Министерство транспорта Российской Федерации

Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

Омский государственный университет путей сообщения

ОмГУПС (ОмИИТ)

Кафедра «Теоретическая электротехника»

**ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

Пояснительная записка к расчетно-экспериментальной работе по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»

Вариант 15

Выполнил:

студент гр. 22а

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Джойс Р.Р.

Руководитель:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Зверев А. Г.

Омск 2023

Цель работы: исследование случайной погрешности входного сопротивления электрической цепи путем моделирования многократных измерений.

*1. Исходные данные*

Исследуемая схема электрической цепи приведена на рисунке 1:

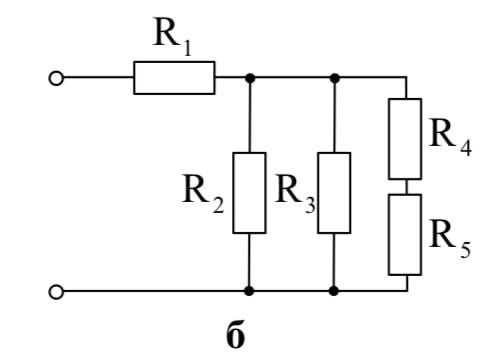
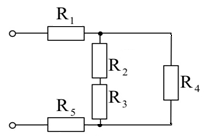


Рисунок 1 – Схема для исследования

Выражение для нахождения входного сопротивления цепи – Rn (Ом).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

В соответствии с исходными данными для расчетов записаны параметры элементов схемы замещения в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры элементов схемы замещения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер элемента | (R±ΔR), Ом | Rmin, Ом | Rmax, Ом |
| 1 | 80±5,6 | 74,4 | 85,6 |
| 2 | 170±11,9 | 158,1 | 181,9 |
| 3 | 210±10,5 | 199,5 | 220,5 |
| 4 | 220±13,2 | 206,8 | 233,2 |
| 5 | 150±12 | 138 | 162 |

*2. Статистические испытания сопротивлений*

Результаты наблюдения входного сопротивления исследуемой цепи могут быть получены методом статистических испытаний (математическим моделированием действительных значений сопротивлений резисторов цепи в пределах допускаемых отклонений от номинальных с последующим вычислением входных сопротивлений). При этом принимается во внимание, что распределение действительных значений сопротивлений в границах допускаемых отклонений изменяется по равномерному закону распределения.

Функция распределения для равномерного закона на интервале [a, b]

|  |  |
| --- | --- |
| Ri = Rmin + (Rmax - Rmin)∙ai , | (2) |

где Ri – значения сопротивления в интервале [a, b] с равномерным законом распределения; ai - случайный параметр [0;1].

Случайные числа задаются с применением функции Excel «СЛЧИС».

Методом статистических испытаний разыграли n=300 моделей каждого резистора. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты статистических испытаний

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер испытаний | Параметры моделей, Ом | | | | | Входное  сопротивление Rвхj, Ом |
| R1j | R2j | R3j | R4j | R5j |
| 1 | 83,012 | 159,263 | 211,296 | 232,521 | 147,458 | 156,308 |
| 2 | 83,560 | 159,960 | 202,013 | 223,365 | 151,680 | 155,668 |
| 3 | 79,731 | 175,170 | 219,628 | 225,924 | 145,985 | 156,947 |
| 4 | 75,942 | 162,298 | 204,258 | 210,836 | 145,837 | 148,087 |
| 5 | 76,715 | 171,319 | 216,411 | 223,131 | 147,768 | 152,737 |
| 6 | 77,595 | 176,538 | 219,351 | 221,992 | 159,680 | 155,456 |
| 7 | 74,618 | 166,167 | 212,687 | 217,661 | 144,435 | 148,793 |
| 8 | 76,706 | 175,188 | 220,058 | 215,214 | 159,360 | 154,093 |
| 9 | 82,947 | 172,702 | 200,194 | 228,189 | 161,546 | 157,846 |
| 10 | 85,100 | 177,905 | 209,189 | 229,521 | 151,098 | 161,854 |

