**工频标准功率表校准规范**

**不确定度评定报告**

**规 范 编 写 组**

**2021年8月**

目录

[**一 直流功率测量结果不确定度评定** 4](#_Toc85378320)

[**二 直流电压测量结果不确定度评定** 6](#_Toc85378321)

[**三 直流电流测量结果不确定度评定** 8](#_Toc85378322)

[**四 交流功率测量结果不确定度评定** 10](#_Toc85378323)

[**五 电压测量结果不确定度评定** 12](#_Toc85378324)

[**六 电流测量结果不确定度评定** 15](#_Toc85378325)

[**七 功率因数测量结果不确定度评定** 19](#_Toc85378326)

[**八 频率测量结果不确定度评定** 22](#_Toc85378327)

**测量不确定度评定**

**一 直流功率测量结果不确定度评定**

1测量方法：采用直接比较法，即将直流功率源、直流标准功率表和被测直流标准数字功率表连接，以确定被测直流标准数字功率表的直流功率测量结果。

直流标准数字功率表选用0.01级高精度直流标准电能表

说明：根据高精度直流标准电能表的技术指标得到该高精度直流标准电能表全量程等级为0.01级，所引入的B类不确定度相同，由此可得单点的不确定度分析可以覆盖整个量程。

2测量的数学模型

计算高精度直流标准电能表的功率绝对误差

式中： ----被测高精度直流标准电能表的功率示值

----直流标准功率表的功率值

由以上可以得到测量不确定度的构成要素:

考虑到各输入量彼此独立

依

则有：

3直流标准数字功率表功率测量不确定度分析：

3.1 A类标准不确定度分量评定

A类标准不确定度主要由高精度直流标准电能表读数的重复性引入。测量时直流功率源输出500V 100A，高精度直流标准电能表的重复性条件下连续独立测量10次，获得数据如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *x*5 |
| 测量值（P /kW） | 50.000401 | 50.000462 | 50.000512 | 50.000238 | 50.000396 |
| 测量次数 | *x*6 | *x*7 | *x*8 | *x*9 | *x*10 |
| 测量值（P /kW） | 50.000451 | 50.000496 | 50.000376 | 50.000427 | 50.000479 |

平均值W

单次实验标准偏差=0.000079kW

测量结果取1次读数，则 =*s*=0.000079kW

则==0.000079kW /50W=1.58×10-6 kW/kW

3.2 B类标准不确定度分量评定

3.2.1 由直流功率源功率稳定度引入的标准不确定度估算分量*u*B1

直流功率源输出50kW功率时，其短期功率稳定度的不确定度为2×10-5，服从均匀分布，包含因子*k* =，则由标准功率源引入的标准不确定度为：

2×10-5/=1.15×10-5

3.2.2由直流标准功率表引入的标准不确定度估算分量*u*B2

直流标准功率表测量50kW功率时，其测量不确定度为3.1×10-5，服从均匀分布，包含因子*k* =，则由标准功率源引入的标准不确定度为：

3.1×10-5/=1.79×10-5

3.2.3由被校高精度直流标准电能表分辨力引入的标准不确定度估算分量*u*B3

高精度直流标准电能表在功率50kW点的分辨力为0.000001kW，在±0.0000005kW区间内为均匀分布，包含因子*k* =，则由被校功率分析仪的分辨力引入的标准不确定度为：

u(δPx) = 0.0000005/ kW ≈ 2.89×10-7 kW

*u*B3=2.89×10-7 kW /50kW=5.77×10-9 kW/kW

通过以上分析，将各分量列表如下:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准不确定度 |
| *u*B1 | 直流功率源功率稳定度 | B | 1.15×10-5 |
| *u*B2 | 直流标准功率表 | B | 1.79×10-5 |
| *u*B3 | 分辨力 | B | 5.77×10-9 |
| *u*A | 测量重复性 | A | 1.58×10-6 |

3.3合成标准不确定度

各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

*u*c==2.2×10-5

4扩展不确定度

视合成不确定度为正态分布，采用*p*=95%,查JJF1059表2，得*k*=2

*U*=*ku*c=4.4×10-5

**二 直流电压测量结果不确定度评定**

1测量方法：采用直接比较法，即将直流功率源、直流标准功率表和被测直流标准数字功率表连接，以确定被测直流标准数字功率表的直流电压测量结果。

直流标准数字功率表选用0.01级高精度直流标准电能表

说明：根据高精度直流标准电能表的技术指标得到该高精度直流标准电能表全量程电压等级为0.01级，所引入的B类不确定度相同，由此可得单点的不确定度分析可以覆盖整个量程。

