置应满足直流换流站整体布置要求。

端子应符合GB/T 5273规定的要求。

6.7 焊接

焊接应避免虚焊、裂缝及其它任何缺陷。

6.8 铭牌

在电抗器单元外壳明显可见的位置，应有耐腐蚀性材料制作的铭牌，铭牌上有下列信息：

- a) 电抗器名称；
- b) 型号；
- c) 产品代号；
- d) 标准代号；

- e) 制造厂名称;
- f) 出厂序号;
- g) 制造年月;
- h) 额定工频;
- i) 额定调谐频率;
- j) 主要谐波电流;
- k) 额定暂态电流和持续时间;
- l) 绝缘水平;
- m) 额定/实测电感;
- n) 额定品质因数;
- o) 总重量。

7 型式试验

7.1 通用要求

本文件除非另有规定,进行型式试验的电抗器应已经通过例行试验。

型式试验应在有相同设计的电抗器上进行,或对在设计和工艺上有可能影响型式试验所检验的性能方面没有差异的电抗器上进行。

7.2 型式试验项目

型式试验项目包括:

- a) 温升试验;
- b) 电感和电阻值随频率变化的测量;
- c) 雷电冲击试验;
- d) 操作冲击试验;
- e) 声级测量。

7.3 温升试验

本试验应按照GB/T 1094.2—2013进行,并作如下补充:

试验应在工频等效电流 I_{equ} 下进行。在某些情况下,如果不能达到温升试验要求的工频下的等效电流,则试验可在降低电流下进行,但不应低于 $0.9I_{\text{equ}}$ 。试验水平应由供方在投标书中说明,并由供需双方在订货时达成共识。温升应校正到工频等效电流下。绕组对环境温度的温升应乘以校正系数 k_t , k_t 可由公式6给出:

$$k_t = \left(\frac{I_{\text{equ}}}{I_{\text{test}}} \right)^y \dots\dots\dots (6)$$

式中:

I_{equ} ——适用于交流电压计算的爬电比距;

I_{test} ——适用于交流电压计算的爬电比距。

y ——对于滤波器电抗器: $y=1.6$ 。

温升满足5.12的要求。

温升试验应带着防雨罩和放鸟罩进行。

7.4 电感和电阻值随频率变化的测量试验

在滤波电抗器额定频谱中的各频率下按照GB/T 1094.6—2011中的9.10.5测量电感,按照GB/T 1094.6—2011中的9.10.6测量总损耗并在调谐频率下校正到参考温度得出有效电阻,并按照GB/T 1094.1—2013中的11.2测量直流电阻。

7.5 雷电冲击试验

7.5.1 端间雷电冲击试验

履行GB/T 1094.3—2017中第13章和GB/T 1094.11—2022（待确认）中的21适用。并作如下补充：

对于装有分接头的电抗器，在最大及最小电感抽头位置进行试验，其他可调电抗器，则在最大及最小极限调节值下进行试验。

分别在电抗器的进、出线端子上施加一次降低到50%~75%电压的负极性雷电全波冲击，然后施加三次额定电压的负极性雷电全波冲击。一端加压时，另一端经分流器接地，试验时记录电压和电流波形图。试验电压水平由购方规定。如果满足下列要求，则认为电抗器通过了试验：

- a) 与降低的雷电冲击耐受电压相比，额定雷电冲击耐受电压下的电流、电压波形稳定不变；
- b) 试品内部无烟雾、异常放电声响出现；
- c) 绝缘表面无沿面闪络现象。

由于滤波器电抗器阻抗低，可能达不到半峰的规定时间，且过冲量较大。购方应就半峰时间与过冲量和供方进行协商。

7.5.2 端对地雷电冲击试验

一般为支柱绝缘子耐受电压试验。

GB/T 26218.2—2010中的12和GB/T 26218.3—2010中的12适用。

7.6 操作冲击试验

7.6.1 中频振荡试验

端间操作冲击试验一般用中频振荡试验替代。

对于装有分接头的电抗器，在最大及最小电感抽头位置进行试验，其他可调电抗器，则在最大及最小极限调节值下进行试验。

用脉冲电容器通过球隙或断路器对电抗器放电，在电抗器上形成振荡频率数量级大约为300Hz~900Hz、持续时间不小于10ms的中频振荡电压。中频振荡电压的第一个幅值应由购方规定，该幅值最大不能超过电抗器端间操作冲击耐受电压。脉冲电容器充电电压极性为负极性，半电压进行一次，全电压进行三次。每两次之间的间隔视冲击电容器的性能而定。本试验的目的在于检查电抗器绕组匝间绝缘，只对上部端子进行，另一端通过分流器接地。

如果满足下列要求，则认为电抗器通过了试验：

- a) 各次放电的振荡频率和波形应稳定不变；
- b) 线圈内部应无放电声响和烟雾出现。

受脉冲电容器容量制约，试品电感较小或较大时，振荡频率和持续时间可能难以符合上述数量级。这种情况下，制造方应与购方协商可接受的振荡频率和持续时间。

注：电容器放电时的实际振荡频率和持续时间取决于脉冲电容器的容量、试品电感以及试品的中频特性。

7.6.2 端对地操作冲击试验（湿）

一般为支柱绝缘子耐受电压试验（湿）。

GB/T 26218.2—2010中的12和GB/T 26218.3—2010中的12适用。

7.7 声级测量

7.7.1 测量准备

按GB/T 1094.10规定的方法进行测量。

测量时，应保证对绕组有足够的安全距离。测量轮廓线应距绕组表面2m，位于绕组高度一半的水平面上。

为了模拟运行时的稳定状态（即绕组温度升高），试验宜在温升试验快结束时进行。

7.7.2 测量电流频率

电抗器发出的声波取决于额定电流频谱中的各次电流。因为试验时各频率的电流通常不能同时施加，所以电抗器应在各频率的电流下连续试验。电抗器还应在能反映不同频率的电流的相互作用的频率下的电流进行试验。如果不能在所有有影响的频率的电流下进行试验，供方应在投标书中说明，供需双方需就试验方法和测量值达成共识。

对于电流频谱中含有频率电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ……的电抗器，声级测量试验电流应按照表1。对上述任何一对电抗器电流，例如 I_1 和 I_2 ，由于相互影响，应考虑到表2的试验电流。

表1 单频声级等效电流

试验电流幅值	试验电流频率	声波频率
I_1	f_1	$2f_1$
I_2	f_2	$2f_2$
I_3	f_3	$2f_3$

表2 多频声级等效电流

试验电流幅值	试验电流频率	声波频率
$(2I_1I_2)^{1/2}$	$(f_1+f_2)/2$	f_1+f_2
$(2I_1I_2)^{1/2}$	$(f_2-f_1)/2$	f_2-f_1

7.7.3 声功率水平计算

总的声功率水平 L_{tot} 应按照式（7）。

$$L_{tot} = 10 \cdot lg \left[\sum_i 10^{(\frac{L_i}{10})} \right] \dots\dots\dots (7)$$

式中：
 L_i ——每个单独分量下的声功率级水平。

8 出厂试验

8.1 出厂试验项目

- 出厂试验项目包括：
- a) 外观检查；
 - b) 电感测量；
 - c) 损耗测量；
 - d) 绕组电阻测量；
 - e) 品质因数测量；
 - f) 端子间雷电冲击试验；
 - g) 绕组匝间耐压试验；
 - h) 支柱绝缘子耐受电压试验（干）。

8.2 外观检查

- 检查内容包括：
- a) 目测电抗器外观不应有明显划痕和变形；
 - b) 包封无开裂、包封气道无堵塞和异物（如有条件应使用内窥镜检查）、导线引出位置绝缘完好、电抗器不应受潮；
 - c) 连接螺栓不应松动；
 - d) 检查铭牌应牢固，参数正确；
 - e) 检查绝缘子表面应无损坏，绝缘子的质量应符合 GB/T 8287.1 规定的要求。

8.3 电感值测量

GB/T 1094.6—2011中的9.10.5适用, 并作如下补充：
电感测量只在调谐频率下进行，如果有多个调谐频率，电感测量则应在每个调谐频率下进行。
如果有分接，电感测量则应在额定、最小和最大电感分接上进行，其他分接位置是否正确应检查确认。如果电抗器的电感连续可调，电感测量最少应在五个位置进行，这五个值应在调节范围内均布。
偏差不应超过额定电感值的±2%。

8.4 损耗测量

GB/T 1094.6—2011中的9.10.6适用,并作如下补充:

损耗测量应在额定电流频谱规定的每一频率下进行。总损耗包括电阻损耗和附加损耗。电阻损耗部分等于 I^2R , R 是滤波器电抗器的直流电阻校正到试验温度下的对应值, I 是相应的测量电流。附加损耗部分等于总损耗与电阻损耗 I^2R 之差。损耗测量应校正到相应的额定电流频谱对应的各次电流幅值下,校正方法是用实测的各次频率的损耗乘以相应的频谱电流与试验电流比值的平方,还应校正到参考温度下,温度校正按照GB/T 1094.1—2013中附录G规定的方法执行。电抗器周围的金属件可能对损耗测量有很大影响。所以,试验时,属于电抗器支撑结构的金属件应装好,同时应尽量避免有其他金属件。

8.5 绕组电阻测量

GB/T 1094.1—2013中的11.2适用,并作如下补充:

使用直流电流测量,记录被试绕组温度及绕组端子间的电阻,并换算至参考温度下;采用铝绕组的电阻公式按照式(8)进行换算,采用铜绕组的电阻公式按照(9)进行换算。

$$R_2 = R_1 \times \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1} \dots\dots\dots (8)$$

$$R_2 = R_1 \times \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

R_1 ——绕组温度下的直流电阻;

R_2 ——参考温度下直流电阻;

θ_1 ——绕组温度;

θ_2 ——参考温度。

8.6 品质因数测量

GB/T 1094.6—2011中的9.10.6适用。并作如下补充:

品质因数通常用调谐频率下测量的总损耗和额定电感导出,应在每个调谐频率下进行计算。应在调谐频率下并校正到参考温度的总损耗得出有效电阻,计算公式应按照式(10)。

$$Q = \frac{\omega L}{R_h} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

ω ——电抗器调谐角频率;

L ——电抗器额定电感;

R_h ——参考温度下等效电阻。

8.7 端子间雷电冲击试验

8.7.1 端子间雷电冲击试验

端子间雷电冲击试验按照7.5.1进行。

端子间雷电冲击电压200kV以下滤波器电抗器或由于阻抗低,可能达不到规定的雷电冲击波形,且过冲量较大,购方应就半峰时间与过冲量和供方进行协商,也可选用匝间耐压试验代替。

8.7.2 绕组匝间耐压试验(可选)

匝间过电压试验通过向电容重复充放电,并通过球隙将电压施加到电抗器绕组上。电抗器受到的过电压类型与指数衰减的正弦波的操作冲击相似。试验原理及过电压波形见图2。试验持续时间1min,每次放电的初始峰值应为 $1.33\sqrt{2}$ 倍(户外设备)或 $\sqrt{2}$ 倍(户内设备)表3给出的外施耐压或线端交流耐压(方均根值)。响应频率是绕组电感和充电电容的函数,一般在100kHz及以下。试验应包含不低于3000个要求幅值的过电压。如果满足下列要求,则认为电抗器通过了试验:

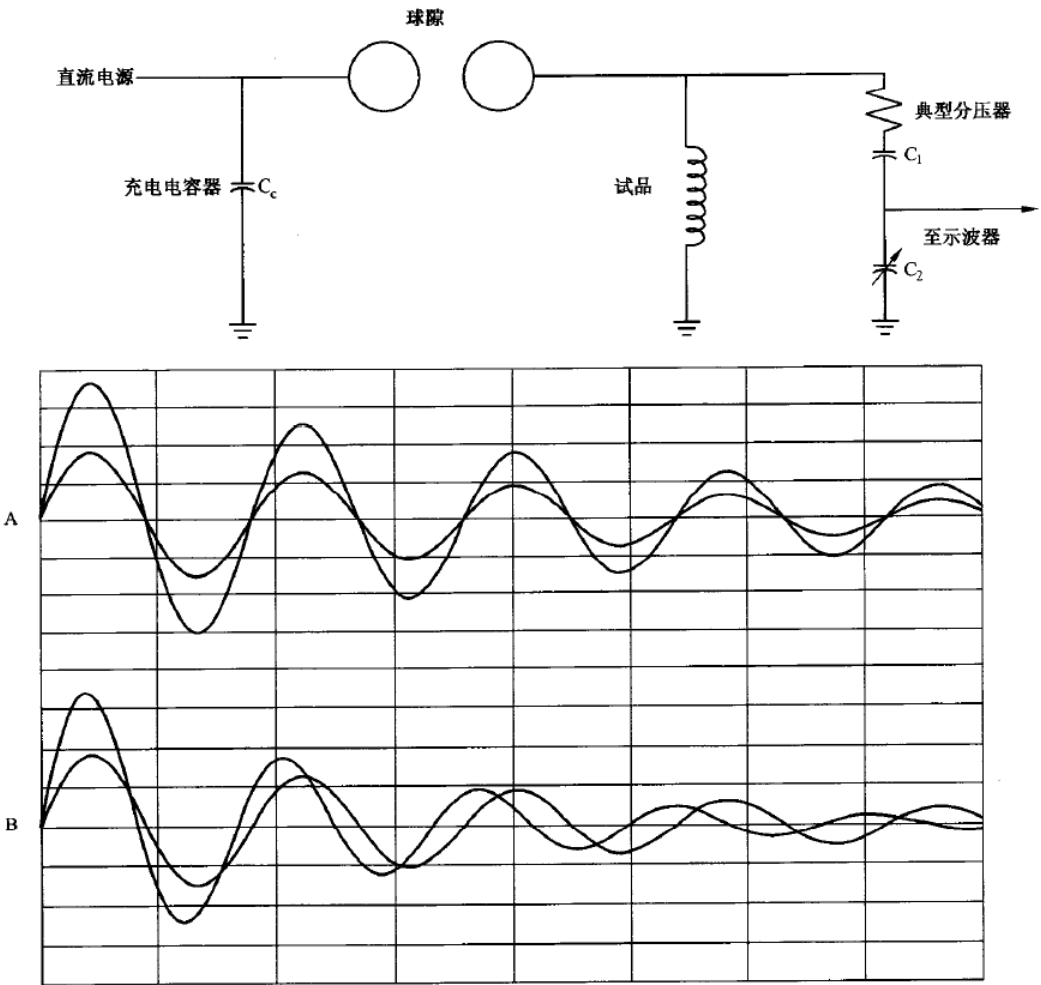
a) 降低电压的波形与全波之间的振荡频率及减速度应稳定不变。

b) 无异响、烟雾或火花放电现象。

表3 外施耐压或线端交流耐压值

单位为千伏

系统标称电压（方均根值）	设备最高电压（方均根值）	外施耐压或线端交流耐压（方均根值）
—	≤ 1.1	5
3	3.6	18
6	7.2	25
10	12	35
15	18	45
20	24	55
35	40.5	85



A. 通过了匝间过电压试验的电抗器波形。
B. 与波形 A 中的电抗器额定值相同,但没有通过匝间过电压试验的电抗器波形。注意频率的变化和增加的阻尼。

图1 匝间过电压试验电路和波形实例

8.8 匝间绝缘试验

可选择按照8.7.2的绕组匝间耐压试验执行,或者7.6.1的中频振荡试验执行。受试验条件所限,振荡频率可在10kHz~300Hz之间,持续时间不小于5ms。振荡电压的初始幅值应由购方规定,该幅值一般选为电抗器端间操作冲击耐受电压。

8.9 支柱绝缘子耐受电压试验（干）

GB/T 26218.2—2010中的12和GB/T 26218.3—2010中的12适用,并作如下补充:

支柱绝缘子应做雷电和工频耐受电压试验。如直流滤波器电抗器支柱绝缘子则应进行直流耐压试验。

9 特殊试验

9.1 通用要求

当购方特殊要求时,应进行特殊试验。

9.2 特殊试验项目

特殊试验项目包括:

- a) 短时电流试验;
- b) 耐气候试验;
- c) 抗地震试验。

9.3 短时电流试验

GB/T 1094.6—2011中的9.10.10适用。

9.4 耐气候试验

GB/T 1094.11—2007中的27适用。可用材料的耐气候试验报告替代。

9.5 抗地震试验

按照GB/T 13540的规定进行。

10 现场试验

10.1 通用要求

为了检验电抗器现场安装后,在运输和现场存放期间是否有损坏,以确保电抗器在投运前是良好的,应进行现场试验。

10.2 现场检验项目

现场试验项目包括:

- a) 外观检查
- b) 绕组电阻测量;
- c) 绝缘电阻测量
- d) 电感测量;

10.3 外观检查

按照8.2节执行。

10.4 绕组电阻测量

按照8.5执行。

10.5 支柱绝缘子绝缘电阻测量

试验采用2500V兆欧表,试验电压施加于电抗器引线端子与支架的接地端之间,电阻值不应低于500M Ω 。

10.6 电感值测量

按照8.3执行

11 包装、贮运、安装、运行及维修和技术资料

11.1 包装

电抗器的外包装应坚固、牢靠，适于长途运输，能多次搬运和装卸，并在包装箱的侧面以运输常用的标记和图案标明起吊位置，以便于装卸搬运。标志应清晰整齐，并保证不因运输或贮存长久而模糊不清，标志应有下列内容：

- a) 工程名称/合同号；
- b) 到货地址；
- c) 收货人名称；
- d) 货物及部件名称；
- e) 箱号/件号；
- f) 毛重/净重(千克)；
- g) 体积(长×宽×高，以毫米表示)。
- h) 包装箱上应明显地标有“小心轻放”、“向上”、“防雨”等字样或标记。

对需单独运输的电抗器用零部件应装入完好的包装箱内。

11.2 储运

储运过程中要求如下：

- a) 电抗器在运输过程中不得受剧烈冲撞，不得倒置；
- b) 在装卸过程中应防摔、掷、翻滚和重压；
- c) 贮存时应存放在干燥通风的仓库内，防止爆晒。

11.3 安装

如果电抗器不是装成后发运的，运输单元应当清晰地加以标记，并有总装图样和零部件明细：

- a) 应有安全开箱和起吊所需资料；
- b) 应按安装使用说明书规定程序安装就位；
- c) 安装后应按本文件 10.3 条规定检查。

在电抗器的安装中，应考虑到漏磁通对其它周围设备和电抗器本体性能的影响。

供方应供货所有接地、安装和组装用的螺栓、螺母、垫圈和连接件。

11.4 运行和维护

运行前应按本文件第10章进行现场试验，购方应按制造厂提供的安装使用说明书要求，在停电检修期间对设备清理检查，并做好记录。

11.5 供方提供的技术资料

包括：

- a) 装箱清单；
- b) 产品合格证；
- c) 出厂检验报告；
- d) 支柱绝缘子的检验报告；
- e) 安装使用说明书；
- f) 有关的图纸资料。

附 录 A
(资料性)
电抗器技术参数

A.1 电抗器技术参数

一般按照表 A.1 给出。

表A.1 电抗器技术参数

序号	项目	单位	参数值
1	额定谐振频率	Hz	
2	谐振频率下的额定电感	mH	
3	参数偏差	%	
4	调节范围	%	
	调节级差	%	
5	谐振频率下的 Q-值	—	
6	额定电流		
6.1	最大持续运行电流 I_{Cont} （有效值）	A	
	主要谐波	n/A	
6.2	最大暂时电流，10 分钟 I_{10} （有效值）	A	
6.3	最大暂时电流，0 分钟 I_0 （有效值）	A	
6.4	噪声计算用电流（有效值）	A	
	主要谐波	n/A	
	最大噪声水平	dB(A)	
7	额定冲击电流		
	第 1 峰值	kA	
	谐振频率	Hz	
	时间常数	ms	
8	爬距计算电压		
8.1	高压端对地	kV	
8.2	两端间	kV	
8.3	低压端对地	kV	
8.4	最小爬电比距	mm/kV	
9	雷电波耐受水平		
9.1	高压端对地	kV	
9.2	两端间	kV	
9.3	低压端对地	kV	
10	操作波耐受水平		
10.1	高压端对地	kV	
10.2	两端间	kV	

表A.1 电抗器技术参数（续）

序号	项目	单位	参数值
10.3	低压端对地	kV	

附 录 B
(资料性)
电抗器设计参数

B.1 电抗器设计参数

电抗器设计参数见表 B.1。

表A.2 设计参数表

序号	项 目		单位	保证值
1	制造商			
2	型式或型号			
3	安装方式			
4	额定值	额定电流	A	
		额定电感	mH	
5	额定绝缘水平	额定雷电全波冲击耐受电压	kV	
		额定截波冲击耐受电压	kV	
		额定交流耐压（干/湿）	kV	
6	损耗，参考温度 80℃		W/kVA	
7	直流电阻值，80℃		Ω	
8	电流不均匀度		≤5%	
9	温升极限值	绕组平均温升	K	
		最热点温升	K	
		其它金属部件热点温升	K	
10	绝缘材料耐热等级	匝间绝缘耐热等级		
		整体绝缘耐热等级		
11	电抗允许偏差与额定值之差		%	
12	在额定状态下噪声水平考虑谐波时		dB	
13	环保要求			
14	耐气候性能			
15	进出线端子夹角			
16	支柱绝缘子的主要参数	额定雷电冲击耐受电压	kV	
		额定交流耐受电压（干/湿）	kV	
		绝缘子对地爬电距离	mm	
		绝缘子抗弯强度	N·m	

表A.3 设计参数表（续）

序号	项 目		单位	保证值
16	接线端子长期 载荷	水平纵向	N	
		垂直方向	N	
		水平横向	N	
		安全系数(三力同时作用)		
18	接线端子形状			
19	电抗器尺寸	外径	m	
		内径	m	
		高度	m	
		包封数	个	
20	电抗器重量		吨	
21	绕组防护要求	绕组外表面防护层处理方法		
		风道及内层防护处理方法		
		引线部分处理方法		
		是否配置防雨罩		
22	使用寿命			

附 录 C
(资料性)
型式试验有效性延伸原则

C.1 型式试验有效性延伸原则

如果下列要求均满足，则认为供货产品（被覆盖产品）和型式试验的产品（覆盖产品）是可比的：

- a) 被覆盖产品与覆盖产品的导线型式相同；
 - b) 被覆盖产品的基本生产工艺和覆盖产品相同；
 - c) 被覆盖产品的电感值、额定电流值均小于覆盖产品，且不低于覆盖产品的对应参数值的二分之一；
 - d) 被覆盖产品的温升计算值小于覆盖产品；
 - e) 被覆盖产品的声级水平计算值小于覆盖产品。
-