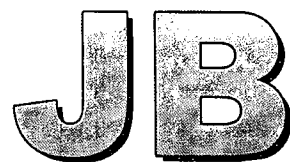


ICS 31.060.70

K 42

备案号: 28740—2010



中华人民共和国机械行业标准

JB/T 10931—2010

高压电力滤波装置

High-voltage power harmonic filters



2010-02-11 发布

2010-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言 II

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 3

4.1 海拔 3

4.2 环境空气温度类别 3

4.3 抗污秽能力 3

5 技术性能要求 3

5.1 滤波装置安装容量 4

5.2 额定绝缘水平 4

5.3 滤波装置性能要求 4

5.4 过负荷 4

5.5 温升 5

5.6 主电路及辅助电路设备选择 5

5.7 保护方式及投切顺序 6

6 结构和导体要求 6

6.1 防腐蚀层 7

6.2 母线和连接线 7

6.3 电气间隙和爬电距离 7

6.4 防护等级 8

7 安全要求 8

7.1 接地 8

7.2 闭锁 8

7.3 应设置安全警告标志 8

8 质量要求和试验 8

8.1 试验要求 8

8.2 试验分类 8

8.3 试验方法 9

9 标志 13

10 包装、贮存和运输 13

10.1 包装 13

10.2 贮存和运输 13

附录 A（资料性附录）滤波装置工作原理 14

附录 B（资料性附录）常用滤波器及计算公式 15

附录 C（资料性附录）滤波装置设计导则 17

前 言

本标准的附录 A～附录 C 均为资料性附录。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国电力电容器标准化技术委员会（SAC/TC45）归口。

本标准负责起草单位：西安电力电容器研究所、青岛恒顺电器有限公司。

本标准参加起草单位：杭州光大电力滤波设备有限公司、深圳市三和电力科技公司、深圳波宏电力滤波设备有限公司、广东南海樱花电气有限公司、杭州奥能电力设备制造有限公司、杭州精诚电力设备有限公司、北京博度科技发展有限公司、马鞍山市金巨滤波成套设备有限公司、指月集团有限公司、山东金乡金人电气有限公司、深圳市力量科技有限公司、人民电器集团有限公司、杭州银湖电气设备有限公司。

本标准主要起草人：张宗有、傅光祖、朱赫、刘菁、贾保军、龙绍青、路林、周松强、张彤、丁传发、赵江宇、刘长青、瞿李峰、包启树、喻浩。

本标准为首次发布。

高压电力滤波装置

1 范围

本标准规定了高压电力滤波装置的术语和定义、使用条件、技术性能要求、结构和导体要求、安全要求、质量要求和试验、标志、包装等。

本标准适用于并联连接在交流额定频率为 50 Hz、标称电压为 1 kV 以上电力系统中，用来滤除特定的谐波电流，以减少电网电压波形畸变，改善电能质量和功率因数的高压电力滤波装置（以下简称滤波装置）。

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 1985 高压交流隔离开关和接地开关（GB 1985—2004，IEC 62271-102：2002，MOD）

GB 3906 3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备（GB 3906—2006，IEC 62271-200：2003，MOD）

GB 7947 人机界面标志标识的基本和安全规则 导体的颜色或数字标识（GB 7947—2006，IEC 60446：1999，IDT）

GB/T 10229 电抗器（GB/T 10229—1988，eqv IEC 60289：1987）

GB/T 11022 高压开关设备和控制设备标准的共同技术要求（GB/T 11022—1999，eqv IEC 60694：1996）

GB/T 11024.1 标称电压 1 kV 以上交流电力系统用并联电容器 第 1 部分：总则 性能、试验和定额 安全要求 安全和运行导则（GB/T 11024.1—2001，eqv IEC 60871-1：1997）

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

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

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

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

GB/T 15166.4 高压交流熔断器 第 4 部分：并联电容器外保护用熔断器（GB/T 15166.4—2008，IEC 60549：1976，MOD）

GB 50173 电气装置安装工程 35 kV 及以下架空电力线路施工及验收规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

滤波装置 harmonic filters

专门用来滤除或减少特定谐波电流的装置，主要由电容器、电抗器和电阻器（如果需要）组成，对一种或多种谐波提供低阻抗通道。

3.2

滤波支路 **leg of the harmonic filters**

滤波装置由多个分支电路并联组成时，其中的任一支路称为滤波支路，也可称为滤波器。

3.3

特征谐波 **characteritic harmonic**

在理想的外部 and 内部工作条件下，由谐波源本身的工作特性所决定的某些特定次数的谐波，称为该谐波源的特征谐波。

3.4

非特征谐波 **uncharacteritic harmonic**

不同于所属谐波源的特征次数的各次谐波，称为该谐波源的非特征谐波。

3.5

安装容量 **installation output**

Q_N

指滤波装置中所有电容器标称容量之和。

3.6

基波容量 **fundamental output**

Q_{IN}

滤波装置在工频额定电压下的有效输出容量，又称基波无功功率。

3.7

滤波装置的额定电压 **rated voltage of harmonic filters**

U_N

滤波装置拟接入的系统的标称电压。

3.8

滤波装置的额定电流 **rated current of harmonic filters**

I_N

设计滤波装置时所采用的电流。其值为以滤波电容器的安装容量及额定电压计算得到的电流值，应不小于基波电流及预期吸收的谐波电流的方均根值。

3.9

滤波电容器的额定电压 **rated voltage of filter capacitor**

U_{CN}

设计滤波电容器时所规定的交流电压方均根值。基波电压方均根值和谐波引起的电压方均根值的算术和，或者是由装置额定容量和额定频率下的电容器电抗计算出的电压，取两者中较大者。

3.10

额定电容 **rated capacitance**

C_N

设计滤波装置时采用的电容值，它是由滤波电容器组额定容量和额定电压计算出的。

3.11

额定电感 **rated inductance**

L_N

设计滤波装置时采用的电感值。

3.12

主电路 **main circuit**

滤波装置中与交流配电线路相连接并具有同一绝缘水平的电路。

3.13

辅助电路 auxiliary circuit

用以完成检测、控制、保护等辅助功能的二次电路。

3.14

滤波电容器单元 filter capacitor unit

由一个或多个电容器元件组装于单个外壳中并有引出端子的组装体。

3.15

滤波电容器组 filter capacitors

电气上连接在一起并构成滤波装置某个支路的一相的一组滤波电容器单元。

3.16

调谐频率 resonant frequency

使滤波装置等效电路的容抗值与感抗值相等，从而使滤波装置呈现纯电阻性阻抗的这种频率。

3.17

调谐频率次数 resonant frequency order

调谐频率与工频频率的比值相等或最接近的整数。

3.18

并联谐振 parallel resonance

在某一频率下滤波装置的等效阻抗（感性或容性）与所并联的系统阻抗（容性或感性）相等或相近称为并联谐振。发生并联谐振时，由于滤波装置与系统并联后的等效阻抗为无限大，即使该次谐波电流很小也会产生很高的谐波电压，使流入滤波装置及系统的谐波电流大幅度放大。

3.19

滤波电抗器 filter reactor

与滤波电容器连用以调谐滤波回路，使其在设计要求的频率范围内谐振，以减小或滤去谐波电流的电抗器。

4 使用条件

4.1 海拔

安装运行地点的海拔应不超过 1 km。

注：用于海拔高于 1 km 地区的滤波装置，其要求由用户与制造方协商确定。

4.2 环境空气温度类别

安装运行地区的环境温度范围为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在此温度范围内按滤波装置所能适应的环境空气温度范围分为若干温度类别，每一温度类别均以一斜线隔开的下限温度值和上限温度值来表示。

下限温度为滤波装置可以投入运行的最低环境空气温度，其值从 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中选取。

上限温度为滤波装置可以在其中连续运行的最高环境空气温度，其值从 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中选取。

任何下限温度和上限温度的组合均可选为滤波装置的温度类别，如 $-25/40$ 、 $5/45$ 。

滤波装置运行期间，在电容器组的最热区域中两台电容器外壳最热点连线中点上测得的空气温度应不超过上限温度加 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 抗污秽能力

滤波装置各外绝缘的爬电比距，对户内滤波装置不小于 2.0 cm/kV （对应于系统最高工作电压），对户外滤波装置不小于 2.5 cm/kV ，对于重污秽地区，应适当加大爬电比距。

5 技术性能要求

5.1 滤波装置安装容量

滤波装置每个支路的安装容量（单位为 kvar）推荐在下列数值中选取：

300, 450, 600, 900, 1 200, 1 500, 1 800, 2 400, 3 000, 3 600, 4 200, 4 800 (5 000), 6 000, 7 200, 8 000, 9 000, 10 000, 12 000, 14 400, 16 800, 20 000。

5.2 额定绝缘水平

滤波装置的主电路相间以及相与地之间、辅助电路与地之间应承受表 1 规定的耐受电压。工频耐受电压施加的时间为 1 min。

表 1 绝缘水平

单位：kV

滤波装置 额定电压 U_N	设备最高电压 U_m (方均根值)	主 电 路		辅助电路 工频耐受电压 (方均根值)
		工频耐受电压 (干试与湿试) (方均根值)	雷电冲击耐受电压 (1.2~5) μ s/50 μ s, (峰值)	
3	3.5	18/25	40	3
6	6.9	23/30	60	
10	11.5	30/42	75	
15	17.5	40/55	105	
20	23.0	50/65	125	
35	40.5	80/95	185	
66	72.5	140	325	
		160	350	
110	126	185/200	450	
220	252	360	850	
		395	950	
注：对同一设备最高电压给出两个绝缘水平者，在选用时应考虑到电网结构及过电压水平、过电压保护装置的配置及其性能、可接受的绝缘故障率等。 斜线下的数据为外绝缘的干耐受电压。				

5.3 滤波装置性能要求

滤波装置投运后，考核点的谐波电压及注入系统谐波电流应满足 GB/T 14549 或用户的要求。

5.4 过负荷

5.4.1 稳态过电压

滤波装置的连续运行电压为 $1.00U_N$ ，且能在表 2 所规定的稳态过电压下运行相应的时间。

表 2 稳态过电压

型式	电压因数 $\times U_N$ 方均根值	最大持续时间	说 明
工频	1.00	连续	电容器运行任何期间内的最高平均值。在运行期间内出现的小于 24 h 的例外情况采用如下的规定
工频	1.10	每 24 h 中 8 h	系统电压调整和波动
工频	1.15	每 24 h 中 30 min	系统电压调整和波动
工频	1.20	5 min	轻负荷下电压升高
工频	1.30	1 min	

5.4.2 稳态过电流

滤波装置应能在 $1.35I_N$ 的电流下长期运行。

5.5 温升

对于构架式滤波装置，其主电路中各连接处的温升应不超过 50 K，各电器设备的温升应不超过各自的规定。

对于柜式滤波装置，除各电器设备不超过各自的规定外，其余应符合 GB/T 11022 的规定。

5.6 主电路及辅助电路设备选择

主电路及辅助电路设备包括隔离开关、断路器（或真空接触器）、熔断器、滤波电容器、滤波电抗器、电阻器（如果需要）、放电器件、金属氧化物避雷器、接地开关等。

5.6.1 隔离开关和断路器

选用的隔离开关和断路器的额定电流应不小于 $1.5I_N$ ，应选用无重击穿的断路器，对于要求切除短路故障的断路器，其额定开断电流应大于滤波器安装地点系统的短路电流。

隔离开关和断路器操作时应运动灵活，不出现操作力过大、卡住的现象。

隔离开关应符合 GB 1985 的规定。

凡组装成高压开关柜者应符合 GB 3906 的规定。

5.6.2 滤波电抗器

滤波电抗器宜采用可调电感，调感范围由滤波器设计需要确定，当采用不可调感的滤波电抗器时，电感的允许偏差应不大于 $\pm 1.5\%$ 。

采用空心滤波电抗器时，宜采用三相平装的安装方式。

滤波电抗器应符合 GB/T 10229 的要求。

滤波电抗器的声级水平应不超过表 3 的规定。

表 3 滤波电抗器的声级水平

电抗器额定容量 kvar	声级水平 dB (A)
<80	48
80~<125	50
125~<200	52
200~<315	54
315~<500	56
500~<800	58
800~<1 250	60
1 250~<2 000	63
2 000~<3 150	66

5.6.3 滤波电容器

滤波电容器一般由滤波电容器单元组成。

单台滤波电容器可放置于台架上，也可放置于柜内，单台滤波电容器额定电压、额定容量的选择应按滤波电容器每相电压、容量以及每相滤波电容器的串、并联台数确定。

滤波电容器台架设计应考虑到便于维护和更换设备，台架与巡视通道之间一般设置网状遮栏。

滤波电容器主接线方式应为单星形或双星形。每相的滤波电容器单元应采用先并联后串联的连接方式，但应使全部并联的内部无熔丝的滤波电容器的总储能不超出滤波电容器单元的耐爆能量。滤波电容器单元与母线应使用软导体连接。滤波电容器母线中性点侧和电源侧应留有供连接接地线夹的位置。