2测量的数学模型

计算高精度直流标准电能表的电压绝对误差

式中： ----被测高精度直流标准电能表的电压示值

----直流标准功率表的电压值

由以上可以得到测量不确定度的构成要素:

考虑到各输入量彼此独立

依

则有：

3直流标准数字功率表电压测量不确定度分析：

3.1 A类标准不确定度分量评定

A类标准不确定度主要由高精度直流标准电能表读数的重复性引入。测量时直流功率源输出500V，高精度直流标准电能表的重复性条件下连续独立测量10次，获得数据如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *x*5 |
| 测量值（U /V） | 500.0351 | 500.0357 | 500.0354 | 500.0352 | 500.0358 |
| 测量次数 | *x*6 | *x*7 | *x*8 | *x*9 | *x*10 |
| 测量值（U /V） | 500.0353 | 500.0355 | 500.0352 | 500.0356 | 500.0358 |

平均值

单次实验标准偏差=0.00026V

测量结果取1次读数，则 =*s*=0.00026V

则==0.00026V /500V=5.18×10-7 V/V

3.2 B类标准不确定度分量评定

3.2.1 由直流功率源电压稳定度引入的标准不确定度估算分量*u*B1

直流功率源输出500V时，其电压稳定度的不确定度为1×10-5，服从均匀分布，包含因子*k* =，则由标准功率源引入的标准不确定度为：

1×10-5/=5.77×10-6

3.2.2由直流标准功率表引入的标准不确定度估算分量*u*B2

直流标准功率表测量500V功率时，其测量不确定度为1.6×10-5，服从均匀分布，包含因子*k* =，则由标准功率源引入的标准不确定度为：

1.6×10-5/=9.24×10-6

3.2.3由被校高精度直流标准电能表分辨力引入的标准不确定度估算分量*u*B3

高精度直流标准电能表在电压500V点的分辨力为0.0001V，在±0.00005V区间内为均匀分布，包含因子*k* =，则由被校功率分析仪的分辨力引入的标准不确定度为：

u(δPx) = 0.00005/ V ≈ 2.89×10-5 V

*u*B3=2.89×10-7 kW /50kW=5.77×10-8 W/W

通过以上分析，将各分量列表如下:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准不确定度 |
| *u*B1 | 直流功率源电压稳定度 | B | 5.77×10-6 |
| *u*B2 | 直流标准功率表 | B | 9.24×10-6 |
| *u*B3 | 分辨力 | B | 5.77×10-8 |
| *u*A | 测量重复性 | A | 5.18×10-7 |

3.3合成标准不确定度

各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

*u*c==1.1×10-5

4扩展不确定度

视合成不确定度为正态分布，采用*p*=95%,查JJF1059表2，得*k*=2

*U*=*ku*c=2.2×10-5

**三 直流电流测量结果不确定度评定**

1测量方法：采用直接比较法，即将直流功率源、直流标准功率表和被测直流标准数字功率表连接，以确定被测直流标准数字功率表的直流电流测量结果。

直流标准数字功率表选用0.01级高精度直流标准电能表

说明：根据高精度直流标准电能表的技术指标得到该高精度直流标准电能表全量程电压等级为0.01级，所引入的B类不确定度相同，由此可得单点的不确定度分析可以覆盖整个量程。

2测量的数学模型

计算高精度直流标准电能表的电流绝对误差

式中： ----被测高精度直流标准电能表的电流示值

----直流标准功率表的电流值

由以上可以得到测量不确定度的构成要素:

考虑到各输入量彼此独立

依

则有：

3直流标准数字功率表电流测量不确定度分析：

3.1 A类标准不确定度分量评定

A类标准不确定度主要由高精度直流标准电能表读数的重复性引入。测量时直流功率源输出100A，高精度直流标准电能表的重复性条件下连续独立测量10次，获得数据如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *x*5 |
| 测量值（I /A） | 99.99359 | 99.99338 | 99.99372 | 99.99368 | 99.99366 |
| 测量次数 | *x*6 | *x*7 | *x*8 | *x*9 | *x*10 |
| 测量值（I /A） | 99.99364 | 99.99370 | 99.99351 | 99.99363 | 99.99367 |

平均值

单次实验标准偏差=0.0001A

测量结果取1次读数，则 =*s*=0.0001A

则==0.0001A /100A=1.03×10-6 V/V

3.2 B类标准不确定度分量评定

3.2.1 由直流功率源电流稳定度引入的标准不确定度估算分量*u*B1

直流功率源输出100A时，其电流稳定度的不确定度为1×10-5，服从均匀分布，包含因子*k* =，则由标准功率源引入的标准不确定度为：

1×10-5/=5.77×10-6

3.2.2由直流标准功率表引入的标准不确定度估算分量*u*B2

直流标准功率表测量100A功率时，其测量不确定度为1.6×10-5，服从均匀分布，包含因子*k* =，则由标准功率源引入的标准不确定度为：

1.6×10-5/=9.24×10-6

3.2.3由被校高精度直流标准电能表分辨力引入的标准不确定度估算分量*u*B3

高精度直流标准电能表在电流100A点的分辨力为0.00001A，在±0.000005A区间内为均匀分布，包含因子*k* =，则由被校功率分析仪的分辨力引入的标准不确定度为：

u(δPx) = 0.000005/ A ≈ 2.89×10-6 A

*u*B3=2.89×10-7 A /100A=2.89×10-7 A/A

通过以上分析，将各分量列表如下:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准不确定度 |
| *u*B1 | 直流功率源电流稳定度 | B | 5.77×10-6 |
| *u*B2 | 直流标准功率表 | B | 9.24×10-6 |
| *u*B3 | 分辨力 | B | 2.89×10-7 |
| *u*A | 测量重复性 | A | 1.03×10-6 |

3.3合成标准不确定度

各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

*u*c==1.1×10-5

4扩展不确定度

视合成不确定度为正态分布，采用*p*=95%,查JJF1059表2，得*k*=2

*U*=*ku*c=2.2×10-5

**四 交流功率测量结果不确定度评定**

1测量方法：采用直接比较法，即将交流功率源、交流标准功率表和标准传递系统连接，以确定标准数字功率表的测量结果。

标准数字功率表选用0.01级三相标准功率电能表

说明：根据三相标准功率电能表的技术指标得到该三相标准功率电能表全量程等级为0.01级，所引入的B类不确定度相同，由此可得单点的不确定度分析可以覆盖整个量程。

2测量的数学模型

计算三相标准功率电能表的功率绝对误差

式中： ----被检三相标准功率电能表的功率示值

----标准传递系统的功率值

由以上可以得到测量不确定度的构成要素:

考虑到各输入量彼此独立

依

则有：

3功率表功率测量不确定度分析：

3.1 A类标准不确定度分量评定

A类标准不确定度主要由工频标准功率表读数的重复性引入。工频标准功率表的重复性条件下连续独立测量10次，获得数据如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *x*5 |
| 测量值（P /W） | 3300.032 | 3300.051 | 3300.052 | 3300.063 | 3300.038 |
| 测量次数 | *x*6 | *x*7 | *x*8 | *x*9 | *x*10 |
| 测量值（P /W） | 3300.046 | 3300.063 | 3300.039 | 3300.057 | 3300.061 |

平均值W

单次实验标准偏差=0.000045kW

测量结果取1次读数，则 =*s*=0.011 W

则==0.011 W/3300W=3.33×10-6 W/W

3.2 B类标准不确定度分量评定

3.2.1 由功率源引入的标准不确定度估算分量*u*B1

标准功率源在50Hz测量3300W功率时，其短期功率稳定度的不确定度为2×10-5，服从均匀分布，包含因子*k* =，则由标准功率源引入的标准不确定度为：

5×10-5/=1.15×10-5

3.2.2由标准传递系统引入的标准不确定度估算分量*u*B2

标准传递系统在50Hz测量3300W功率时，其测量不确定度为5×10-6，服从均匀分布，包含因子*k* =，则由标准功率源引入的标准不确定度为：

5×10-5/=2.89×10-6

3.2.3由被校工频标准功率表分辨力引入的标准不确定度估算分量*u*B3

被校功率分析仪在交流功率3300 W点的分辨力为0.001W，在±0.0005W区间内为均匀分布，包含因子*k* =，则由被校功率分析仪的分辨力引入的标准不确定度为：

u(δPx) = 0.0005/ W ≈ 2.89×10-4 W

*u*B3=2.89×10-4 W /3300W=8.76×10-8 W/W

通过以上分析，将各分量列表如下:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准不确定度 |
| *u*B1 | 标准功率源 | B | 1.15×10-5 |
| *u*B2 | 标准传递系统 | B | 2.89×10-6 |
| *u*B3 | 分辨力 | B | 8.76×10-8 |
| *u*A | 测量重复性 | A | 3.33×10-6 |

3.3合成标准不确定度

各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

*u*c==1.23×10-5

4扩展不确定度

视合成不确定度为正态分布，采用*p*=95%,查JJF1059表2，得*k*=2

*U*=*ku*c=2.46×10-5≈2.5×10-5

**五 电压测量结果不确定度评定**

1测量方法：采用标准源法，即将交流标准功率源、交流标准功率表连接，以确定标准数字功率表的测量结果。

标准数字功率表选用0.01级三相标准功率电能表

说明：根据三相标准功率电能表的技术指标得到该三相标准功率电能表全量程等级为0.01级，所引入的B类不确定度相同，由此可得单点的不确定度分析可以覆盖整个量程。

2测量的数学模型

计算被校标准数字功率表的电压绝对误差



式中： ----被校标准数字功率表的电压示值

----交流标准功率源的电压值

3 A类标准不确定度分量评定

在相同条件下，对示值进行等精度重复测量10次。5个测量点可覆盖A类相对不确定度的最大、最小值和分辨力引起的相对不确定度的最大、最小点。所得测量结果如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 实测值 | | | | |
| 30 | 57.74 | 100 | 220 | 380 |
| 1 | 30.001 | 57.741 | 100.00 | 220.00 | 379.99 |
| 2 | 30.001 | 57.741 | 100.00 | 220.00 | 379.99 |
| 3 | 30.004 | 57.741 | 99.99 | 220.00 | 379.99 |
| 4 | 30.001 | 57.742 | 100.00 | 220.01 | 380.00 |
| 5 | 30.001 | 57.741 | 100.00 | 220.00 | 379.99 |
| 6 | 30.001 | 57.742 | 99.99 | 220.00 | 379.99 |
| 7 | 30.003 | 57.739 | 100.00 | 220.02 | 380.00 |
| 8 | 30.001 | 57.741 | 100.00 | 220.00 | 379.99 |
| 9 | 30.001 | 57.741 | 100.00 | 220.00 | 379.99 |
| 10 | 30.002 | 57.741 | 100.00 | 220.00 | 379.99 |

A类不确定度评定为：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 实测值 | | | | |
| 30 | 57.74 | 100 | 220 | 380 |
| 平均值  = | 30.002 | 57.741 | 100.00 | 220.00 | 379.99 |
| 标准偏差  s= | 0.001074968 | 0.000816497 | 0.004216370 | 0.006749486 | 0.004216370 |
| 算数平均值标准偏差  *u*(A)= *s* | 0.000339935 | 0.000258199 | 0.001333333 | 0.002134375 | 0.001333333 |

4 B类标准不确定度分量评定

4.1 标准的电压误差不确定度估算分量*u*(B1)

标准的电压误差扩展不确定度估计为0.01%，作均匀分布，其包含因子ｋ=，*u*(B1)=0.01%/=5.77×10-5

4.2 标准的电压量程分辨力产生的不确定度估算分量*u*(B2)

标准的100V电压量程分辨力为0.01V，作均匀分布，其包含因子ｋ=，*u*(B2)=0.001/2=2.89×10-3

换算成相对标准不确定度为*u* (B2)1.0=2.89×10-5

采用同样方法，可得30V时*u* (B2)1.0=0.96×10-5，57.74V时*u* (B2)1.0=0.50×10-5，220V时*u* (B2)1.0=1.31×10-5，380V时*u* (B2)1.0=0.76×10-5，

5测量不确定度汇总

通过以上分析，将各分量列表如下:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准  不确定度 | 传播系数 |
| *u*(B1) | 标准的电压误差 | B | 5.77×10-5 | 1 |
| *u*(B2) | 标准的电压量程分辨力误差 | B | 0.96×10-5  0.50×10-5  2.89×10-5  1.31×10-5  0.76×10-5 | 1 |
| *u*(A) | 测量重复性 | A | 0.11×10-4  0.45×10-5  0.13×10-4  0.97×10-5  0.35×10-5 | 1 |

因测量重复性带来的A类不确定度远大于分辨力带来的B类不确定度，故可忽略分辨力带来B类不确定度的影响，则测量不确定度汇总表可简化如下：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准  不确定度 | 传播系数 |
| *u*(B1) | 标准的电压误差 | B | 5.77×10-5 | 1 |
| *u*(A) | 测量重复性 | A | 0.11×10-4  0.45×10-5  0.13×10-4  0.97×10-5  0.35×10-5 | 1 |

6合成标准不确定度

6.1传播系数 (灵敏系数):





6.2各影响量相互独立，合成标准不确定度为：





7扩展不确定度

视合成不确定度为正态分布，采用分布临界值，采用,查表得1.96。

计算测量点如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 实测值 | | | | |
| 30 | 57.74 | 100 | 220 | 380 |
| *u*(B1) | 0.0000577 | 0.0000577 | 0.0000577 | 0.0000577 | 0.0000577 |
| 分辨力 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.01 | 0.01 |
| *u*(A) | 0.000011 | 0.0000045 | 0.000013 | 0.0000097 | 0.0000035 |
| *u*(C) | 0.001762175 | 0.003341715 | 0.005914634 | 0.012872125 | 0.021966301 |
| *U*(95) | 0.003453863 | 0.006549761 | 0.011592683 | 0.025229364 | 0.04305395 |
| 化整后的*U*(95) | 0.01 V | 0.01 V | 0.02 V | 0.03 V | 0.05 V |
| *U*rel (*k*=2) | 1.2×10-4 | 1.2×10-4 | 1.2×10-4 | 1.2×10-4 | 1.2×10-4 |

**六 电流测量结果不确定度评定**

1测量方法：采用标准源法，即将交流标准功率源、交流标准功率表连接，以确定标准数字功率表的测量结果。

标准数字功率表选用0.01级三相标准功率电能表

说明：根据三相标准功率电能表的技术指标得到该三相标准功率电能表全量程等级为0.01级，所引入的B类不确定度相同，由此可得单点的不确定度分析可以覆盖整个量程。

2测量的数学模型

计算被检功率分析仪的电流绝对误差



式中： ----被检功率分析仪的电流示值

----标准的电流值

3 A类标准不确定度分量评定

在相同条件下，对示值进行等精度重复测量10次。9个测量点可覆盖A类相对不确定度的最大、最小值和分辨力引起的相对不确定度的最大、最小点。所得测量结果如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 实测值 | | | | | | | | | |
| 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| 1 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9999 | 1.9998 | 4.9999 | 10.000 | 20.001 | 50.001 | 100.00 |
| 2 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9999 | 1.9998 | 4.9999 | 10.000 | 20.001 | 50.001 | 100.00 |
| 3 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5002 | 0.9999 | 1.9998 | 4.9999 | 10.001 | 20.000 | 50.001 | 100.00 |
| 4 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9998 | 1.9999 | 4.9999 | 10.000 | 20.002 | 50.001 | 100.01 |
| 5 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9999 | 1.9998 | 4.9998 | 10.000 | 20.001 | 50.000 | 100.00 |
| 6 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9999 | 1.9998 | 4.9999 | 10.001 | 20.001 | 50.001 | 100.00 |
| 7 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9997 | 1.9996 | 4.9999 | 10.000 | 20.001 | 50.001 | 100.00 |
| 8 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9999 | 1.9998 | 4.9997 | 10.000 | 20.001 | 50.001 | 100.00 |
| 9 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9998 | 1.9998 | 4.9999 | 10.000 | 20.001 | 50.002 | 100.00 |
| 10 | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9999 | 1.9998 | 4.9999 | 10.000 | 20.001 | 50.001 | 100.00 |

A类不确定度评定为：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 实测值 | | | | | | | | | |
|  | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| 平均值  = | 0.1000 | 0.2000 | 0.5001 | 0.9999 | 1.9998 | 4.9999 | 10.000 | 20.001 | 50.001 | 100.00 |
| 标准偏差  s= | 0 | 0 | 0.000031623 | 0.000069921 | 0.000073786 | 0.000067495 | 0.000421637 | 0.000567646 | 0.000471405 | 0.003162278 |
| 算数平均值标准偏差  *u*(A)= *s* | 0 | 0 | 0.000010000 | 0.000022111 | 0.000023333 | 0.000021344 | 0.000133333 | 0.000179505 | 0.000149071 | 0.001000000 |

4 B类标准不确定度分量评定

4.1标准的电流功能误差不确定度估算分量*u*(B1)

标准的电流功能误差扩展不确定度估计为0.01%，作均匀分布，其包含因子ｋ=3，*u*(B1)=0.01%/=0.577×10-4

4.2 标准的电流分辨力产生的不确定度估算分量*u*(B2)

标准的5A电流分辨力为0.0001，作均匀分布，其包含因子ｋ=，*u*(B2)=0.0001/2=2.89×10-5

换算成相对标准不确定度为*u* (B2)1.0=0.577×10-5

采用同样方法，可得0.1A时*u* (B2)1.0=0.289×10-3，0.2A时*u* (B2)1.0=0.144×10-3，0.5A时*u* (B2)1.0=0.577×10-4，1A时*u* (B2)1.0=0.289×10-4，2A时*u* (B2)1.0=0.144×10-4，10A时*u* (B2)1.0=0.289×10-4，20A时*u* (B2)1.0=0.144×10-4，50A时*u* (B2)1.0=0.577×10-5，100A时*u* (B2)1.0=0.289×10-4，

