|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| МИНОБРНАУКИ РОССИИ |
| ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**«МИРЭА – Российский технологический университет»**РТУ МИРЭА |

**Филиал РТУ МИРЭА в г. Фрязино**

**Кафедра общенаучных дисциплин**

В.И. Шаповалов, С.А. Смирнова. Е.Н. Павленко, Н.Ю. Мартынюк

**КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ. ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ КОСВЕННЫХ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Метрология, стандартизация, сертификация» и «Метрология, стандартизация и технические измерения».

Фрязино 2019

**Введение**

Государственная система обеспечения единства измерений базируется на строгом соблюдении критериев и выполнении требований этого обеспечения, и одними из важнейших являются требования к определению результатов и оценке погрешностей измерений (1-4). Перед проведением тех или иных измерений необходимо их классифицировать, учитывая вид измеряемой физической величины, характер ее зависимости от различных факторов (время, среда. виды воздействий и т.д.). При классификации измерений по способу получения результатов их относят к прямым, косвенным, совокупным и совместным, причем различие между ними весьма условно, так как, например, совокупные измерения можно рассматривать как обобщение прямых, а совместные - как обобщение косвенных. Поэтому определение результатов измерений и оценка их погрешностей во многом зависит от вида измерений, метода и методики измерений, класса точности, поверки или калибровки необходимых средств измерений, причем обязательным является применение узаконенных единиц измерений, выполнение условий правильности и достоверности измерений (учет и сопоставление всех видов погрешностей, их влияние на форму записи результатов измерений), см.(1-4).

Наряду с прямыми (однократными и многократными) измерениями часто выполняются косвенные измерения, при которых значение физической величины находят на основании известной функциональной зависимости между этой величиной и величинами (аргументами этой функции), значения которых получены в результате прямых, желательно, равноточных измерений (однократных или многократных) и в одинаковых условиях. Особенность косвенных измерений заключается в том, что величина вклада отдельных погрешностей измерения аргументов в погрешность результата зависит от вида функции.

Оценка погрешности косвенных измерений базируется на двух теоремах теории погрешностей измерений. При линейных косвенных измерениях (теорема 1) искомая величина определяется на основании известной ее линейной зависимости от аргументов, а при нелинейных косвенных измерениях (теорема 2) искомая величина определяется на основании известной ее нелинейной функциональной зависимости от аргументов. Так как в этом случае результаты измерений аргументов подвергаются функциональным преобразованиям, то это, с позиций теории вероятности относительно функциональных преобразования случайных величин, приводит к изменению законов их распределения и значительным математическим трудностям при определении закона распределения погрешности результата. Поэтому при нелинейных косвенных измерениях интервальные оценки погрешности результата не используют, а ограничиваются приближенной верхней оценкой ее границ. В основе такой оценки лежит линеаризация функции и дальнейшая обработка результатов, как в случае линейных косвенных измерений (4).

При проведении невоспроизводимых косвенных измерениях, когда невозможно повторить наблюдения в тождественных условиях относительно одного или нескольких аргументов «измеряемой функции» (например, различные критические ударные воздействия, устойчивость к воздействию спец-факторов и т.д.), определяют значение искомой функции при найденных экспериментальных значениях аргументов для каждого из множества возможных при этом невоспроизводимых наблюдений, и обработку результатов измерений проводят, как для прямых многократных измерений (2 -3).

Косвенные измерения нашли широкое применение не только в области прикладного использования, но и при научных (теоретических и экспериментальных) исследованиях, выполнении НИР и ОКР в НИИ и на предприятиях, в лабораторной практике систем образования любого уровня. Возможности для этого подкреплены современной методической и инструментальной базой с обеспечением на основе как аналоговой, так и цифровой методологии, совершенного ПО и САПР, позволяющих вести обучение и повышать квалификацию специалистов. При таком подходе совершенствуются и традиционные классические методы исследований, одними из которых является осциллографические методы косвенных измерений, когда значение искомой величины (частота, фазовый сдвиг, коэффициент модуляции и т.д.) находят путем прямых измерений параметров формируемых на экране осциллографа изображений, функционально связанных с искомой величиной, а затем по этой функциональной связи находят значение искомой величины после обработки результатов этих косвенных измерений (оценка погрешностей, их особенности, виды записи результатов измерений).

**Цель работы.**

Реализация метода осциллографических методов измерений параметров сигналов с амплитудной (АМ) и (или) частотной (ЧМ) модуляцией и косвенных измерений (определений) параметров модуляции этих сигналов, а также обработка результатов этих измерений.

