

## 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 294.2 — 2011

---

### 发电机灭磁及转子过电压保护 装置技术条件 第2部分: 非线性电阻

Specification for equipment of de-excitation and  
over voltage protection for generators  
Part 2: Non-linear resistor

2011-07-28发布

2011-11-01实施

国家能源局 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 基本技术要求 .....	3
5 试验 .....	4
6 技术文件 .....	6
7 包装、运输和贮存 .....	7

## 前 言

本标准对励磁系统非线性灭磁电阻术语和定义进行了规范，引用了最新版本的 GB/T 10193《电子设备用压敏电阻器》、GB 2423《电工电子产品基本环境试验规程》；对用于大容量灭磁的非线性电阻有关参数和性能进行了限定，包括对非线性电阻使用环境的要求和对其本身性能质量、试验规则的要求等；对阀片的能量定义给出了明确的条件；并且对阀片的性能特性给出了统一的试验方法，包括压敏电压检测、泄漏电流检测、能量模拟试验、残压比测量、非线性系数  $\beta$  测量、标称能容量测量、能容量冲击试验、压敏电压温湿度系数测量、压敏电压变化率测量及振动和碰撞试验等。本标准为发电机灭磁的非线性电阻选择提供了依据，对非线性电阻的包装、运输和贮存也提出了要求。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电站自动化标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：国网电力科学研究院、国电南瑞科技股份有限公司。

本标准起草人：许和平、王川、彭辉、黄冬华、许其品。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 发电机灭磁及转子过电压保护装置技术条件

## 第 2 部分：非线性电阻

### 1 范围

本标准规定了同步发电机（简称发电机）灭磁及转子过电压保护装置用非线性电阻的基本技术要求、使用的术语、定义、计算方法、试验、技术文件等。

本标准适用于单片标称容量为 10kJ 及以上的非线性电阻阀片及组件，应用于发电机灭磁及转子过电压保护装置非线性电阻的使用与订货要求。

### 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。

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温

GB/T 2423.3 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Db：交变湿热（12h+12h 循环）

GB/T 2423.6 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Eb 和导则：碰撞

GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）

GB/T 311.3—2007 绝缘配合 第 3 部分：高压直流换流站绝缘配合程序

GB/T 10193 电子设备用压敏电阻器

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

非线性系数  $\beta$  coefficient  $\beta$  of non-linear

在规定条件下，非线性电阻元件或组件的伏安特性（见图 1）用下式表示时的  $\beta$  值：

$$U = CI^\beta$$

式中：

$I$  ——流过非线性电阻的电流，A；

$U$  ——非线性电阻上的电压降，V；

$C$  ——常数（即通过 1A 电流时的电阻值）， $\Omega$ ；

$\beta$  ——非线性系数， $0 < \beta < 1$ 。

#### 3.2

压敏电压  $U_{mA}$  sensitivity voltage

指在规定条件下，非线性电阻流过  $mA$  直流电流时两端的电压降，用  $U_{mA}$  表示，氧化锌非线性电阻伏安特性图见图 1。

#### 3.3

荷电率  $Q$  ratio of peak voltage

指在规定条件下，非线性电阻承受电压的峰值与压敏电压之比。

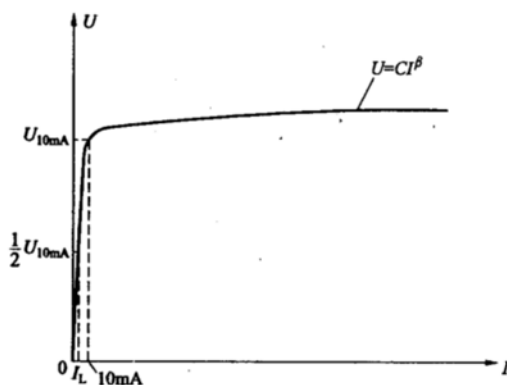


图1 氧化锌非线性电阻伏安特性图

## 3.4

**压敏电压变化率  $R$  variety rate of sensitivity voltage**

指非线性电阻经能量冲击或长时间运行后的压敏电压变化  $\Delta U_{\text{nmA}}$  与能量冲击前或运行前的压敏电压  $U_{\text{nmA}}$  之比, 用下式表示:

$$R = \frac{\Delta U_{\text{nmA}}}{U_{\text{nmA}}} \times 100\%$$

式中:

$\Delta U_{\text{nmA}}$  ——元件运行后的压敏电压与压敏电压初始值之差;

$U_{\text{nmA}}$  ——能量冲击前或运行前的压敏电压。

## 3.5

**标称能容量  $E_n$  nominal capacity of energy**

指非线性电阻元件或装置在  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$  室温条件下受到脉宽不大于 1s 的三角波电流冲击 20 次后, 且能够满足允许的压敏电压变化率不大于 10% 的阀片容量值。

## 3.6

**残压比  $\eta$  ratio of sensitivity voltage**

指非线性电阻阀片在通过规定大小电流时两端的电压和压敏电压的比值。氧化锌电阻片是指在 100A 电流时的端电压 (峰值) 与  $U_{10\text{mA}}$  的比值, 可以用下式表示:

$$\eta = \frac{U_{100\text{A}}}{U_{10\text{mA}}}$$

## 3.7

**泄漏电流  $I_L$  leakage current**

指在非线性电阻两端施以  $\frac{1}{2} U_{\text{nmA}}$  电压时流过电阻片的电流。

## 3.8

**均能系数  $K_E$  coefficients of energy sharing**

指发电机最大灭磁能量时在灭磁电阻中可能消耗的能量值通过非线性电阻组件的各并联支路时各支路能量值平均值与最大某支路能量值的比率, 可以用下式表示:

$$K_E = \frac{\sum_{i=1}^m W_i}{m W_{\text{max}}} \times 100\%$$

式中:

$\sum_{i=1}^m W_i$  —— $m$  条并联支路吸收能量的和;

$W_{\max}$ ——并联支路中吸收能量的最大值。

#### 4 基本技术要求

##### 4.1 使用环境条件

环境温度： $-40^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

相对湿度： $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 时，湿度小于90%。

海拔不超过2000m（超过2000m，有关参数指标应按表1进行修正）。

表1 高度修正系数

海拔 m	额定修正系数	
	标称容量	额定电压
2000	1.00	1.00
2600	0.94	0.95
3900	0.768	0.80

##### 4.2 压敏电压变化率

能量冲击试验后，外观检查不应有可见损伤且标志清晰，压敏电压变化率不大于 $\pm 10\%$ 。

经稳态湿热试验后，外观检查不应有可见损伤且标志清晰，压敏电压变化率不大于 $\pm 10\%$ 。

经极限温度耐久性试验后，外观检查不应有可见损伤，压敏电压变化率不大于 $\pm 10\%$ 。

##### 4.3 外观

非线性电阻片的两个表面应该是两个平行的平面，不应有肉眼可见的形变和机械损伤，表面电极和边缘涂敷应均匀，无杂质、气泡、划伤。

##### 4.4 压敏电压及允许偏差

电阻片的实测压敏电压值在规定的允许偏差范围内与该电阻片的标称压敏电压相符合，实测值与标称压敏电压允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

##### 4.5 泄漏电流

氧化锌非线性电阻阀片出厂时泄漏电流应小于 $50\mu\text{A}$ 。

##### 4.6 残压比

氧化锌非线性电阻阀片的残压比 $U_{100\text{A}}/U_{10\text{mA}}$ 应小于或等于1.4。

##### 4.7 压敏电压温度系数

非线性电阻片的压敏电压温度系数的绝对值不大于 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$ ，氧化锌压敏电压温度系数一般为正。

##### 4.8 能容量冲击

在5.3.3试验条件下，用标称能容量值对非线性电阻片进行冲击。

进行能容量冲击试验后，阀片不应出现击穿、闪络现象。

短时冲击恢复：标称能容量试验后3h~4h时间内，压敏电压恢复值使得压敏电压变化率不大于 $\pm 10\%$ 。

长时冲击恢复：标称能容量试验24h后，压敏电压恢复值使得压敏电压变化率不大于 $\pm 5\%$ 。

连续冲击恢复：在连续标称能容量冲击2次，每次间隔15min条件下。试验后6h~8h时间内，压敏电压恢复值使得压敏电压变化率不大于 $\pm 10\%$ 。

##### 4.9 机械荷载

非线性电阻片应能承受振动、碰撞等机械负荷试验而无机械损伤，压敏电压变化率不大于 $\pm 5\%$ 。

##### 4.10 荷电率

使用时，氧化锌非线性电阻荷电率不大于60%。

4.11 非线性系数

氧化锌非线性电阻阀片非线性系数应小于 0.1，碳化硅非线性电阻阀片非线性系数应小于 0.4。

4.12 标称能容量

符合 3.5 要求的铭牌标识容量。

4.13 灭磁能容量

最严重灭磁工况下，需要非线性电阻承受的耗能容量应不超过其标称能容量的 80%，同时；当装置内 20%的组件退出运行时，应能满足最严重灭磁工况下的要求，并允许连续 2 次灭磁。

在以上灭磁工况下，灭磁电阻的最大温升不大于 120K。

4.14 均能系数

氧化锌非线性电阻的串并联后均能系数不得小于 90%。碳化硅非线性电阻的串并联后均能系数不得小于 80%。

4.15 使用寿命

非线性电阻的使用寿命不小于 15 年，灭磁电阻应能够承受发电机最严重灭磁工况下的灭磁而不损坏，但允许阀片特性发生变化。

5 试验

若无特殊规定，则所有试验均应满足以下条件。

温度：-40℃~40℃。

相对湿度：小于 90%。

气压：86kPa~106kPa（860mbar~1060mbar）。

5.1 型式试验

新产品定型时，必须进行全部型式试验。当结构、工艺和主要原材料变更对产品性能有影响时，或停产 3 个月以上又恢复生产时，应进行型式试验。试验项目见表 2。

5.2 出厂试验

非线性电阻阀片或者组件出厂时必须进行出厂试验。试验项目见表 2。

表 2 非线性电阻试验要求

序号	试验项目名称	技术要求	型式试验样品数量	型式试验	出厂试验
1	外观检查	见 4.3	10 片	√	√
2	压敏电压	见 4.4	10 片	√	√
3	泄漏电流	见 4.5	10 片	√	√
4	标称能容量	见 4.12	10 片	√	√
5	非线性系数	见 4.11	灭磁组件	√	√
6	均能系数	见 4.14	灭磁组件	√	
7	温度系数	见 4.7	10 片		√
8	振动和碰撞	见 4.9	10 片	√	
9	压敏电压变化率	见 4.2	10 片		√
10	残压比	见 4.6	10 片		√
11	灭磁能容量	见 4.13	灭磁组件		√
12	能容量冲击	见 4.8	10 片	√	

5.3 试验方法

5.3.1 压敏电压检测

非线性电阻片和灭磁组件、整套装置出厂时应测试压敏电压。对于氧化锌压敏电阻应根据串并联

的情况, 施加电流。用恒流源测试法当每支路或每片压敏电阻流过的直流电流为 10mA 时, 压敏电阻器两端的压降为压敏电压。其压敏电压允许偏差应满足本标准 4.4 的要求。

### 5.3.2 泄漏电流检测

非线性电阻阀片和灭磁组件、整套装置出厂时应该测试压敏电压, 对于氧化锌压敏电阻应该根据串并联的情况, 施加电阻阀片的 10mA 压敏电压值的 50% 电压下, 测取串联支路压敏电阻的泄漏电流, 不大于 100 $\mu$ A。

### 5.3.3 能量模拟试验

非线性电阻组件出厂时, 应根据设计容量进行 1:1 模拟试验一次, 并录制试验数据和波形, 见图 2。

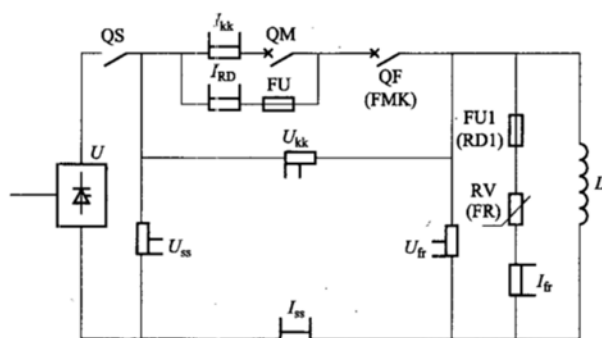


图 2 1:1 模拟试验回路

### 5.3.4 残压比测量

先测量标称压敏电压 (见本标准 5.3.1), 然后测压敏电阻器通过电流为 100A 时示波器监测到的电压。按 4.6 中的定义进行计算, 结果应符合 4.6 的规定。

电流发生器的波形和误差应符合 GB 311.3 中的规定。

### 5.3.5 非线性系数 $\beta$ 测量

用 5.3.4 方法对压敏电阻器进行冲击。可设流过压敏电阻器电流  $I_1$  为 1A (也可能是其他值) 时, 测得压敏电阻器两端的压降为电压  $U_1$ 。另设流过压敏电阻器电流  $I_2$  为 100A, 同样测得压敏电阻器两端的压降为电压  $U_2$ 。按以下公式计算压敏电阻器非线性指数 ( $\beta$ ), 公式如下:

$$\beta = \frac{\lg(U_1/U_2)}{\lg(I_1/I_2)}$$

式中:

$U_1$ ——参考点压敏电压 (测试电流 1A 下), V;

$U_2$ ——参考点压敏电压 (测试电流 100A 下), V;

$I_1$ ——测试电流 1A;

$I_2$ ——测试电流 100A。

计算结果应满足 4.11 条的规定。

### 5.3.6 标称能容量测量

在  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$  室温条件下, 用三角波电流 ( $I$ ) 为电源, 对压敏电阻器进行冲击并记录压敏电压 ( $U$ )、三角波时间 ( $t$ )。按下式计算压敏电阻器所吸收的能量。

$$W = \int_0^1 UI dt$$

式中:

$W$ ——能量, kJ;

$U$ ——压敏电阻器两端电压, V;

$I$ ——流过压敏电阻器的电流, A;



$t$ ——三角波时间, s。

仪器测量误差不大于 $\pm 5\%$ , 三角波时间不大于 1s。

### 5.3.7 压敏电压温湿度系数测量

- 在室温下 [温度  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 60%] 测量压敏电压。
- 相对湿度保持在 90%, 正极限温度保持 120min 后, 测量两点压敏电压。
- 负极限温度保持 120min 后, 测量两点压敏电压。

电压温度系数按下式进行计算:

$$c = [(U_a - U_b)/U_a]/(t_a - t_b)$$

式中:

$U_a$ ——室温下的压敏电压值, V;

$U_b$ ——极限温度下的压敏电压值, V;

$t_a$ ——测量  $U_a$  时的实际温度值,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_b$ ——测量  $U_b$  时的实际温度值,  $^\circ\text{C}$ 。

具体试验方法参见 GB 2423.2~GB 2423.4。

### 5.3.8 压敏电压变化率测量

稳态湿热对压敏电压变化率影响试验, 可参见本标准 5.3.7。根据本标准 3.4 计算, 其结果应满足本标准 4.2 指标。

极限温度耐久性对压敏电压变化率影响试验, 可参见本标准 5.3.7。根据本标准 3.4 计算, 其结果应满足本标准 4.2 指标。

温度快速变化对压敏电压变化率影响试验, 按 IEC 68-2-14 规定的试验 Na 的试验方法共试验五个循环。在每个极限温度下的暴露时间为 45min, 然后在正常大气条件下恢复 3h~4h 时间, 试验结果应符合本标准 4.2 的规定。

### 5.3.9 能容量冲击试验

试验方法和波形见本标准 3.5。

短时冲击恢复: 标称能容量试验后 3h~4h 时间内, 压敏电压恢复值使得压敏电压变化率不大于 $\pm 10\%$ 。

长时冲击恢复: 标称能容量试验 24h 后, 压敏电压恢复值使得压敏电压变化率不大于 $\pm 5\%$ 。

连续冲击恢复: 在连续标称能容量冲击 2 次, 每次间隔 15min 条件下。试验后 6h~8h 时间内, 压敏电压恢复值使得压敏电压变化率不大于 $\pm 10\%$ 。

### 5.3.10 振动和碰撞试验

将压敏电阻器的组装体固定在频率为 10Hz~55Hz, 加速度为 5g 的振动台上, 振动 1h。

将氧化锌非线性压敏电阻的组装体加速度 10g, 相应脉冲时间为 16ms, 脉冲重复频率 40 次/min~80 次/min, 碰撞  $(1000 \pm 10)$  次, 试验结果应符合本标准 4.9 的规定。

具体试验方法参见 GB 2423.6、GB 2423.10。

## 6 技术文件

### 6.1 出厂试验报告

出厂试验报告应该包括非线性电阻的出厂测试数据和产品的规格型号等。

### 6.2 产品合格证明书

### 6.3 产品维护调试大纲

### 6.4 产品技术条件

### 6.5 产品原理接线图

### 6.6 装置外形图和安装图

## 6.7 交货明细表

## 7 包装、运输和贮存

### 7.1 包装

非线性电阻的包装箱要有防水、防潮措施；箱内还应附有产品合格证、使用说明书、测试记录及装箱清单。每批非线性电阻包装箱的外表，应有明显、耐久的文字及标志，其内容包括：

- a) 制造厂厂名；
- b) 收货单位、地址；
- c) 产品型号及名称；
- d) 毛重、净重；
- e) 包装箱尺寸：长×宽×高；
- f) 标有“向上”、“防潮”、“易碎”等字样或标志。

### 7.2 运输

在运输及装卸过程中，要按包装箱上的标志及有关规则进行。

### 7.3 贮存

非线性电阻应放置在环境温度为 $-25^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，空气相对湿度不大于80%，无酸、碱、盐，以及腐蚀性、爆炸性气体且不受灰尘、雨雪侵害的环境中。

---



中 华 人 民 共 和 国  
电 力 行 业 标 准  
发电机灭磁及转子过电压保护  
装 置 技 术 条 件  
第 2 部分：非线性电阻  
DL/T 294.2 — 2011

\*

中国电力出版社出版、发行  
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)  
北京博图彩色印刷有限公司印刷

\*

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月北京第一次印刷  
880 毫米×1230 毫米 16 开本 0.75 印张 16 千字  
印数 0001—3000 册

\*

统一书号 155123·688 定价 9.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155123.688

上架建议：规程规范/  
水利水电工程/水力发电