Окончание таблицы 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № Испытания | Параметры моделей, Ом | | | | | Входное  сопротивление Rвхj, Ом |
| R1j | R2j | R3j | R4j | R5j |
| 240 | 80,1243 | 169,6315 | 209,78024 | 219,84005 | 150,1962 | 154,9495939 |
| 241 | 80,12687 | 169,6278 | 209,77965 | 219,83868 | 150,1881 | 154,9509942 |
| 242 | 80,12945 | 169,6241 | 209,77906 | 219,8373 | 150,18 | 154,9523946 |
| 243 | 80,13203 | 169,6204 | 209,77847 | 219,83593 | 150,1719 | 154,9537949 |
| 244 | 80,13461 | 169,6167 | 209,77788 | 219,83456 | 150,1638 | 154,9551952 |
| 245 | 80,13719 | 169,6131 | 209,77729 | 219,83318 | 150,1558 | 154,9565956 |
| 246 | 80,13976 | 169,6094 | 209,7767 | 219,83181 | 150,1477 | 154,9579958 |
| 247 | 80,14234 | 169,6057 | 209,77611 | 219,83044 | 150,1396 | 154,9593961 |
| 248 | 80,14492 | 169,602 | 209,77551 | 219,82906 | 150,1315 | 154,9607964 |
| 249 | 80,1475 | 169,5984 | 209,77492 | 219,82769 | 150,1235 | 155,9621966 |
| 250 | 80,1243 | 169,6315 | 209,78024 | 219,84005 | 150,1962 | 154,9495939 |

*3. Определение экспериментального закона распределения*

По полученным статистическим моделям параметров резисторов и входного сопротивления цепи строятся гистограммы. Количество интервалов L гистограммы определяется по выражению:

|  |  |
| --- | --- |
| L = 1 + 3,322·lg n , | (3) |

где n – число моделей.

Получаем:

L = 1 + 3,322·lg(180) = 8,49

При дальнейших расчетах количество интервалов L округляется до ближайшего целого числа L’.

Принимаем количество интервалов L равным:

L= 8

Шаг интервала гистограммы определяется в соответствии с формулой Стэджеса:

|  |  |
| --- | --- |
| h = , | (4) |

где Rmax и Rmin – максимальное и минимальное значения моделей каждого из параметров

Получаем:

h1 = 1,2444 ед.

h2 = 2,6444 ед.

h3 = 2,3333 ед.

h4 = 2,9333 ед.

h5 = 2,6667 ед.

hвх= 1,6554 ед.

Результаты обработки статистического ряда для каждого резистора заданной цепи и входного сопротивления свести в таблице 3,4,5,6,7,8 и на рисунках 2,3,4,5,6,7.

Таблица 3 – Результаты обработки статистического ряда для R1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер интервала L | | Граница интервала | | | | Число моделей интервала nj | | Вероятность попадания случайной величины в интервал Pј\* | |
| 1 | | 74,40 | | 75,64 | | 18 | | 0,09 | |
| 2 | | 75,64 | | 76,89 | | 22 | | 0,11 | |
| 3 | | 76,89 | | 78,13 | | 26 | | 0,13 | |
| 4 | | 78,13 | | 79,38 | | 17 | | 0,085 | |
| 5 | | 79,38 | | 80,62 | | 38 | | 0,19 | |
| 6 | | 80,62 | | 81,87 | | 23 | | 0,115 | |
| 7 | | 81,87 | | 83,11 | | 19 | | 0,095 | |
| 8 | | 83,11 | | 84,36 | | 15 | | 0,075 | |
| 9 | | 84,36 | | 85,60 | | 22 | | 0,11 | |
| Сумма | | - | | - | | 200 | | 1 | |
|  | | | | | | | |

Рисунок 2 – Гистограмма для статического ряда R1

Выдвинем гипотезу: на рисунке 2 распределение генеральной совокупности Pi подчинено равномерному закону

Таблица 4 – Результаты обработки статистического ряда для R2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер интервала L | Граница интервала | | Число моделей интервалов nj | Вероятность попадания случайной величины в интервал Pj |
| 1 | 158,1 | 160,7444 | 16 | 0,08 |
| 2 | 160,7444444 | 163,3889 | 24 | 0,12 |
| 3 | 163,3888889 | 166,0333 | 16 | 0,08 |
| 4 | 166,0333333 | 168,6778 | 24 | 0,12 |
| 5 | 168,6777778 | 171,3222 | 44 | 0,22 |
| 6 | 171,3222222 | 173,9667 | 23 | 0,115 |
| 7 | 173,9666667 | 176,6111 | 16 | 0,08 |
| 8 | 176,6111111 | 179,2556 | 15 | 0,075 |
|  | 179,2555556 | 181,9 | 22 | 0,11 |
| Сумма | - | - | 200 | 1 |

Рисунок 3 – Гистограмма для статического ряда R2

Выдвинем гипотезу: на рисунке 3 распределение генеральной совокупности Pi подчинено равномерному закону

Таблица 5 – Результаты обработки статистического ряда для R3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер интервала L | Граница интервала | | Число моделей интервалов nj | Вероятность попадания случайной величины в интервал Pj |
| 1 | 199,5 | 201,8333 | 24 | 0,12 |
| 2 | 201,8333333 | 204,1667 | 20 | 0,1 |
| 3 | 204,1666667 | 206,5 | 21 | 0,105 |
| 4 | 206,5 | 208,8333 | 16 | 0,08 |
| 5 | 208,8333333 | 211,1667 | 35 | 0,175 |
| 6 | 211,1666667 | 213,5 | 25 | 0,125 |
| 7 | 213,5 | 215,8333 | 16 | 0,08 |
| 8 | 215,8333333 | 218,1667 | 23 | 0,115 |
| 9 | 218,1666667 | 220,5 | 20 | 0,1 |
| Сумма | - | - | 200 | 1 |

Рисунок 4 – Гистограмма для статического ряда R3

Выдвинем гипотезу: на рисунке распределение генеральной совокупности Pi подчинено равномерному закону

Таблица 6 – Результаты обработки статистического ряда для R4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер интервала L | Граница интервала | | Число моделей интервалов nj | Вероятность попадания случайной величины в интервал Pj |
| 1 | 206,8 | 209,7333 | 20 | 0,1 |
| 2 | 209,7333333 | 212,6667 | 20 | 0,1 |
| 3 | 212,6666667 | 215,6 | 20 | 0,1 |
| 4 | 215,6 | 218,5333 | 23 | 0,115 |
| 5 | 218,5333333 | 221,4667 | 34 | 0,17 |
| 6 | 221,4666667 | 224,4 | 17 | 0,085 |
| 7 | 224,4 | 227,3333 | 24 | 0,12 |
| 8 | 227,3333333 | 230,2667 | 17 | 0,085 |
| 9 | 230,2666667 | 233,2 | 25 | 0,125 |
| Сумма | - | - | 200 | 1 |

Рисунок 5 - Гистограмма для статического ряда R4

Выдвинем гипотезу: на рисунке 5 распределение генеральной совокупности Pi подчинено равномерному закону

Таблица 7 – Результаты обработки статистического ряда для R5

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер интервала L | Граница интервала | | Число моделей интервалов nj | Вероятность попадания случайной величины в интервал Pj |
| 1 | 138 | 140,6667 | 16 | 0,08 |
| 2 | 140,6666667 | 143,3333 | 19 | 0,095 |
| 3 | 143,3333333 | 146 | 16 | 0,08 |
| 4 | 146 | 148,6667 | 17 | 0,085 |
| 5 | 148,6666667 | 151,3333 | 39 | 0,195 |
| 6 | 151,3333333 | 154 | 24 | 0,12 |
| 7 | 154 | 156,6667 | 20 | 0,1 |
| 8 | 156,6666667 | 159,3333 | 19 | 0,095 |
| 9 | 159,3333333 | 162 | 30 | 0,15 |
| Сумма | - | - | 200 | 1 |

Рисунок 6 - Гистограмма для статического ряда R5

Выдвинем гипотезу: на рисунке 6 распределение генеральной совокупности Pi подчинено равномерному закону

Таблица 8 - Результаты обработки статистического ряда для Rвх

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер интервала L | Граница интервала | | Число моделей интервалов nj | Вероятность попадания случайной величины в интервал Pj |
| 1 | 147,6806668 | 149,3361 | 10 | 0,050251256 |
| 2 | 149,3360718 | 150,9915 | 17 | 0,085427136 |
| 3 | 150,9914767 | 152,6469 | 23 | 0,115577889 |
| 4 | 152,6468817 | 154,3023 | 34 | 0,170854271 |
| 5 | 154,3022866 | 155,9577 | 51 | 0,256281407 |
| 6 | 155,9576915 | 157,6131 | 24 | 0,120603015 |
| 7 | 157,6130965 | 159,2685 | 21 | 0,105527638 |
| 8 | 159,2685014 | 160,9239 | 10 | 0,050251256 |
| 9 | 160,9239064 | 162,5793 | 10 | 0,045226131 |
| Сумма | - | - | 200 | 1 |

Рисунок 7 - Гистограмма для статического ряда Rвх

Выдвинем гипотезу: на рисунке 7 распределение генеральной совокупности Pi подчинено нормальному закону

*4. Проверка гипотезы о нормальном законе распределения*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Проверка выполняется по следующему алгоритму.  Для полученной выборки входных сопротивлений R вхi определяют математическое ожидание   |  |  | | --- | --- | |  | (5) | |  |

Получаем:

Среднее квадратическое отклонение выборки:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

= 3,35

Вычисляем число наблюдений для каждого из интервалов, теоретически соответствующее нормальному распределению. Для этого от реальных середин Rвх (0) интервалов переходят к нормированным:

(7)

(8)

где f T  ( Z j ) – значение функции плотности вероятности нормированного нормального распределения.

(9)

Исследовали экспериментальный закон распределения входного сопротивления цепи на соответствие нормальному теоретическому. Результат в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты исследования входного сопротивления на соответствие условиям нормального теоретического распределения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер интервала j | Границы интервала | | Число наблюдений,  попавших в интервал ϕэj | Середина интервала | Плотность  вероятности Zj | Функция плотности  вероятности (Zj) | Теоретические  значения ϕTj | Критерий Пирсона |
| 1 | 147,6806668 | 149,3361 | 4 | 148,5083693 | -1,79559 | 0,079578 | 6,800128 | 1,505733 |
| 2 | 149,3360718 | 150,9915 | 21 | 150,1637743 | -1,32086 | 0,166748 | 14,24899 | 0,531131 |
| 3 | 150,9914767 | 152,6469 | 25 | 151,8191792 | -0,84612 | 0,2789 | 23,83266 | 0,029091 |
| 4 | 152,6468817 | 154,3023 | 40 | 153,4745841 | -0,37139 | 0,372357 | 31,81871 | 0,149535 |
| 5 | 154,3022866 | 155,9577 | 27 | 155,1299891 | 0,103346 | 0,396818 | 33,90896 | 8,614349 |
| 6 | 155,9576915 | 157,6131 | 25 | 156,785394 | 0,578081 | 0,337555 | 28,84483 | 0,813747 |
| 7 | 157,6130965 | 159,2685 | 27 | 158,440799 | 1,052816 | 0,229203 | 19,58588 | 0,1021 |
| 8 | 159,2685014 | 160,9239 | 11 | 160,0962039 | 1,527551 | 0,124227 | 10,61549 | 0,035686 |
| 9 | 160,9239064 | 162,5793 | 9 | 0,045226131 | 161,7516088 | 2,002285 | 0,053745 | 4,592599 |
|  |  |  | ∑180 |  |  |  | ∑1,79 | ∑174,69 |

Показатель разности частот:

|  |  |
| --- | --- |
| X2расч = , | (10) |

где L′′ – число интервалов после объединения интервалов.

X2расч=11,78137

По таблице Пирсона нашли теоретическое значение

X2теор = 7,29

Рд = 0,8 – доверительная вероятность.

Необходимо сравнить Χ2и Χ2T и сделать вывод. Если Χ2> Χ2T – гипотеза о нормальности отвергается; если Χ2≤ Χ2T – нет оснований отвергать гипотезу о нормальности.

X2расч ˃X2теор

Вывод: гипотеза о нормальном законе распределения для Rвх принимается.

*5. Проверка гипотезы о промахах*

Правило трех сигм.

Если , то R\*вх– промах.

Rmin = – 151,95 < (3\*0,92) = 2,78< 2,78 - промахи отсутствуют

Rmax = 154,73 – 157,51 < (3\*0,92) = 2,78< 2,78 - промахи отсутствуют

151,95 151,95 154,73 157,51 157,51

Rmax

Rmin

- 3σ

+ 3σ

*6. Запись результата измерения*

tcm = ( *p*, *v*)= 1,40 – коэффициент Стьюдента,

где Р – заданное значение доверительной вероятности; ν = − n' 1= ꚙ – число степеней свободы.

Границы случайной погрешности определяются по выражению:

|  |  |
| --- | --- |
| E = tcm  σcp | (11) |

Для определения границ случайной погрешности вычисляется оценка среднего квадратического отклонения среднего арифметического:

σcp = (12)

σcp = 0,92

E = 1,40 · 0,92= 1,288 Ом

Rвх =  ± Е (14)

Вывод: В ходе исследования случайной погрешности входного сопротивления электрической цепи путем моделирования многократных измерений были проведены расчеты параметров элементов схемы замещения. Из которых были определены результаты для каждого из представленных резисторов. После определения экспериментального закона распределения были определены: количество интервалов, шаг гистограммы и вероятность попадания случайной величины в интервал. По итогам проверки гипотезы о нормальном законе распределения, был сделан вывод, что гипотеза принимается. Выполнена проверка на промахи, в ходе которой выяснилось, что промахи отсутствуют.