

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1694.5 — 2017

---

## 高压测试仪器及设备校准规范

## 第 5 部分: 氧化锌避雷器阻性电流测试仪

Calibration specification for high voltage testing instruments  
Part 5: Resistive current testers for zinc oxide surge arrester

2017-03-28 发布

2017-08-01 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 概述	1
5 计量特性	1
5.1 测量范围	1
5.2 准确度等级与最大允许误差	2
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 测量标准及其他设备	3
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 校准前准备	3
7.3 校准方法	4
8 校准结果的表达	5
8.1 校准数据处理	5
8.2 校准证书	6
9 复校时间间隔	6
附录 A (规范性附录) 原始记录格式	7
附录 B (规范性附录) 校准证书内页格式 (第 2 页)	9
附录 C (规范性附录) 校准证书内页格式 (第 3 页)	10
附录 D (资料性附录) 测量结果不确定度评定示例	11

## 前 言

本部分按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。  
DL/T 1694《高压测试仪器及设备校准规范》分为5个部分：

- 第1部分：特高频局部放电在线监测装置；
- 第2部分：电力变压器分接开关测试仪；
- 第3部分：高压开关动作特性测试仪；
- 第4部分：绝缘油耐压测试仪；
- 第5部分：氧化锌避雷器阻性电流测试仪。

本部分是 DL/T 1694 的第5部分。

本部分由中国电力企业联合会提出。

本部分由全国高电压试验标准化分技术委员会（SAC/TC163/SC1）归口。

本部分主要起草单位：中国电力科学研究院、国家高电压计量站、国网江苏省电力公司电力科学研究院、国网湖南省电力公司电力科学研究院、中国合格评定国家认可中心、国网山东省电力公司电力科学研究院、广州供电局有限公司、国网安徽省电力公司电力科学研究院、云南电网有限责任公司电力科学研究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、黑龙江省电力有限公司计量中心、广西电力科学研究院、国网重庆市电力公司电力科学研究院、国网天津市电力公司电力科学研究院、国网河北省电力公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、江苏方天电力技术有限公司。

本部分主要起草人：雷民、王斯琪、朱晓辉、马勇、叶会生、陈迪、王安东、黄炎光、王庆军、谭向宇、袁恒、杨作鹏、吕泽承、吴高林、李常春、刘晓冬、晋涛、包玉树、郭子娟。

本部分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）。

# 高压测试仪器及设备校准规范

## 第5部分：氧化锌避雷器阻性电流测试仪

### 1 范围

本部分规定了氧化锌避雷器阻性电流测试仪的计量特性、校准条件、校准项目和方法，以及复校时间间隔等要求。

本部分适用于数字式氧化锌避雷器阻性电流测试仪和氧化锌避雷器泄漏电流测试仪的校准。

### 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。

DL/T 987—2005 氧化锌避雷器阻性电流测试仪通用技术条件

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**全电流 total current**

在运行电压下流过避雷器的总电流，该电流由阻性分量和容性分量组成。

#### 3.2

**阻性电流 resistive component of current**

通过避雷器的工频电流阻性分量的峰值，是由非线性电阻片的电阻所决定的那部分电流。

[DL/T 987—2005，定义 3.1]

#### 3.3

**容性电流 capacitance component of current**

通过避雷器的工频电流容性分量的峰值，是由非线性电阻片的电容所决定的那部分电流。

[DL/T 987—2005，定义 3.2]

#### 3.4

**参比电压 reference voltage**

测量时，需要输入一个电压信号作为参考，用于确定通过避雷器工频电流的阻性分量和容性分量。

[DL/T 987—2005，定义 3.3]

### 4 概述

氧化锌避雷器阻性电流测试仪（简称测试仪）是测量氧化锌避雷器交流电气参数的专用仪器，适用于各种电压等级的氧化锌避雷器的带电检测。其测试原理主要包括谐波分析法和补偿法等。其测量参数主要包括全电流、阻性电流、容性电流、参比电压、相位角、有功功率等。

