

ICS 国际标准分类号  
CCS 中国标准文献分类号

# 团 体 标 准

T/JES XXX-XXXX

## 适用于电力设备的压电陶瓷滤波器测试规范

Testing Specification for Piezoelectric Ceramic Filters Applicable to Power  
Equipment

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

江苏省电工技术学会 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 符号、代号和缩略语 .....	1
5 概述 .....	2
6 测试项目与要求 .....	2
6.1 试验大气条件 .....	2
6.2 外观、结构与安全检查 .....	2
6.3 测试设备 .....	2
6.4 压电陶瓷滤波器的阻抗谐振特性与机电耦合性能测试 .....	3
6.5 压电陶瓷滤波器的插入损耗测试 .....	3
7 测试结果表达 .....	5
8 测试结果的有效性与测量不确定度 .....	6
8.1 测试结果的有效性 .....	6
8.2 测量不确定度 .....	6
附录 A（规范性附录） 测试原始记录格式 .....	7
A.1 压电陶瓷滤波器原始记录 .....	7
附录 B（规范性附录） 测试证书格式 .....	8
B.1 校准证书内页格式 .....	8
附录 C（规范性附录） 测试结果 .....	9
C.1 不对称（共模）测试电路插入损耗 .....	9
C.2 对称（差模）测试电路插入损耗 .....	9

## 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。

本规范参考 GB/T7343-2017《无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法》和 CISPR17-2011《Methods of measurement of the suppression characteristics of passive EMC filtering devices》中相关条款进行编写。

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。

本标准由江苏省电工技术学会提出并归口。

本标准起草单位：南京师范大学、国网江苏省有限公司扬州供电分公司。

本标准主要起草人：周孟夏、顾晨、葛梦昕、睦仁杰、颜伟、张妍、黄强、刁章彪。

本标准为首次发布。

# 适用于电力设备的压电陶瓷滤波器测试规范

## 1 范围

本文件规定了 220kV 及以下电力设备用单个电容型压电陶瓷滤波器的阻抗谐振特性、机电耦合性能及组合拓扑型压电滤波器插入损耗的测试项目、方法与要求。

本标准适用于用于电力系统、电子设备等领域中的单个电容型及组合拓扑型 EMI 压电陶瓷滤波器的研发、生产与检测。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

CISPR17-2011	Methods of measurement of the suppression characteristics of passive EMC filtering devices
GB/T7343-2017	无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法

## 3 术语和定义

GB/T7343-2017 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**压电陶瓷滤波器** Piezoelectric Ceramic Filter

利用压电陶瓷的机电耦合效应实现特定频率信号滤波功能的器件。

### 3.2

**阻抗谐振特性** Impedance Resonance Characteristics

压电陶瓷滤波器阻抗随频率变化的特性，包括谐振频率(阻抗达到极小值时的频率)、反谐振频率(阻抗达到极大值时的频率)及阻抗幅值。

### 3.3

**机电耦合系数** Electromechanical Coupling Coefficient

表征压电陶瓷机械能与电能相互转换效率的无量纲参数。

### 3.4

**插入损耗** Insertion Loss

待测器件 (DUT) 插入给定传输系统之前和之后，插入点后端的电压比值。

### 3.5

**不对称(共模)测试电路** Asymmetric (Common-Mode) Test Circuit

DUT 的所有输入线都接到信号发生器，所有输出线都接到接收机的测试电路。

### 3.6

**对称(差模)测试电路** Symmetric (Differential-Mode) Test Circuit

DUT 的一对输入线接信号发生器，对应的一对输出线接接收机而其他线不做端接的测试电路。

注：测量滤波器的对称(差模)插入损耗的测试电路示例见图5；对所有的每两根线的组合都进行测试；地或PE(保护地)端均不考虑。

## 4 符号、代号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

$f_r$ : 谐振频率 (Resonant Frequency)

$f_a$ : 反谐振频率 (Anti-Resonant Frequency)

$k_{\text{eff}}$ : 机电耦合系数 (Electromechanical Coupling Coefficient)

Z: 阻抗幅值 (Impedance Magnitude)