**Постановка задачи.**

1. Изучить информацию о характеристиках измерений, методах измерений, а также о методах обработки результатов измерений, особенно результатов косвенных измерений.

2. Ознакомиться с экспериментальной установкой, изучить метрологические характеристики применяемых средств измерений.

3. Провести прямые многократные измерения частоты моделируемого и моделирующего сигналов, их амплитуд (получить на экране осциллографа изображения АМ и ЧМ – сигналов в режимах линейной и синусоидальной разверток).

4. Ознакомиться с методикой и обработать результаты прямых многократных измерений частот и амплитуд моделируемого и модулирующего сигналов (оценка погрешностей, запись результатов этих измерений) с помощью прилагаемой ТД и ПО.

5. Используя метрологические характеристики применяемых средств измерений (чувствительность, амплитудные и временные характеристики, нелинейность преобразователей сигналов без элементов самокалибровки) и функциональные зависимости (формулы), связывающие аргументы (результаты прямых многократных измерений) и сами функции (коэффициент модуляции и т. д.), провести расчеты и записать полученные результаты в Таблицы данных.

6. С помощью методики обработки результатов косвенных измерений оценить погрешности косвенных измерений параметров модуляции и записать в необходимой форме результаты этих косвенных измерений в Таблицы данных.

**Лабораторный комплекс NI EL.VIS 11 для проведения осциллографических измерений параметров сигналов.**

1. Модуль анализатора спектра с программным интерфейсом на основе Lab. VIEW.

2. Модуль цифрового двухканального осциллографа с программным интерфейсом на основе Lab. VIEW.

 3. Модуль функционального генератора сигналов с программным интерфейсом на основе Lab. VIEW/

4. Программное обеспечение для автоматизации математических расчетов Mathcad.

**Подготовка и проведение измерений.**

1. Выбрать из меню лаб. комплекса NI EL.VIS 11 необходимые виртуальные средства измерений, установить АМ и ЧМ изображения сигналов, установить заданные параметры модуляции, записать значения чувствительности каналов по осям, калибровки ортогональной системы меток.

 2. Выбрать изображение, согласовать его вид и размеры по осям, провести прямые многократные измерения (не менее 5 в каждой из 4 групп) параметров сигналов, свести их, а также параметр модуляции М из установок на экране в Таблицу 1. При этом:

 (1)

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Измеренные значения параметров сигналов | Значение коэффициента модуляции измеренное | Значение коэффициента модуляции устанавливаемое |
| A | B | Mизм | Mуст |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Задание к расчетной части**

Задача расчетной части - дать оценку истинного значения измеряемой величины и определить погрешность этой оценки.

Обработка результатов косвенных многократных измерений в общем случае сводится к следующему:

1)исключить наличие до измерений, устранить из результата неисправленного измерения систематическую погрешность (ее составляющие), зафиксировать исправленный результат измерения;

2) определить среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение исправленных результатов измерений всей (одной) группы измерений;

3) проверить в результатах измерений наличие грубых погрешностей (промахов) с помощью одного из критериев ;



4) определить оценки истинных значений параметров с учетом исключения промахов; . 5. Провести многократные измерения (5 в каждой из 4 групп), найти среднее арифметическое в группе, усреднить эти значения и получить среднее квадратическое отклонение этих средних арифметических каждой группы. Это будет точечная оценка случайной погрешности результата многократных измерений параметра; 6) определить доверительные границы (интервальная оценка) случайной погрешности результатов измерений для Р=0.95.;

7)Вычислить границы суммарной не исключенной систематической погрешности результата измерений (погрешности метода, средств измерений, поправки) как суммы независимых случайных величин (в соответствии с п.1) 8. Проанализировать соотношение между не исключенной систематической и случайной погрешностями и оценить доверительные границы суммарной погрешности результата измерения параметра. 9.Записать окончательный результат измерения параметра в соответствии с требованиями (1-4) . 10. Провести измерения по п.п. 1-9 для параметров (аргументов) А и В и определить результат косвенных измерений, как оценка параметра М=f(A,B)..

**Порядок обработки**

1. Доверительные границы не исключенной систематической погрешности j - го параметра определяются по формуле:

$∆\_{j}(P)=k\left(P\right)∆\_{j}$ (6)

где k(Р) - коэффициент, зависящий от доверительной вероятности Р.