### 5 计量特性

#### 5.1 测量范围

测试仪各项参数测量范围：

## DL/T 1694.5—2017

- a) 参考电压：20V~100V；
- b) 全电流：0.1mA~50mA；
- c) 阻性电流：0.01mA~10mA。

## 5.2 准确度等级与最大允许误差

## 5.2.1 准确度等级

氧化锌避雷器测试仪的准确度等级按全电流、阻性电流、参比电压分别定级，推荐采用的准确度等级如表 1 所示。

表 1 推荐采用的准确度等级

参数名称	准确度等级	
全电流	1	2
参比电压	1	2
阻性电流	2	5

## 5.2.2 最大允许误差

测试仪各项参数最大允许误差限值应不超表 2 给出的限值。

表 2 各测量参数最大允许误差限值

参数名称	最大允许误差限值
参考电压	$\pm (a\% U_x + b U_m)$
全电流	$\pm (c\% I_{tx} + d\% I_m)$
阻性电流	$\pm (e\% I_{rx} + f\% I_{tr})$

注 1:  $U_x$ ——参考电压测量示值； $U_m$ ——参考电压示值量程满度值； $I_{tx}$ ——全电流测量示值； $I_m$ ——全电流示值量程满度值； $I_{rx}$ ——阻性电流测量示值； $I_{tr}$ ——阻性电流示值量程满度值。  
 注 2:  $a$ 、 $c$ 、 $e$  是与示值读数相关的系数， $b$ 、 $d$ 、 $f$  是与量程相关的系数。  
 注 3:  $b$  应不大于  $\frac{1}{4}a$ ，且  $a+b$  之和应不大于准确度等级对应的数值； $d$  应不大于  $\frac{1}{4}c$ ，且  $c+d$  之和应不大于准确度等级对应的数值； $f$  应不大于  $\frac{1}{4}e$ ，且  $e+f$  之和应不大于准确度等级对应的数值。

## 5.2.3 输入阻抗

测试仪参比电压测量端输入阻抗应不小于 200k $\Omega$ ，电流测量端输入阻抗应不大于 1k $\Omega$ 。

## 5.2.4 示值分辨力

测试仪的全电流、参比电压、阻性电流、测量功能在各个量程下的示值分辨力均应不超过示值最大允许误差值的 1/10。

## 5.2.5 变压比系数

测试仪应能设定变压比以将参考电压显示值折算到电压互感器一次侧电压值。变压比设定功能不应影响其他测量功能的计量性能和示值分辨力。

注：以上条款不作为合格性判断依据，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

校准测试仪时应符合以下环境条件：

- a) 电源电压：220V±22V；
- b) 电源频率：50Hz±0.5Hz；
- c) 电源谐波总含量：≤5%；
- d) 环境温度：20℃±5℃；
- e) 环境相对湿度：45%~80%。
- f) 校准场地周围应无影响计量性能的外电磁场干扰。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 测量标准

校准时使用的标准装置应能覆盖测试仪的各参数测量范围，在参比条件下由标准装置示值最大允许误差引入的扩展不确定度应不超过测试仪最大允许误差的 1/5。

#### 6.2.2 其他设备

##### 6.2.2.1 绝缘电阻表

绝缘电阻表的准确度等级应不低于 10 级，输出测量电压 500V。

##### 6.2.2.2 耐电压测试仪

耐电压测试仪的准确度等级应不低于 3 级，工频输出电压应不小于 2kV。

##### 6.2.2.3 电压表和电流表及阻抗分析仪

用于测量测试仪的交流输入阻抗的电压表和电流表的准确度等级应不低于 1 级，若使用阻抗分析仪，其准确度等级应不低于 1 级。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

测试仪的校准项目主要包括输入阻抗、全电流、参比电压、阻性电流、示值分辨力和变压比系数等。

### 7.2 校准前准备

对采用交流 220V 供电的测试仪，应进行绝缘电阻、介电强度检查：

- a) 使用 500V 绝缘电阻表测量被校测试仪电源输入端与机壳之间的绝缘电阻，测量结果应大于 20MΩ。
- b) 使用耐电压测试仪对被校测试仪电源输入端与机壳之间施加 2kV 历时 1min 的工频电压，应无击穿和飞弧现象。

DL / T 1694.5 — 2017

7.3 校准方法

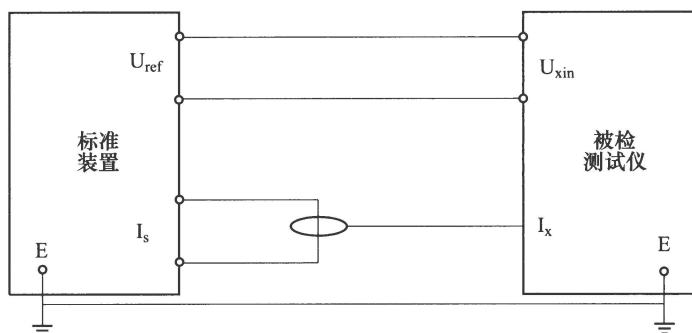
7.3.1 输入阻抗

在测试仪的参考电压测量端施加工频正弦电压信号  $U_t$ 、试验电压 100V；电流测量回路应短路。同时串联交流电流表测量参考电压测量端的输入电流  $I_t$ ，并按公式 (1) 计算参考电压测量端输入阻抗值  $|Z|$ 。也可以使用阻抗分析仪测量测试仪的参考电压测量端在工频下的输入阻抗  $|Z|$ 。

$$|Z| = U_t / I_t \quad (1)$$

7.3.2 示值误差

示值误差试验项目包括全电流示值误差、参比电压示值误差、阻性电流示值误差。校准装置推荐使用整体校准装置，接线方式如图 1 所示。



说明：

$U_{ref}$ ——标准装置标准参考电压输出端；

$U_{xin}$ ——被检测试仪参考电压测量端；

$I_s$ ——标准装置标准电流回路；

$I_x$ ——被检测试仪电流测量端；

E——接地端。

图 1 示值校准接线示意图

7.3.2.1 全电流

按图 1 方式接线。标准装置输出的全电流  $I_{t0}$  按表 3 的推荐值进行设定，依次施加标准信号及三次谐波干扰电流，记录被检测试仪全电流示值  $I_{tx}$ ，被检测试仪的全电流测量结果示值误差按公式 (2) 计算。

表 3 全电流示值误差试验点推荐值

全电流设定值	$10\% I_t$	$20\% I_t$	$50\% I_t$	$80\% I_t$	$100\% I_t$
三次谐波干扰电流设定值	$5\% I_t$				
注： $I_t$ 为全电流满量程。					

$$\Delta I_{tx} = I_{tx} - I_{t0} \quad (2)$$

式中：

$\Delta I_{tx}$ ——全电流示值误差，mA；

$I_{tx}$ ——被检测试仪全电流示值，mA；

$I_{t0}$ ——全电流标准值，mA。

### 7.3.2.2 参考电压

按图 1 方式接线。标准装置的电流输出设置为零，参考电压  $U_0$  输出为正弦波，改变参考电压输出值，使其分别为被检测测试测量上限的 20%、40%、60%、80%、100%，记录被检测测试参考电压示值  $U_x$ 。被检测测试的参考电压测量结果示值误差按式 (3) 计算。

$$\Delta U_x = U_x - U_0 \quad (3)$$

式中：

$\Delta U_x$ ——参考电压示值误差，V；

$U_x$ ——被检测测试参考电压示值，V；

$U_0$ ——参考电压标准值，V。

### 7.3.2.3 阻性电流

按图 1 方式接线。标准装置的参考电压  $U_0$  输出设置为 100V，标准装置输出的阻性电流  $I_{t0}$  按表 4 的推荐值进行设定，依次施加标准信号及三次谐波干扰电流，记录被检测测试阻性电流示值  $I_{rx}$ 。被检测测试的阻性电流测量示值误差按式 (4) 计算。

表 4 阻性电流示值误差试验点推荐值

阻性电流设定值	1% $I_{rx}$	5% $I_{rx}$	10% $I_{rx}$	20% $I_{rx}$	50% $I_{rx}$	80% $I_{rx}$	100% $I_{rx}$
三次谐波干扰电流设定值	5% $I_{rx}$						
注： $I_{rx}$ 为全电流满量程。							

$$\Delta I_{rx} = I_{rx} - I_{t0} \quad (4)$$

式中：

$\Delta I_{rx}$ ——阻性电流示值误差，mA；

$I_{rx}$ ——被检测测试阻性电流示值，mA；

$I_{t0}$ ——阻性电流标准值，mA。

### 7.3.3 示值分辨力

检查测试在各个量程下的全电流、参比电压、阻性电流测量功能示值分辨力。当标准装置输出改变量相当于被校测试示值允许误差的 1/10 时，被校测试的示值应相应改变。示值分辨力的检查结合 7.3.2 示值误差试验同步进行。

### 7.3.4 变压比系数

由校准装置给出标准参比电压，同时改变被校测试的变压比系数，变压比系数按照被校测试说明从最小变压比系数到最高变压比系数之间均匀选择 5 个校准点，校准点必须涵盖 1:1 和最高变压比系数两个点，在不同变压比系数下被校测试参比电压测量功能的准确度和示值分辨力应不受影响。变压比系数的检查结合 7.3.2 示值误差试验同步进行。

## 8 校准结果的表达

### 8.1 校准数据处理

校准数据结果末位应与测量结果扩展不确定度的末位对齐。



## DL / T 1694.5 — 2017

### 8.2 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准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) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 A，校准证书（报告）内页格式见附录 B 和附录 C，测量结果不确定度评定参见附录 D。

### 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。

注：由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附 录 A  
(规范性附录)  
原始记录格式

证书编号 ××××××-××××

基本信息					
送检单位		仪器型号			
制造厂		准确度等级			
出厂编号		校准日期			
校准依据					
校准时使用的标准:					
标准装置					
仪器名称	型号	编号	证书号	有效期至	
环境条件					
温度℃		相对湿度%			
校准项目					
1. 外观检查: _____; 2. 安全性能: 绝缘电阻_____; 介电强度_____; 3. 输入阻抗: 参考电压测量端输入阻抗_____; 电流测量端输入阻抗_____; 4. 示值分辨力: _____; 5. 变压比系数(参比电压): _____; 6. 示值误差。					
6.1 全电流:					
全电流量程:					
标准值 (mA)	$10\%I_t$	$20\% I_t$	$50\% I_t$	$80\% I_t$	$100\% I_t$
试品示值 (mA)					
示值误差 (mA)					
6.2 参比电压:					
量程:					
标准值 (V)	20	40	60	80	100
试品示值 (V)					
示值误差 (V)					

(续)

## 6.3 阻性电流:

阻性电流量程:					
标准值 (mA)	1% $I_{trx}$	5% $I_{trx}$	10% $I_{trx}$	20% $I_{trx}$	50% $I_{trx}$
试品示值 (mA)					
示值误差 (mA)					
标准值 (mA)	80% $I_{trx}$	100% $I_{trx}$			
试品示值 (mA)					
示值误差 (mA)					

**附 录 B**  
(规范性附录)

**校准证书内页格式 (第 2 页)**

证书编号 ××××××-××××

校准机构授权说明			
校准环境条件及地点			
温度	℃	地点	
相对湿度	%	其他	
校准使用的标准装置			
校准使用的标准装置			
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	有效期至
1. 外观检查: _____; 2. 安全性能: 绝缘电阻_____; 介电强度_____; 3. 输入阻抗: 参考电压测量端输入阻抗_____; 电流测量端输入阻抗_____; 4. 示值分辨力: _____; 5. 变压比系数 (参比电压): _____;			

## 附录 C

(规范性附录)

## 校准证书内页格式 (第 3 页)

证书编号 ××××××-××××

校准结果

## 6. 示值误差。

## 6.1 全电流:

全电流量程:					
标准值 (mA)	$10\% I_t$	$20\% I_t$	$50\% I_t$	$80\% I_t$	$100\% I_t$
试品示值 (mA)					

## 6.2 参比电压:

量程:					
标准值 (V)	20	40	60	80	100
试品示值 (V)					

## 6.3 阻性电流:

阻性电流量程:					
标准值 (mA)	$1\% I_{trx}$	$5\% I_{trx}$	$10\% I_{trx}$	$20\% I_{trx}$	$50\% I_{trx}$
试品示值 (mA)					
标准值 (mA)	$80\% I_{trx}$	$100\% I_{trx}$	—		
试品示值 (mA)					

## 7. 校准结果:

本次校准结果的扩展不确定度为

全电流部分  $U=$  ,  $k=2$ ;参考电压部分  $U=$  ,  $k=2$ ;阻性电流部分  $U=$  ,  $k=2$ 。

**附录 D**  
(资料性附录)  
测量结果不确定度评定示例

**D.1 标准不确定度分量的来源**

以校准 ZnO-10 型测试仪为例，试品测量结果不确定度分量主要来源：

- a) 由试品示值分散性引入不确定度分量  $u_1$ ；
- b) 由标准装置引入的不确定度分量  $u_2$ ；
- c) 由试品分辨力引入的不确定度分量  $u_3$ 。

**D.2 数学模型**

对于参比电压校准过程，数学模型如式 (D.1) 所示：

$$\Delta U = U_x - U_n \quad (\text{D.1})$$

对于全电流校准过程，数学模型如式 (D.2) 所示：

$$\Delta I = I_x - I_n \quad (\text{D.2})$$

对于阻性电流校准过程，数学模型如式 (D.3) 所示：

$$\Delta I_r = I_{rx} - I_m \quad (\text{D.3})$$

**D.3 灵敏系数与传播率****D.3.1 参比电压部分**

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_x - U_n \\ C_1 &= \frac{\partial(\Delta U)}{\partial(U_x)} = 1 \\ C_2 &= \frac{\partial(\Delta U)}{\partial(I_n)} = -1 \end{aligned}$$

**D.3.2 全电流部分**

$$\begin{aligned} \Delta I &= I_x - I_n \\ C_3 &= \frac{\partial(\Delta I)}{\partial(I_x)} = 1 \\ C_4 &= \frac{\partial(\Delta I)}{\partial(I_n)} = -1 \end{aligned}$$

**D.3.3 阻性电流部分**

$$\begin{aligned} \Delta I_r &= I_{rx} - I_m \\ C_5 &= \frac{\partial(\Delta I_r)}{\partial(I_{rx})} = 1 \end{aligned}$$

$$C_6 = \frac{\partial(\Delta I)}{\partial(I_m)} = -1$$

#### D.4 不确定度分量 A 类方法评定

以校准 BLCQ-H+型测试仪为例，试品的测量结果不确定度分量主要来源为不确定度分量  $u_1$ ，参比电压设定值为 50V、全电流设定值为 2mA、相角设定为  $60^\circ$  时重复测量 10 次，数据见表 D.1。

表 D.1 观测结果的算术平均值

序号	$U_{\text{参比}}$ (V)	$I_{\text{全}}$ (mA)	$I_{\text{阻}}$ (mA)
1	50.00	1.994	0.994
2	49.99	1.993	0.993
3	49.98	1.995	0.994
4	49.97	1.994	0.994
5	49.98	1.992	0.993
6	50.00	1.993	0.993
7	49.99	1.993	0.993
8	49.98	1.994	0.994
9	49.97	1.995	0.994
10	49.98	1.994	0.994
平均值	49.984	1.9937	0.9938
标准偏差 $S(x)$	$1.1 \times 10^{-2}$	$9.5 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-4}$

注：由于在 A 类方法评估中已经包含了标准装置的稳定性、环境温度变化、标准装置的示值分辨力的因素，因此在 B 类方法评估中不再单独列举由上述因素引入的分量。

#### D.5 B 类方法不确定度的评定

##### D.5.1 参比电压

由校准证书上给出标准装置的示值误差限值为  $\pm 0.2\%$ ，置信概率未给出，按均匀分布考虑，查表得  $k = \sqrt{3}$ ，则由标准装置误差限值引入的不确定度分量  $u_2 = 0.2\% \times 50V / \sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-2} V$ 。

##### D.5.2 全电流

标准装置的示值最大允许误差为  $\pm 0.2\%$ ，置信概率未给出，按均匀分布考虑，查表得  $k = \sqrt{3}$ ，则由标准装置误差限值引入的不确定度分量  $u_2 = 0.2\% \times 2mA / \sqrt{3} = 2.3 \times 10^{-3} mA$ 。

##### D.5.3 阻性电流

标准装置的示值最大允许误差为  $\pm 0.2\%$ ，角度设定值误差限值为  $0.08^\circ$ ，置信概率未给出，按均匀分布考虑，查表得  $k = \sqrt{3}$ ，则由标准装置输出阻性电流误差限值引入的不确定度分量  $u_2 = [2mA \times (1 + 0.2\%) \times \cos(60^\circ + 0.08^\circ) - 1mA] = 2.4 \times 10^{-4} mA$ 。

#### D.6 合成标准不确定度

合成标准不确定度数据见表 D.2。

表 D.2 合成标准不确定度数据

序号	不确定度分量输入值 $u(x_i)$	灵敏系数 $C_i$	不确定度分量输出值 $u_i(y) = \sqrt{C_i^2 u(x_i)^2}$	评估方法	备注
1	$1.1 \times 10^{-2} \text{V}$	1	$1.1 \times 10^{-2} \text{V}$	A	参比电压部分
2	$5.8 \times 10^{-2} \text{V}$	-1	$5.8 \times 10^{-2} \text{V}$	B	
3	$9.5 \times 10^{-4} \text{mA}$	1	$9.5 \times 10^{-4} \text{mA}$	A	全电流部分
4	$2.3 \times 10^{-3} \text{mA}$	-1	$2.3 \times 10^{-3} \text{mA}$	B	
5	$5.2 \times 10^{-4} \text{mA}$	1	$5.2 \times 10^{-4} \text{mA}$	A	阻性电流部分
6	$2.4 \times 10^{-4} \text{mA}$	-1	$2.4 \times 10^{-4} \text{mA}$	B	

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i(y)^2} \quad (\text{D.4})$$

合成标准不确定度见式 (D.4):

参比电压部分:  $u_c(y_1) = 5.9 \times 10^{-2} \text{V}$ ;

全电流部分:  $u_c(y_2) = 2.5 \times 10^{-3} \text{mA}$ ;

阻性电流部分:  $u_c(y_3) = 5.7 \times 10^{-4} \text{mA}$ 。

#### D.7 扩展不确定度

参比电压部分:  $U = k u_c(y_1) = 1.2 \times 10^{-1} \text{V}$ , 包含因子  $k = 2$ ;

全电流部分:  $U = k u_c(y_2) = 5.0 \times 10^{-3} \text{mA}$ , 包含因子  $k = 2$ ;

阻性电流部分:  $U = k u_c(y_3) = 1.1 \times 10^{-3} \text{mA}$ , 包含因子  $k = 2$ 。