## 5 概述

压电滤波器可应用于电磁兼容领域,典型应用场景是电源滤波器和信号滤波器,内部测试电路分为:不对称(共模)、对称(差模)。从电路形式上分为:单个电容型如图1(a)所示与组合拓扑型如图1(b)所示。

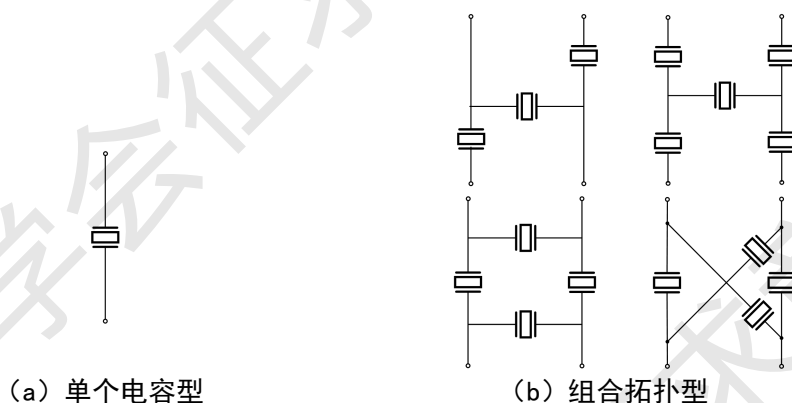


图1 压电滤波器

## 6 测试项目与要求

### 6.1 试验大气条件

- a) 环境温度:  $+25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ;
- b) 相对湿度:  $\leq 75\%$ ;
- c) 大气压力:  $86\text{kPa}\sim 106\text{kPa}$ 。

### 6.2 外观、结构与安全检查

应使用目视检查与显微镜检查相结合的方法,确认陶瓷表面无裂纹、剥离、电极脱落等缺陷。

### 6.3 测试设备

#### 6.3.1 矢量网络分析仪

频率范围:  $10\text{kHz}\sim 1\text{GHz}$

#### 6.3.2 信号发生器

频率范围:  $10\text{kHz}\sim 1\text{GHz}$ ;  
输出电平:  $0\text{dBm}\sim +20\text{dBm}$ ;  
幅度稳定度:  $0.5\text{dB}/5\text{min}$ 。

#### 6.3.3 EMI 接收机

频率范围:  $10\text{kHz}\sim 1\text{GHz}$ ;  
动态范围:  $(0\sim 130)\text{dBm}$ ;  
幅度测量误差:  $(0.5\sim 1.0)\text{dB}$ 。

#### 6.3.4 测试箱

频率范围:  $10\text{kHz}\sim 1\text{GHz}$ ;  
屏蔽效能:  $> 60\text{dB}$ 。

#### 6.3.5 隔离变压器

匝数比: 1:1

### 6.3.6 匹配阻抗

标称值：50Ω

## 6.4 压电陶瓷滤波器的阻抗谐振特性与机电耦合性能测试

### 6.4.1 测试条件

测试前，应按照6.3节要求准备好测试设备。矢量网络分析仪（VNA）需在测试频率范围内进行完整的系统校准（包括开路、短路、负载校准），以消除测试夹具和电缆的影响。

### 6.4.2 测试步骤

- 将压电陶瓷滤波器直接安装在 VNA 的测试端口上，确保连接牢固、接触良好。
- 设置 VNA 的扫描参数：
  - 扫描类型：线性频率扫描；
  - 频率范围：10 kHz ~ 1 GHz（或根据滤波器标称频率范围设定）；
  - 扫描点数：不少于 1001 点；
  - 中频带宽（IFBW）：建议设置为 100 Hz ~ 1 kHz，以在测量速度和噪声水平之间取得平衡。
- 选择 S11 或 S22 参数测量模式，并设置 VNA 显示格式为史密斯圆图或阻抗/相位图。
- 启动扫描，获取并保存滤波器的阻抗-频率特性曲线。

### 6.4.3 数据提取与处理

- 谐振频率 ( $f_r$ )：从阻抗-频率曲线上识别阻抗模值达到局部最小值所对应的频率点。
- 反谐振频率 ( $f_a$ )：从阻抗-频率曲线上识别阻抗模值达到局部最大值所对应的频率点。
- 阻抗幅值 ( $Z$ )：记录在  $f_r$  和  $f_a$  处的阻抗模值。
- 每个频率点应至少测量三次，取算术平均值作为最终测量结果。