Для наиболее употребительных значений Р, равных 0,90 и 0,95, рекомендуется принимать значения k(Р) равные 0,95 и 1,1 соответственно, j - индекс измеряемого параметра.

При определении ∆j , а в данном случае это погрешность калибровки ±∆k, следует использовать оценки истинных значений параметров, полученных в п.4:

$$∆\_{j}=∆\_{k}=δ\overbar{a}$$

$δ$ - класс точности осциллографа (см. таблицу паспортных данных ).

1. Среднее арифметическое результатов измерений (в группе)

$\leftharpoonaccent{a}=\frac{\sum\_{i}^{}a\_{i}}{n} $, $i=\leftharpoonaccent{1,n}$ (7)

где n - число проделанных измерений.

Среднее квадратическое отклонение результата отдельного измерения (в группе)

 $σ=\sqrt{\frac{\sum\_{i}^{}x\_{i}^{2}}{n-1}}$, (8)

где $x\_{i}=a\_{i}-\leftharpoonaccent{a}$. (9)

3. Для исключения грубых погрешностей необходимо:

- проверить, нет ли в полученных результатах измерений какого-либо результата заметно отличающегося от всех остальных. Если есть, то, прежде всего, следует проверить, нет ли описки, ошибки в снятии показаний, то есть грубых промахов. Если промахи не установлены, то перейти к следующему пункту;

- определить вероятность того, что отличающийся результат $(а \_{i}^{'})$ является грубой погрешностью. Для этого необходимо:

- вычислить меру отклонения результата $а \_{i}^{'}$ от среднего арифметического

$τ=\frac{\left|а \_{i}^{'}-\leftharpoonaccent{a}\right|}{σ}$ ; (10)

- определить по таблице приложения значение граничной меры $τ(P;n)$, соответствующей числу проделанных измерений n и доверительному уровню вероятности Р;

- сравнить вычисленную меру $τ$ с $ τ(P;n)$ и если $τ> τ(P;n)$, то результат $а \_{i}^{'}$ исключают.

4. За оценку истинных значений параметров следует принять их средние арифметические (естественно, после исключения результата $а \_{i}^{'}$), а средние квадратические отклонения этих оценок равны (после многократных измерений (5 в каждой из 4 групп)) находится среднее в каждой группе, они (средние в группе) усредняются и получают среднее квадратическое отклонение среднего арифметического каждой группы

$σ\_{\leftharpoonaccent{a}}=\frac{σ}{\sqrt{n}}$ , (11)

где n - число проделанных измерений, но теперь уже за исключением грубой погрешности. Это есть точечная оценка случайной погрешности многократных измерений. 6. Вычислить доверительный интервал случайной погрешности многократных измерений (статистическая обработка). 7. Проанализировать соотношение между доверительными границами погрешностей, оценить доверительные границы суммарной погрешности результата измерения параметра (аргумента). 8.Записать общий результат измерения параметра (аргумента). 9. Провести измерения по п..1-8 для каждого параметра (аргумента) А и В.

 10. За оценку истинного значения косвенно измеряемой величины принимают $\leftharpoonaccent{M}=f(\leftharpoonaccent{A},\leftharpoonaccent{B})$ , где $\leftharpoonaccent{A}$ и $B$ - оценки истинных значений (средние арифметические) измеренных параметров изображений АМ-сигнала.

Средняя квадратическая погрешность полученной оценки

$σ\_{\leftharpoonaccent{M}}=\sqrt{\left(\frac{∂f}{∂A}\right)\_{0}^{2}}∂\frac{2}{A}+\left(\frac{∂f}{∂B}\right)\_{0}^{2}∂\frac{2}{B}$ , (12)

где $\left(\frac{∂f}{∂A}\right)\_{0}$и $\left(\frac{∂f}{∂B}\right)\_{0}$- частные производные функции по соответствующим аргументам при их средних значениях.

6. Доверительные границы случайной погрешности $σ\_{\leftharpoonaccent{M}}$ определяются как

$ε \left(P\right)= \pm t\_{p}\*σ\_{\leftharpoonaccent{M}}$ (13)

где $t\_{p}$ - коэффициент нормального распределения, зависящий от заданной доверительной вероятности Р (см. табл, приложения).

Доверительные границы общей погрешности определяются по следующему соотношению

$θ \left(P\right)=G\left[∆\left(P\right)+ ε(P)\right]$. (14)

$∆\left(P\right)$ определяется в соответствии с соотношением

$∆\left(P\right)= \sqrt{\sum\_{j}^{}\left(\frac{∂f}{∂a\_{j}}\right)\_{0}^{2}∆\_{j}^{2}(P)}$ , (15)

где $∂a\_{j}≡A и B$.

$G$ - коэффициент, зависящий от доверительной вероятности $P$ и соотношения

$r=\frac{∆(P)}{σ\_{\leftharpoonaccent{M}}}$ (16)

Если $r< 0,8$ , то систематической погрешностью пренебрегают, т.е. $∆(P)$ принимают равным 0, a $G= 1$.

Если $r> 8$, то пренебрегают случайной погрешностью и принимают $ε \left(P\right)=0$, а $G= 1$.

Если $0,8<r< 8 $, то учитывают обе составляющие, принимают $G \~ 0,8 $ и определяют $θ \left(P\right)$ по формуле (14).

7. Окончательный результат записывают в следующем виде:

$M\_{изм}= \leftharpoonaccent{M}\pm θ \left(P\right);P$ (17)

Расчётные данные свести в таблицу 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| $$M\_{уст}$$ | № | $$A\_{i}$$ | $$B\_{i}$$ | $$\leftharpoonaccent{A}$$ | $$\leftharpoonaccent{B}$$ | $$σ\_{\leftharpoonaccent{A}}$$ | $$σ\_{\leftharpoonaccent{B}}$$ | $$\leftharpoonaccent{M}$$ | $$σ\_{\leftharpoonaccent{M}}$$ | $$θ \left(P\right)$$ | $$M\_{изм}$$ |
|  | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |
| ... |  |  |
| n |  |  |

Сравнить установленное значение $M\_{уст}$ с измеренным $M\_{изм}$, оценить степень их близости, проанализировать данные таблицы и сделать соответствующие выводы. Коэффициент t(Р=0.95)=1.960; t(Р=0.99)=2.576. Коэффициент r(Р=0,95; n=5)=1.87; r(P=0,99, n=5)=1,96

**Контрольные вопросы.**

1. Какие измерения называются прямыми ?

2. В чем различие между исправленными и неисправленными результатами измерений?

3. Что такое «грубый промах» и как он влияет на результат измерений?

4. Виды погрешностей результатов измерений.

5. Компоненты систематических погрешностей. Исключаемые и неисключаемые систематические погрешности.

6. Чем отличается обработка прямых однократных от прямых многократных измерений, порядок проведения обработки.

7. В каком виде записывают результаты прямых однократных и прямых многократных измерений?

8. Какие измерения называют косвенными?

9. В чем суть линейных, нелинейных, невоспроизводимых косвенных измерений?

10. Порядок обработки результатов косвенных измерений, вид записи результатов этих измерений.

11. В чем суть метода калиброванных шкал?

12. Какими параметрами характеризуются амплитудно - модулированный (АМ) и частотно – модулированный (ЧМ) сигналы?

13. Какими параметрами характеризуется чувствительность осциллографа, чувствительность (разрешение) анализатора спектра, как их узнать?

**Дополнительные вопросы для подготовки к отчетам по лабораторным работам.**

1. Виды поверок и способы их выполнения.

2. Виды погрешностей.

3. Виды распределений случайных погрешностей.

4. Государственные и ведомственные поверочные схемы.

5. Государственные стандарты и стандарты организаций.

6. Государственные испытания средств измерений.

7. Градуировка средств измерений как способ уменьшения систематической погрешности.

8. Градуировка средств измерений, градуировка условной шкалы.

9. Градуировка средств измерений, индивидуальная градуировка шкал.

10. Градуировка средств измерений, типовая шкала.

11. Дополнительные, кратные и дольные единицы физических единиц.

12. Калибровка средств измерений.

13. Классификация видов измерений.

14. Классы точности средств измерений.

15. Международная система единиц (СИ).

16. Международные организации по стандартизации.

17. Метрологические характеристики средств измерений.

18. Метрология как наука об измерениях.

19. Нормирование для нормальной и рабочей области эксплуатации средств измерений.

20. Нормирование метрологических характеристик средств измерений.

21. Общие методы измерений, дифференциальный метод.

22. Общие методы измерений, метод замещения.

23. Общие методы измерений, метод непосредственной оценки.

24. Общие методы измерений, метод противопоставления.

25. Общие методы измерений, метод совпадений.

26. Общие методы измерений, модификации метода сравнения с мерой.

27. Случайные погрешности, способы их оценки.

28. Организация метрологической службы в России.

29. Организация служб метрологического контроля и надзора.

 30. Производные и дополнительные единицы физических величин в системе СИ.

30. Основные характеристики измерений.

33. Параметрическая стабилизация средств измерений.

34. Регламентирование методик проведения измерений.

**Основная и дополнительная литература.**

Основная литература:

1. ГОСТ Р 8.736 – 2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
2. РМГ 29-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.
3. Р50.2.038-2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопре-деленности результатов измерений.
4. МИ 2083-90. (Актуализация 01.01.2019г.) Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
5. Колчков В.И. Метрология, стандартизация и сертификация. М. МАДИ.2015.
6. Аристов А.И. и др. Метрология, стандартизация и сертификация. Уч. Пособие., М., Центр “Академия”. 2013.
7. Сигов А.С., Нефедов В.И. Метрология. Стандартизация и технические измерения. ОАО “Изд. “Высшая школа”, 2008.
8. КрыловаГ.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. М. ЮНИ-ТИ, 2007.

Дополнительная литература:

1. Анциферов С.С. Оценка точности косвенных осциллографических измерений. Метод. указания к лаб. работе. М., МИРЭА, 2006 г.

2. Аксенова Е.Н. Элементарные способы оценки погрешностей прямых и кос-венных измерений. Уч. Пособие. Изд. МИФИ, 2011г.

3. Сайт Росстандарта: http://www.gost.ru/.

**Программное обеспечение, необходимое для осуществления лабораторного процесса:**

* MS Office.
* Adobe Acrobat Reader DC.
* Windows 7.
* Nixicon 1.10.
* Keysight 89600 Software 20.2.
* Keysight IO Libraries Suite 17.1.
* Mathйcad prime 3.1.

**Материально-техническая база, необходимая для осуществления лабораторного процесса:**

* Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и практического типа, оснащенная мультимедийным оборудованием
* Компьютерный класс, оснащенный мультимедийной и компьютерной техникой;
* Учебная лаборатория метрологии, стандартизации технических измерений и основ надежности
* Учебная лаборатория метрологии, стандартизации технических измерений и основ надежности оснащена:
* Аппаратно-программный лабораторный комплект «Цифровые ВЧ системы» фирмы DreamCatcher ME1100 Digital RF Communications
* СВЧ-анализатор цепей серии PNA-L фирмы Keysight N5232A PNA-L Microwave Network Analyzer, 300KHz-20GHz
* СВЧ-анализатор цепей серии PNA-L фирмы Keysight N5235A PNA-L Microwave Network Analyzer, 10MHz-50GHz
* Генератор сигналов фирмы Keysight №9310A RF Signal generator 9KHz 3.0GHz
* Анализатор коэффициента шума серии NFA фирмы Agilent №8975A Series Noise Figure Analyzer 10MHz-26,5GHz
* Анализатор сигналов PXA фирмы Keysight №9030А PXA Signal Ana-lyzer 3Hz 50GHz
* Мультиметр цифровой фирмы Precision Mastech Enterprises Digital multimeter MY64
* Цифровой мультиметр серии Truevolt, 6½ разрядов, фирмы Keysight 34461A Digital multimeter
* Цифровой осциллограф фирмы Siglent SDS 1022DL 25 MHz
* Цифровой осциллограф фирмы Agilent InfiniiVision DSO-X 2012A Mixed Signal Oscilloscope 100MHz
* Ручной анализатор спектра фирмы Keysigh №9342СHandheld Spec-trum Analyzer 100kHz-7,0GHz.
* Генератор сигналов высокочастотный ГЧ-109 №18035
* Блок питания: лабораторный программируемый фирмы Keysight E3633A
* Блок питания лабораторный программируемый фирмы Keysight E3634A
* Стандартный механический калибровочный комплект фирмы Keysight 85056A mechanical calibration kit
* Механический калибровочный комплект фирмы Keysight X11644A волноводный, WR-90 (8,2ГГц до 12,4 ГГц,)
* Системный блок NIX Computer Minitower (Intel(R) Core (TM) i5-4590CPU@3.30GHz / 8,00 ГБ)
* Мониторы ASUS VW22A
* Комната для самостоятельной работы, оснащенная персональным компьютером с выходом в интернет и обеспеченная доступом в электронную информационно-образовательную среду
* Набор демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий.