

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

В.И. ПРОКОПЬЕВ, Д.Е. ПРАПОРЩИКОВ

**ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ
ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Методические указания
по выполнению лабораторной работы №6

Самара
2019

УДК 53.083.5

ББК 32.842-5

П

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ, протокол
№ 59, от 14.05.2019 г.

Прокопьев, В.И., Прапорщиков, Д.Е.

П Измерение частоты осциллографическими методами: методические указания по выполнению лабораторной работы №6 / В.И. Прокопьев, Д.Е. Прапорщиков. – Самара: ПГУТИ, 2019. – 15 с.

В учебно-методической разработке приводятся теоретические основы осциллографических методов измерения частоты, реализующих метод совпадений. В результате выполнения лабораторной работы студенты приобретают практические навыки измерения частоты с помощью электронного осциллографа.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных занятий у студентов 3 курса, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профили подготовки “Оптические и проводные сети и системы связи” и “Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа” и 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика, профиль подготовки “Оптические и квантовые технологии в телекоммуникациях”.

©, Прокопьев В.И., 2019
©, Прапорщиков Д.Е., 2019

Цель работы

Изучение осциллографических методов измерения частоты гармонических колебаний и приобретение практических навыков в измерениях на основе изученных методов.

Литература

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах [Текст]: учеб. для вузов / ред. В.И. Нефедов. – М.: Высшая школа, 2005. – 599 с.

2. Хромой, Б.П. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах. Том 1 [Текст]: учеб. для вузов / Б.П. Хромой. – М.: ИРИАС, 2007.

3. Тихонов, Б.Н. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах [Текст]: учеб. пособие для вузов / Б.Н. Тихонов, И.А. Ходжаев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2017. – 398 с.

4. Хромой, Б.П. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учеб. для вузов / Б.П. Хромой. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2018. – 432 с.

5. Аминев, А.В. Измерения в телекоммуникационных системах [Текст]: учеб. пособие / А.В. Аминев, А.В. Блохин. – Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2015. – 224 с.

6. Косова, А.Л. Метрология в вопросах и ответах [Текст] / А.Л. Косова, В.С. Баскаков, В.И. Прокопьев. – Самара: ИНУЛ ПГУТИ, 2011. – 168 с.

7. Конспект лекций по учебной дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://lsits.psuti.ru/lectures/mss.html>, свободный – Загл. с экрана.

Подготовка к работе

1. Изучить осциллографические методы измерения частоты, которые реализуют способ совпадений.

2. Подготовить конспект с краткими ответами на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Метод совпадений, признаки.
2. Понятие частоты, определение погрешности и нестабильности частоты.
3. Измерение частоты гармонических колебаний методом линейной развертки с генератором образцовой частоты.
4. Измерение частоты гармонических колебаний методом синусоидальной развертки.
5. Измерение частоты гармонических колебаний методом круговой развертки с генератором образцовой частоты.
6. Частотный диапазон и погрешности осциллографических методов измерения гармонических колебаний.

Содержание работы

1. Произвести измерение неизвестных частот:
 - методом синусоидальной развертки;
 - методом линейной развертки с генератором образцовой частоты;
 - методом круговой развертки с генератором образцовой частоты;
 - цифровым частотомером.
2. Осуществить обработку полученных экспериментальных данных.
3. Сделать выводы по погрешностям измерения частоты осциллографическими методами.
4. Подготовить письменный отчет.

Содержание отчета

1. Титульный лист с указанием учебного заведения, кафедры, наименованием работы, Ф.И.О. студента, номера учебной группы.
2. Цель работы.
3. Используемые приборы и принадлежности.
4. Упрощенные структурные схемы измерительных установок.
5. Краткое описание экспериментов.
6. Формулы и расчеты.
7. Таблицы с экспериментальными данными и результатами расчетов.
8. Выводы по погрешностям измерения частоты.

Порядок выполнения работы

Исходные данные для выполнения лабораторной работы выбираются в соответствии с номером бригады из таблицы 1.

Таблица 1. Исходные данные

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
№ риски неизвестной частоты на частотном лимбе генератора ГЗ-33	1	2	1	3	1	2	3	1
	4	5	3	4	4	5	4	3
	8	7	4	6	8	9	6	6
	9	9	10	8	11	12	12	7
Напряжение на выходе генератора ГЗ-33, $U_{изм}$, В	8	9	7	9	8	7	8	9
Напряжение на выходе генератора ГЗ-123, $U_{обр}$, В	8	10	8	9	9	10	8	10

1. Измерение неизвестных частот гармонических колебаний методом синусоидальной развертки.

1.1. Собрать измерительную установку (рис. 3 Приложения). Для этого сигнал с неизвестной частотой $f_{изм}$ от генератора ГЗ-33 подключить ко входу “У”, а сигнал с известной частотой $f_{обр}$ от образцового генератора ГЗ-123 – ко входу “Х” осциллографа GOS-620. Переключатель “TIME-DIV” выкрутить против часовой стрелки до ограничения в положение “Х-У”, тем самым переводя осциллограф в режим синусоидальной развертки.

1.2. Включить приборы и прогреть их в течение 5 минут.

1.3. Установить номер риски и напряжение источника сигнала искомой частоты ГЗ-33 согласно таблице 1.

1.4. Установить на выходе образцового генератора ГЗ-123 напряжение $U = 8 \dots 10$ В согласно таблице 1.

1.5. Переключатели чувствительности каналов “Х” и “У” VOLTS/DIV поставить в положение 5 В (5 V).

1.6. Ступенчато изменяя частоту генератора ГЗ-123, начиная со старших декад и последовательно переходя к младшим декадам, добиться неподвижной или медленно перемещающейся фигуры Лиссажу на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).

1.7. Зарисовать полученную фигуру для заданной риски и записать частоту образцового генератора в таблице 2.

1.8. Подать сигнал с неизвестной частотой на вход “А” цифрового частотомера и записать в таблицу 2 действительное значение искомой частоты $f_{ч}$.

Таблица 2. Экспериментальные данные, полученные методом синусоидальной развертки

№ риски				
Вид фигуры Лиссажу				
$f_{обр}$, Гц				
$f_{ч}$, Гц				

1.9. Задать новое значение риски и повторить шаги 1.6-1.8. Занести все экспериментальные данные в таблицу 2.

1.10. Рассчитать неизвестные частоты с помощью соотношения:

$$f_{обр} \cdot n_x = f_{изм} \cdot n_y,$$

где $f_{обр}$ – частота сигнала образцового генератора, подаваемого на вход “X”;

$f_{изм}$ – неизвестная частота сигнала, подаваемого на вход “Y”;

n_x – число пересечений фигуры Лиссажу с горизонталью;

n_y – число пересечений фигуры Лиссажу с вертикалью.

Горизонтальные и вертикальные линии проводят таким образом, чтобы они не проходили через узлы фигуры (рис. 4 Приложения).

1.11. Рассчитать абсолютные и относительные погрешности измерения искомой частоты по формулам:

$$\Delta f = f_{изм} - f_{ч},$$

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_{ч}} \cdot 100\%$$

и занести результаты расчетов в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты расчетов для метода синусоидальной развертки

№ риски				
$f_{ч}$, Гц				
$f_{изм}$, Гц				
Δf , Гц				
δ_f , %				

2. Измерение частоты методом линейной развертки с генератором образцовой частоты.

2.1. Собрать измерительную установку (рис. 1 Приложения). Для этого сигнал неизвестной частоты $f_{изм}$, генерируемый ГЗ-33, подается на любой из входов осциллографа: СН1“X” или СН2“Y”. Сигнал образцовой

частоты $f_{обр}$ поступает на вход канала управления яркостью “Z”, расположенного на задней панели осциллографа.

2.2. Установить первое значение риски из исходных данных на генераторе ГЗ-33.

2.3. Осциллограф перевести в режим линейной развертки наблюдаемого сигнала. Для этого:

- переключатель синхронизации SOURCE поставить в положение CH1 или CH2 в зависимости от того, на какой вход CH1“X” или CH2“Y” подан сигнал с измеряемой частотой;

- переключатель режима работы MODE осциллографа поставить в аналогичное положение;

- переключатель “TIME-DIV” поставить в положение, позволяющее наблюдать на экране 1-2 периода измеряемого сигнала;

- ручкой Уровень (LEVEL) по необходимости обеспечить синхронизацию осциллограммы, т.е. появление устойчивого изображения.

2.4. Ступенчато изменяя частоту генератора ГЗ-123, начиная со старших декад и последовательно переходя к младшим декадам, добиться того, чтобы синусоида на экране состояла из неподвижных дуг (яркостных меток).

2.5. Сосчитать количество меток n , приходящихся на один период исследуемого сигнала (рис. 2 Приложения), и занести это значение в таблицу 4. Сюда же записать частоту образцового генератора – $f_{обр}$.

2.6. Подключить генератор ГЗ-33 к входу “А” цифрового частотомера и внести в таблицу 4 действительное значение измеряемой частоты $f_{ч}$.

2.7. Задать новые значения риски генератора ГЗ-33 и повторить шаги 2.4-2.6. Записать все экспериментальные данные в таблицу 4.

Таблица 4. Экспериментальные данные, полученные методом линейной развертки с генератором образцовой частоты

№ риски				
Количество меток n				
$f_{обр}$, Гц				
$f_{ч}$, Гц				

2.8. Рассчитать неизвестные частоты $f_{изм}$ по формуле:

$$f_{изм} = \frac{f_{обр}}{n}$$

и определить абсолютную:

$$\Delta f = f_{изм} - f_{ч}$$

и относительную погрешность измерения частоты:

$$\delta f = \frac{\Delta f_{изм}}{f_{Ч}} \cdot 100 \%.$$

2.9. Результаты расчетов свести в таблицу 5.

Таблица 5. Результаты расчетов для метода линейной развертки с генератором образцовой частоты

№ риски				
$f_{Ч}$, Гц				
$f_{изм}$, Гц				
Δf , Гц				
δ_f , %				

3. Измерение частоты методом круговой развертки с генератором образцовой частоты

3.1. Собрать измерительную установку (рис. 5 Приложения). Для этого сигнал с неизвестной частотой $f_{изм}$ подается на вход фазовращателя (ФВ), выходы "X" и "Y" которого подключаются на входы "X" и "Y" осциллографа соответственно. Сигнал образцовой частоты $f_{обр}$ поступает на вход канала управления яркостью "Z", расположенного на задней панели осциллографа.

3.2. Переключатель "TIME-DIV" выкрутить против часовой стрелки до ограничения в положение "X-Y", тем самым переводя осциллограф в режим синусоидальной развертки.

3.3. Установить первое значение риски из исходных данных на генераторе ГЗ-33.

3.4. Переключатели чувствительности каналов "X" и "Y" VOLTS/DIV поставить в положение 5 В (5 V).

3.5. Регулируя яркость и четкость луча ручками INTEN и FOCUS, добиться появления на экране осциллограммы в виде окружности или овала.

3.6. Ступенчато изменяя частоту генератора ГЗ-123, начиная со старших декад и последовательно переходя к младшим декадам, добиться того, чтобы полученная на экране окружность состояла из неподвижных или медленно перемещающихся яркостных дуг (меток).

3.7. Сосчитать количество меток n на окружности и занести это значение в таблицу 6. Сюда же записать полученную частоту образцового генератора $f_{обр}$.

3.8. Подключить генератор ГЗ-33 к входу "А" цифрового частотомера и записать в таблицу 6 действительное значение измеряемой частоты $f_{Ч}$.

3.9. Задать новые значения риски генератора ГЗ-33 и повторить шаги 3.6-3.8. Записать все полученные экспериментальные данные в таблицу 6.

Таблица 6. Экспериментальные данные, полученные методом круговой развертки с генератором образцовой частоты

№ риски				
Количество меток n				
$f_{обр}$, Гц				
$f_{ч}$, Гц				

3.10. Рассчитать неизвестные частоты $f_{изм}$ по формуле:

$$f_{изм} = \frac{f_{обр}}{n}$$

и определить абсолютную:

$$\Delta f = f_{изм} - f_{ч}$$

и относительную погрешность измерения частоты:

$$\delta f = \frac{\Delta f_{изм}}{f_{ч}} \cdot 100 \%$$

3.11. Результаты расчетов записать в таблицу 7.

Таблица 7. Результаты расчетов для метода круговой развертки с генератором образцовой частоты

№ риски				
$f_{ч}$, Гц				
$f_{изм}$, Гц				
Δf , Гц				
δf , %				

3.12. Сделать выводы о точности рассматриваемых осциллографических методов измерения частоты по результатам расчета погрешности измерения частоты в каждом случае. При любых осциллографических измерениях погрешность в 5-10% считается допустимой.

Приложение

Наличие у аналогового электронного осциллографа трех каналов управления лучом – яркостью и перемещением по вертикали и горизонтали – позволяет собрать измерительные установки для определения частоты гармонического сигнала, реализующие метод сравнения с мерой, а именно метод совпадений, когда соотношение между измеряемой $f_{изм}$ и известной $f_{обр}$ частотами записывается с помощью простого выражения вида:

$$\frac{f_{изм}}{f_{обр}} = \frac{m}{n},$$

где $f_{изм}$ – искомое значение частоты;

$f_{обр}$ – известное значение частоты сигнала, вырабатываемого образцовым генератором;

m и n – целые числа, определяемые из анализа полученной осциллограммы.

Осциллограф в этом случае используется как пробник, т.е. служит только для наблюдения получаемой на экране осциллограммы.

1. Измерение частоты методом линейной развертки с генератором образцовой частоты.

Структурная схема измерительной установки имеет вид:

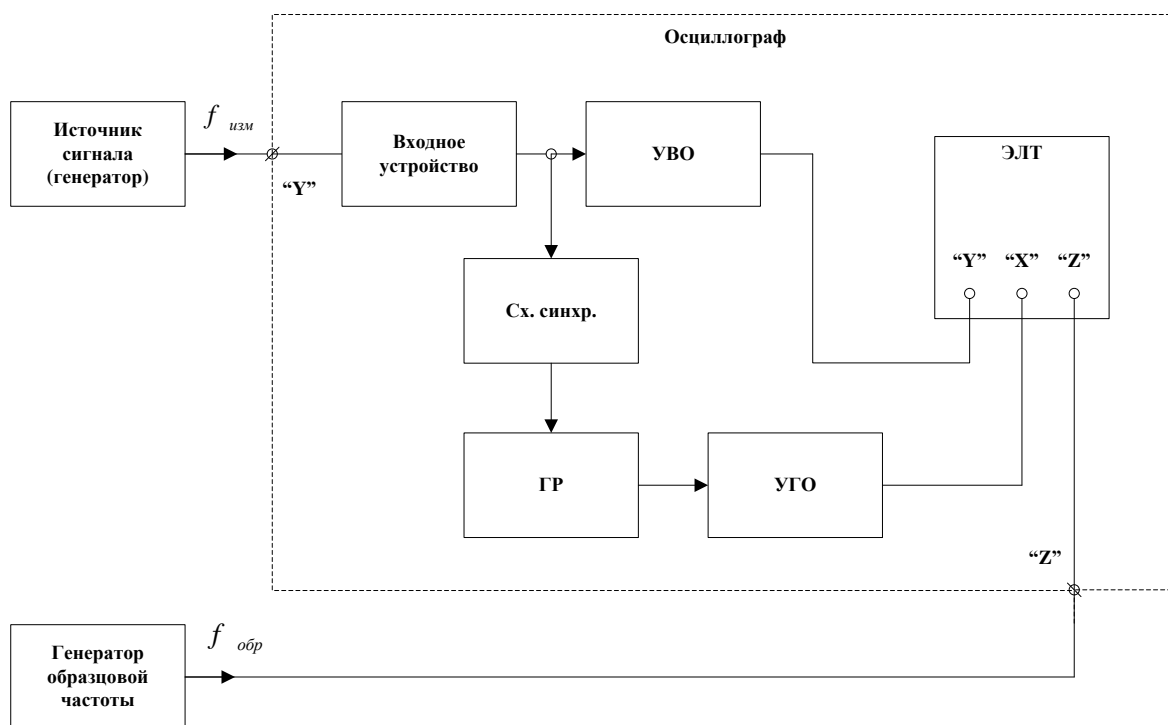


Рисунок 1. Структурная схема установки для измерения частоты методом линейной развертки с генератором образцовой частоты

Здесь сигнал неизвестной частоты $f_{изм}$ подается на вход усилителя вертикального канала “Y”, а сигнал с известной образцовой частотой $f_{обр}$ — на вход канала управления яркостью “Z”. На экране осциллографа в данном случае формируется временная диаграмма гармонического колебания с неизвестной частотой. При определенном соотношении между частотами $f_{изм}$ и $f_{обр}$ осциллограмма будет состоять из неподвижных яркостных дуг (меток). Такая картина реализуется, если выполняется условие: $f_{изм} < f_{обр}$.

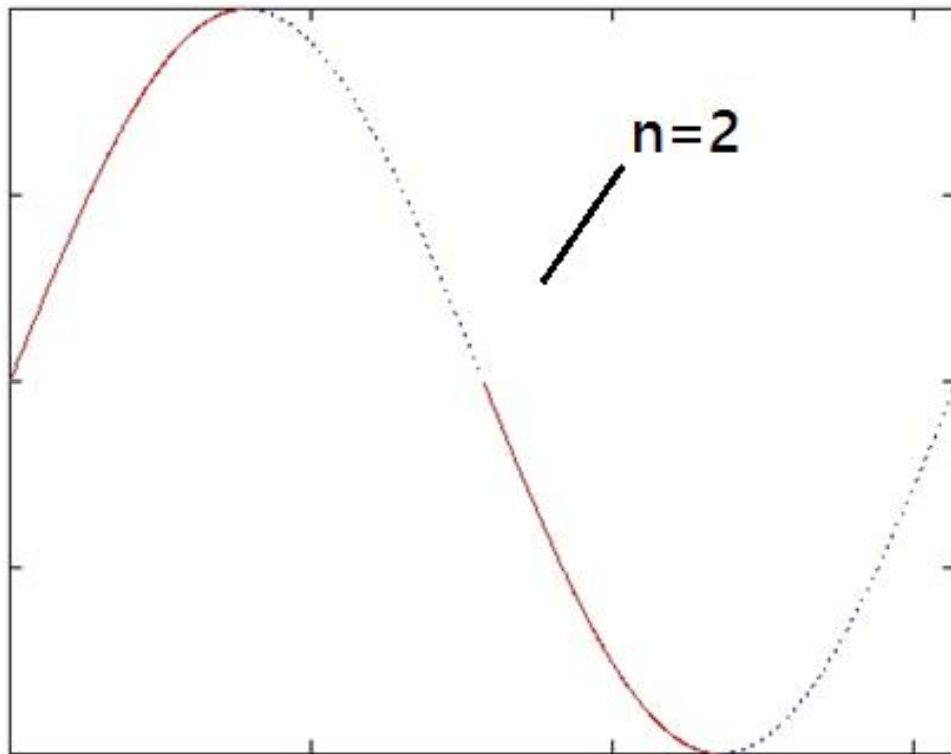


Рисунок 2. Внешний вид осциллограммы при измерении частоты методом линейной развертки с генератором образцовой частоты

На данной осциллограмме подсчитывается количество яркостных меток на одном периоде n и искомая частота $f_{изм}$ находится из соотношения:

$$f_{изм} = \frac{f_{обр}}{n}.$$

2. Измерение частоты методом синусоидальной развертки.
Структурная схема измерительной установки имеет вид:

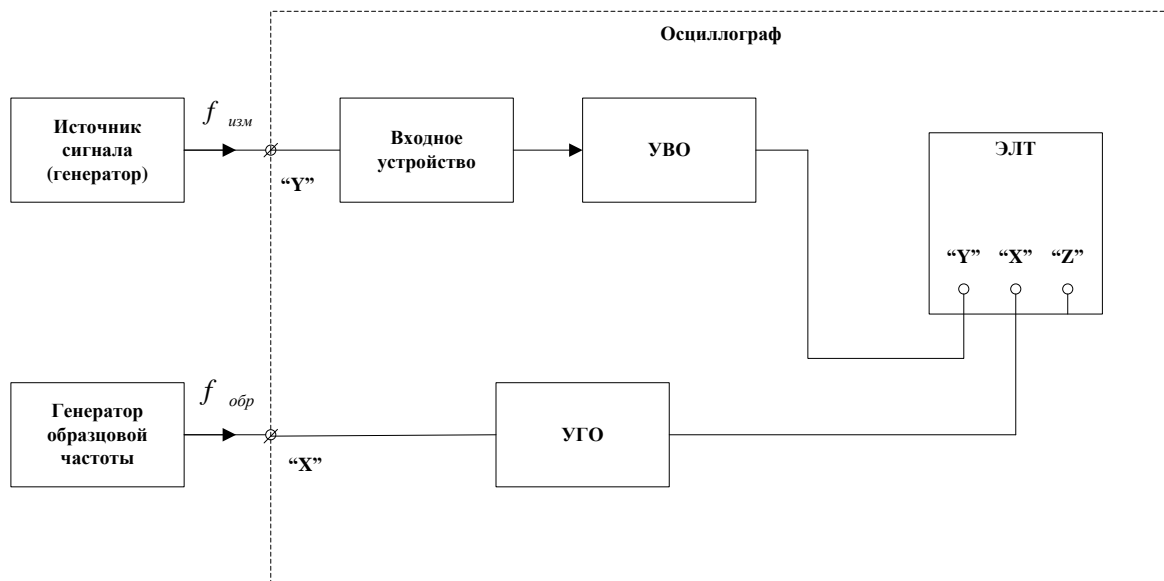


Рисунок 3. Структурная схема установки для измерения частоты методом синусоидальной развертки

Сигнал с неизвестной частотой $f_{изм}$ подается на вход “Y” осциллографа, а сигнал с известной частотой $f_{обр}$ – на вход “X”. При некотором соотношении между частотами $f_{изм}$ и $f_{обр}$ на экране будет наблюдаться неподвижная фигура Лиссажу, например:

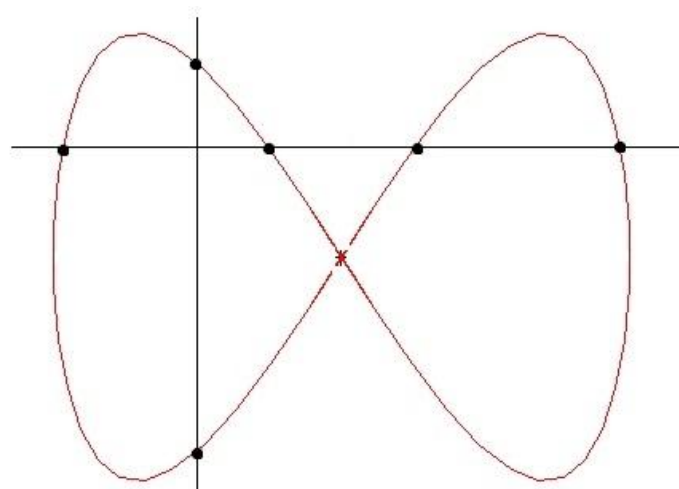


Рисунок 4. Внешний вид осциллограммы при измерении частоты методом синусоидальной развертки

Если же сигнал с неизвестной частотой $f_{изм}$ подать на вход “X”, а с известной $f_{обр}$ – соответственно, на вход “Y”, то полученная фигура Лиссажу повернется на угол $\pi/2$.

Частоты гармонических колебаний связаны в общем случае соотношением:

$$f_x \cdot n_x = f_y \cdot n_y$$

или в данном случае:

$$f_{обр} \cdot n_x = f_{изм} \cdot n_y ,$$

где n_x – число пересечений фигуры Лиссажу с горизонталью;

n_y – число пересечений с вертикалью.

Линии необходимо проводить так, чтобы они не проходили через узлы фигуры.

Откуда неизвестная частота $f_{изм}$ определяется:

$$f_{изм} = f_{обр} \cdot \frac{n_x}{n_y}.$$

3. Измерение частоты методом круговой развертки с генератором образцовой частоты.

Структурная схема измерительной установки имеет вид:

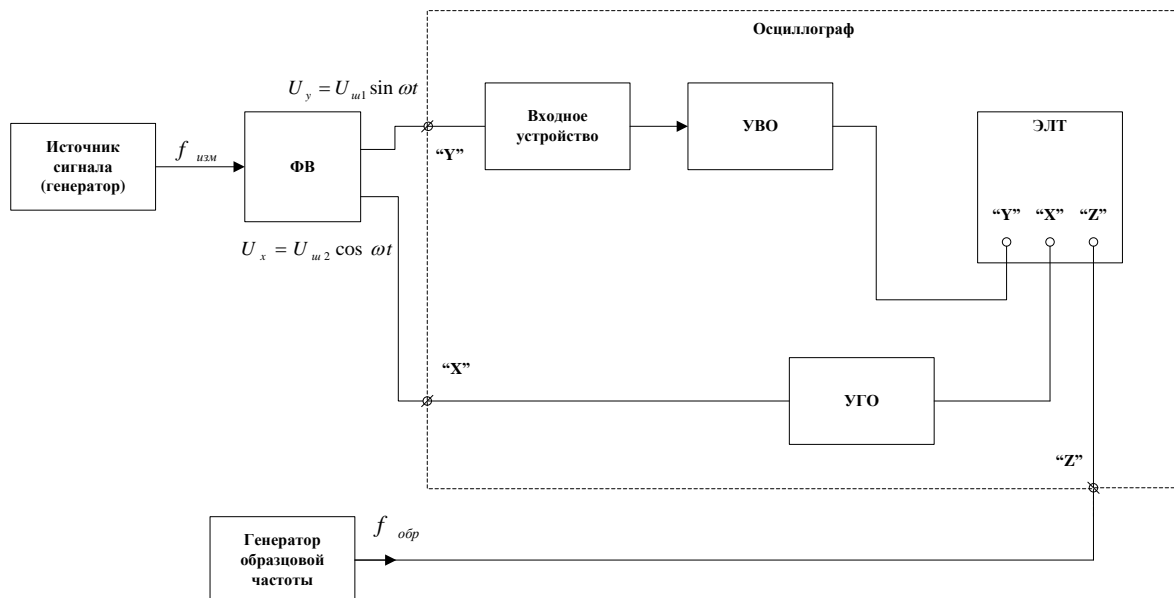


Рисунок 5. Структурная схема установки для измерения частоты методом круговой развертки с генератором образцовой частоты

Сигнал с измеряемой частотой $f_{изм}$ подается на вход фазовращателя (ФВ), на выходах которого формируются два ортогональных, т.е. сдвинутых по фазе на угол $\pi/2$ колебания:

$$U_1(t) = U_{m1} \cdot \sin(\omega t),$$

$$U_2(t) = U_{m2} \cdot \cos(\omega t),$$

где $\omega = 2\pi f_{изм}$, которые подключаются, соответственно, к входам “Y” и “X” осциллографа. Фазовращатель, как правило, простейший, и представляет собой последовательную цепь из резистора и конденсатора. Вход фазовращателя – внешние зажимы RC цепочки, а выходные сигналы снимаются с R и C. На вход канала управления яркостью “Z” поступает сигнал с образцовой частотой $f_{обр}$. Осциллограф в этом случае работает в режиме синусоидальной развертки, и на экране будет формироваться осциллограмма либо в виде окружности, либо в виде овала. При определенном соотношении частот $f_{изм}$ и $f_{обр}$ эта осциллограмма будет состоять из неподвижных или медленно перемещающихся яркостных дуг (меток), например:

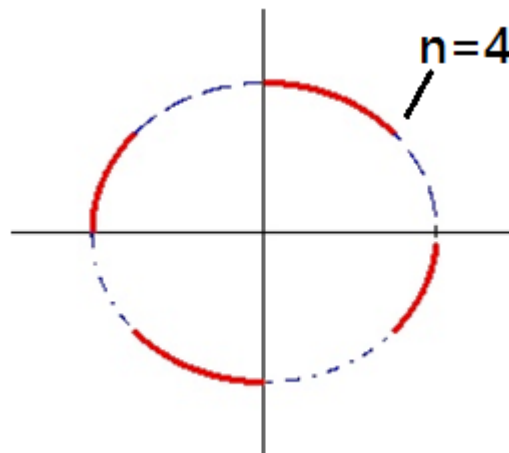


Рисунок 6. Внешний вид осциллограммы при измерении частоты методом круговой развертки с генератором образцовой частоты

Такая осциллограмма получается, если выполняется условие $f_{обр} > f_{изм}$.

На окружности подсчитывается количество яркостных меток n , а искоемое значение измеряемой частоты определяется по формуле:

$$f_{изм} = \frac{f_{обр}}{n}.$$

Суммируя вышесказанное, неизвестные частоты определяются косвенно с помощью соотношений:

1. $f_{изм} = \frac{f_{обр}}{n}$ – метод линейной развертки;

2. $f_{изм} = f_{обр} \cdot \frac{n_x}{n_y}$ – метод синусоидальной развертки;

3. $f_{изм} = \frac{f_{обр}}{n}$ – метод круговой развертки.

Соответственно, погрешности измерения частоты находятся по формулам:

1. Абсолютная систематическая погрешность метода линейной развертки с генератором образцовой частоты:

$$\Delta f_{изм} = \frac{\Delta f_{обр}}{n},$$

где $\Delta f_{обр}$ – абсолютная погрешность установки (задания) частоты образцового генератора.

Относительная погрешность:

$$\delta f_{изм} \approx \frac{\Delta f_{изм}}{f_{изм}} = \frac{\Delta f_{обр}}{f_{обр}} = \delta f_{обр}.$$

2. Абсолютная систематическая погрешность метода синусоидальной развертки:

$$\Delta f_{изм} = \Delta f_{обр} \cdot \frac{n_x}{n_y}.$$

Относительная погрешность этого метода:

$$\delta f_{изм} \approx \frac{\Delta f_{изм}}{f_{изм}} = \frac{\Delta f_{обр}}{f_{обр}} = \delta f_{обр}.$$

3. Абсолютная систематическая погрешность метода круговой развертки с генератором образцовой частоты:

$$\Delta f_{изм} = \frac{\Delta f_{обр}}{n}.$$

Относительная погрешность:

$$\delta f_{изм} \approx \frac{\Delta f_{изм}}{f_{изм}} = \frac{\Delta f_{обр}}{f_{обр}} = \delta f_{обр}.$$

Отсюда следует, что погрешности измеряемых частот определяются погрешностями установки частот образцовых генераторов, которые имеют как систематические, так и случайные погрешности. И при применении образцовых генераторов с высокими метрологическими характеристиками, например синтезаторы частоты, можно получить очень малые погрешности измеряемых величин, не используя цифровые частотомеры.