**Практично-лабораторна робота № 5.1-5.2**

**Багаторазові (багатократні) вимірювання**

 **Опрацювання результатів сукупних (сумісних) вимірювань**

Тема викладена в підручнику (завантажено в Ментор): Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДГУ, 2001. – 219 с – п.3.5.2 (с. 68 – 73)

**Сукупними** називаються непрямі вимірювання, за яких значення декількох одночасно вимірюваних одноріднихвеличин (n = 2) отримують шляхом розв’язання системи рівнянь, що пов’язують різні сполучення цих величин, значення яких, в свою чергу, отримуються прямими або непрямими вимірюваннями.

**Сумісними** називаються непрямі вимірювання, за яких значення декількох одночасно вимірюваних різнорідних величин (n = 2) отримують шляхом розв'язання системи рівнянь, які пов'язують їх з іншими величинами, що вимірюються прямо або опосередковано.

Основна похибка засобу вимірювання (ЗВ) проявляється при його експлуатації в умовах, які визначено як нормальні, для даного типу ЗВ у відповідних технічних регламентах та нормативно-технічих документах. При експериментальних визна-ченнях похибок повіряємих ЗВ, зокрема робочих вольтметрів, широко застосовують метод звірення показів зразкового (або еталонного) і робочого вольт-метрів. При цьому на входи обох приладів подають напругу від зразкового джерела. Одночасно з індикаторів обох приладів зчитують покази напруги. Значення напруги змінюють від найменшого до найбільшого (а потім навпаки) таким чином, щоб отримати багаторазові результати вимірювань в кожному значенні градуювальної характеристики робочого (повіряємого) приладу. Потім результати вимірювань усереднюють і опрацьовують.

**Завдання.** В таблицях варіантів наведено оцінки дійсних значень напруги (САЗ), яку одночасно подавали від зразкового джерела напруги на входи двох вольтметрів: того, що повіряється, та зразкового в діапазоні вимірювань. Весь діапазон розбито на окремі значення – контрольні точки, в яких проводили вимірювання.

1. Визначити значення абсолютних похибок вимірювання напруги вольтмет-рами в кожній контрольній точці.

2. Побудувати графік залежності абсолютної похибки вимірювання повіряє мого вольтметра: . В тих же координатах після лінеаризації побудувати графік лінеаризованої функції.

3. Виконати лінеаризацію залежності методом найменших квадратів, побудувати графік, розрахувати нев’язки та оцінку дисперсії умовних рівнянь.

4. Визначити точкові та інтервальні оцінки коефіцієнтів лінійної моделі.

5. Обчислити відносну похибку вольтметру, що повірявся.

**ЗВЕРНІТЬ УВАГУ!!!** В деяких варіантах значення вказані в часткових одиницях!!!

**Варіанти завдання:**

**№ 1 – Бондаренко С.,№2 – Вербицька Є., №3 – Воробйова А., № 4 – Глєбов М А.,**

**№5 – Глєбова К., № 7 – Логачова А., № 8 – Мальківська В., № 9 – Пакулін Н.,**

**№10 – Рибалко Ю., №11 – Хобот А., №22 – Чорна Д., №23 - інші студ. гр. 318.**

**№12 – Андрюшкін М., №13 – Стеценко С., №4 – Коробейнікова Н.,**

**№15 – Тагаєв Д., №16 – Велікоданова К., №17 – Колядюк К., №18 – Муратов Д., №19 – Нахаєв А., №20 – Погребняк С., №21 – всі інші студенти гр. 310, 311 і 312.**

**№24 – Дворнік І., №25 – Куруц М., №26 – Ніколаєнко Д., №27 – Новиков В.,**

**№28 – Олійник Д., №29 – Фігнар Я., №30 – Шаньгін А., № 31 – інші студ. гр. 319.**

Варіант №1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 1,5 | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 9,0 | 10,5 | 12,0 | 13,5 | 15,0 |
| , В | -0,10 | 1,43 | 3,05 | 4,57 | 6,12 | 7,61 | 9,05 | 10,47 | 11,96 | 13,40 | 14,86 |

Варіант №2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| , В | -0,015 | 0,110 | 0,217 | 0,308 | 0,403 | 0,486 | 0,592 | 0,688 | 0,752 | 0,859 | 0,965 |

Варіант №3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| , В | 0,2 | 5,1 | 10,2 | 15,2 | 19,9 | 25,4 | 31,0 | 35,1 | 40,1 | 45,3 | 51,0 |

Варіант №4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| , мВ | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 |
| , мВ | -0,18 | 52,06 | 100,20 | 148,69 | 198,85 | 248,99 | 299,40 | 350,63 | 403,07 | 452,20 | 501,48 | 602,00 |

Варіант №5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0,1 | 2,5 | 5,0 | 7,5 | 10,0 | 12,5 | 15,0 | 17,5 | 20,0 | 22,5 | 25,0 |
| , В | 0,08 | 2,44 | 4,87 | 7,46 | 9,98 | 12,51 | 15,08 | 17,59 | 20,10 | 22,64 | 25,26 |

Варіант №6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| , В | 48,42 | 59,16 | 68,85 | 79,56 | 86,92 | 102,08 | 107,95 | 118,25 | 128,65 | 139,29 | 152,30 |

Варіант №7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 1,2 | 2,3 | 3,3 | 4,5 | 5,2 | 6,2 | 7,1 | 8,3 | 9,2 | 10,1 | 11,0 |

Вариант №8

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| , В | -0,003 | 0,092 | 0,179 | 0,285 | 0,394 | 0,511 | 0,596 | 0,704 | 0,804 | 0,906 | 1,021 |

Вариант №9

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| , В | 0,05 | 0,22 | 0,43 | 0,64 | 0,88 | 0,97 | 1,19 | 1,38 | 1,66 | 1,88 | 2,09 |

Вариант №10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0,0 | 10,1 | 20,2 | 30,3 | 40,4 | 50,5 | 60,6 | 70,7 | 80,8 | 90,9 | 100 |
| , В | -0,04 | 10,28 | 20,63 | 30,97 | 41,30 | 51,64 | 61,99 | 72,24 | 82,65 | 93,06 | 103,00 |

Вариант №11

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| , мВ | -0,06 | 28,28 | 61,72 | 92,64 | 123,56 | 145,20 | 185,50 | 216,38 | 237,28 | 268,16 | 301,04 |

Вариант №12

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| , В | 1,07 | 1,12 | 1,18 | 1,26 | 1,38 | 1,56 | 1,64 | 1,75 | 1,86 | 1,98 | 2,05 |

Вариант №13

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| , В | -0,010 | 0,187 | 0,396 | 0,604 | 0,803 | 1,019 | 1,146 | 1,353 | 1,622 | 1,777 | 1,998 |

Варіант №14

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 4500 | 5000 |
| , В | 0,002 | 0,490 | 1,007 | 1,484 | 1,994 | 2,491 | 3,072 | 3,496 | 4,120 | 4,448 | 5,077 |

Варіант №15

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 10 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| , В | 0,015 | 0,036 | 0,066 | 0,089 | 0,117 | 0,144 | 0,178 | 0,205 | 0,245 | 0,274 | 0,301 |

Варіант №16

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| , В | - 0,005 | 0,045 | 0,096 | 0,144 | 0,195 | 0,253 | 0,312 | 0,358 | 0,418 | 0,476 | 0,531 |

Варіант №17

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| , В | 0,04 | 1,15 | 2,34 | 3,68 | 4,81 | 6,03 | 6,16 | 7,25 | 8,53 | 9,72 | 10,85 |

Варіант №18

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| , мВ | 0,02 | 9,86 | 18,39 | 29,70 | 40,21 | 50,08 | 60,23 | 69,27 | 80,50 | 91,05 | 100,3 |

Варіант №19

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| , В | -0,006 | 0,089 | 0,201 | 0,307 | 0,411 | 0,515 | 0,614 | 0,724 | 0,835 | 0,930 | 1,029 |

Варіант №20

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| , В | 0,036 | 0,205 | 0,395 | 0,581 | 0,776 | 0,994 | 1,112 | 1,429 | 1,605 | 1,803 | 2,045 |

Варіант №21

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| , В | 0,01 | 1,04 | 2,10 | 3,08 | 4,06 | 5,02 | 6,01 | 6,95 | 7,91 | 8,84 | 9,93 |

Варіант №22

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| , В | 0,10 | 1,16 | 2,14 | 3,08 | 4,08 | 5,05 | 6,09 | 7,20 | 8,04 | 9,03 | 10,06 |

Варіант №23

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| , В | -0,02 | 0,19 | 0,38 | 0,59 | 0,80 | 0,93 | 1,10 | 1,12 | 1,53 | 1,74 | 1,93 |

Варіант №24

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| , В | 0,16 | 1,12 | 2,18 | 3,13 | 4,01 | 5,06 | 6,04 | 7,15 | 8,18 | 9,12 | 10,24 |

Варіант №25

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| , В | -0,022 | 0,074 | 0,196 | 0,275 | 0,384 | 0,488 | 0,594 | 0,701 | 0,816 | 0,995 | 0,981 |

Варіант №26

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| , В | -0,02 | 0,88 | 1,90 | 2,94 | 3,96 | 4,99 | 6,03 | 7,00 | 7,96 | 8,91 | 9,85 |

Варіант №27

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5 |
| , В | -0,04 | 0,46 | 1,11 | 1,65 | 2,24 | 2,67 | 3,36 | 3,61 | 4,25 | 4,68 | 5,30 |

Варіант №28

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 1 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 |
| , В | 0,88 | 1,39 | 1,98 | 2,45 | 2,94 | 3,45 | 4,08 | 4,44 | 4,90 | 5,68 | 6,15 |

Варіант №29

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0,1 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| , мВ | 0,0 | 4,97 | 9,99 | 15,05 | 20,12 | 25,35 | 30,68 | 35,89 | 41,33 | 47,36 | 54,40 |

Варіант №30

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| , мВ | 0,02 | 48,28 | 100,24 | 152,02 | 210,05 | 255,69 | 308,27 | 360,10 | 411,76 | 458,96 | 512,30 |

Варіант №31

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0,0 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,2 | 3,6 | 4,0 |
| , В | -0,03 | 0,42 | 0,81 | 1,13 | 1,61 | 2,06 | 2,44 | 2,75 | 3,18 | 3,62 | 4,04 |

Варіант №32

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , мВ | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| , мВ | 16 | 32 | 38 | 53 | 61 | 76 | 74 | 85 | 98 | 112 | 124 |

Варіант №33

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| , мВ | 5 | 112 | 118 | 313 | 405 | 503 | 604 | 715 | 808 | 912 | 104 |

**Рекомендації**

Кількість значущих цифр в оцінках і подальших розрахунках при округленні повинна бути на одну цифру більшою, ніж в попередніх даних.

Якщо дані отримані в однакових одиницях (або часткових), переводити їх не потрібно, якщо в різних – потрібно перевести в одиниці (тобто мВ в В).

При побудові графіків обирайте такий масштаб за вісями OX, OY, щоб забезпечити візуалізацію нелінійності характеристики (похибки). Поєднувати точки на графіках – лінією.

Всі похибки повинні бути представлені нормованими значеннями

Кількість значущих цифр при округленнях точкових та інтервальних оцінок повинна співпадати; починати округлення треба з інтервальної оцінки.

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ**

1. Визначити основну абсолютну похибку  робочого (повіряємого) вольтметра в *i*-й точці діапазона вимірювання:

  (1)

Результати обрахування представити в Таблиці 1:

Таблиця 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В або мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| , В або мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| , В або мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

2. Побудувати графік залежності абсолютної похибки вимірювання повіряємого вольтметра: .

3. Здійснити апроксимацію функції  лінійною функцією виду , параметри  та якої обчислюють за допомогою метода найменших квадратів. Для цього скласти систему умовних рівнянь, дані для якої взяти з вищенаведеної таблиці. Кількість умовних рівнянь дорівнює кількості контрольних точок діапазону вимірювання (*i = 1,n*; *n = 11*):

  (2)

Умовні рівняння необхідні для обрахування коефіцієнтів лінійної моделі  і , значення яких повинні бути такими, щоб мінімізувати похибки в кожній точці діапазону, в яких отримано результати вимірювань. Кількість умовних рівнянь (2) надмірна, так як кількість рівнянь (*n = 11*) перевищує кількість невідомих (**). Тому для обчислення двох коефіцієнтів потрібно мати два рівняння, але таких, в яких має бути враховані всі 11 оцінок результатів вимірювань та їх похибки. Такі рівняння називають нормалізованими або нормальними.

Складання системи нормальних рівнянь базується на постулаті Лежандра: рішення умовних рівнянь має бути таким, щоб сума квадратів нев’язок була мінімальною. Нев’язки () - це похибки між абсолютними похибками експеримен-тальної та апроксимованої функцій.

У відповідності до постулату Лежандра сума квадратів нев’язок прагне до нуля: що дозволяє отримати необхідну кількість нормальних рівнянь шляхом визначення похідних за відповідними коефіцієнтами:

4. Скласти систему нормальних рівнянь. Для лінійної апроксимуючої залежності нормальні рівняння мають вид:

 (3)

де  суми перемноження відповідних змінних величин.

[1·1] – сума всіх одиничних коефіцієнтів при аддитивній складовій  за всіма *n = 11* умовними рівняннями.

Тобто [1·1] = 1·1 + 1·1 + 1·1 + 1·1 + 1·1 + 1·1 + 1·1 + 1·1 + 1·1 + 1·1 +1·1 = 11.

Аналогічно обраховують суми перемноження відповідних величин та оцінок за 11-ма умовними рівняннями.

 Записати отриману систему нормальних рівнянь (3) в чисельному вигляді.

5. Обрахувати оцінки коефіцієнтів лінійної моделі, для чого вирішити нормальні рівняння методом визначників:

 (4)

За результатами визначення *D, Da* та  *Db* розраховують оцінки та :

 (5)

 Округлити розраховані значення коефіцієнтів за правилами математики.

6. Розрахувати абсолютну похибку робочого вольтметру у відповідності до апроксимуючої лінійної моделі:

*Δапр і* = +  . (6)

Значення абсолютних похибок записати в Таблицю 2.

Таблиця 2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В або мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *Δапр і*, В або мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| , В або мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| , В або мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

7. За результатами обрахованих *Δапр і* побудувати графік апроксимуючої функції в тих самих координатах (див. п. 2), тобто разом.

8. Розрахувати нев’язки умовних рівнянь в кожній контрольній точці:

 (7)

де *і* =  – кількість точок діапазону;

 *–* розраховане значення похибки в *і-*й точці діапазону (ф-ла 6);

 – експериментальне значення похибки в *і-*й точці діапазону (ф-ла 1).

Значення нев’язок записати в Таблицю 2.

9. Визначити оцінку дисперсії  умовних рівнянь:

  (8)

де  – нев’язка в *і-*й точці діапазону;

  – кількість точок діапазону;

  – кількість невідомих (коефіцієнти ** та ).

10. Визначити оцінки дисперсій значень коефіцієнтів  и :

  (9)

де – головний визначник умовних рівнянь;

  – алгебраїчні доповнення елементів  та , які отримують шляхом видалення з матриці головного визначника  стовпця та строки, на перетині яких знаходиться чинний елемент.

11. Визначити середні квадратичні відхилення (СКВ) коефіцієнтів -  та , які характеризують вірогідну похибку розрахованих оцінок та , і їх можна застосувати для визначення довірчих інтервалів оцінок коефіцієнтів:

  (10)

де – коефіцієнт Стьюдента, який обирають із статистики Стьюдента у відповідності до значення довірчої вірогідності і числа ступенів свободи . Значення коефіцієнта *tS* = *2,26* при *Рдов = 0,95* та *k = 11 - 2 = 9.*

 - СКВ відповідних коефіцієнтів.

Записати значення коефіцієнтів:

12. Відповідно до ознаки залежності похибки від вимірюваної величини відокремлюють адитивну  та мультиплікативну  похибки залежності . Відносну похибку в *i-*й точці діапазону визначають як:

  (11) де - кінцеве значення діапазону вимірювання (або різниця між кінцевим та початковим значеннями діапазону вимірювання) або нормоване значення - .

13. Розрахувати коефіцієнти, які враховують адитивну та мультиплікативну складові похибки:

 (12)

 Коефіцієнти позначають у відсотках та обирають із стандартного ряда чисел:

Розраховані значення *с* та *d* потрібно нормувати, тобто округлити до найближ-чого до розрахованого більшого стандартного значення.

14. Записати відносну похибку робочого вольтметра з нормованими значеннями складових *с* та *d* в загальному вигляді (значення *с,* *d* та відповідно до визначених та завданих):

 (13)