### 6.4.4 有效机电耦合系数计算

按公式（1）计算有效机电耦合系数  $k_{eff}$ ：

$$k_{eff} = \sqrt{\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_a^2 - f_r^2}{f_a^2}} \quad (1)$$

式中：

$f_r$ —— 谐振频率，单位为赫兹（Hz）；

$f_a$ —— 反谐振频率，单位为赫兹（Hz）。

计算结果保留三位有效数字。

## 6.5 压电陶瓷滤波器的插入损耗测试

### 6.5.1 测试项目

如表 1 所示。

表 1 测试项目表

序号	测试项目	
1	外观及工作正常性检查	
2	不对称(共模)测试电路	插入损耗
3	对称(差模)测试电路	插入损耗

### 6.5.2 测试方法

#### 6.5.2.1 外观及工作正常性检查

被测压电滤波器应具有良好的接地端子，并标明接地符号。

#### 6.5.2.2 压电滤波器--不对称（共模）测试电路的测试

1) 设备连接如图 2 所示。信号发生器与测量接收机直通连接，合理设置信号发生器的输出电平  $V_0$  和频率范围，在测量接收机端测得不同频率下电平值  $V_1$ 。

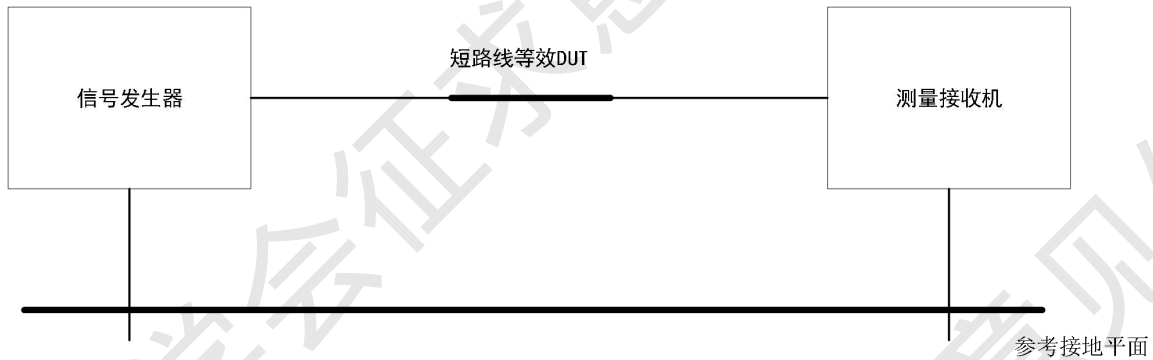


图 2 参考测量（短路线代替 DUT）

2) 设备连接如图 3 所示。将压电滤波器置于测试箱内，其 DUT 输入、输出端口分别连接信号发生器和测量接收机（参见 GB/T7343-2017 无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法附录 B），同时所有的输入线和输出线分别并联连接。保持信号发生器的输出电平  $V_0$ ，读取测量接收机在不同频率下得到电平值  $V_2$ 。

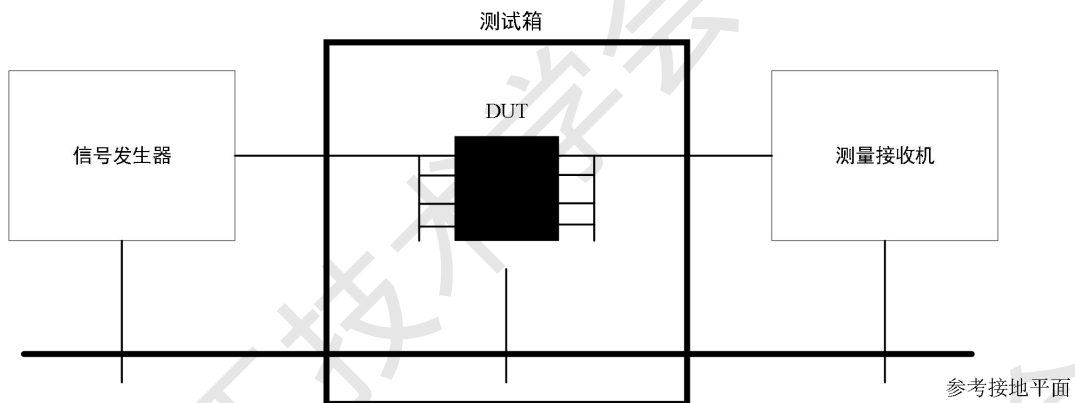


图 3 不对称测试电路 DUT 的插入损耗测量（以 4 线滤波器为例）

3) 插入损耗  $a_c$  由式(2) 得到:

$$a_c = 20 \lg(V_1/V_2) \quad (2)$$

式(2)中:

$a_c$ ---插入损耗, 单位为分贝(dB);

$V_1$ ---参考测量时输出电平, 单位为伏(V);

$V_2$ ---接入 DUT 时输出电压, 单位为伏(V)。

$$a_c = V_1 - V_2 \quad (3)$$

式(3)中:

$a_c$ ---插入损耗,单位为分贝(dB);

$V_1$ ---参考测量时输出电平, 单位为 dBm 或 dBuV;

$V_2$ ---接入 DUT 时输出电平, 单位为 dBm 或 dBuV。

### 6.5.2.3 压电滤波器--对称（差模）测试电路的测试

1) 设备连接如图 4 所示。信号发生器与测量接收机通过两个隔离变压器直通连接，合理设置信号发生器的输出电平  $V_0$  和频率范围，在测量接收机端测得不同频率下电平值  $V_1$ 。

2) 设备连接如图 5 所示。将压电滤波器置于测试箱内，其 DUT 输入、输出端口通过隔离变压器

分别连接信号发生器和测量接收机，保持信号发生器的输出电平  $V_0$ ，读取测量接收机在不同频率下得到电平值  $V_2$ ，应通过隔离变压器对所有每两根组合输入线及对应的输出线进行测量（地或 PE(保护地)端均不考虑），所有未使用的线保持悬空。

3) 结合式 2) 或 3)，计算插入损耗  $a_c$ 。

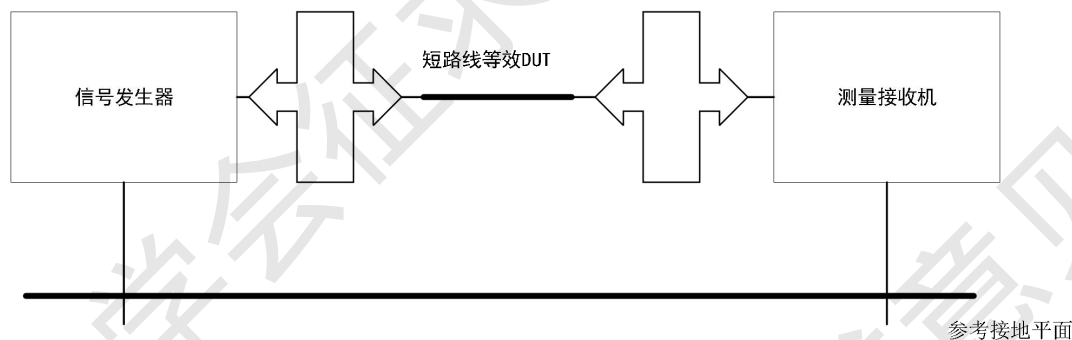
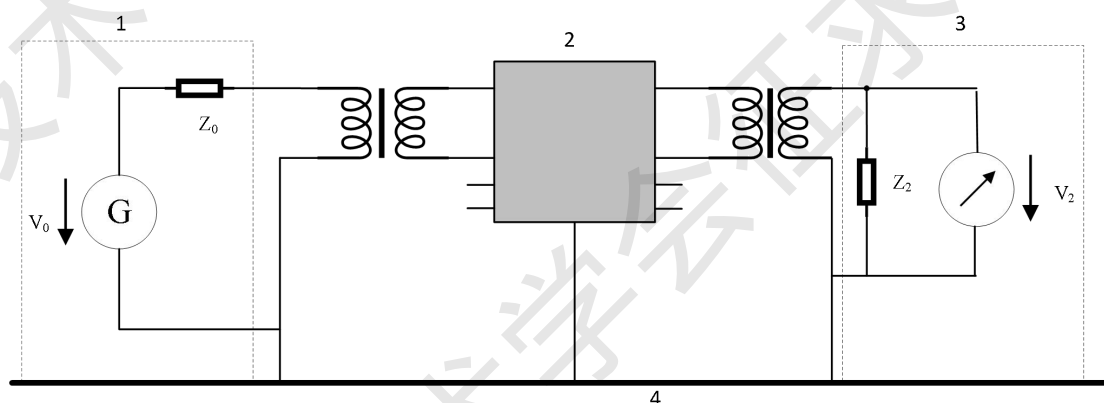


图4 参考测量（短路线代替DUT）



说明：

- 1 —— 信号发生器；
- 2 —— 压电滤波器(DUT)；
- 3 —— 测量接收机；
- 4 —— 参考电位(金属接地)；
- $V_0$  —— 信号发生器的开路；
- $V_2$  —— 输出电压；
- $Z_0$  —— 号发生器输出阻抗；
- $Z_2$  —— 测量接收机的输入阻抗。

图5 对称插入损耗测量的测试电路(以4线滤波器为例)

## 7 测试结果表达

测试结果应在校准证书上反应，测试证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，“测试证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行测试的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被测对象的描述和明确标识；
- g) 进行测试的日期，如果与测试结果的有效性和应用有关时，应说明被测对象的接收日期；
- h) 如果与测试结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 测试所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

- j) 本次测试所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 测试环境的描述。

## 8 测试结果的有效性 with 测量不确定度

### 8.1 测试结果的有效性

只有当测试环境条件符合6.1节的规定，且测试设备均在有效校准期内，测试过程严格遵循本标准规定的方法时，测试结果方被视为有效。

### 8.2 测量不确定度

实验室应评估本标准所述主要测试项目（如谐振频率、插入损耗）的测量不确定度。测量不确定度的评估应依据 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》进行。典型情况下，在规定的测试条件下，插入损耗的扩展测量不确定度(包含因子  $k=2$ )应不大于 1.5 dB，谐振频率的扩展测量不确定度应不大于 0.5%。

附录 A  
(规范性附录)  
测试原始记录格式

## A.1 压电陶瓷滤波器原始记录

## A.1.1 外观及工作正常性检查：

## A.1.2 不对称（共模）测试电路插入损耗

频率	插入损耗实测值 (dB)		
	V <sub>2</sub> (dBm)	V <sub>1</sub> (dBm)	V <sub>1</sub> -V <sub>2</sub> 插入损耗实测值 (dB)
....			
...			
....			
...			
....			

## A.1.3 对称（差模）测试电路插入损耗

频率	耦合方式	插入损耗实测值 (dB)		
		V <sub>2</sub> (dBm)	V <sub>1</sub> (dBm)	V <sub>1</sub> -V <sub>2</sub> 插入损耗实测值 (dB)
....				
...				
....				
...				
....				

附录 B  
(规范性附录)  
测试证书格式

B.1 校准证书内页格式

B.1.1 测试证书内页格式 (第 2 页)

证书编号 XXXXXX-XXXX

(测试机构授权说明)				
测试环境条件及地点:				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
测试所依据的技术文件 (代号、名称):				
测试所使用的主要测量标准:				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	检定/校准证书编 号	证书有效期至

附录 C  
(规范性附录)  
测试结果

证书编号 XXXXXX-XXXX

C.1 不对称（共模）测试电路插入损耗

频率	插入损耗实测值 (dB)			扩展不确定度 ( $k=2$ )
	V <sub>2</sub> (dBm)	V <sub>1</sub> (dBm)	V <sub>1</sub> -V <sub>2</sub> 插入损耗实测值 (dB)	
....				
...				
....				

C.2 对称（差模）测试电路插入损耗

频率	耦合方式	插入损耗实测值 (dB)			扩展不确定度 ( $k=2$ )
		V <sub>2</sub> (dBm)	V <sub>1</sub> (dBm)	V <sub>1</sub> -V <sub>2</sub> 插入损耗实测值 (dB)	
....					
...					
....					

说明:

声明:

1. 仅对加盖“xxxxx 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所用的计量器具有效。

校准员:

核验员: