



中华人民共和国国家标准

GB/T 7330—2008
代替 GB/T 7330—1998

交流电力系统阻波器

Line traps for a. c. power systems

(IEC 60353: 1989, NEQ)

2008-03-25 发布

2008-10-01 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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 要求 5

5 试验方法 9

6 推荐值..... 16

附录 A（资料性附录） 交直流换流站使用的阻波器 17

附录 B（资料性附录） 补充说明 19

附录 C（规范性附录） 调谐电容器的电介质要求 22

前 言

本标准对应于 IEC 60353: 1989《交流电力系统阻波器》及其 2002 年补充件附录 C“调谐电容器的电介质要求”,与其一致性程度为非等效。

本标准与 IEC 60353: 1989 比较,主要差异如下:

- 在格式方面,该国际标准保留了 30 多年前出版的第 1 版 IEC 60353: 1971 的格式,与 GB/T 1.1—2000 的规定相差很大。根据我国标准编写规则,取消其中篇的编号,将原第 1、2 章合并为第 1 章“范围”,增加了第 2 章“规范性引用文件”,将原第 3 章“符号”和第 2 篇“定义”合并为第 3 章“术语、符号和定义”,将原第 4 章工作条件、第 3 篇“要求”的 12 章以及原第 4 篇“铭牌”合并为第 4 章“要求”,将原第 5 篇“试验”的 2 章合并为第 5 章“试验方法”,将原第 6 篇“推荐值”的 4 章合并为第 6 章“推荐值”。这样,由 IEC 60353 的 23 章减少为 6 章,而在条文先后次序上仍尽量保持了 IEC 60353 的顺序,以便查对。
- 将列在原表 2“电力系统电压、无线电干扰电压及试验电压的关系”中的电力系统电压等级及其他有关参数按我国电力系统的规定予以调整(本版的 4.8)。
- 参照 IEC 60353 的补充件,增加了辅助保护元件有关内容,以及对调谐装置及其元件的要求(本版的 3.3, 4.2.2, 4.3 等)。
- 提高了阻波器的耐压水平(本版的 5.4.1.2, 5.4.2)。
- 增加了对主线圈端子的要求(本版的 4.2.1)。
- 增加了对用于继电保护载波通道的阻波器以阻塞电阻为基础计算分流损耗的建议(本版的 4.4)。
- 增加了有关防晕环的说明(本版的 4.11.2)。
- 删去了原标准中有关 Aldrey(一种铝镁硅合金)的温度系数的内容(本版的 5.2.1)。
- 以 IEC 60076-5 中相应的计算式代替原标准中检验热性能用的最终温度计算式及其表 4(本版的 5.5)。
- 将 IEC 60353 的补充件附录 C 列为本标准的附录 C。由于具体试验条件的限制,该附录提出的电容器双极性脉冲试验在我国还不易实现,本标准暂以提高阻波器冲击试验电压(本版的 5.4.1.2)和调谐装置工频试验耐压(本版的 5.4.2)的方式来提高调谐电容器的绝缘水平作为过渡措施,待条件具备后再完全执行 IEC 60353: 1989 及其补充件附录 C 的要求。

本标准代替 GB/T 7330—1998《交流电力系统阻波器》。

本标准与 GB/T 7330—1998 比较,在格式及技术内容方面,原 GB/T 7330—1998 基本保留了 IEC 60353: 1998 的格式及其技术内容,而在本版中做了较大改动,还增加了附录 C,已如上述。此外,在文字和图的细节上也作了一些修改。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录,附录 C 为规范性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国电力系统管理及其信息交换标准化技术委员会(SAC/TC 82)归口并解释。

本标准由北京电力设备总厂和天津水利电力机电研究所负责起草,西北电力设计院、国网南京自动化研究院、广东电网公司参加起草。

本标准主要起草人:郭香福、朱梦熊、杨泽明、李顺、陈道元、胡雨旺。

交流电力系统阻波器

1 范围

本标准规定了有关阻波器的定义、工作条件、要求、试验和推荐值。

本标准适用于串接于高压和超高压交流电力线中的阻波器。该设备用以防止频率一般在 40 kHz ~ 500 kHz 范围内的载波信号在电力系统各种条件下发生过度损耗,并使来自邻近载波的干扰降至最小。

本标准不适用于为其他目的在高压电力线上的电感器以及用于交直流换流站的阻波器。用于交直流换流站的阻波器的有关资料参见附录 A。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合(neq IEC 60071-1: 1993)

GB 1094.2—1996 电力变压器 第2部分 温升(eqv IEC 60076-2: 1993)

GB/T 5273—1985 变压器、高压电器和套管的接线端子(neq IEC 60518: 1975)

GB 7327—1987 交流系统用碳化硅阀式避雷器(neq IEC 60099-1:1991)

GB 11032—2000 交流无间隙金属氧化物避雷器(eqv IEC 60099-4: 1991)

GB/T 11604—1989 高压电器设备无线电干扰测试方法(eqv IEC 60018: 1983)

GB/T 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分:一般试验要求(eqv IEC 60060-1: 1989)

GB/T 16927.2—1997 高电压试验技术 第二部分:测量系统(eqv IEC 60060-2: 1994)

JB/T 6479—1992 交流电力系统线路阻波器用有串联间隙金属氧化物避雷器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

阻波器 line trap

一种由电感型式的主线圈、调谐装置、保护元件组成的高压设备,串接在高压电力线的载波信号连接点与相邻的电力系统元件(如母线、变压器等)之间,或电力线分支点处。调谐装置跨接于主线圈两端,经适当调谐,可使它在一个或多个载波频率点或连续的载波频带内呈现较高阻抗,而工频阻抗则可忽略不计,以限制电力系统载波信号的功率损失。

图 1a)和图 1b)给出了阻波器的两种典型电路:单频调谐阻波器和频带调谐阻波器。阻波器也可采用其他形式的电路。

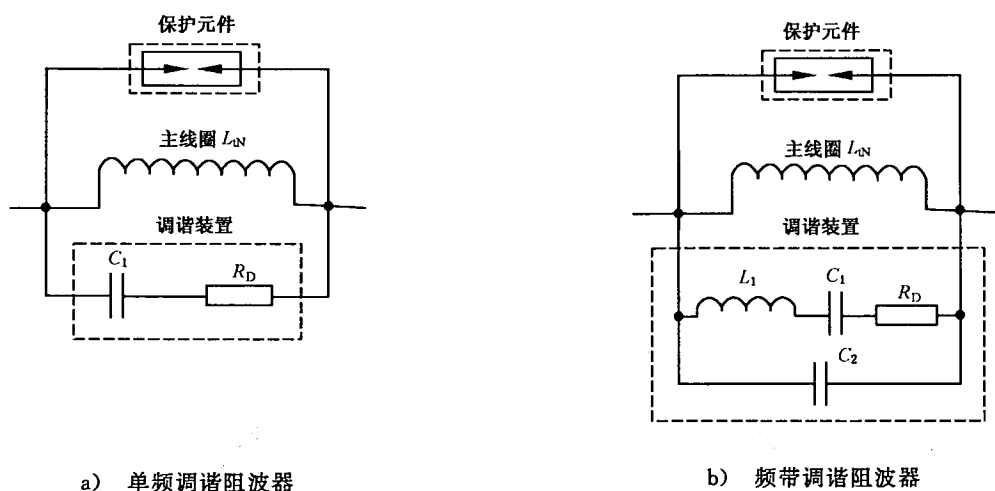


图 1 阻波器典型电路

3.2

主线圈 main coil

承载高压电力线工频电流的电感线圈。

3.2.1

视在电感 apparent inductance

主线圈的电抗除以确定该电抗的角频率的商,固有电容的影响未被补偿。

3.2.2

工频电感 power-frequency inductance

L_p

主线圈在工业频率下的电感。

3.2.3

真实电感 true inductance

L_t

主线圈在规定频率下的自电感,固有电容的影响已补偿(参见附录 B 的 B.1)。

3.2.4

额定电感 rated inductance

L_{tN}

主线圈在 100 kHz 的真实电感(参见附录 B 的 B.2)。

3.2.5

固有电容 self-capacitance

C_s

与真实电感一起使主线圈在自谐振频率点谐振的电容。固有电容的数值决定于主线圈的结构设计。

3.2.6

自谐振频率 self-resonant frequency

主线圈的真实电感与固有电容一起形成的谐振频率。

3.2.7

主线圈的电阻 resistance of main coil

主线圈在直流状态下的电阻。

3.2.8

温度系数 temperature coefficient

α

温度每变化 1℃, 主线圈导体材料的电阻率变化量与 0℃时电阻率的比值。

3.2.9

额定工频 rated power frequency

f_{pN}

阻波器所连接的高压电力系统的频率。

3.3

调谐装置 tuning device

与主线圈并联, 由电容器、电感器、电阻器等元件组成的部件。这些元件由阻波器的载频性能要求确定, 不一定同时具备。

3.4

保护元件 protective device

跨接于主线圈和调谐装置的元件, 使阻波器不会因暂态过电压损坏。

3.5

载波频率特性 carrier-frequency characteristics

阻波器在规定载波频带范围内呈现的阻塞阻抗或其电阻分量的频率响应特性。

电力系统的元件如变压器、母线、线路等相当于在阻波器以外接在线路和大地之间的阻抗。该阻抗与阻波器的阻抗相串联, 形成载波通道的分路。该分路所引起的信号功率的损耗取决于两部分阻抗的向量和。在最不利的情况下, 两阻抗中的电抗分量可能会相互抵消, 从而使得总分路阻抗降低到不合要求的数值。为消除这种可能性, 以及进一步消除由电力系统开关操作引起的分流损耗的变化, 阻波器的阻塞阻抗应含有电阻分量。阻波器的性能可以只按其电阻分量评价。

3.5.1

阻塞阻抗 blocking impedance

Z_b

在规定的载波频带内整个阻波器的复阻抗。

3.5.2

阻塞电阻 blocking resistance

R_b

阻塞阻抗的电阻分量。

3.5.3

分流损耗 tapping loss

A_t

由于阻波器阻塞能力有限而引起的载波信号的损耗。取一与电力线特性阻抗相等的阻抗, 在与阻波器并联和不并联两种情况下, 该阻抗两端信号电压的比值定义为分流损耗, 以 dB 表示。

