**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра ИИСТ**

**отчет**

**по лабораторной работе №4**

**по дисциплине «Метрология и измерительная техника»**

**Тема: «Измерение частоты, периода и фазы»**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студенты гр. 3583 |  | Романова Е.П. |
|  |  | Алексеев В.С. |
| Преподаватель |  | Гелета А.А. |

Санкт-Петербург

2025

**Цель работы** *–* ознакомление с методами и средствами измерения частоты, временных интервалов, фазового сдвига и с методикой оценки погрешностей результатов измерений.

**Обработка результатов**

1. **Расчёт абсолютной и относительной погрешностей цифрового частотомера.**

Абсолютная погрешность цифрового частотомера рассчитывается по формуле (1), где Хизм – показания прибора, k – шаг квантования измеряемой величины

Относительная погрешность цифрового частотомера рассчитывается по формуле (2), где Хизм – показания прибора, ∆ – абсолютная погрешность.

Приведём пример расчётов абсолютной и относительной погрешностей для частоты 45 кГц:

* Время счёта 0,1 с; показания прибора Хизм = 44,9996; k = 0,0001.
* Время счёта 1 с; показания прибора Хизм = 44,99968; k = 0,00001.
* Время счёта 10 с; показания прибора Хизм = 44,999692; k = 0,000001.

Таблица 1 – Результаты измерения частоты

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Измеряемая величина f | Время счёта, с | Показания прибора, кГц | Абсолютная погрешность ∆, кГц | Относительная погрешность δ, % | Результат измерения  f ± ∆ |
| 1 кГц | 0,1 | 0,99999 | 0,00011 | 0,011 | 0,99999 ± 0,00011 кГц |
| 1 | 0,999993 | 0,000015 | 0,0018 | 0,999993 ± 0,000015 кГц |
| 10 | 0,9999931 | 0,000006 | 0,0006 | 0,9999931 ± 0,000006 кГц |
| 45 кГц | 0,1 | 44,99996 | 0,0003 | 0,0007 | 44,9999 ± 0,0003 кГц |
| 1 | 44,999968 | 0,00023 | 0,0005 | 44,99997 ± 0,00023 кГц |
| 10 | 44,9999692 | 0,00023 | 0,0005 | 44,99997 ± 0,00023 кГц |
| 198 кГц | 0,1 | 197,998 | 0,0019 | 0,0009 | 197,9980 ± 0,0019 кГц |
| 1 | 197,9986 | 0,0011 | 0,0006 | 197,9986 ± 0,0011 кГц |
| 10 | 197,99859 | 0,0009 | 0,0005 | 197,9986 ± 0,0009 кГц |
| 501 кГц | 0,1 | 500,996 | 0,004 | 0,0008 | 500,996 ± 0,004 кГц |
| 1 | 500,9964 | 0,0026 | 0,0005 | 500,9964 ± 0,0026 кГц |
| 10 | 500,99651 | 0,0025 | 0,0005 | 500,9965 ± 0,0025 кГц |
| 1 МГц | 0,1 | 0,99999 МГц | 0,00011 | 0,011 | 0,99999 ± 0,00011 МГц |
| 1 | 0,999993 МГц | 0,000015 | 0,0018 | 0,999993 ± 0,000015 МГц |
| 10 | 0,9999926 МГц | 0,000006 | 0,0006 | 0,9999931 ± 0,000006 МГц |

Таблица 2 – Результаты измерения периода

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Измеряемая величина Т | Время счёта, с | Показания прибора | Абсолютная погрешность ∆, | Относительная погрешность δ, % | Результат измерения  Т ± ∆ |
| 1,04 мс | 0,1 | 1,00000 мс | 0,000015 | 0,0015 | 1,000000 ± 0,000015 мс |
| 1 | 1,000006 мс | 0,000006 | 0,0006 | 1,000006 ± 0,000006 мс |
| 10 | 1,0000069 мс | 0,000005 | 0,0005 | 1,0000069 ± 0,000005 мс |
| 22 мкс | 0,1 | 22,2223 мкс | 0,00021 | 0,0009 | 22,22230 ± 0,00021 мкс |
| 1 | 22,22237 мкс | 0,00012 | 0,0005 | 22,22237± 0,00012 мкс |
| 10 | 22,222375 мкс | 0,00011 | 0,0005 | 22,22238 ± 0,00011 мкс |
| 5,1 мкс | 0,1 | 5,05054 мкс | 0,00004 | 0,0007 | 5,05054± 0,00004 мкс |
| 1 | 5,050540 мкс | 0,000026 | 0,0005 | 5,050540 ± 0,000026 мкс |
| 10 | 5,0505400 мкс | 0,000025 | 0,0005 | 5,050540 ± 0,000025 мкс |
| 2 мкс | 0,1 | 1,99602 | 0,000019 | 0,0009 | 1,996020± 0,000019 мкс |
| 1 | 1,996022 | 0,000011 | 0,0005 | 1,996022± 0,000011 мкс |
| 10 | 1,9960223 | 0,000010 | 0,0005 | 1,9960223 ± 0,000010 мкс |
| 1 мкс | 0,1 | 1,00000 мкс | 0,000015 | 0,0015 | 1,000000 ± 0,000015 мкс |
| 1 | 1,000006 мкс | 0,000006 | 0,0006 | 1,000006 ± 0,000006 мкс |
| 10 | 1,0000073 мкс | 0,000005 | 0,0005 | 1,0000069 ± 0,000005 мкс |

Для измерения периода с помощью осциллографа воспользовались формулой (3), где – время развёртки, – число клеток на период:

Относительная погрешность измерения периода (4):

где – относительная погрешность коэффициента развертки, – относительная погрешность нелинейности развертки, – относительная визуальная погрешность измерения длительности

Для определения действительного коэффициента развертки возьмём выражение:

где – частота входного сигнала, при котором на экране осциллографа наблюдались его целых периодов; – размер изображения целых периодов.

Визуальная погрешность измерения длительности:

где – размер измеряемого изображения по горизонтали, в делениях; – абсолютная погрешность оценки

Нелинейность развёртки (в процентах) определим отношением

где – разность размеров изображений полупериодов сигала, а – размер изображения полупериода в центре экрана.

Приведём пример вычисления относительной погрешности измерения периода T = 22 мкс:

Таблица 3 – Относительная погрешность измерения периода

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Измеряемая частота | Период Т | Относительная погрешность δ, % |
| 1 кГц | 1,04 мс | 5,6 |
| 45 кГц | 22 мкс | 2 |
| 198 кГц | 5,1 мкс | 2 |
| 501 кГц | 2 мкс | 2,2 |
| 1 МГц | 1 мкс | 1 |

1. **Измерение фазового сдвига.**

Измерить фазовый сдвиг с помощью осциллографа можно двумя способами.

Первый способ заключается в сравнении изображений входного и выходного сигналов. По формуле (7) определим фазовый сдвиг:

где τ = kрLτ – значение временного запаздывания напряжения U2 по отношению к U1; Т = kрLТ – значение периода; kр – установленный коэффициент развёртки



Рассчитаем относительную погрешность фазового сдвига δφ:

где – относительные погрешности измерения τ и Т.

Рассчитаем относительную погрешность измерения периода Т по формуле (4):

В итоге получим:

Рассчитаем предельное значение абсолютной погрешности ∆φ:

Сдвиг фаз входного и выходного сигнала при расчёте первым способом составил 148º ± 7º.

Второй способ основан на применении фигуры Лиссажу



Определим фазовый сдвиг φ по формуле (10):

Погрешность размеров отрезков А и В составляет толщину линии b.

Диапазон, в котором находится истинное значение φ, ограничен нижней φн и верхней φв границами

Определим погрешности фазового сдвига:

В итоге фазовый сдвиг составляет:

**Вывод:** в ходе выполнения лабораторной работы мы измерили частоты и периоды разными приборами: цифровым частотомером и осциллографом. Универсальный цифровой частотомер обладает гораздо более низкой погрешностью, чем осциллограф (максимальное значение равно 0,011%, в то время как погрешность осциллографа около 5,6 %), его погрешность гораздо легче рассчитывать. Также было обнаружено, что с увеличение времени счёта частотомера абсолютная и относительная погрешности уменьшаются.

Вывод Ксюши для вдохновенья:

В лабораторной работе был измерен фазовый сдвиг входного и выходного сигналов при частоте 1100 Гц двумя методами: с помощью сравнения изображений самих сигналов и с помощью фигур Лиссажу. Первый способ нагляден и интуитивно понятен, но оценить погрешность при его использовании сложнее, чем при использовании второго. Расчёт фазового сдвига при помощи фигур Лиссажу требует меньше параметров, однако сначала нужно проверить правильность настройки осциллографа чтобы избежать инверсии.