滤波电容器内的滤波电容器单元应符合 GB/T 11024.1 的规定；外部熔断器应符合 GB/T 15166.4 的规定；滤波电容器单元电容偏差应不大于 $\pm 5\%$ ，整组滤波电容器的电容偏差应不大于 $\pm 2\%$ 。

滤波电容器的额定电压应不小于工频电流以及可能流过的各次谐波电流在滤波电容器上引起电压

降的代数和，即

$$U_{cn} \geq \sum_{h=1}^{\infty} \frac{I_h}{2\pi f h C} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

I_h ——预期吸收的第 h 次谐波电流值；

h ——谐波次数；

C ——滤波电容器组电容值。

不宜采用自愈式电容器。

5.6.4 外部熔断器

在户外装置中如有外部熔断器宜选用喷射式高压熔断器，熔断器的一端固定在母线上，另一端与滤波电容器接线端子相连接。熔断器应安装在通道侧，熔断器的安装位置和角度应符合制造方的规定。

5.6.5 放电器件

放电器件分为：a) 内置放电电阻；b) 外接放电线圈。

放电器件的额定电压应不低于滤波电容器的额定电压，放电性能应能满足对内置放电电阻 5 min 内、对外置放电线圈 5 s 内将滤波电容器上的剩余电压自额定电压峰值降至 50 V 或更低。

放电器件应符合制造方与购买方商定的技术条件的规定。

5.6.6 金属氧化物避雷器

当需要限制投切滤波装置引起的操作过电压时，宜选用金属氧化物避雷器。

选择金属氧化物避雷器时，应考虑到避雷器的连接方式、可能出现的过电压倍数和滤波电容器容量等。

金属氧化物避雷器可放置于高压开关柜内，也可放置于滤波电容器附近，由制造方与购买方协商确定。

金属氧化物避雷器应符合 GB 11032 的规定。

5.6.7 接地开关

滤波装置宜装设接地开关。接地开关可以和带接地隔离开关合用，但安装时接地刀一侧必须在电容器一侧。

接地开关应符合 GB 1985 的规定。

5.7 保护方式及投切顺序

5.7.1 保护方式选择

保护包括滤波电容器的保护和滤波支路的保护，保护方式由购买方与制造方协商设置。

5.7.1.1 滤波电容器的保护

滤波电容器的保护有：内部熔丝保护和外部熔断器保护、继电保护等。

继电保护有：开口三角电压保护；电压差动保护和桥式电流差动保护；中性点不平衡电压或中性线不平衡电流保护等。

5.7.1.2 滤波装置的保护

滤波装置的保护有：过电流保护（速断保护）；过电压保护；失压保护及失谐保护等。

注：根据需要可设置其他类型保护。

5.7.2 投切顺序

当由于无功补偿的要求而需要对滤波装置的一部分或全部支路实行手动或自动投切时，为了防止并联谐振的发生，应遵循依据滤波支路调谐频率次数的大小由低往高顺序投入，由高往低顺序切除的原则进行投切。如果设计或试验证明部分支路可以不按上述原则投切，则制造方可以规定相应的投切顺序。应从控制上对投切顺序进行联锁。

6 结构和导体要求

6.1 防腐蚀层

滤波装置的金属外露表面应有可靠的防腐蚀层，且应符合相应技术文件的要求。

6.2 母线和连接线

6.2.1 主电路母线和连接线

- a) 主电路母线的长期允许电流应不小于 $1.5I_N$ ；电容器单元至母线或熔断器连接线的长期允许电流应不小于 1.5 倍电容器单元额定电流；其余连接线按相应电路的额定工作电流或机械强度来选择；
- b) 母线连接应牢固，不变形，接触良好，配置应整齐、美观；
- c) 母线的材料、连接和布置方式应能满足滤波装置在正常运行及事故情况下的机械强度要求；
- d) 母线和连接线的颜色应符合 GB/T 7947 的规定；
- e) 母线支柱绝缘子的机械强度、爬电距离应能满足相应的使用条件要求。

6.2.2 辅助电路连接线

- a) 连接线的截面应符合有关标准的规定；
- b) 连接线的连接应牢固，布线应整齐、美观；
- c) 连接线的绝缘水平不得低于相应电路的额定工作电压。

6.3 电气间隙和爬电距离

滤波装置内的各种电器设备的电气间隙和爬电距离应符合有关标准的规定。
户内滤波装置的带电体间、带电体与接地体间的最小电气间隙应不小于表 4 所列的数值。
户外滤波装置的电气间隙应不小于表 5 所列的数值。

表 4 户内滤波装置的最小电气间隙

相 关 位 置	电力系统标称电压 kV								辅助电路 500 V 以下
	3	6	10	15	20	35	66	110	
不同相的裸导体间	75	100	125	150	180	300	550	900	4
带电裸导体至接地框架	75	100	125	150	180	300	550	950	15
带电裸导体至板状遮栏	105	130	155	180	210	330	580	980	15
带电裸导体至网门及网状遮栏	175	200	225	250	280	400	650	1 050	50

单位：mm

表 5 户外滤波装置的最小电气间隙

相 关 位 置	电力系统标称电压		
	6 kV~10 kV	35 kV	66 kV
带电部分至接地部分之间 网状遮栏向上延伸线距地 2.5 m 处与遮栏上方带电部分之间	200	400	650
不同相的带电部分之间 断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间	200	400	650
设备运输时，其外廓至无遮栏带电部分之间 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间	950	1 150	1 400
网状遮栏至带电部分之间	300	500	750
无遮栏裸导体至地面之间 无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间	2 700	2 900	3 100
平行的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间	2 200	2 400	2 600

单位：mm

6.4 防护等级

柜式滤波装置外壳的防护等级按表 6 选取。

表 6 防护等级

序号	简 要 说 明	含 义
IP2X	防止手指接近危险部件；防止直径不小于 12.5 mm 的固体异物	直径 12 mm，长 80 mm 的铰接试指与危险部件有足够的间隙；直径 12.5 mm 的球形试具不得完全进入壳内
IP3X	防止工具接近危险部件；防止直径不小于 2.5 mm 的固体异物	直径 2.5 mm 的试具不得进入壳内；直径 2.5 mm 的物体试具完全不得进入壳内
IP4X	防止金属线接近危险部件；防止直径不小于 1.0 mm 的固体异物	直径 1.0 mm 的试具不得进入壳内；直径 1.0 mm 的物体试具完全不得进入壳内
IP5X	防止金属线接近危险部件；防尘	直径 1.0 mm 的试具不得进入壳内；不能完全防止尘埃进入，但进入的灰尘量不得影响设备的正常运行，不得影响安全

7 安全要求

7.1 接地

构成滤波装置的电器设备的外壳及安装支架（绝缘台架除外）均应可靠接地，并符合 GB 50173 的规定。

7.2 闭锁

滤波装置应具备防止误分、合断路器；防止带负荷分、合隔离开关或隔离插头；防止接地开关合上时（或带接地线）送电；防止带电合接地线（或接挂接地线）；防止人员误入带电隔离室等“五防”措施。

7.3 应设置安全警告标志

8 质量要求和试验

8.1 试验要求

8.1.1 概述

本章给出了对滤波装置的试验要求。

构成滤波装置的电器设备应符合相应的标准。

8.1.2 试验条件

滤波装置的全部试验和测量，除另有规定者外，均应在下列条件下进行：

- a) 环境空气温度为 5℃～35℃。如需校正，则以 20℃时之值为准。
试验时，滤波装置的温度应与环境空气温度一致，滤波器在不通电状态下、在恒定的环境空气中放置适当长的时间后，即认为滤波器的温度与空气温度一致。
试验时的环境空气温度应作记录。
- b) 试验和测量所使用的交流电压的频率应为 (50±0.5) Hz，其波形应为总电压畸变率不大于 2% 的正弦波。

8.2 试验分类

滤波装置的试验分为例行试验、型式试验和验收试验。

8.2.1 例行试验

- a) 外观检查（见 8.3.1）；
- b) 电器检验（见 8.3.2）；
- c) 电容测量（见 8.3.3）；

- d) 电抗器电感测量 (见 8.3.4);
- e) 工频耐受电压试验 (见 8.3.5);
- f) 放电器件检验 (见 8.3.6);
- g) 调谐频率下的阻抗测量 (见 8.3.7)。

例行试验的目的在于检验制造中的缺陷。试验由制造方对制出的每一套滤波装置进行。

8.2.2 型式试验

型式试验项目除 8.2.1 所列的例行试验项目外, 还要进行以下试验:

- a) 雷电冲击耐受电压试验 (见 8.3.10);
- b) 温升试验 (见 8.3.11)。

型式试验的目的在于考核滤波装置的设计、结构以及器件选择是否满足本标准的要求。

用来作型式试验的滤波装置应为经例行试验合格的滤波装置。

8.2.3 验收试验

- a) 保护特性试验 (见 8.3.8);
- b) 投切试验 (见 8.3.9);
- c) 滤波效果测试 (见 8.3.12)。

验收试验主要是由购买方对滤波装置的安全及有效性进行的试验, 有条件的, 除上述项目外, 推荐按例行试验项目进行验收试验。

8.3 试验方法

8.3.1 外观检查

滤波装置内金属部件的外表应有良好的防腐蚀层, 且色泽均匀, 无明显的流痕、划痕、凹陷、污垢、防腐蚀层脱落和锈蚀等缺陷。

外形尺寸、端子及固定滤波装置应符合产品图样的要求。

标志清晰, 数据正确。

滤波装置的构架应牢固; 焊接部位的焊缝应平整美观。

8.3.2 电器检验

电器检验主要检查滤波装置主电路及辅助电器设备有无合格证及例行试验报告, 并检查其性能指标是否满足滤波装置的技术条件或标准要求, 有无型式试验报告, 且是否合格、有效。

8.3.3 电容测量

8.3.3.1 测量程序

滤波支路的电容可用实际测量电容的方法, 也可根据滤波装置内单台电容器的实测电容用计算的方法来检验。

8.3.3.2 电容偏差

滤波支路的实际电容与其额定电容之差应在额定电容的 $\pm 2\%$ 范围内。

滤波支路每相的实际电容的最大值与最小值之比应不超过 1.02。

8.3.4 电抗器电感测量

测量时, 电抗器的调感连接应已处于固定位置, 从电抗器的进出线端直接进行测量, 实测电感应在设计要求范围内, 其与设计值的偏差应不大于 $\pm 3\%$ 。

8.3.5 工频耐受电压试验

8.3.5.1 试验程序

滤波装置的绝缘试验一般按 GB/T 16927.1、GB/T 16927.2 中的规定进行。但应保证主回路、辅助回路连线承受耐压试验。

试验前, 应将滤波装置中的滤波电抗器、放电线圈 (外置时)、滤波电容器组等端子上的连接线断开。但这些设备应按规定进行验收试验。

8.3.5.2 试验要求

工频耐受电压试验在滤波装置（不包括滤波电容器）的相间、相与地之间以及辅助电路与地之间进行，试验电压按表 1 选取。

试验时，应使试验电压从滤波装置额定电压的一半或更低些开始，在 2 s~10 s 内均匀地升高到试验电压值，并在该电压下保持规定的时间。

当条件限制无法对整个装置进行试验时，相对地试验可以对主电路的每一电器（包括支柱绝缘子）单独进行试验；相间试验可通过制造方与用户协商以有效的方法验证。

8.3.6 放电器件检验

试验时在任何一组滤波电容器上按如下方法进行：

对滤波电容器施加直流电压，达到 $\sqrt{2}$ 倍额定电压后断开电源，测量电压降至 50 V 所经历的时间，对采用放电电阻的滤波装置，时间应在 5 min 以内，对采用放电线圈的滤波装置，时间应在 5 s 以内。

8.3.7 调谐频率下的阻抗测量

采用以下方法之一进行测量。如果制造方受条件限制无法在厂内整体装配装置，本项试验可以在用户处进行。

a) 直接法：

测量时可以对滤波装置的每一相单独进行，当有多个滤波支路时，所有支路均应并接在一起。从滤波装置进线端和中性点间施加频率为调谐频率的正弦波信号直接测量滤波装置的阻抗。当滤波装置有多个调谐频率时，应分别在每个调谐频率下进行试验。

b) 间接法：

间接法通过分别测量各滤波装置支路中的每相的电容、电感及电阻值，然后采用附录 B 中的计算公式进行计算。测量电感及电阻值时，应把连接导体的影响测量在内。

c) 自谐振法：

自谐振波仅适用于单调谐滤波器，试验时对滤波装置的每一支路单独进行，测量时应拆除放电线圈，根据实际情况可采用单相调谐法（图 1）或两相调谐法（图 2）进行试验。

试验时，先将刀开关 QK 置于 K₁ 位置时对电容器充电，充电完成后再将刀开关 QK 转换至 K₂ 位置使电容器向滤波支路放电，采用记忆示波器录取电抗器电压波形，从第二个波峰开始，读取前 20 个周波的时间间隔，则调谐频率为：

$$f_0 = 20 / \Delta t \dots\dots\dots (2)$$

式中：

f_0 ——调谐频率；

Δt ——20 个周波的时间间隔，单位为 s。

单相调谐法时，分别对 A、B、C 三相进行试验；两相调谐法时，分别对 AB、BC、AC 三个两相组进行试验。当自谐振放电周期比较长时，可以用频率表代替示波器直接测取调谐频率。

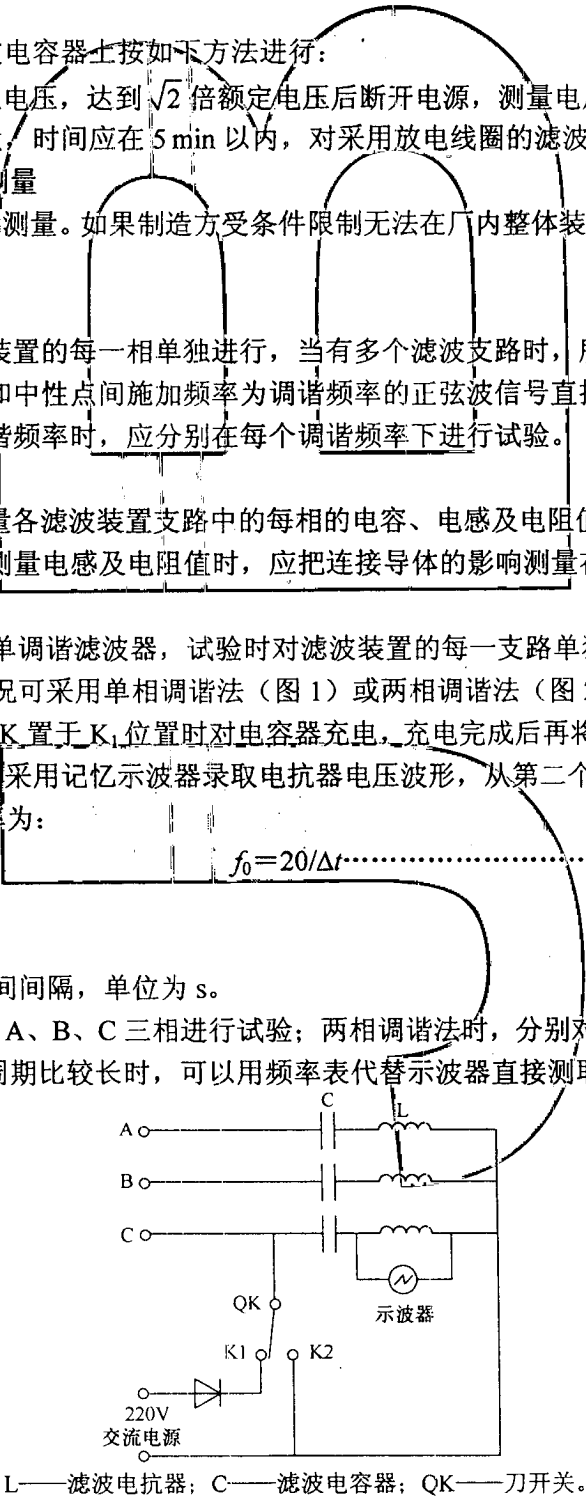
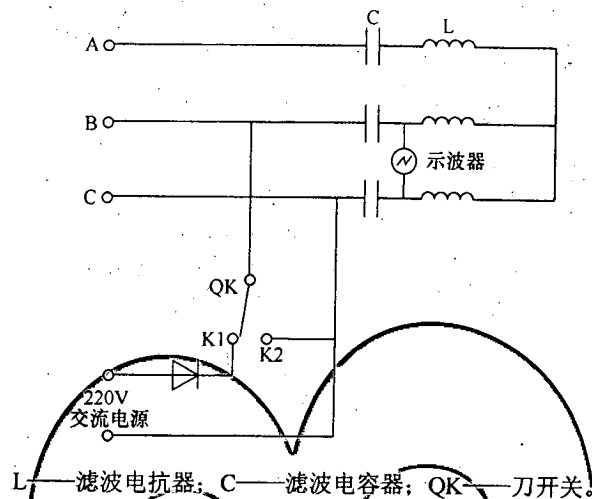


图 1 单相调谐法试验接线图



8.3.8 保护特性试验

进行滤波装置保护特性试验时，可在主电路上并联或撤出一台电容器以模拟电容器内部故障，或在二次回路上设定等价故障信号。保护装置在整定范围内应能正常动作。试验次数不少于三次。

8.3.9 投切试验

投切时按“五防”要求分别检查各项闭锁是否可靠，投切顺序闭锁是否正常，投入后检查各项电流电压指标是否在设计范围内。

8.3.10 雷电冲击耐受电压试验

电压施加于滤波装置的相与地之间，试验电压由表1选取。试验时，先施加15次正极性冲击，紧接着施加15次负极性冲击。改变极性后，施加负极性冲击之前，允许施加数次低幅值的冲击。

如果每一种极性冲击均未发生多于两次的闪络且未发生击穿，则认为滤波装置通过了该项试验。

当试验条件限制无法对整个装置进行试验时，可以对主电路的每一电器（包括支柱绝缘子）单独进行试验。

8.3.11 温升试验

温升试验时，应给滤波装置施加电压，使滤波装置的电流达到 $1.35I_N$ 。

滤波装置的布置应同正常使用时一样。

试验时应有足够的时间使温度上升达到稳定。每隔1h~2h用温度计或热电偶或其他测温仪测取各连接点及其他电器外壳的温度。当6h内的连续四次测量温度的变化不超过1K时，即认为温度达到稳定。

试验期间应测量滤波装置的周围空气温度，此测量应用不小于三支标准温度计校验过的水银温度计或热电偶进行，温度计或热电偶均匀布置在距滤波装置1m之处，放置高度应为滤波装置各载流部分高度的平均值。温度取最后两次所测温度结果的算术平均值即为滤波装置的周围空气温度。为了避免由于温度的迅速变化而引起的误差，温度计或热电偶应置于盛有油的容器中，使热时间常数约为1h。

滤波装置的母线之间连接处、主电路各连接处的温升应不超过50K。各电器设备的温升应不超过各自的规定。

注：如果试验条件限制，经与购买方协商，本试验也可在安装现场进行，试验时选择谐波源谐波电流最大时的时间段进行。

8.3.12 滤波效果测试

8.3.12.1 应采用专业的谐波测量分析仪表进行测试，测试地点为与购买方协商确定的考核点。

8.3.12.2 谐波电压（或电流）测量应选择电网正常供电时可能出现的最小运行方式，且应在谐波源

工作周期中产生的谐波量大的时段内进行（例如：电弧炼钢炉应在熔化期测量）。

当测量点附近安装有电容器组时，应在电容器组的各种运行方式下进行测量。

8.3.12.3 测量的谐波次数一般为第 2 次到第 25 次，根据谐波源的特点或测试分析结果，可以适当变动谐波次数测量的范围。

8.3.12.4 对于负荷变化快的谐波源（例如：炼钢电弧炉，晶闸管变流设备供电的轧机、电力机车等），测量的间隔时间不大于 2 min，测量次数应满足数理统计的要求，一般不少于 30 次。

对于负荷变化慢的谐波源（例如：化工整流器、直流输变电换流站等），测量间隔和持续时间不作规定。

8.3.12.5 谐波测量的数据应取测量时段内各相实测测量值的 95% 概率值中最大的一相值，作为判断谐波是否超过允许值的依据。

但对负荷变化慢的谐波源，可选五个接近的实测值，取其算术平均值。

注：为了实用方便，实测值的 95% 概率值可按下述方法近似选取，将实测值按由大到小次序排列，舍弃前面 5% 的大值，取剩余实测值中的最大值。

8.3.12.6 谐波的测量仪器：

8.3.12.6.1 仪器的功能应满足本标准的测量要求。

8.3.12.6.2 为了区别暂态现象和谐波，对负荷变化快的谐波，每次测量结果可为 3 s 内所测值的平均值，推荐采用式（3）计算：

$$U_h = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (U_{hk})^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- U_h ——第 h 次谐波电压；
- U_{hk} ——3 s 内第 k 次谐波的方均根值；
- m ——3 s 内取均匀间隔的测量次数， $m \geq 6$ 。

8.3.12.6.3 仪器准确度：

谐波测量仪的允许误差见表 7。

表 7 谐波测量仪的允许误差

等 级	被 测 量	条 件	允 许 误 差
A	电压	$U_h \geq 1\% U_N$	5% U_h
		$U_h < 1\% U_N$	0.05% U_N
	电流	$I_h \geq 3\% I_N$	5% I_h
		$I_h < 3\% I_N$	0.15% I_N
B	电压	$U_h \geq 3\% U_N$	5% U_h
		$U_h < 3\% U_N$	0.15% U_N
	电流	$I_h \geq 10\% I_N$	5% I_h
		$I_h < 10\% I_N$	0.50% I_N
注 1: U_N 为标称电压, U_h 为谐波电压, I_N 为额定电流, I_h 为谐波电流。			
注 2: A 级仪器频率测量范围为 0 Hz~2 500 Hz, 用于较精确的测量, 仪器的相角测量误差不大于 $\pm 5^\circ$ 或 $\pm 1^\circ \cdot h$;			
B 级仪器用于一般测量。			

8.3.12.6.4 仪器有一定的抗电磁干扰能力，便于现场使用。仪器应保证其电源在标称电压 $\pm 15\%$ ，频率在 49 Hz~51 Hz 范围内电压总谐波畸变率不超过 8% 条件下能正常工作。

8.3.12.7 对不符合 5.3.12.6.2 规定的仪器，可用于负荷变化慢的谐波源的测量。如用于负荷变化快的

谐波源的测量，测量条件和次数应分别符合 8.3.12.6.2 和 8.3.12.6.4 的规定。

8.3.12.8 在测量的频率范围内，仪用互感器、电容分压器等谐波传感设备应有良好的频率特性，其引入的幅值误差不应大于 5%，相角误差不大于 5%。在没有确切的频率响应误差特性时，电流互感器和低压电压互感器用于 2 500 Hz 及以下频率的谐波测量；6 kV~110 kV 电磁式电压互感器可用于 1 000 Hz 及以下频率测量；电容式电压互感器不能用于谐波测量。在谐波电压测量中，对谐波次数或测量精度有较高需要时，应采用电阻分压器（ $U_N < 1 \text{ kV}$ ）或电容式分压器（ $U_N \geq 1 \text{ kV}$ ）。

9 标志

每套滤波装置应标明下列内容：

- a) 名称和型号；
- b) 额定电压，单位为 kV；
- c) 额定电流，单位为 A（有多个支路时应标明总电流及支路电流）；
- d) 额定频率，单位为 Hz；
- e) 安装容量，单位为 kvar（有多个支路时应标明总容量及各支路容量）；
- f) 基波容量，单位为 kvar；
- g) 调谐频率次数；
- h) 主接线图；
- i) 出厂编号；
- j) 本标准编号；
- k) 制造年月；
- l) 制造方名称或商标。

注：标志中的部分内容可在说明书中表明。

10 包装、贮存和运输

10.1 包装

包装前必须把积尘擦净，按装箱单进行包装。

10.1.1 装箱技术要求

10.1.1.1 装箱必须牢固，应能保证在正常运输条件下滤波装置及滤波装置内的电器不受损伤。

10.1.1.2 装箱外表面应标明如下标志及字样：

- a) 型号、制造方名称、交货合同号；
- b) 收货单位和地址；
- c) 净重、毛重、箱长×宽×高的尺寸以及“共×箱，第×箱”；
- d) “小心轻放”、“不许倒置”、“请勿受潮”等。

标志字样应牢固、清晰、整齐。

10.1.2 装箱资料

装箱资料包括：

- a) 装箱单；
- b) 合格证；
- c) 产品使用说明书；
- d) 安装时必须的技术图样。

10.2 贮存和运输

在贮存和运输滤波装置期间，应能保证滤波装置的性能和质量不受影响。

附录 A
(资料性附录)
滤波装置工作原理

图 A.1a) 是滤波装置接于谐波源 (产生谐波电流的非线性负荷) 旁, 吸收部分谐波电流, 从而使流入系统谐波电流减少的示意图。图 A.1b) 是简化后在 h 次频率下的阻抗电路图, 因为系统阻抗中电抗分量远大于电阻分量, 所以系统阻抗的计算忽略了电阻分量。从图 A.1 中看出, 滤波装置就是在设计的调谐频率下使滤波装置具有一低于系统阻抗的低阻抗, 从而使大部分谐波电流分流到滤波装置中。

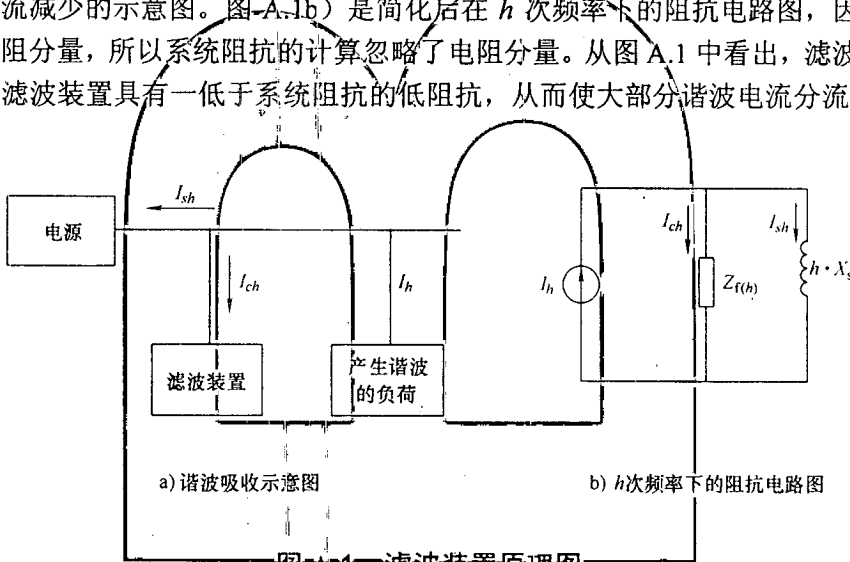


图 A.1—滤波装置原理图

图 A.1 中 I_h 为非线性电力负荷产生的第 h 次谐波电流, 非线性负荷产生的谐波为电流源。各次谐波电流大小可以通过实际测量取得, 也可以依据谐波源的性质估算其特征谐波得到。一个合理的滤波装置应对谐波源所有的特征谐波呈现低阻抗, 而对其他非特征谐波不发生并联谐振。

$Z_f(h)$ 为 h 次频率下滤波装置的等效阻抗, 当同一母线上并接有其他并补装置时, 等效阻抗应把并补装置计算在内。

X_s 为由滤波装置安装地点母线短路容量换算的基波电抗值。

附录 B
(资料性附录)
常用滤波器及计算公式

B.1 常用滤波器

常用滤波器见图 B.1。

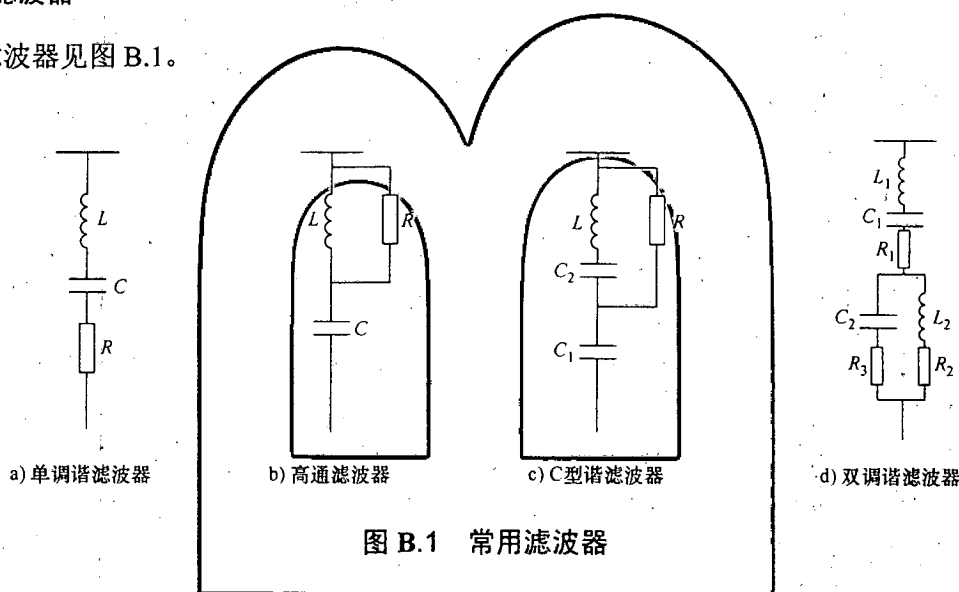


图 B.1 常用滤波器

B.2 单调谐滤波器

单调谐滤波器是最简单并且应用最广泛的滤波器。它具有在调谐波频率下阻抗几乎为零，从而几乎全部吸收该频率的谐波电流的优点。但也存在在调谐频率以下某些频率范围内滤波器与系统的并联阻抗升高太大，有严重放大低于调谐频率的其他频率谐波的可能，以及对高于调谐频率的谐波吸收能力过低的缺点。

图 B.1a) 所示单调谐滤波器的阻抗计算公式为：

$$Z(f) = R + j\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)$$

在调谐频率 f_0 下，其阻抗最小的条件是虚部为零，即：

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

$$\text{调谐频率: } f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\text{最小阻抗 } Z(f_0) = R$$

$$\text{滤波器发出的基波无功功率为: } Q_c = \frac{U_N^2}{Z(50)}$$

$$\text{流过滤波器的工频电流为: } I_1 = \frac{U_N}{\sqrt{3}Z(50)}$$

式中：

$Z(50)$ ——频率 $f=50\text{ Hz}$ 时滤波器的阻抗。

B.3 高通滤波器

高通滤波器是在单调谐滤波器的电抗器两端并联一电阻器构成的,当频率升高时,电抗器上由于并联了电阻使得总阻抗在调谐频率以上维持一低阻抗而得到高通滤波的效果。但高通滤波器由于并联电阻而带来了较高的额外损耗,高通滤波器调谐频率越低,电阻的损耗越大。通常,高通滤波器只适合七次及以上调谐频率次数的滤波器。五次及以下宜选用 C 型滤波器(见 B.4)。

忽略电抗器内阻,图 B.1b) 所示高通滤波器的阻抗计算公式为:

$$Z(f) = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{j2\pi fL} \right)^{-1} + \frac{1}{j2\pi fC}$$

调谐频率 f_0 下阻抗最小的条件:

$$R^2(2\pi f_0)^2 LC = R^2 + (2\pi f_0 L)^2$$

$$\text{调谐频率: } f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC - L^2/R^2}}$$

$$\text{最小阻抗: } Z(f_0) = \frac{R(2\pi f_0 L)^2}{R^2 + (2\pi f_0 L)^2}$$

B.4 C型滤波器

C 型滤波器的作用和高通滤波器类似,它的优点在于基波电流不流过并联电阻而使电阻损耗大大降低。C 型滤波器适用于较低调谐频率的高通滤波器,常用于电弧炉负荷等产生低次谐波的谐波源。

图 B.1c) 所示电路工频下小电容 C_2 需满足以下条件:

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC_2} \quad (f = 50 \text{ Hz})$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi^2 \times 10^4 L}$$

调谐频率 f_0 下电感与小电容器串联后的等值电感为:

$$L' = \left(1 - \frac{2500}{f_0^2}\right)L$$

引入等值电感后, C 型滤波器的阻抗及调谐频率计算可以参照 B.3 高通滤波器的计算。

B.5 双调谐滤波器

双调谐滤波器与两个单调谐滤波器相比,基波损耗较小,且只有串联部分的电感 L_1 承受全部冲击电压。正常运行时,并联电路所承受的电压比串联电路的低得多,所以造价相对比两个单调谐滤波器要低。双调谐滤波器与单调谐滤波器相比,结构比较复杂,调谐比较困难。

图 B.1d) 所示双调谐滤波器的阻抗计算公式为:

$$Z(f) = R_1 + j \left(2\pi fL_1 - \frac{1}{2\pi fL_1} \right) + \left(\frac{1}{R_3 + \frac{1}{j2\pi fC_2}} + \frac{1}{R_2 + j2\pi fL_2} \right)^{-1}$$

附录 C

(资料性附录)

滤波装置设计导则

C.1 滤波装置设计所需主要资料

- a) 滤波装置安装位置的供电系统图。
- b) 滤波器安装地点以上供电电源主变压器、输电线的技术参数 (包括主变压器侧额定电压、额定容量及电抗电压、联接组标号, 输电线的线型及长度等)。
滤波装置安装于自耦整流调压变压器组的补偿绕组侧时, 不仅需要数台并列运行自耦调压变压器的联接组标号、相位移等技术参数, 而且需要主要调压档的容量、各侧间的电抗电压及相应的试验容量等技术参数。
- c) 无功需求 (或提供平均负荷及自然功率因数)。
- d) 最大、最小运行方式下公共连接点或考核点的系统短路容量。
- e) 谐波电流大小 (实测值或提供非线性负荷类型及容量进行估算)。
- f) 谐波限值 (供电部门或用户的要求) 与用户供电协议容量。
- g) 要求达到的平均功率因数。
- h) 在滤波装置处和附近已安装运行的电容器组有关的参数。

C.2 滤波装置的无功输出

滤波装置在吸收谐波电流的同时, 由于含有电容器也向系统输出基波容性无功, 因此滤波装置也兼具无功补偿的作用。滤波装置的分组及投切控制宜根据负荷变动的频繁状况以及变动大小进行设置。投切一组滤波器的最大基波容量应考虑使系统基波电压波动不超过一定的范围。

C.3 并联谐振的校核

C.3.1 并联谐振的条件是在某一频率下滤波装置的阻抗为容性且与系统阻抗相等。图 C.1 为发生并联谐振的原理图, 滤波装置与系统并联的总阻抗:

$$Z = \frac{Z_h(h X_s)}{Z_h + (h X_s)}$$

并联谐振时, $Z_h = -h X_s$

$$I_{fh} = \frac{h X_s}{Z_h + (h X_s)} I_h = \infty$$

$$I_{sh} = \frac{X_s}{Z_h + (h X_s)} I_h = -\infty$$

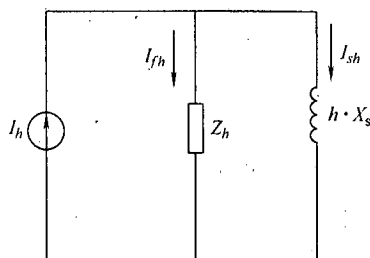
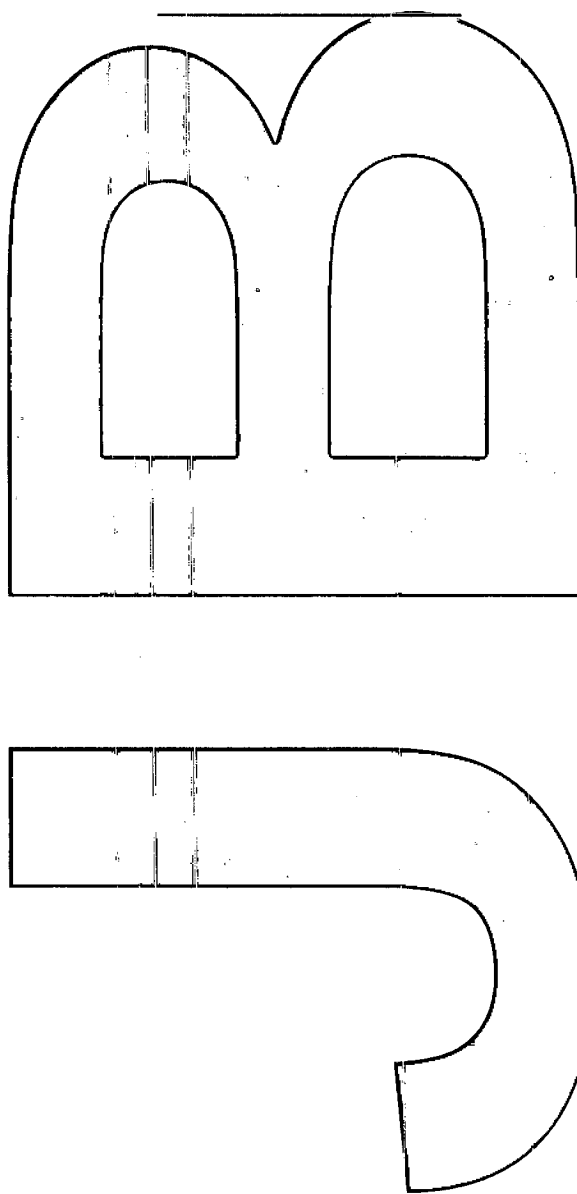


图 C.1 并联谐振原理

C.3.2 对于每个滤波支路而言，在调谐频率以下频率时，滤波器阻抗呈容性；在调谐频率以上频率时，滤波器阻抗呈感性，因此并联谐振频率都处于调谐频率以下频段。并联谐振点个数和调谐频率个数是一致的。

C.3.3 滤波装置制造方应提供各种运行方式下，滤波装置在各种可能的投切方式下滤波装置和系统的频率阻抗曲线，以证明所有并联谐振频率都避开了整数次谐波，除非实测证明，该整数次谐波在该系统中不存在。



中 华 人 民 共 和 国
机械行业标准
高压电力滤波装置
JB/T 10931—2010

*

机械工业出版社出版发行
北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037

*

210mm×297mm • 1.25印张 • 42千字

2010年7月第1版第1次印刷

定价：17.00元

*

书号：15111 • 9860

网址：<http://www.cmpbook.com>

编辑部电话：（010）88379778

直销中心电话：（010）88379693

封面无防伪标均为盗版

版权专有 侵权必究