3.5.4

以阻塞电阻为基础的分流损耗 tapping loss based on blocking resistance

A_{tR}

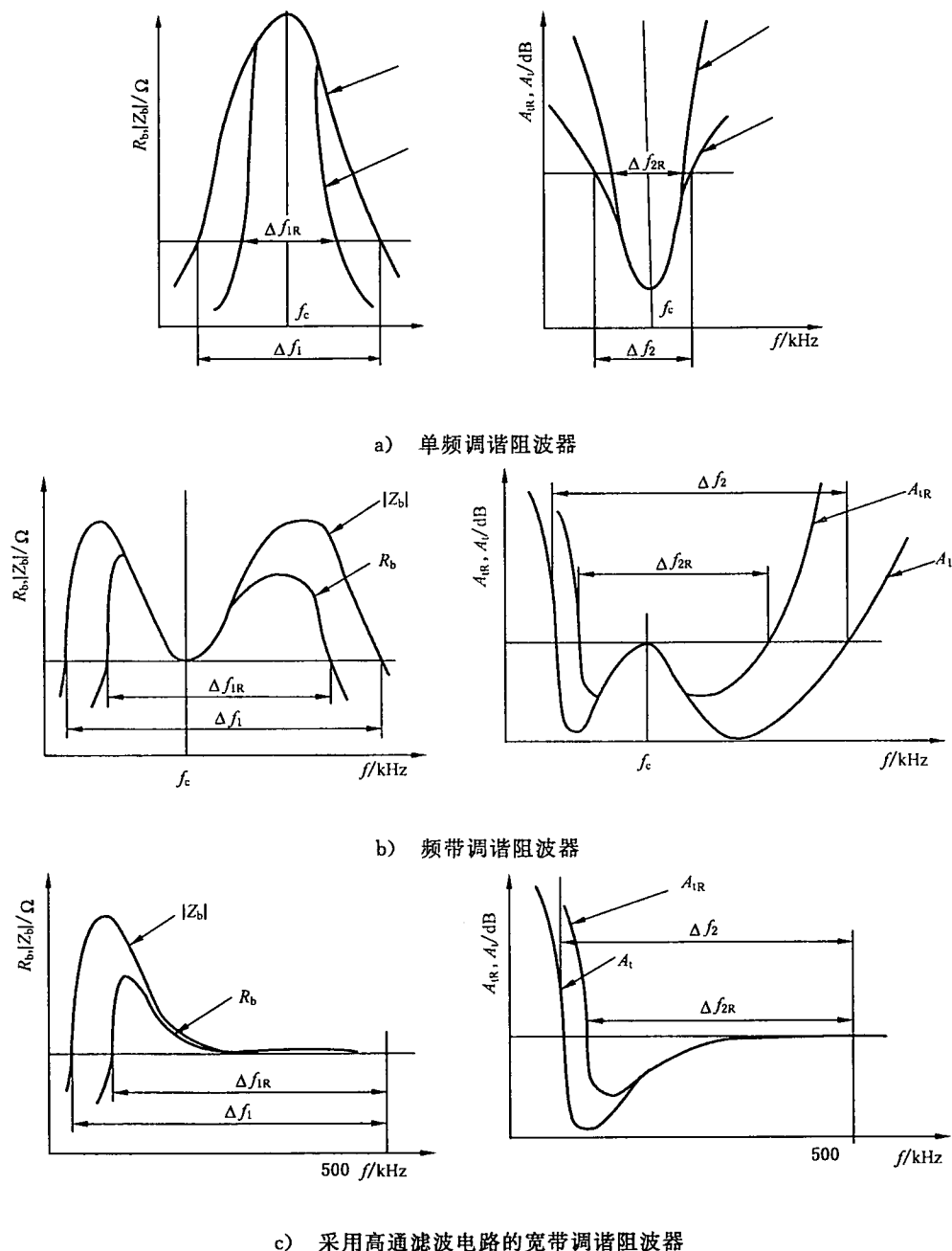
在阻塞阻抗中的电抗分量被完全抵消的条件下, 由于阻塞阻抗中电阻分量有限而引起的载波信号的损耗。

3.5.5

以阻塞阻抗为基础的频带 bandwidth based on blocking impedance

 Δf_1 或 Δf_2

图 2 中的载波频带 Δf_1 或 Δf_2 。在此频带内,阻塞阻抗的模值不低于规定值,或分流损耗 A_i 不超过规定值。



注: $\Delta f_{1R} = \Delta f_{2R}$, 但 $\Delta f_1 \neq \Delta f_2$ 。

图 2 阻波器频带的定义

3.5.6

以阻塞电阻为基础的频带 bandwidth based on blocking resistance

 Δf_{1R} 或 Δf_{2R}

图 2 中的载波频带 Δf_{1R} 或 Δf_{2R} 。在此频带内阻塞电阻不低于规定值,或以阻塞电阻为基准的分流损耗不超过规定。

3.5.7

中心频率 **centre frequency**

f_c

阻塞频带边界频率的几何平均值。

3.5.8

以阻塞电阻为基础的中心频率 **centre frequency based on blocking resistance**

f_{cR}

以阻塞电阻为基础的阻塞频带边界频率的几何平均值。频带调谐阻波器的 f_{cR} 等于 f_c 。

3.5.9

品质因数 **Q factor**

Q

主线圈在规定频率下的电抗值对电阻值的比值。

3.6

额定持续电流 **continuous rated current**

I_N

在规定工频下连续流过主线圈而不会使其温升超过限值的最大电流的有效值。

3.7

额定短时电流 **rated short-time current**

I_{kN}, I_{km}

在一定时间内通过主线圈而不会引起热损坏或机械损坏的短路电流稳态分量有效值(I_{kN})。额定短时电流第一个半波的非对称峰值(I_{km})应取为稳态分量有效值(I_{kN})的 2.55 倍。

3.8

紧急过载电流 **emergency overload current**

在一定时间内主线圈能够承受而不引起永久性损坏,且不至于显著缩短使用寿命的电流(参见附录 B 的 B.4)。

4 要求

4.1 工作条件

4.1.1 标准条件

标准条件应为户外运行。阻波器在日照、雨、雾、霜、雪及结冰等情况下应能实现所要求的功能。盐雾、工业污秽等恶劣的大气条件应在制造厂与用户间的具体协议中规定。

4.1.2 海拔高度

除非与制造厂有特殊协议并采取保证其适用性的措施,阻波器不应在海拔 1 000 m 以上地区使用。

4.1.3 环境温度

除非与制造厂有特殊协议并采取保证其适用性的措施,阻波器工作环境的空气温度范围不应超过 $-40^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.4 工业频率

本标准适用于工业频率为 50 Hz 或 60 Hz 的交流电力系统。

4.1.5 波形

应用本标准时,可以认为阻波器所连接的电力系统的工频电流、电压的波形接近正弦波。

4.1.6 其他工作条件

如果阻波器的工作条件超出 4.1.1 和 4.1.2 的规定,应按 4.5 和 4.7.3 处理。

4.2 一般要求

4.2.1 主线圈

主线圈的额定电感应从 6.1 的推荐值中选择,且不低于规定值的 90%。如对互换性有要求,制造厂应与用户协商确定适当的偏差。计算阻塞电阻或以阻塞电阻为基准的带宽时,应采用额定电感的下偏差。

主线圈的端子的位置和形式可由制造厂和用户协商确定。该端子应具有足够的接触面积和机械强度,并设计得在主线圈通过额定持续电流、额定短时电流、紧急过载电流时不因电动力而损坏。应注意 GB/T 5273 对端子尺寸的详细规定。

4.2.1.1 自谐振频率

主线圈的自谐振频率应高于 500 kHz,但额定电感大于 0.5 mH 的阻波器除外。这种阻波器的主线圈由于实际结构的限制可能无法使该频率达到这要求。

4.2.1.2 品质因数

如对互换性有要求,主线圈在 100 kHz 的品质因数应不小于 30。主线圈的实际结构会影响 Q 值。

4.2.1.3 电流额定值

额定持续电流和额定短时电流的值应与 6.2、6.3 的推荐值一致。

4.2.2 调谐装置

调谐装置整体及其中各元件的绝缘配合和结构应设计得在通过额定持续电流、额定短时电流或紧急过载电流时不会引起任何损坏,主线圈的温升及磁场也不会使阻塞性能显著变化。

应充分考虑:

- 调谐装置的阻燃、防水、密封、防振等要求;
- 由雷电和断路器操作产生的单极性脉冲以及附近隔离开关操作产生的双极性重复脉冲对调谐电容器的影响(见附录 C 的 C.4);
- 多个电容元件串联组成的电容器组中各单个电容元件的电容量的误差,这对控制串联电容器的电压分布非常重要(见附录 C 的 C.5.3)。如用户对单个电容元件电容量的误差有具体要求,可在与制造厂的协议中规定。
- 调谐装置的布置应便于更换。

4.3 保护元件

建议采用符合 GB 11032、JB/T 6479 规定的金属氧化物避雷器。保护元件的设计及安装应保证在主线圈通过额定持续电流、额定短时电流、紧急过载电流时,其温升和磁场不会引起任何损坏,也不会使性能发生显著变化。当额定短时电流通过阻波器时,在阻波器两端之间感应的工频电压不应使它动作或放电。不仅如此,在它动作于冲击过电压后,相继而来的短时电流感应的工频电压也不应使它维持放电或动作状态。

保护元件的标称放电电流不应小于安装在阻波器后面的站用避雷器的数值,且不允许低于 5 kA。避雷器的通流容量应足以释放各种操作过电压的能量。

保护元件杂散电容的分散性与不稳定性不应使阻波器阻塞特性产生不良影响。应保证阻波器在承载上述各种电流时,阻塞特性频响曲线不会因避雷器杂散电容受温升影响而发生明显变化。阻塞阻抗或阻塞电阻在此条件下不应低于规定值。

可为调谐装置的电感器、电容器、电阻器配置辅助保护元件,以保护它们在各种运行状态下不被击穿。辅助保护元件应是放电间隙,其固有电容应尽量小,放电电压应长期稳定。在稳态和短路情况下,辅助保护元件不应动作,从而不致影响阻波器的性能。

4.4 阻塞要求

阻塞阻抗和分流损耗的要求由制造厂和用户协商确定。为了明确频带的概念,建议以 2.6 dB 作为分流损耗和以阻塞电阻为基础的分流损耗的最大值,相当于阻塞电阻为电力线特性阻抗的 1.41 倍。单