5 测量不确定度汇总

通过以上分析，将各分量列表如下:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准  不确定度 | 传播系数 |
| *u*(B1) | 标准的电流误差 | B | 0.577×10-4 | 1 |
| *u*(B2) | 标准的电流分辨力误差 | B | 0.289×10-3  0.144×10-3  0.577×10-4  0.289×10-4  0.144×10-4  0.577×10-5  0.289×10-4  0.144×10-4  0.577×10-5  0.289×10-4 | 1 |
| *u*(A) | 测量重复性 | A | 0  0  0.20×10-4  0.22×10-4  0.12×10-4  0.43×10-5  0.13×10-4  0.90×10-5  0.30×10-5  0.10×10-4 | 1 |

因测量重复性带来的A类不确定度远小于分辨力带来的B类不确定度，故可忽略测量重复性带来的影响，则测量不确定度汇总表可简化如下：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准  不确定度 | 传播系数 |
| *u*(B1) | 标准的电流误差 | B | 0.577×10-4 | 1 |
| *u*(B2) | 标准的电流分辨力误差 | B | 0.289×10-3  0.144×10-3  0.577×10-4  0.289×10-4  0.144×10-4  0.577×10-5  0.289×10-4  0.144×10-4  0.577×10-5  0.289×10-4 | 1 |

6合成标准不确定度

6.1传播系数 (灵敏系数):



6.2各影响量相互独立，合成标准不确定度为：





7扩展不确定度

视合成不确定度为正态分布，采用分布临界值，采用,查表得1.96。

计算测量点如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 实测值 | | | | | | | | | |
| 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| *u*(B1) | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 | 0.577×10-4 |
| 分辨力 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.01 |
| *u*(B2) | 0.289×10-3 | 0.144×10-3 | 0.577×10-4 | 0.289×10-4 | 0.144×10-4 | 0.577×10-5 | 0.289×10-4 | 0.144×10-4 | 0.577×10-5 | 0.289×10-4 |
| *u*(C) | 0.000029470 | 0.000031026 | 0.000040800 | 0.000064533 | 0.000118939 | 0.000289939 | 0.000645329 | 0.001189395 | 0.002899389 | 0.006453294 |
| *U*(95) | 0.000057762 | 0.000060811 | 0.000079968 | 0.000126485 | 0.000233121 | 0.000568280 | 0.001264846 | 0.002331214 | 0.005682803 | 0.012648456 |
| 化整后的*U*(95) | 0.0001A | 0.0001 A | 0.0001 A | 0.0002 A | 0.0003 A | 0.0006 A | 0.002  A | 0.003  A | 0.006  A | 0.02  A |
| *U*rel (k=2) | 5.9×10-4 | 3.1×10-4 | 1.6×10-4 | 1.3×10-4 | 1.2×10-4 | 1.2×10-4 | 1.3×10-4 | 1.2×10-4 | 1.2×10-4 | 1.3×10-4 |

**七 功率因数测量结果不确定度评定**

1测量方法：采用标准源法，即将交流标准功率源、交流标准功率表连接，以确定标准数字功率表的测量结果。

标准数字功率表选用0.01级三相标准功率电能表

说明：根据三相标准功率电能表的技术指标得到该三相标准功率电能表全量程等级为0.01级，所引入的B类不确定度相同，由此可得单点的不确定度分析可以覆盖整个量程。

2测量的数学模型

计算被检表的功率因数绝对误差



式中： ----被检的功率因数示值

 ----标准的实际功率因数值

3 A类标准不确定度分量评定

在相同条件下，对示值进行等精度重复测量10次。5个测量点可覆盖A类相对不确定度的最大、最小值和分辨力引起的相对不确定度的最大、最小点。所得测量结果如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 实测值 | | | | |
| 1.0 | 0.5L | 0.8C | 0.5C | 0.8L |
| 1 | 1.0000 | 0.4999 | 0.7999 | 0.4999 | 0.7999 |
| 2 | 1.0000 | 0.4999 | 0.7999 | 0.4999 | 0.7998 |
| 3 | 1.0000 | 0.4999 | 0.8000 | 0.5000 | 0.7999 |
| 4 | 1.0000 | 0.4999 | 0.7999 | 0.4999 | 0.7999 |
| 5 | 0.9999 | 0.4999 | 0.7999 | 0.4999 | 0.7998 |
| 6 | 1.0000 | 0.4998 | 0.8000 | 0.4999 | 0.7999 |
| 7 | 1.0000 | 0.4999 | 0.7999 | 0.5000 | 0.8000 |
| 8 | 1.0000 | 0.4999 | 0.7999 | 0.4999 | 0.7999 |
| 9 | 1.0000 | 0.4999 | 0.7999 | 0.4999 | 0.7999 |
| 10 | 1.0000 | 0.4999 | 0.7999 | 0.4999 | 0.8000 |

A类不确定度评定为：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 实测值 | | | | |
|  | 1.0 | 0.5L | 0.8C | 0.5C | 0.8L |
| 平均值  = | 1.0000 | 0.4999 | 0.7999 | 0.4999 | 0.7999 |
| 标准偏差  s= | 0.000031623 | 0.000042164 | 0.000056765 | 0.000048305 | 0.000066667 |
| 算数平均值标准偏差  *u*(A)= *s* | 0.000010000 | 0.000013333 | 0.000017951 | 0.000015275 | 0.000021082 |

4 B类标准不确定度分量评定

4.1标准的功率因数不确定度估算分量*u*(B1)

标准的功率因数扩展不确定度估计为0.01%，作均匀分布，其包含因子ｋ=，*u*(B1)=0.01%/=5.77×10-5

4.2 标准的功率因数分辨力产生的不确定度估算分量*u*(B2)

标准的功率因数（1.0时）测量分辨力为0.0001，作均匀分布，其包含因子ｋ=，*u*(B2)=0.0001/=2.89×10-5

换算成相对标准不确定度为*u*(A)= 2.89×10-5

采用同样方法，可得0.5L时*u* (B2)1.0=5.78×10-5，0.8C时*u* (B2)1.0=3.61×10-5，0.5C时*u* (B2)1.0=5.78×10-5，0.8L时*u* (B2)1.0=3.61×10-5

5测量不确定度汇总

通过以上分析，将各分量列表如下:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准  不确定度 | 传播系数 |
| *u*(B1) | 标准的功率因数误差 | B | 5.77×10-5 | 1 |
| *u*(B2) | 标准的功率因数测量分辨力误差 | B | 2.89×10-5  5.78×10-5  3.61×10-5  5.78×10-5  3.61×10-5 | 1 |
| *u*(A) | 测量重复性 | A | 0.10×10-4  0.27×10-4  0.22×10-4  0.31×10-4  0.26×10-4 | 1 |

因测量重复性带来的A类不确定度远小于分辨力带来的B类不确定度，故可忽略测量重复性带来的影响，则测量不确定度汇总表可简化如下：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准  不确定度 | 传播系数 |
| *u*(B1) | 标准的功率因数误差 | B | 5.77×10-5 | 1 |
| *u*(B2) | 标准的功率因数测量分辨力误差 | B | 2.89×10-5  5.78×10-5  3.61×10-5  5.78×10-5  3.61×10-5 | 1 |

6合成标准不确定度

6.1传播系数 (灵敏系数):



6.2各影响量相互独立，合成标准不确定度为：





7扩展不确定度

视合成不确定度为正态分布，采用分布临界值，采用,查表得1.96。

计算测量点如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 实测值 | | | | |
| 1.0 | 0.5L | 0.8C | 0.5C | 0.8L |
| *u*(B1) | 5.77×10-5 | 5.77×10-5 | 5.77×10-5 | 5.77×10-5 | 5.77×10-5 |
| 分辨力 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| *u*(B2) | 2.89×10-5 | 5.78×10-5 | 3.61×10-5 | 5.78×10-5 | 3.61×10-5 |
| *u*(C) | 0.000064790 | 0.000040937 | 0.000054645 | 0.000040937 | 0.000054645 |
| *U*(95) | 0.000126989 | 0.000080237 | 0.000107105 | 0.000080237 | 0.000107105 |
| 化整后的*U*(95) | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 |

**八 频率测量结果不确定度评定**

1测量方法：采用标准源法，即将交流标准功率源、交流标准功率表连接，以确定标准数字功率表的测量结果。

标准数字功率表选用0.01级三相标准功率电能表

说明：根据三相标准功率电能表的技术指标得到该三相标准功率电能表全量程等级为0.01级，所引入的B类不确定度相同，由此可得单点的不确定度分析可以覆盖整个量程。

2测量的数学模型

计算被检表的频率绝对误差



式中： ----被检的功率因数示值

 ----标准的实际功率因数值

3 A类标准不确定度分量评定

在相同条件下，对示值进行等精度重复测量10次。5个测量点可覆盖A类相对不确定度的最大、最小值和分辨力引起的相对不确定度的最大、最小点。所得测量结果如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 实测值 | | | | |
| 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| 1 | 44.999 | 49.999 | 54.999 | 59.999 | 64.999 |
| 2 | 44.999 | 49.999 | 54.999 | 59.999 | 64.999 |
| 3 | 44.998 | 49.999 | 55.000 | 59.999 | 65.000 |
| 4 | 44.999 | 49.998 | 54.999 | 59.999 | 64.999 |
| 5 | 44.999 | 49.999 | 54.999 | 59.999 | 65.000 |
| 6 | 44.998 | 49.999 | 55.000 | 59.999 | 64.999 |
| 7 | 44.999 | 49.999 | 54.999 | 59.999 | 64.998 |
| 8 | 44.999 | 49.998 | 54.999 | 60.000 | 65.000 |
| 9 | 44.998 | 49.999 | 54.999 | 59.999 | 64.997 |
| 10 | 44.999 | 49.999 | 54.999 | 59.999 | 65.000 |

A类不确定度评定为：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 实测值 | | | | |
|  | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| 平均值  = | 44.999 | 49.999 | 55.000 | 59.999 | 64.999 |
| 标准偏差  s= | 0.000483045892 | 0.000421637021 | 0.000421637021 | 0.000316227766 | 0.000994428926 |
| 算数平均值标准偏差  *u*(A)= *s* | 0.000152753 | 0.000133333 | 0.000133333 | 0.000100000 | 0.000314466 |

4 B类标准不确定度分量评定

4.1标准的频率不确定度估算分量*u*(B1)

标准的频率扩展不确定度估计为0.01%，作均匀分布，其包含因子ｋ=，*u*(B1)=0.01%/=5.77×10-5

4.2 标准的频率分辨力产生的不确定度估算分量*u*(B2)

标准的频率（50Hz时）测量分辨力为0.001，作均匀分布，其包含因子ｋ=，*u*(B2)=0.001/=2.89×10-4

换算成相对标准不确定度为*u*(A)=5.77×10-6

采用同样方法，可得45Hz时*u* (B2)1.0=6.42×10-6，55Hz时*u* (B2)1.0=5.25×10-6，60Hz时*u* (B2)1.0=4.82×10-6，65Hz时*u* (B2)1.0=4.45×10-6

5测量不确定度汇总

通过以上分析，将各分量列表如下:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准  不确定度 | 传播系数 |
| *u*(B1) | 标准的频率误差 | B | 5.77×10-5 | 1 |
| *u*(B2) | 标准的频率测量分辨力误差 | B | 6.42×10-6  5.77×10-6  5.25×10-6  4.82×10-6  4.45×10-6 | 1 |
| *u*(A) | 测量重复性 | A | 0.34×10-5  0.27×10-5  0.24×10-5  0.17×10-5  0.48×10-5 | 1 |

当测量重复性带来的A类不确定度远小于分辨力带来的B类不确定度时，可忽略测量重复性带来的影响，反之可忽略分辨力带来的影响，则测量不确定度汇总表可简化如下：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类型 | 标准  不确定度 | 传播系数 |
| *u*(B1) | 标准的频率误差 | B | 5.77×10-5 | 1 |
| *u*(B2) | 标准的频率测量分辨力误差 | B | 6.42×10-6  5.77×10-6  5.25×10-6  4.82×10-6  0 | 1 |
| *u*(A) | 测量重复性 | A | 0  0  0  0  0.48×10-5 | 1 |

6合成标准不确定度

6.1传播系数 (灵敏系数):





6.2各影响量相互独立，合成标准不确定度为：





7扩展不确定度

视合成不确定度为正态分布，采用分布临界值，采用,查表得1.96。

计算测量点如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 实测值 | | | | |
| 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| *u*(B1) | 5.77×10-5 | 5.77×10-5 | 5.77×10-5 | 5.77×10-5 | 5.77×10-5 |
| 分辨力 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| *u*(B2) | 6.42×10-6 | 5.77×10-6 | 5.25×10-6 | 4.82×10-6 | 0 |
| *u*(A) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.48×10-5 |
| *u*(C) | 0.002612523 | 0.002899389 | 0.003186609 | 0.003474058 | 0.003763455 |
| *U*(95) | 0.005120545 | 0.005682803 | 0.006245754 | 0.006809154 | 0.007376372 |
| 化整后的*U*(95) | 0.01 Hz | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |