**Практичне заняття №16**

**Багаторазові (багатократні) вимірювання**

 **Сукупні (сумісні) вимірювання**

**(Навчальний посібник** Новиков Г.А. Основы метрологии. Учебное пособие. — Ульяновск: УлГТУ, 2010. — 182 с. (с. 13 – 182), вільний інтернет-ресурс <https://www.twirpx.com/file/339205/>)). Або будь-який інший.

**Завдання.**

В таблицях наведено оцінки дійсних значень напруги постійного струму, 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 вольтметрами 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.

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 визначеннях похибок повіряємих ЗВ, зокрема робочих вольтметрів, широко застосовують метод звірення (сличения) показів зразкового (або еталонного) і робочого вольтметрів. 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.

В таблицях варіантів наведені середні арифметичні значення (CАЗ) вихідних (виміряних) сигналів напруги робочого та зразкового вольтметрів.

**ЗВЕРНІТЬ УВАГУ!!!** В деяких варіантах виміряні значення указані в часткових (дольних) одиницях!!!

**Варіанти завдання:**

**№ 1 – Полякова С., №2 – Семеняга І., №3 – Тригуб А., № 4 – Шуба А.,**

**№5 – Яблочков І., № 7 – Безпалова С., № 8 – Гусар А., № 9 – Ковбасюк М.,**

**№10 – Шаєнко В., №11 - всі інші студенти гр. 310, 311,312;**

**№12 – Андрюхіна А., №13 – Басов О., №4 - Білоус К., №15 – Білоусов Д.,**

**№16 -Завада Т., №17 – Запорожець М., №18 – Каюк В., №19 – Колесник В.,**

**№20 – Овчаренко К., №21 – Селівко Д., №22 - всі інші студенти гр. 318 і 318а;**

**№23 – Дроздова Є., №24 - Лєвашов Д., №25 – Сисоєв В., №26 – Сич Т., №27 – Яковенко О., №28 – Янюк О., №29 – інші студенти гр. 319;**

**№30 – Воронкін Р., № 31 – Гичко Є., № 32 – Єфімов Н., №33 – Кузьмин М., №34 – Моісеєнко М., №35 – Мудрік В., №36 – Ночевко Д., №36 – Третяк Б., №37 – Хара Д., №38 - інші студенти гр. 319а.**

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 |

Варіант №34

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *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 | 0,10 | 4,92 | 10,16 | 15,13 | 20,04 | 25,06 | 29,04 | 35,15 | 39,78 | 44,72 | 50,05 |

Варіант №35

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *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 №36

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| , В | -50,2 | -39,5 | -30,1 | -20,1 | -10,2 | -0,3 | 9,8 | 19,5 | 28,8 | 39,2 | 49,4 |

Варіант №37

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *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 | -0,010 | 0,111 | 0,212 | 0,313 | 0,401 | 0,508 | 0,605 | 0,712 | 0,798 | 0,915 | 0,995 |

Варіант №38

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *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 | 5,0 |
| , В | 0,02 | 0,48 | 1,08 | 1,53 | 2,01 | 2,46 | 3,04 | 3,45 | 4,10 | 4,51 | 5,02 |

Варіант №39

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i*-а точка діапазону | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| , В | 0,00 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| , В | -0,004 | 0,112 | 0,118 | 0,310 | 0,401 | 0,505 | 0,604 | 0,701 | 0,808 | 0,910 | 1,007 |

**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  та , 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 (тобто такої, в якій кількість невідомих дорівнює кількості 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 експериментальної 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 (определителей):

 (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 значень  та , і їх можна застосувати для визначення довірчих інтервалів оцінок  та :

  (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.

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). Це - нормоване значення, .

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.

13). Записати відносну похибку робочого вольтметра з нормованими значення-ми складових *с*  та *d*:

  (13)