导线电力线的相对地阻抗的典型值为 400 Ω,与它相连的阻波器的阻塞电阻为 570 Ω。

用于继电保护载波通道的阻波器,建议以阻塞电阻为基础计算分流损耗。

4.5 连续工作要求

当海拔高度不超过 1 000 m,环境空气温度在 4.1.3 规定的范围以内时,在通过额定持续电流的情况下,阻波器任何部分的温升不应超过表 1 列出的限值。

表 1 温升限值 ℃

耐热等级及 参考温度	最高温升		耐热等级及 参考温度	最高温升	
	直测法测得的 热点温升	电阻法测得的 平均温升		直测法测得的 热点温升	电阻法测得的 平均温升
A 105	75	65	F 155	135	115
E 120	100	85	H 180	155	140
B 130	110	90	220 220	200	160
注:对于上述等级以外的一些绝缘材料,通过制造厂和用户协商,可以采用此表以外的温升限值。					

热点的温升应直接测定,平均温升按 5.2 规定的电阻法测算得出。

如阻波器需要在环境空气温度超过 4.1.3 规定的最大值 10℃ 以内的情况下运行,则阻波器允许的最高温升应降低:

- 5℃(如超过的温度不大于 5℃);
- 10℃(如超过的温度大于 5℃但小于或等于 10℃)。

对于空气温度超过 4.1.3 规定的上限值 10℃ 以上的情况,允许温升由制造厂与用户协商确定。

当阻波器需要在海拔 1 000 m 以上地区运行,而试验在低海拔地区进行时,海拔 1 000 m 以上每增加 500 m,温升限值下降 2.5%。

对于阻波器的某些部件,根据其位置可能需要另外规定要求。裸露的金属部件或绕组,温升不应超过相邻绝缘材料的使用上限。对于端子尺寸,在参照 GB/T 5273 时应注意到主线圈磁场产生的涡流会使端子工作于较高的温度。

4.6 承受短时电流的能力

4.6.1 机械强度

阻波器承受额定短时电流的非对称峰值 I_{km} 后,短时电流所产生的电动力不应使阻波器出现机械结构以及电气特性的改变。按 5.5 规定的方法验证。

4.6.2 热性能

阻波器应能承受时间 1 s、有效值 I_{kN} 的额定短时电流的热作用。按 5.5 规定的方法验证。

4.7 绝缘水平

4.7.1 阻波器两端间的绝缘

阻波器两端之间的绝缘水平由保护元件的额定电压决定。

主线圈及调谐装置的绝缘根据以下因素适当确定:

- a) 额定工频下额定短时电流通过主线圈时在两端之间感应的工频电压 U :

$$U = 2\pi \cdot f_{pN} \cdot L_p \cdot I_{kN} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- U ——电压,V;
- f_{pN} ——额定工频,Hz;
- L_p ——主线圈的工频电感,mH;
- I_{kN} ——额定短时电流,有效值,kA。

保护元件的短时最高工作电压应高于 U 。

- b) 保护元件的波前冲击放电电压、陡波冲击电流残压或标称放电电流残压的较高值。

4.7.2 系统电压绝缘

阻波器系统电压绝缘通常由悬式或支柱式绝缘子承担。阻波器的系统电压绝缘水平应与连接在高压电网中其他设备一致,见 GB 311.1。

4.7.3 用于高海拔地区的阻波器

如果需要在海拔 1 000 m~3 000 m 的地区使用,但在海拔 1 000 m 以下试验,空气绝缘(由空气距离形成绝缘)的阻波器的试验电压应按 GB 311.1 规定的海拔校正系数予以修正。

4.8 无线电干扰电压(RIV)

阻波器上的电晕会产生无线电干扰电压,建议电晕起始电压至少比阻波器所连接的电网的最高相电压($U_m/\sqrt{3}$)高 15%。表 2 给出了各级电力系统最高电压 U_m 、无线电干扰试验电压及最高无线电干扰电压的数值。

表 2 电力系统电压、无线电干扰电压及试验电压的关系

系统电压/kV		无线电干扰 试验电压/kV	最高无线电 干扰电压/ μ V	系统电压/kV		无线电干扰 试验电压/kV	最高无线电 干扰电压/ μ V
额定电压	系统最高电压			额定电压	系统最高电压		
35	40.5	27	125	220	252	167	250
63	69	46	125	330	363	241	250
110	126	84	125	500	550	365	500
注:如阻波器运行在高海拔地区,但又在低海拔地区试验,试验电压应按 GB 311.1 规定的空气绝缘海拔校正系数修正。							

4.9 工频损耗

由于工频电流流过和涡流的存在,阻波器会产生功率损耗。如果用户要求确定损耗,制造厂应提供损耗值。应注意,损耗的大小与阻波器的结构设计和主线圈使用的材料有关,结构型式和主线圈材料一定时,工频损耗的过度降低还可能影响阻波器的载波频率性能。

工频损耗的测量方法见附录 B 的 B.3。

4.10 悬挂系统抗拉强度

阻波器悬挂系统的抗拉强度至少应达到阻波器质量(kg)的 2 倍,乘以 9.81 换算为 N,再加 5 000 N。

4.11 配件

4.11.1 防鸟栅

防鸟栅不是必备配件。如配备,应采用非金属材料,并使直径 16 mm 以上的球体不能进入阻波器。

4.11.2 防晕环

阻波器如配备防晕环,其设计应使主线圈在通过额定持续电流、额定短时电流、紧急过载电流时不因承受电力而损坏或局部过热,也不因防晕环的存在使阻波器的阻塞性能发生显著变化。

注:阻波器的防晕环是安装在阻波器两端,防止电晕过强,产生过高无线电干扰电压的金属件。其结构可以是环状、棒状、球状或其他形式。

4.12 铭牌

主线圈、调谐装置、保护元件应配有铭牌,固定在明显易见的部位。铭牌应采用耐气候影响的材料制作,文字应不易消除。

4.12.1 主线圈铭牌

主线圈铭牌应列出下列内容:

- a) 制造厂名和制造年月;
- b) 型号;

- c) 序号;
- d) 额定电感(mH);
- e) 工频电感(mH);
- f) 额定持续电流(A);
- g) 额定工频(Hz);
- h) 额定短时电流(kA)和持续时间(s);
- i) 质量(kg);
- j) 标准号。

4.12.2 调谐装置铭牌

调谐装置铭牌应列出下列内容:

- a) 制造厂名和制造年月;
- b) 型号;
- c) 序号;
- d) 阻塞频率或频带(kHz);
- e) 阻塞阻抗或阻塞电阻(最低值)(Ω);
- f) 额定冲击保护水平(kV);
- g) 额定工频耐压水平(kV);
- h) 主线圈额定电感(mH)和主线圈序号(选用)。

注:额定冲击保护水平是指调谐装置允许的保护元件的冲击保护水平。

4.12.3 保护元件铭牌

保护元件的铭牌应符合相应标准的规定。

5 试验方法

5.1 概述

制造厂可在 0℃ ~ 40℃ 之间的任一环境温度的室内或室外进行试验。除非另有说明,阻波器在试验时的安装位置应与运行情况相似。试验时应记录环境温度。如制造厂和用户达成特殊协议,可将部分或全部型式试验作为抽样试验重复进行。保护元件的试验应根据其结构型式按相应的国家标准 GB 11032 或行业标准 JB/T 6479 进行。

为简便起见,对下述一些试验项目推荐了具体的试验方法。其他方法,只要充分证实其准确性和适用性,包括使用直读式仪表以省略或减少计算的方法在内,也可使用。进行载波频率性能测试时,信号源应为低内阻的振荡器,测试环路尽可能地小,以排除其阻抗的影响。如可能,应扣除试验引线的影响。此外,被测设备与周围金属物或金属材料之间至少应隔开一个直径的距离。

5.2 温升试验(型式试验)

本试验的目的是检验阻波器在额定持续电流下的热性能。阻波器主线圈的温升(包括以电阻法测量的平均温升及直测法测量的热点温升)必须确定。

试验应以额定工频的额定持续电流 I_N 进行。如果由于某些原因不能采用额定值,可用不小于 90% 额定值的电流 I_t 进行试验,并按下式换算出对应于额定持续电流 I_N 的温升 θ_R 。

$$\theta_R = \theta_t \cdot \left(\frac{I_N}{I_t} \right)^{1.6} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

θ_t ——以试验电流 I_t 测量的温升,℃。

试验应连续进行,直至产品任何部位的温度在两个相邻的每小时读数之差不大于 2% 时为止。

5.2.1 以电阻法测量平均温升

由于主线圈的电阻按导体材料的温度系数 α 随温度变化而变化,额定持续电流所引起的温升可以通过测量试验开始前的电阻及试验结束时的电阻计算确定。如果无法直接测量试验电路开断瞬间的电

阻,建议在试验完毕后,以不超过 3 min 的时间为测量间隔,测出不同时刻的 4 个以上电阻值,并对应于时间绘成曲线(图 3),将曲线外推得到试验刚结束时的电阻值。曲线外推的方法应符合 GB 1094.2 的规定。

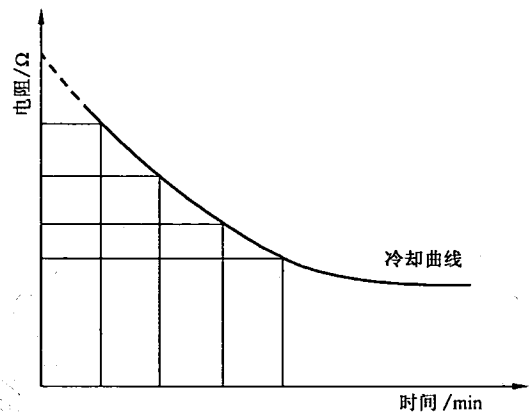


图 3 确定温升试验结束时主线圈电阻的曲线

表 3 给出了铜、铝的温度系数 α 和 T 的数值。其中, α 和 T 互为倒数。

表 3 阻波器主线圈常用导体材料的 α 和 T 值

导体材料	$\alpha/(1/^{\circ}\text{C})$	$T/^{\circ}\text{C}$
铝	0.004 44	225
铜	0.004 26	235

主线圈在试验结束时的温度 θ_2 , 可通过在那时测定的电阻 R_2 以及在另一温度 θ_1 测定的电阻 R_1 按下式确定:

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot (T + \theta_1) - T \quad \dots\dots\dots(3)$$

θ_1 与 θ_2 以摄氏度为单位。试验结束时的温度 θ_2 与环境温度之间的差值即为平均温升。环境温度的测量方法应符合 GB/T 1094.2 的规定。

5.2.2 以直测法测量热点温升

热点温升是按图 4 所示布设若干测量点(最少 5 点)获得的最高温度读值与试验完毕时环境温度之间的差。如主线圈的轴线为竖直的,热点通常位于线圈的顶部。可用热电偶、温度计、热敏纸或其他适合的器件测量温升。测量器件应埋于线圈内部,贴于导线表面。用热电偶的方法可能难以进行,因为主线圈上的电压会影响读数。

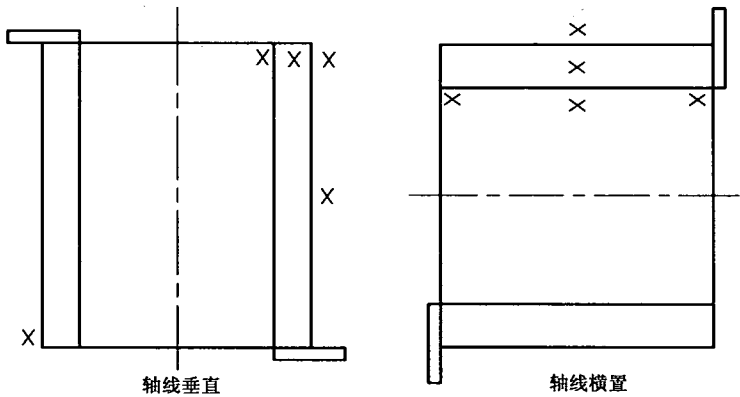
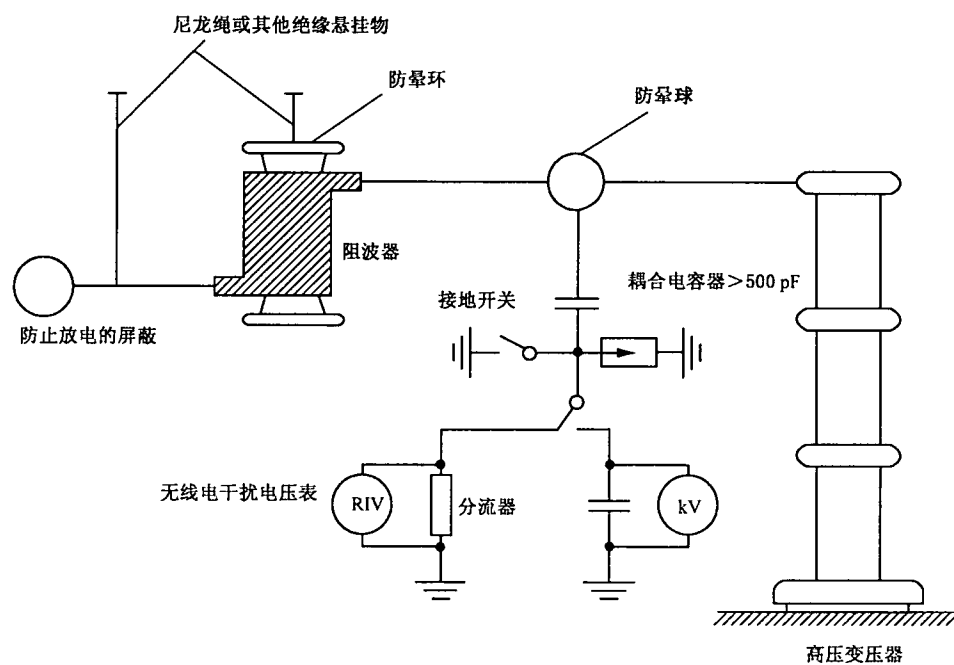


图 4 确定主线圈热点温升时测量点的分布

5.3 无线电干扰电压测量(型式试验)

建议按图 5 所示安装布置方法确定阻波器在运行条件下是否产生过高的无线电干扰电压。试验环境应清洁干燥,背景干扰电压应不超过试品干扰电压的一半,并以方均根值法修正其影响。



注：只在运行需要配备时才在试验时配备防晕环。

图 5 测量无线电干扰电压时阻波器的安装布置

此项试验应按 GB/T 11604 规定进行。测试设备应是已经普遍认可、可在市场上购得的。其性能应能测量频率为 0.5 MHz ~ 1.5 MHz, 带宽 9 kHz 以内的准峰值信号, 输入阻抗约为 150 Ω 。

5.4 绝缘试验

除本条规定以外,其他试验细节可按 GB/T 16927 执行。

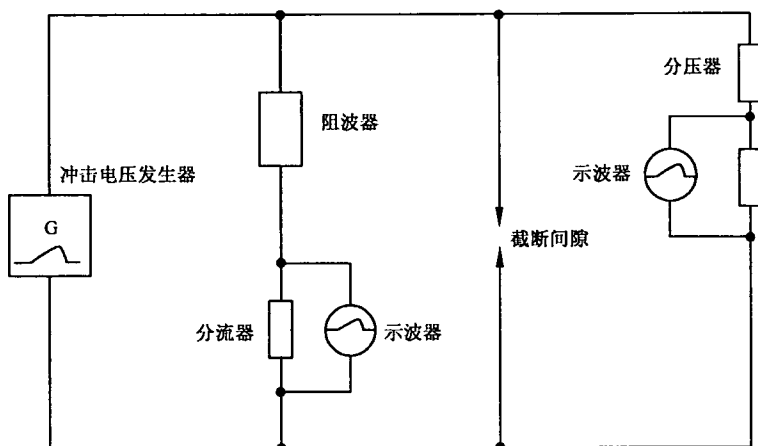
5.4.1 冲击电压试验(型式试验)

5.4.1.1 方法 1

试验时用另一只保护元件代替与主线圈实际配套的保护元件。该保护元件的冲击放电电压比被代替的保护元件至少高 30%, 型式和结构相同, 连接的方法不变。放电电压的上限应为高一级保护元件的上限。

保护元件的内在性能不能满足试验要求时,可用球隙代替。

加于阻波器端子的试验电压应具有不低于 200 kV/ μ s 的波前陡度以及能使保护元件在波前放电的幅值。推荐的试验电路如图 6 所示,但应连接保护元件,不装截断间隙。



注：截断间隙仅在截波冲击试验时使用。

图 6 冲击电压试验电路

试验过程：

将试验电压分别加在阻波器的每一个端子上，一端加压时，另一端接地。按图 6 所示电路录取所有示波图。

试验步骤：

- a) 施加降低电压的冲击电压一次，试验电压幅值约为保护元件冲击放电电压的 50%。
- b) 施加上述 100% 全电压冲击，正极性 5 次，负极性 5 次。
- c) 重复 a) 项。

若在冲击电压试验前后，阻波器阻塞能力有显著变化或示波图形有变化，则表明试验已引起绝缘异常或其他损坏。

5.4.1.2 方法 2

试验时不接入保护元件，并按运行情况接入调谐装置。将波形为 $1.2/10\ \mu\text{s} \sim 50\ \mu\text{s}$ 的冲击电压施加在阻波器的每个端子上。该电压的峰值至少应比保护元件的波前冲击放电电压、陡波冲击电流残压或标称放电电流残压中的较高值高 50%。试验电路如图 6 所示。

对于电感量较小的阻波器，例如 $0.5\ \text{mH}$ 以下，冲击电压半峰值视在持续时间可能难以达到 $10\ \mu\text{s}$ 。这时，执行标准的各方可根据试验设备的能力协商确定其他持续时间，例如 $5\ \mu\text{s}$ 。

试验过程：见 5.4.1.1。

试验步骤：

- a) 施加降低电压的全波冲击电压一次，试验电压约为规定幅值的 50%。
- b) 施加 100% 的全波冲击电压一次。
- c) 施加 100% 的截波冲击电压，正极性两次，负极性两次。最大预截断时间不超过 $5\ \mu\text{s}$ ，电压骤降视在时间不超过 $0.4\ \mu\text{s}$ 。
- d) 施加 100% 的全波冲击电压，正极性 3 次，负极性 3 次。
- e) 重复 a) 项。

若在冲击电压试验前后，阻波器阻塞能力有显著变化或示波图形有变化，则表明试验已引起绝缘异常或其他损坏。

5.4.2 调谐装置工频耐压试验(型式试验及出厂试验)

试验时调谐装置和主线圈断开，对调谐装置施加工频试验电压 U_1 ，持续时间 5 s。当阻波器的保护元件为有间隙避雷器时， U_1 的数值为其工频放电电压的上限 U_g 的 1.3 倍；当保护元件为无间隙金属氧

化物避雷器时, U_1 的数值与同级有间隙避雷器相同。

5.5 短时电流试验(型式试验)

本试验的目的是检验阻波器承受额定短时电流的机械强度和热性能的能力。额定短时电流的推荐值见 6.3。试验时调谐装置和保护元件接于主线圈上。

阻波器的机械强度以施加非对称短时电流检验。该电流的第一个半波峰值应不小于额定短时电流 I_{kN} 的 2.55 倍, 持续时间不少于 5 个周波。制造厂与用户也可协商确定其他持续时间。

阻波器的热性能应通过施加持续时间为 1 s 的短时电流 I_{kN} 检验。若受试验设备容量限制, 热性能也可以通过施加电流 I 、持续时间 t 来检验, $I^2 t$ 应不小于 $I_{kN}^2 \cdot t_N$, 其中, t 值为 0.5 s ~ 2 s, t_N 为 1 s。

阻波器能否承受短时电流试验可通过测量试验前后的阻塞性能及外观检查确定: 阻塞性能有无明显变化, 保护元件和调谐装置有无损坏, 金属端架有无明显位移或损伤, 主线圈有无可见的永久性变形或损坏。

如果试验设备的功率不足以检验阻波器的热稳定性能, 可按下式计算最终温度 θ_1 。 θ_1 应不超过表 4 规定的最高允许温度 θ_2 。

表 4 最高允许平均温度 θ_2 (适用于铜和铝)

℃

耐热等级及参考温度	θ_2	耐热等级及参考温度	θ_2
A 105	180	F 155	250
E 120	200	H 180	250
B 130	250	220 220	300

对于铜导体:

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 235)}{\frac{101\,000}{J^2 t} - 1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

对于铝导体:

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 225)}{\frac{43\,600}{J^2 t} - 1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

θ_0 ——起始温度,℃;

J ——短时电流密度, A/mm²

t ——额定短时电流持续时间, s;

θ_1 ——最终平均温度,℃;

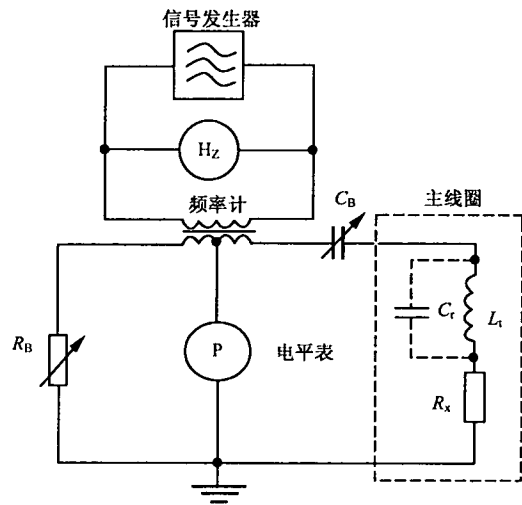
θ_2 ——最高允许平均温度,℃, 见表 4。

起始温度 θ_0 应为环境温度与按电阻法测得的平均温升的和。

注: 机械强度试验和持续时间 1 s 的热性能试验最好结合起来进行。

5.6 主线圈额定电感测量(型式试验及出厂试验)

建议测试设备按图 7 布置。



C_B ——可变电容器；
 R_B ——可变电阻器；
 L_t ——主线圈真实电感；
 C_r ——主线圈固有电容；
 R_x ——主线圈交流电阻。

图 7 真实电感测量电路

调节图 7 中的 C_B 和 R_B ，使频率 f_1 为 70 kHz 和 f_2 为 140 kHz 时电平指示最小，由此分别得出 C_B 的值和 C_{B1} 和 C_{B2} 。电感 L_{iN} 用下式计算：

$$L_{iN} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot (C_{B1} - C_{B2})} \cdot \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) \quad (\text{H}) \dots\dots\dots (6)$$

主线圈在测试频率下的交流电阻为：

$$R_x = R_B$$

5.7 主线圈工频电感测量(型式试验及出厂试验)

以额定工频或 100 Hz 以下任一频率的电压电流法测量。

5.8 阻塞电阻与阻塞阻抗测量(型式试验及出厂试验)

阻波器的阻塞电阻与阻塞阻抗应在规定频带内用图 8 所示的电桥法测量。能保证准确度的其他等效方法也可采用。

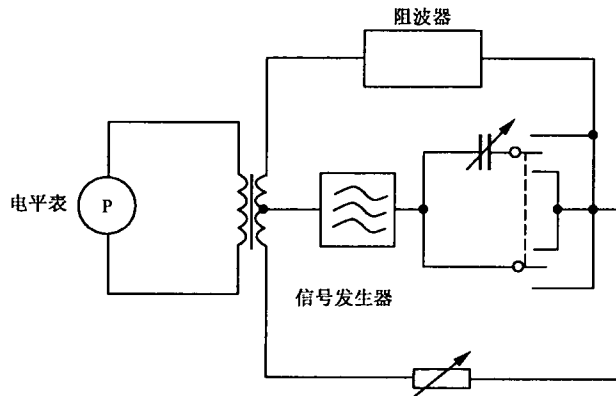


图 8 阻塞阻抗测量电路

如果是单频调谐阻波器，经制造厂和用户协商，可不对一批产品中的每一台进行这种试验。此时，可以只测定调谐频率点的阻抗，建议采用图 9 所示的测量方法。这一方法只在阻塞阻抗为电阻性时才

能得到正确的结果。在调谐频率点,电压 U_R 最小。保持电压 U 恒定,改变 R 值直至 U_R 等于 $U/2$,则电阻 R 等于阻波器的阻塞电阻。信号发生器置于低内阻。

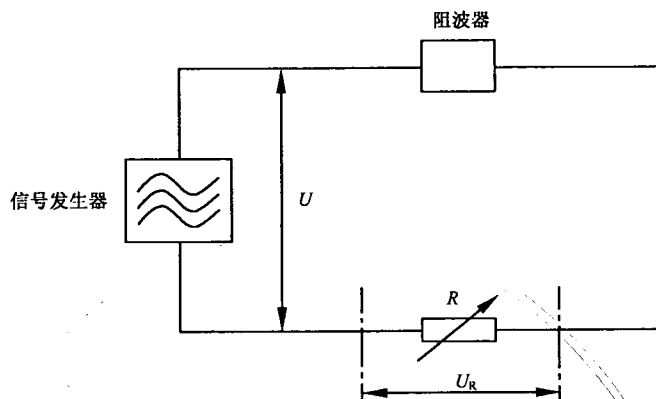


图 9 单频调谐阻波器阻塞电阻的测量电路

5.9 分流损耗和以阻塞电阻为基础的分流损耗测量(型式试验及出厂试验)

建议采用图 10 所示电路测量分流损耗,并按下式计算:

分流损耗:

$$A_t = 20 \lg \left| \frac{U_1}{U_2} \right| = 20 \lg \left| 1 + \frac{Z_1}{2Z_b} \right| \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

以阻塞电阻为基础的分流损耗:

$$A_t = 20 \lg \left| \frac{U_1}{U_2} \right| = 20 \lg \left| 1 + \frac{Z_1}{2R_b} \right| \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

Z_1 ——线路特性阻抗的等效电阻;

Z_b ——阻塞阻抗;

R_b ——阻塞电阻;

U_1 ——开关 S_1 断开时,端子 1、2 之间的电压;

U_2 ——开关 S_1 闭合以及开关 S_2 闭合于 3-4(测量 A_t)或 3-5、3-6(测量 A_{Rb})时端子 1、2 之间的电压。

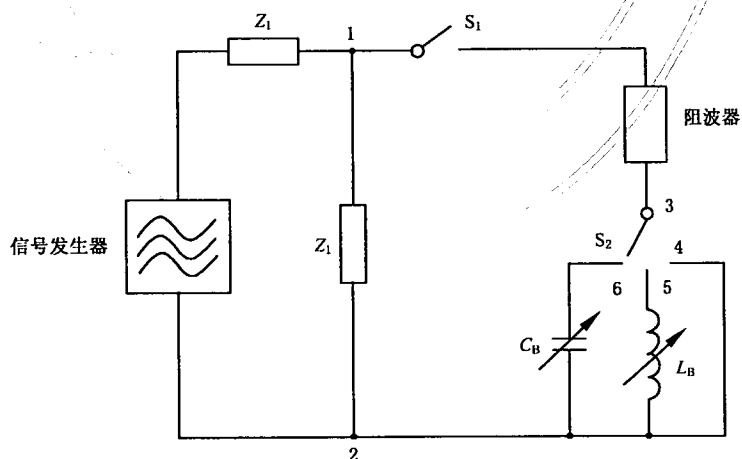


图 10 分流损耗测量电路

测量以阻塞电阻为基础的分流损耗时,应在 3-5 与 3-6 之间切换开关 S_2 的位置,并通过调整电容 C_B 或电感 L_B 抵消阻波器阻塞阻抗中的电抗分量。信号发生器置于低内阻。

注:如以这种方式测量分流损耗,则可不测量阻塞阻抗和阻塞电阻,反之亦然。

5.10 抗拉强度试验(型式试验)

在短时电流试验以前应进行阻波器悬挂系统的抗拉强度试验，以考验主线圈的吊环、金属端架及绝缘拉杆(带)等所有在起吊或悬挂时承受拉力的部件。可采取在阻波器下端悬挂重物的方式或其他方式施加拉力，拉力的数值根据 4.10 的要求确定，试验负载时间应不小于 1 h。试验后阻波器任何部位不应出现永久变形。

6 推荐值

6.1 主线圈额定电感(mH)

0.2—0.25—0.315—0.4—0.5—1.0—1.5—2.0

6.2 额定持续电流(A)

100—200—400—630—800—1 000—1 250—1 600—2 000—2 500—3 150—4 000

6.3 额定短时电流(kA,有效值)

2.5—5—10—16—20—25—31.5—40—50—63—80

注：以上数值中划横线者为优先值。

6.4 额定持续电流和额定短时电流的配合

表 5 为额定持续电流和额定短时电流的配合推荐了两个系列，适用于 6.1 提到的所有电感值。系列 1 属常规要求，系列 2 用于较高要求。

表 5 额定持续电流和额定短时电流的配合

额定持续电流/A	额定短时电流/kA		额定持续电流/A	额定短时电流/kA	
	系列 1	系列 2		系列 1	系列 2
100	2.5	5	1 250	31.5	40
200	5	10	1 600	40	50
400	10	16	2 000	40	50
630	16	20	2 500	50	63
800	20	25	3 150	50	63
1 000	25	31.5	4 000	63	80
注：由于试验设备的限制，一些较大的阻波器在试验时会存在困难。					

附录 A

(资料性附录)

交直流换流站使用的阻波器

根据目前掌握的少量资料,直流阻波器的设计比交流阻波器复杂得多。为了正确研究这些问题,必须考虑滤波器设计的新方法、系统暂态特性、绝缘配合、产生谐波的系统的非线性特性等。为了拟定设计导则及性能要求,并为最终编制标准做准备,需作更多的研究工作,并密切注意现有设备的工作状况。

A.1 引言

在交流变直流及直流变交流的功率转换过程中伴随两种现象:无功功率的消耗超过实际转换功率的一半,以及在电流及电压中产生谐波。为此,需在换流站两侧加装滤波器,抑制进入两侧电网的谐波。换流站的典型布置如图 A.1 所示。在交流侧,交流电网的阻抗难以确定,流经电网阻抗的谐波电流产生谐波电压。在直流侧,谐波电压产生谐波电流,其幅值决定于换流设备的特性及直流电网的阻抗。一般而言,从交流电网角度看,换流阀可视为谐波电流源(高内阻);从直流电网角度看,换流阀可视为谐波电压源(低内阻)。

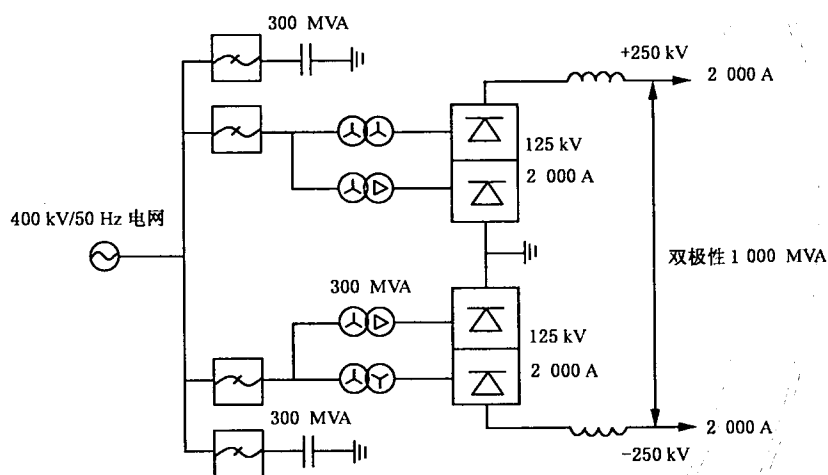


图 A.1 典型的换流站

如果换流阀由三相对称电压源供电,且延迟角是等距离的,则特征谐波的次数决定于换流阀的脉波数 P ,在交流侧为 $K \cdot P \pm 1$,在直流侧为 $K \cdot P$,其中 K 为正整数。增加换流阀的脉波数,在理论上可以消除高幅值的低次谐波。

A.2 概述

交直流换流站用阻波器的工作条件及性能要求与普通交流电力系统用的阻波器大不相同。高压直流换流阀产生的谐波占有很宽的频带,自工频起至大约 1 MHz 甚至更高。在频谱的低端(自工频至其 50 次谐波),辐射会对邻近的电话线产生干扰,必须在换流站采取措施将干扰限制到可以接受的水平。频段在 20 kHz ~ 500 kHz 的电力线载波系统也会受到谐波的干扰,因而载波系统的频率必须审慎选择。在无线电及电视频段,由于谐波衰减很大,一般不存在干扰问题。

目前,这方面的运行经验有限,将来或许还会出现其他问题。

A.3 直流阻波器的特点

阻波器在交流电力系统的应用及其在应用中的工况,已在本标准正文中充分论述。在直流系统

中应用阻波器必须考虑以下问题:

- a) 由于主线圈内部电流分布不同,按交流条件设计的阻波器用于直流系统时必须降低额定电流。这主要是针对多层线圈,它与单层线圈截然不同。
- b) 由于直流线路的故障电流较小,主线圈的发热及机械应力问题不难解决。
- c) 由于高频电流的集肤效应很强,确定温升时必须考虑谐波的存在。
- d) 电晕及无线电干扰电压与交流线路不同,需另外规定。

A.4 阻波器在交直流换流站的应用

与换流站连接的阻波器可装在换流站一侧或同时装在两侧,用于阻塞载波信号或用作抑制换流阀产生的高频噪声的无线电干扰滤波器的一部分。在后一种情况下,它应具有双重功能:既抑制干扰,又与 π 形网络中的并联电容一起,为将载波信号发往电力系统或自电力系统接收载波信号提供耦合手段。

A.5 无线电干扰滤波器的应用

无线电干扰滤波器的典型结构是 π 形网络,以阻波器为串臂,两侧的电容器为并臂。为获得最佳效果,往往将滤波器尽量靠近换流阀装设。

因为在这种情况下不能孤立地考虑阻波器,对它的要求比常规用法更严格。例如,可能要求它在1 MHz或更宽频带内具有高电阻分量,而这又要求它具有比常规阻波器更大的额定电感,调谐装置中的电容及电阻的数值也因此而需增大。以此方式应用的阻波器与有关电容器的组合将对阻波器的载波频率性能提出一些特殊的要求。

A.6 绝缘配合

交流侧:

本标准已说明用于交流系统的一般阻波器的绝缘配合问题。交流系统的短时电流可达到额定持续电流的30倍,保护元件的额定值按主线圈两端之间最大电压降计算。但用作无线电干扰滤波器时,高频电流的存在可引起谐振。在考虑绝缘配合时,应将这种谐振现象和谐振电流考虑在内。

直流侧:

直流侧的工作条件与交流侧不大相同。例如,短时电流的数值一般局限于持续电流的2~5倍,明显降低了对阻波器热性能和机械性能的要求。此外,计算这种阻波器两端的电压降时还应考虑谐波的存在。一般而言,短时电流情况下的电阻性压降不能代表临界工作条件。最高电压降主要决定于电流随时间变化的变化速率 di/dt ,而这又与平波电抗器的存在和系统参数(包括换流站本身的参数)有关。为了确保绝缘配合的合理性,需采取“系统确定” di/dt 的方法。这种方法需要分析暂态特性,并了解可能发生的各种过电压,以便确定阻波器两端之间的最大过电压和保护元件的额定电压,进而确定调谐装置的额定电压。

A.7 谐波电流

虽然谐波电流(交流侧为奇次,直流侧为偶次)一般被专门设计的滤波器大幅度衰减,但对上述类型的无线电干扰滤波器仍有明显影响。因而以上述方式使用阻波器时,必须仔细分析谐波的存在情况。

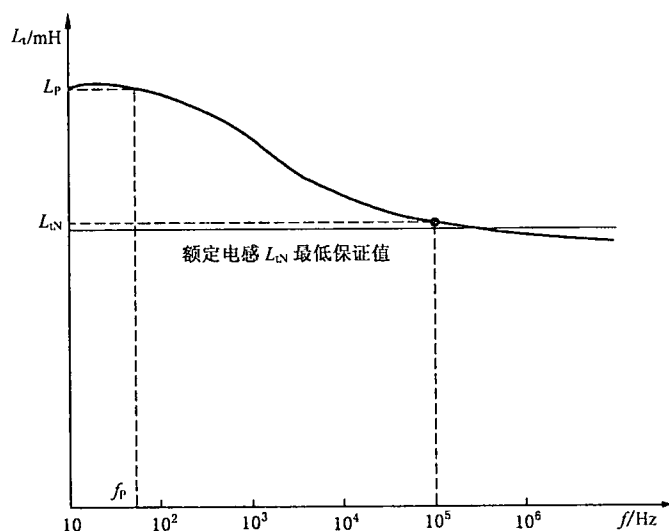
附录 B
(资料性附录)
补充说明

B.1 主线圈真实电感与频率的关系

阻波器是空心线圈的一个特例，其总电感由两部分构成：

- a) 环绕线圈并与绕组相链的磁通引起的外电感；
- b) 导体内部磁通引起的内电感。

由于电流位移的作用(集肤效应和邻近效应)，内电感随频率的升高而减小。对阻波器而言，工频电感与额定电感相差可达 10%。主线圈真实电感与频率的关系如图 B.1 所示。



注：工频电感与额定电感的差决定于主线圈的设计，工频电感的允许偏差不规定。

L_t ——真实电感；

L_P ——工频电感；

L_N ——额定电感；

f_P ——工频。

图 B.1 主线圈真实电感与频率的关系

B.2 额定电感、阻塞电阻和以阻塞电阻为基础的频带之间的关系

调谐电路有多种型式，适用于各种特定场合，下面举例说明最常见的两种电路：

单频调谐阻波器和频带调谐阻波器的电路如图 1 所示，相应的阻塞特性和频带的定义如图 2 所示。

下列公式适用于以上两种调谐方式的任意一种，可用来进行频带 Δf_{1R} 和边界频率 f_{1R} 、 f_{2R} 的理论计算。假定中心频率 f_{cR} 、额定电感 L_N 、阻塞电阻 R_b 包括它们的偏差范围均已确定，则：

- a) 以阻塞电阻为基础的频带为：

$$\Delta f_{1R} = 2b \cdot f_{cR} = f_{2R} - f_{1R} \quad (\text{Hz})$$

- b) 下边界频率为：

$$f_{2R} = f_{cR} \cdot (\sqrt{1+b^2} - b) \quad (\text{Hz})$$

c) 上边界频率为:

$$f_{2R} = f_{cR} \times (\sqrt{1 + b^2} + b) \quad (\text{Hz})$$

对于单频调谐阻波器:

$$b = \pi \times f_{cR} \times L_{tN} / 2R_b$$

对于频带调谐阻波器:

$$b = \pi \times f_{cR} \times L_{tN} / R_b$$

可见,频带调谐阻波器的频带宽度为单频调谐的两倍。

B.3 工频损耗的测量

由于阻波器的损耗角很小,工频损耗应采用电桥、低功率因数瓦特表等测量。阻波器的总损耗可分为两部分:由主线圈直流电阻引起的电阻损耗以及由交变磁场在主线圈导体及所有金属件(包括阻波器附近的金属物)内引起的涡流损耗。按电阻率对温度的响应特性,前者随温度升高而增大,后者随温度升高而减小。为便于不同产品之间的比较,建议损耗的测量在线圈的参考温度为 75℃ 时进行,例如在温升试验时进行。如不可能,可由测得的冷态损耗按下式计算参考温度的总损耗:

$$P_w = I_N^2 \cdot R \cdot K_1 + (P_c - I_N^2 \cdot R) \cdot K_2$$

式中:

P_w ——参考温度为 75℃ 时的总损耗, W;

I_N ——额定持续电流, A;

R —— $\theta(^{\circ}\text{C})$ 时的直流电阻, Ω ;

K_1 ——将 $\theta(^{\circ}\text{C})$ 时的直流电阻校正到 75℃ 时的系数,

$$K_1 = (T + 75) / (T + \theta)$$

T —— $1/\alpha$, 见表 3;

P_c —— $\theta(^{\circ}\text{C})$ 时测得的总损耗;

K_2 ——将涡流损耗校正到 75℃ 时的系数(可从类似结构的型式试验中获得):

$$K_2 = (P_{wt} - I_N^2 \cdot R_t \cdot K_1) / (P_{ct} - I_N^2 \cdot R_t)$$

P_{wt} ——75℃ 时测得的总损耗;

P_{ct} —— $\theta(^{\circ}\text{C})$ 时测得的总损耗;

R_t —— $\theta(^{\circ}\text{C})$ 时的直流电阻。

B.4 紧急过载电流

在按额定持续电流正常工作期间,按表 B.1 承载短时间的过载电流可不损坏阻波器或缩短其使用寿命。应用表 B.1 时应小心谨慎,如阻波器经常过载,应征求制造厂意见。表 B.2 给出了各种耐热等级的绝缘材料能够承受的最高温度。

表 B.1 紧急过载电流对额定持续电流的百分数 %

环境温度/℃	紧急过载时间				环境温度/℃	紧急过载时间			
	15 min	30 min	60 min	4 h		15 min	30 min	60 min	4 h
+40	140	130	120	110	-20	155	145	135	125
+20	145	135	125	115	-40	160	150	140	130
0	150	140	130	120					

表 B.2 耐热等级与能够承受的最高温度的关系

℃

耐热等级及参考温度	最高温度	耐热等级及参考温度	最高温度
A 105	150	F 155	210
E 120	175	H 180	235
B 130	185	220 220	260

附 录 C

(规范性附录)

调谐电容器的电介质要求

C.1 引言

一般说来,运行实践已证实阻波器为电力线载波系统中很可靠的一种器件。但是,也发生了阻波器中调谐元件的损坏问题。特别是阻波器附近的隔离开关频繁进行空载线路的投切操作时更会如此。看来,阻波器的调谐电容器会因隔离开关操作产生的暂态过电压损坏,即使阻波器的设计符合标准的要求。

近年以试验为基础进行的一些研究表明,电容器介质的击穿强度和材料本身的特性及施加的电介质应力的性质、持续时间(例如,波形、单极性脉冲和双极性脉冲等)有关。

本附录要说明阻波器中的暂态过电压问题,特别是和隔离开关操作有关的问题。着重于有关调谐装置设计的问题。

电容器以外的调谐装置通常由放电间隙保护。暂态过电压影响电容器。调谐电容器对开关操作引起的电介质应力的承受能力应以适当的耐压试验证实。因此,本附录的标题及范围确定为:调谐电容器的电介质要求。

C.2 范围

阻波器可以带有或不带有调谐装置。使用带有调谐装置的阻波器的关键是调谐装置应能可靠承受由于雷电、断路器操作或隔离开关操作施加给它的电介质应力。

调谐装置介电强度要求的基础是阻波器避雷器的保护水平。调谐装置中电容器组对于单个的单极性脉冲(相应于雷电)或重复的双极性电压脉冲(相应于隔离开关的操作)的耐压水平,在最恶劣情况下,应能与避雷器的保护水平相配合。

选用的金属氧化物(MO)避雷器的保护水平以避雷器的冲击电流为峰值 20 kA 波形 8/20 μ s 时的残压 U_{PI} 定义。

在本附录中,调谐装置的电介质要求仅以阻波器使用无间隙金属氧化物避雷器为基础。这种避雷器的保护水平受冲击波形的影响可以忽略不计。

阻波器使用的调谐装置由带有串联间隙的避雷器保护时,应考虑放电间隙的击穿电压的延时性。

注:带有串联间隙的避雷器的放电间隙的击穿电压的延时是冲击电压波前的上升率的函数。这样,系统的保护水平就决定于放电间隙的击穿电压。

本附录讨论普遍应用的 4 种调谐装置:

- 单频调谐,图 C.1;
- 双频调谐,图 C.2;
- 单频展宽调谐,图 C.3;
- 频带调谐,图 C.4。

调谐装置中的电感器和电阻器通常由放电间隙保护,其耐压应没有问题。

本附录仅涉及调谐电容元件的耐久性要求。这仅是元件性能的鉴定性试验,不是调谐装置的类型试验。

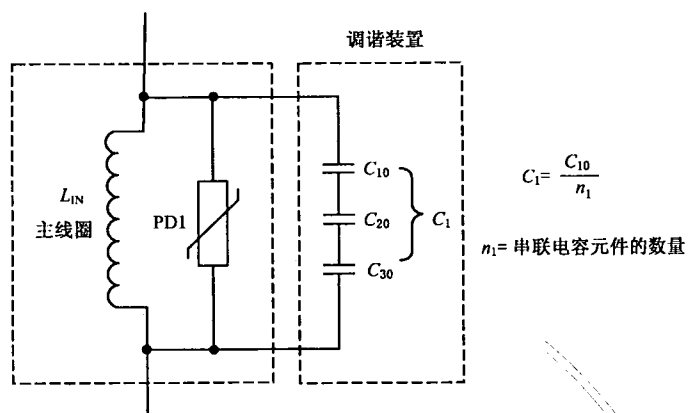


图 C.1 单频调谐阻波器电路

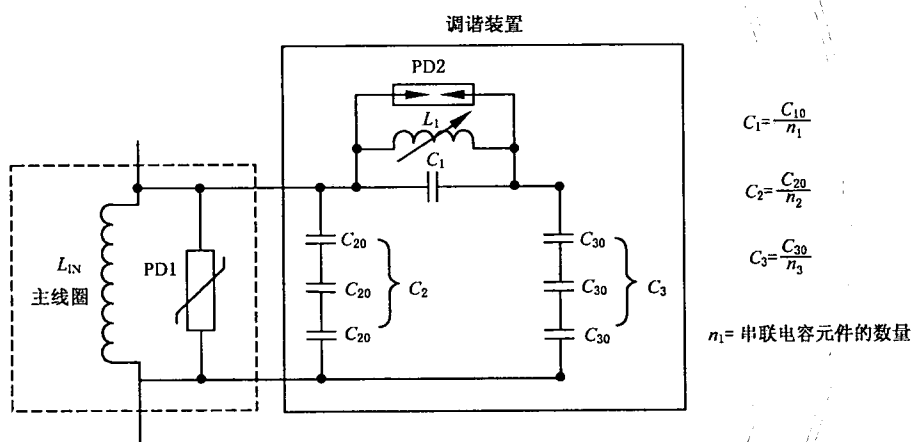


图 C.2 双频调谐阻波器电路

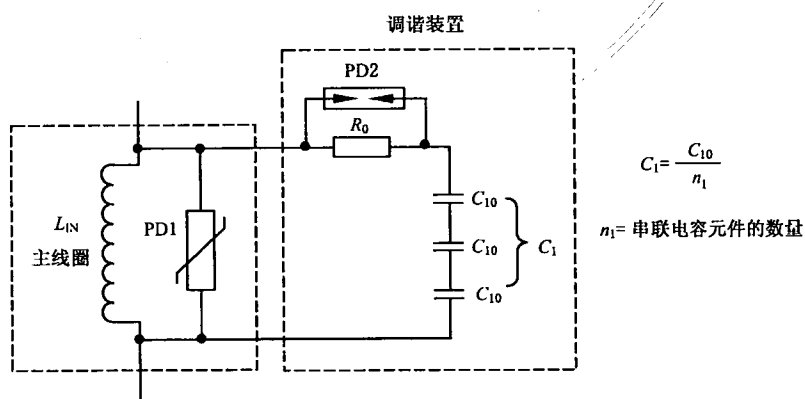


图 C.3 单频展宽调谐阻波器电路

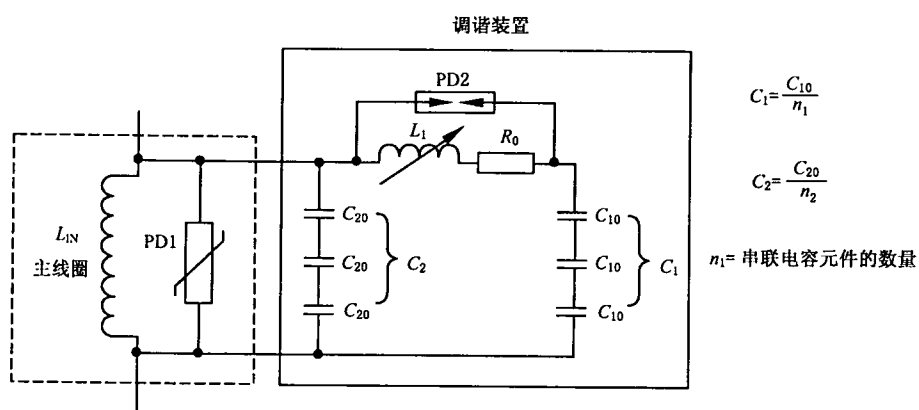


图 C.4 频带调谐阻波器电路

C.3 术语和定义

下列术语和定义适用于本附录。

C.3.1

保护元件 protection device

PD1

阻波器的主保护元件。

C.3.2

辅助保护元件 auxiliary protective device

PD2

调谐装置中 L_1, C_1, R_0 或 L_1, R_0 的保护元件。

C.3.3

残压 residual voltage

U_{P1}

金属氧化物避雷器 PD1 通过波形 8/20 μs , 峰值 20 kA 的放电电流时两端呈现的电压。

C.3.4

放电电压 spark-over voltage

U_{P2}

保护元件 PD2 在暂态条件下的击穿电压。

C.3.5

放电电压(峰值) spark-over voltage (peak value)

U_{P20}

保护元件 PD2 的工频击穿电压。

C.3.6

单个电容元件 individual capacitor elements

串联组成电容器组 $C_1, C_2, C_3 \dots$ 的单个电容元件 $C_{10}, C_{20}, C_{30} \dots$, 每一电容器组中各单元元件的标称电容量相等。

C.3.7

串联电容元件的数量 the number of capacitor elements $C_{10}, C_{20}, C_{30} \dots$ connected in series

$n_1, n_2, n_3 \dots$

C.3.8

调谐装置 tuning device

为实现规定的高频阻塞性能而选用的调谐电路。

C.3.9

调谐电感器 tuning inductor

 L_1

调谐装置中使用的电感元件,和电容器一起实现需要的响应特性。

C.3.10

电阻器 resistor

 R_0

用以产生阻尼效应并实现阻塞要求的电阻器。

C.3.11

安全系数 safety factors

 Sf_1, Sf_2, Sf_3, Sf_4

按各种电压要求给予调谐电容器组的安全系数。

C.3.12

试验电压水平 test voltage level

 U_1, U_2, U_{BL}, U_{BP}

进行电容器组耐压试验的电压值。

C.4 工作条件

阻波器,包括其调谐装置,在工作中不断承受着雷电、断路器操作和隔离开关操作产生的暂态电介质应力的影响。因而,调谐装置中的电容元件也承受着主要由雷电和断路器操作产生的单极性脉冲以及由附近隔离开关操作产生的双极性重复脉冲的影响。

C.5 要求

C.5.1 保护元件(PD1)

采用金属氧化物避雷器作阻波器的保护元件 PD1 时,应符合 GB 11032, JB/T 6479 的要求。采用碳化硅阀式避雷器时,应符合 GB 7327 的要求。

避雷器的固有电容在电力线载波频率范围内变化,以及它在运行中的温度不应影响阻波器的高频阻塞性能。

C.5.2 辅助保护元件(PD2)

根据其性能要求,PD2 应是放电间隙。在稳态和短路情况下,PD2 不应动作,从而不致影响阻波器的功能。PD2 的固有电容应尽量小,一般为 5 pF 数量级。

对 PD2 的要求之一是长期稳定性。在施加至少 10^5 个双极性脉冲后,PD2 的放电电压应保持在设计范围以内(参见 C.6.2 的注)。

C.5.3 调谐电容器组 $C_1, C_2, C_3 \dots$

由电容元件 $C_{10}, C_{20}, C_{30} \dots$ 组成的电容器组的设计应考虑电容量的误差。这对控制这些串联电容器的电压分布非常重要。

$C_1, C_2, C_3 \dots$ 的电容量应为 $C_1 = C_{10}/n_1, C_2 = C_{20}/n_2, C_3 = C_{30}/n_3, \dots$ 。

调谐电容器组设计应有一定的安全系数 Sf ,以达到以下试验电压的要求:

a) $Sf_1: U_1 \geq Sf_1 \times 2\pi \times f_{PN} \times L_P \times I_N$ 交流稳态

b) $Sf_2: U_2 \geq Sf_2 \times 2\pi \times f_{PN} \times L_P \times I_{kN}$ 交流动态

c) $Sf_3: U_{\text{BIL}} \geq Sf_3 \times U_{\text{P1}}$ 正负极性标准雷电冲击波(5.4.1)

d) $Sf_4: U_{\text{BP}} = n \times U_{\text{BPD}} \geq Sf_4 \times U_{\text{P1}}$ 多次双极性脉冲

为保证电容器组的介电强度和高频性能,电容元件的介损 $\tan\delta$ 的数量级一般为 10^{-3} 。

单个电容元件 $C_{10}, C_{20}, C_{30} \dots$ 在承受交流电压 U_1/n 时的局部放电水平应在 5 pC 以下 ($U_1 = Sf_1 \times 2\pi \times f_{\text{PN}} \times L_{\text{P}} \times I_{\text{N}}, n$ 为串联电容元件的数量)。

设计中要用到单个电容元件 $C_{10}, C_{20}, C_{30} \dots$ 对于 10^5 个双极性脉冲的耐压值 U_{BPD} 。该值不应低于 U_{P1}/n (U_{P1} 为避雷器的残压,包括安全系数 Sf_4, n 为串联电容元件的数量)。

图 C.6 为一个电容元件的耐久性曲线示例。

C.6 试验

C.6.1 试验种类

电压耐久性试验是为鉴定调谐电容器介质性能所需的惟一试验。这是对电容元件进行的型式试验,试品应代表调谐装置使用的电容器范围。

在 IEC 60353 的补充件附录 C 中规定了以下用双极性脉冲电压对调谐电容进行电压耐久性试验的方法,目的在于提高所选电容元件的耐受峰值,使之达到可以多次承受操作过电压的绝缘水平。由于具体试验条件的限制,这种双极性脉冲试验目前我国还不易实现,本标准暂以提高阻波器冲击试验电压(本版的 5.4.1.2)和调谐装置工频试验耐压(本版的 5.4.2)的方式来提高调谐电容器的绝缘水平作为过渡措施,待条件具备后再完全执行 IEC 60353: 1989 及其补充件附录 C 的要求。

C.6.2 电压耐久性试验要求

电压耐久性试验对按一定方法设计和制造的电容元件进行。试验通过后不需再重复试验这种调谐电容器的其他产品。电压耐久性试验的结果以适当的试验报告书面记载。

对双极性脉冲试验的要求:

- 重复速率: 50 Hz / 60 Hz $\rightarrow$ 20 ms / 16.7 ms;
- 波前陡度: $\Delta U_{\text{bi}} / \Delta t \geq 40 \text{ kV} / \mu\text{s} = 40 \text{ V} / \text{ns}$;
- 双极性脉冲的峰值电压规定在脉冲的零和峰值之间;
- 一个双极性脉冲由一个正极性脉冲和一个负极性脉冲组成。

电压耐久性试验应至少在 4 级双极性脉冲试验电压下进行。试验的原理电路示例见图 C.5。

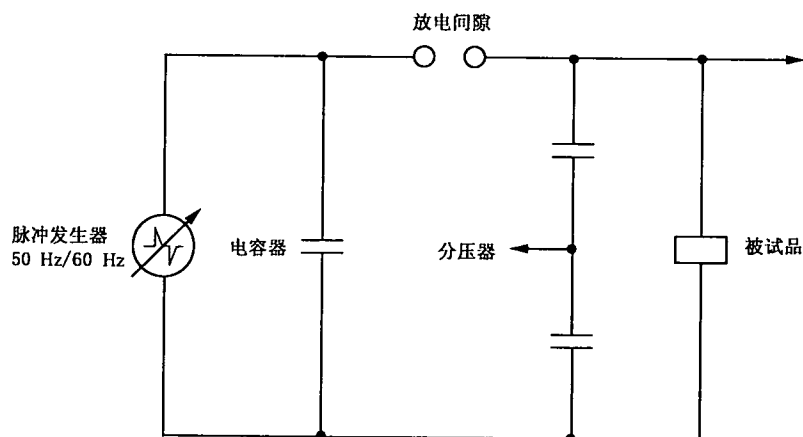
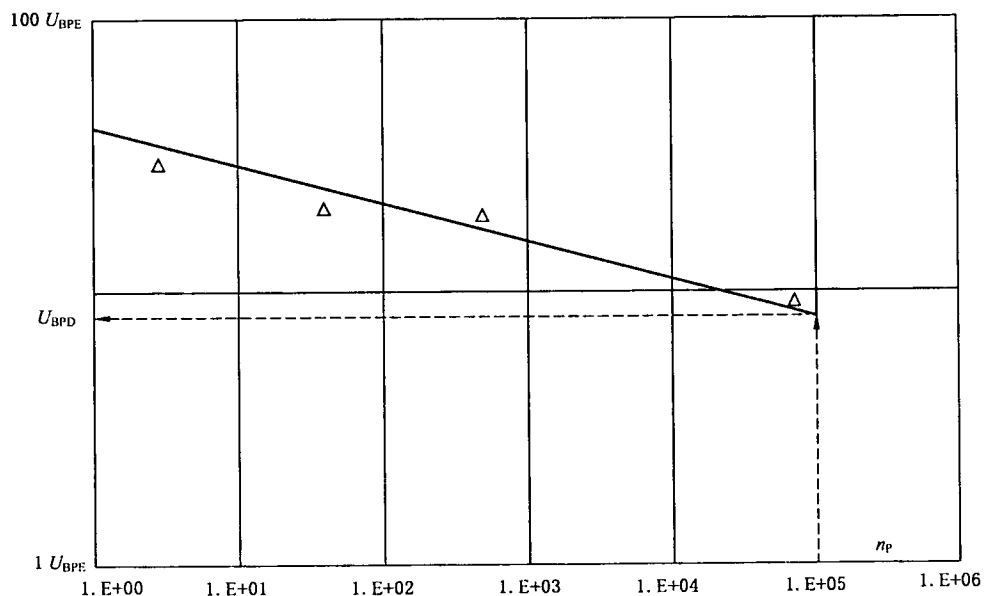


图 C.5 重复双极性脉冲试验电路

可用双对数坐标将电压耐久性试验的数据画成一根直线。图 C.6 是电容元件的电压耐久性寿命

的典型曲线示例。

注：电压耐久性试验的目的是确定双极性脉冲电压的耐受峰值，被试电容元件按该峰值承受 10^5 个双极性脉冲。该试验脉冲数相当于在隔离开关每天操作一次的环境中运行 30 年经历的暂态冲击，假定每次操作暂态包含达 10 次的再放电。



U_{BPE} ——设计电容器组所用的电容元件的双极性脉冲的耐压值；

Δ ——各级耐压试验水平时的寿命。

图 C.6 电容元件对于双极性脉冲的耐压值 U_{BPE} 和施加的脉冲数量 n_p 的关系

图中的 4 级击穿电压下的寿命(双极性脉冲数)是以足够数量的试验样值为基础的。每级试验电压至少要有 5 个试验样值。

C.7 绝缘配合

C.7.1 金属氧化物避雷器的残压 U_{PI} 和双极性电压 U_{BP} 的绝缘配合

通过对比金属氧化物的保护水平 U_{PI} 和调谐装置电容器组的双极性重复脉冲试验的耐压水平 U_{BP} (峰值), 可以求出绝缘配合。电容器组由 n 个电容元件组成, 每个电容元件的双极性耐压值为 U_{BPD} (峰值)。

U_{BP} 、 U_{BPD} 与 U_{PI} 之间的关系为：

$$U_{BP} = n \times U_{BPD} \geq S_{f4} \times U_{PI}$$

C.7.2 绝缘配合计算示例

示例 1: 电容元件 A

- a) 电容元件 A 的耐压

对 1.2/50 μ s 冲击电压(见 5.4.1.2)	≥ 15 kV
对 10^5 个双极性脉冲	≥ 8 kV
- b) 金属氧化物避雷器的保护水平

对 1.2/50 μ s 冲击电压	≤ 20 kV
对 20 kA, 8/20 μ s 冲击电流	≤ 20 kV
串联电容元件的数量 n :	
$n \geq 20$ kV/8 kV	$n = 3$

这种情况下的安全系数：

$$Sf_1 = 3.0/2.5 = 1.2$$

示例 2: 电容元件 B

a) 电容元件 B 的耐压

对于 1.2/50 μ s 冲击电压(见 5.4.1.2) ≥ 25 kV

对于 10^5 个双极性脉冲 ≥ 4 kV

b) 金属氧化物避雷器的保护水平

对于 1.2/50 μ s 冲击电压 ≤ 18 kV

对于 20 kA, 8/20 μ s 冲击电流 ≤ 18 kV

串联电容元件的数量 n :

$$n \geq 18 \text{ kV} / 4 \text{ kV} \quad n = 5$$

这种情况下的安全系数:

$$Sf_1 = 5/4.5 = 1.1$$

根据通常的设计准则, 对应于雷电冲击电压应力或双极性重复脉冲应力所需串联电容元件的数量为:

示例	雷电冲击应力	双极性重复脉冲应力
A	$n \geq 20 \text{ kV} / 15 \text{ kV}; n = 2$	$n = 3$
B	$n \geq 18 \text{ kV} / 25 \text{ kV}; n = 1$	$n = 5$

因此, 恶劣情况下的设计准则应以双极性重复脉冲应力为基础。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
交流电力系统阻波器
GB/T 7330—2008

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

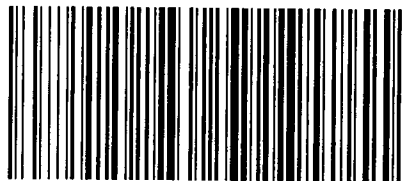
*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 55 千字
2008年6月第一版 2008年6月第一次印刷

*

书号: 155066·1-31928 定价 26.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 7330-2008