

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**  
**СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ**  
**ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**  
**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ»**



**А.Г. ЖУКОВСКИЙ**  
**О.С. ЛАБУНЬКО**  
**А.С. ЧИСТЯКОВ**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТЫ** **КОСВЕННОГО СИНТЕЗА**

*Методические указания по выполнению*  
*лабораторной работы*

Ростов-на-Дону  
2018

УДК 621.396.43  
ББК 32.849  
Ж 86

**Жуковский А.Г., Лабунько О.С., Чистяков А.С.** ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТЫ КОСВЕННОГО СИНТЕЗА. *Методические указания по выполнению лабораторной работы.* - Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ, 2018. - 24 с.

Методические указания по выполнению лабораторной работы «ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТЫ КОСВЕННОГО СИНТЕЗА» предназначены для студентов очного и заочного отделений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» при изучении ряда радиотехнических дисциплин.

В пособии приведены, предусмотренные рабочей программой, краткие сведения из теории, методика выполнения лабораторной работы, форма отчета, контрольные вопросы, а также литература, имеющаяся в открытом доступе.

Пособие может быть полезно для студентов различных направлений подготовки бакалавров в области радиотехники и связи, преподавателям и работникам предприятий связи.

Рецензент:

**Б.П. Борисов**, кандидат технических наук, доцент.

© Жуковский А.Г., Лабунько О.С., Чистяков А.С., СКФ МТУСИ. 2018

Рассмотрено и одобрено  
на заседании кафедры «ИТСС»  
Протокол от «26» августа 2019 г., № 1.

Издательство СКФ МТУСИ  
Сдано в набор \_\_\_\_\_. Изд. № \_\_\_\_\_. Подписано в печать \_\_\_\_\_. Зак. № \_\_\_\_\_.  
Печ. листов \_\_\_\_\_. Учетно-изд.л. \_\_\_\_\_. Печать оперативная. Тир. 30 экз.  
Отпечатано в Полиграфическом центре СКФ МТУСИ. Серафимовича, 62.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Цель работы .....	4
2 Содержание работы .....	4
3 Краткие сведения из теории .....	5
4 Описание лабораторной установки .....	12
5 Порядок выполнения исследования .....	14
6 Форма отчета по выполнению лабораторной работы .....	18
7 Контрольные вопросы .....	23
8. Список сокращений .....	23
Библиографический список .....	24

## **1 Цель работы**

Цель работы: изучить принципы построения синтезаторов частот в возбуждателях передатчиков, гетеродинах приемников и преобразователях частоты экспериментально исследовать синтезатор частоты с импульсно-фазовым компаратором.

## **2 Содержание работы**

1. Определение диапазона перестройки генератора, управляемого напряжением (ГУН). Снятие характеристики управления.
2. Определение неустойчивости частоты ГУН при разомкнутой петле импульсной фазовой автоподстройки частоты.
3. Определение шага сетки частот для фиксированного коэффициента деления  $M = 50, 100, 200$ .
4. Расчет допустимых значений переменного коэффициента деления  $N$  для заданного шага сетки частот и измеренного диапазона перестройки ГУН.
5. Расчет значений  $M$  и  $N$  для заданного диапазона частоты. Экспериментальная проверка правильности расчета  $M$  и  $N$ .
6. Определение неустойчивости частоты ГУН при замкнутой петле импульсной фазовой автоподстройки частоты.
7. Краткое пояснение назначения каждого элемента структурной схемы синтезатора частоты с импульсной фазовой автоподстройкой частоты.

### 3 Краткие сведения из теории

Одним из основных элементов современного возбудителя является синтезатор частот, вырабатывающий одно или несколько когерентных колебаний с заданными частотами.

На практике широко используются синтезаторы частоты, построенные на основе метода косвенного синтеза. Такие синтезаторы содержат в своем составе подстраиваемый по частоте автогенератор, охваченный петлей фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [13].

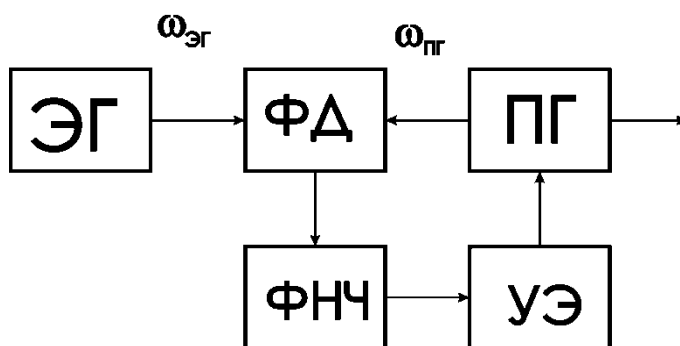


Рисунок 1

Простейшая структурная схема системы ФАПЧ изображена на рисунке 1. Сигналы частот  $\omega_{ЭГ}$  и  $\omega_{ПГ}$  от эталонного (ЭГ) и подстраиваемого (ПГ) генераторов поступают на фазовый детектор (ФД), выходное напряжение которого определяется разностью фаз напряжений, действующих на его входах. Выходное напряжение ФД через ФНЧ воздействует на управляющий элемент (УЭ), например варикап, который изменяет частоту ПГ, приближая ее к частоте ЭГ.

В стационарном режиме, когда  $\omega_{ЭГ} = \omega_{ПГ}$ , в системе устанавливается постоянная разность фаз между сигналами соответствующих генераторов и выходное напряжение ФД постоянно. Это постоянное напряжение подается на вход УЭ, ибо в противном случае стационарный режим будет невозможен.

Поэтому между ФД и УЭ включаются устройства, пропускающие постоянный ток. Такими устройствами являются ФНЧ, которые устраняют из спектра сигнала управления нежелательные составляющие побочных частот, присутствующие на выходе ФД. Попадая на вход УЭ, эти составляющие вызывают паразитную частотную (фазовую) модуляцию эталонного сигнала.

Система ФАПЧ может работать в различных режимах. Например, если частоты ЭГ и ПГ равны и эффект медленных измерений параметров ПГ, определяющих его частоту, полностью компенсируется действием ФАПЧ, последняя работает в так называемом режиме удержания. С понятием режима удержания неразрывно связано понятие полосы удержания, т. е. области начальных расстроек ЭГ и ПГ, в которой возможен этот режим. Ширина полосы удержания определяется разностью граничных значений частоты ПГ, соответствующих наибольшему и наименьшему напряжениям на выходе ФД.

Возможен и другой режим работы системы, при котором в среднем разность частот, вырабатываемых генераторами сигналов, равна нулю, а разность фаз периодически изменяется. Этот режим, используемый крайне редко, называется режимом квазисинхронизма. Обычно систему проектируют так, чтобы он не возникал.

Третий режим работы системы ФАПЧ - режим биений. Его характерной особенностью является непрерывное нарастание в среднем разности фаз ПГ и ЭГ. Режим биений всегда наблюдается в тех случаях, когда начальная расстройка ПГ относительно ЭГ (т.е. расстройка, соответствующая нулю напряжения на выходе ФД) больше полосы удержания. Иногда он может иметь место при начальной расстройке, меньшей полосы удержания. В режиме биений среднее значение частоты ПГ отличается от частоты ЭГ.

Переходное состояние системы, при котором режим биений переходит с течением времени в режим квазисинхронизма, называется режимом удержания.

Под полосой захвата понимается область начальных расстроек ПГ и ЭГ, в которой при любых начальных условиях устанавливается режим удержания (или квазисинхронизма). Обычно в момент включения системы частоты ПГ и

ЭГ не совпадают и в системе наблюдается режим биений. При этом сигнал ПГ модулируется по частоте напряжением биений.

В зависимости от знака мгновенного напряжения биений разность частот ПГ и ЭГ то повышается, то понижается. В результате длительности положительной и отрицательной полуволн напряжения биений оказываются различными и на выходе, и на входе ФД образуется постоянная составляющая напряжений. Наличие этой постоянной составляющей приводит к изменению частоты биений относительно начальной расстройки. Если начальная расстройка не выходит за пределы полосы захвата, то постоянная составляющая снижает частоту биений до нуля и возникает режим удержания. Если начальная расстройка превышает полосу захвата, то постоянная составляющая напряжения недостаточна для ее полной компенсации и в системе наблюдается режим биений. В общем случае полосы удержания и захвата не равны друг другу. Так, если ФНЧ (см. рисунок 1) в цепи управления отсутствует. Но в этом случае фильтрующая способность системы ФАПЧ оказывается низкой (помехи, действующие на выходе ФД, непосредственно воздействуют на частоту подстраиваемого генератора).

При наличии фильтра с уменьшением его полосы пропускания полоса захвата системы становится меньше полосы удержания, что объясняется падением напряжения на входе управляющего элемента, а также появлением в кольце регулирования дополнительного фазового сдвига, вносимого фильтром. На практике инерционность цепи управления выбирают исходя из компромисса между необходимостью обеспечения широкой полосы захвата и фильтрующей способностью по отношению к внешним помехам. С этой целью в цепи управления системы часто используют более сложные фильтры [14].

Зная принцип работы системы ФАПЧ, нетрудно пояснить работу синтезатора, работающего по методу косвенного синтеза (методу анализа). Структурная схема такого синтезатора изображена на рисунке 2. Сигнал с выхода делителя с переменным коэффициентом деления (ДПКД) поступает на

ФД, на который одновременно поступает сигнал от кварцевого генератора (КГ) с частотой  $f_0$ .

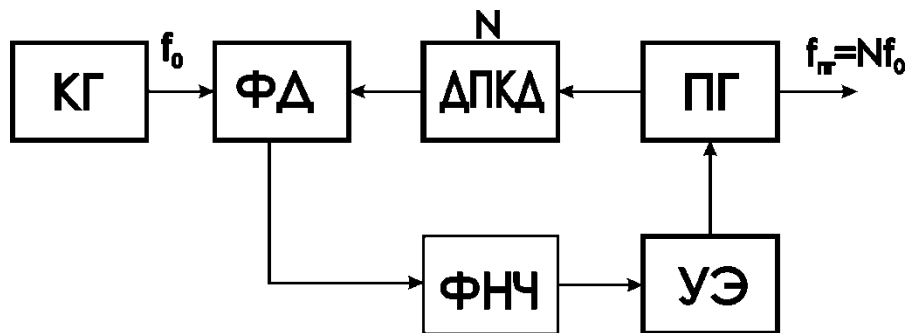


Рисунок 2

Выходное напряжение ФД, как в обычной системе ФАПЧ, через ФНЧ воздействует на УЭ, который изменяет частоту ПГ. В качестве ПГ используется, как правило, транзисторный автогенератор, выполненный по схеме емкостной трехточки, и УЭ с варикапом, включенным в колебательный контур. В синхронном состоянии частоты сигналов, сравниваемых ФД, оказываются равными ( $f_0 = f_{ПГ} / N$ , где  $N$  — коэффициент деления ДПКД), и, следовательно, долговременная нестабильность выходной частоты ПГ та же, что и КГ. Меняя коэффициент деления  $N$ , по команде внешнего устройства, задающего код требуемой выходной частоты, можно изменять частоту колебаний на выходе синтезатора ( $f_{ПГ} = Nf_0$ ). При этом шаг частот синтезатора равен частоте  $f_0$ . В качестве ДПКД используются счетчики импульсов, выполненные на цифровых интегральных схемах как средней, так и большой степени интеграции. Цифровые ДПКД устойчиво работают на частотах входного сигнала до 1,5...2 ГГц. Если  $f_{ПГ} > 1,5...2$  ГГц, то для снижения частоты входного сигнала ДПКД используют понижение частоты либо вычитанием (рисунок 3а), либо делением (рисунок 3б). При понижении частоты колебаний на выходе ДПКД вычитанием частота ПГ  $f_{ПГ} = (N - K) f_{ПГ}$ . Здесь  $K$  —



коэффициент умножения умножителя частоты (УЧ). При этом шаг сетки частот синтезатора остается равным  $\Delta f$ .

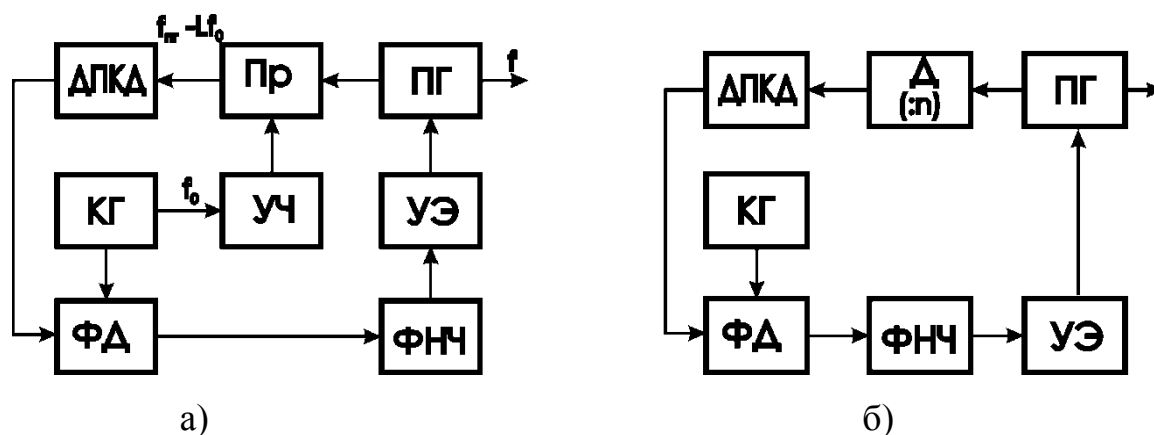


Рисунок 3

При понижении частоты колебаний на входе ДПКД с помощью делителя Д с постоянным коэффициентом деления  $m$  шаг частот синтезатора равен  $mf_0$ .

Отметим, что схема с дополнительным делителем (рисунок 3б) имеет определенные преимущества по сравнению со схемой, в которой используется понижение частоты вычитанием (рисунок 3а), поскольку не требуется применения умножителя и смесителя. Эти элементы приводят к повышению уровня побочных составляющих в спектре выходного сигнала синтезатора.

В системах ДПКД при малом частотном шаге требуется низкая частота  $K\Gamma f_0$ . В этом случае для подавления нежелательных побочных частот в спектре выходного сигнала синтезатора, обусловленных помехой с частотой  $f_0$ , действующей непосредственно на выходе ФД (внешняя помеха), необходимо увеличивать инерционность системы. Однако при этом, как уже указывалось, будут плохо фильтроваться внутренние помехи, вызванные собственными шумами ПГ. Для устранения противоречия между фильтрацией внешних и внутренних помех в синтезаторах используют двухкольцевые системы ФАПЧ (рисунок 4).

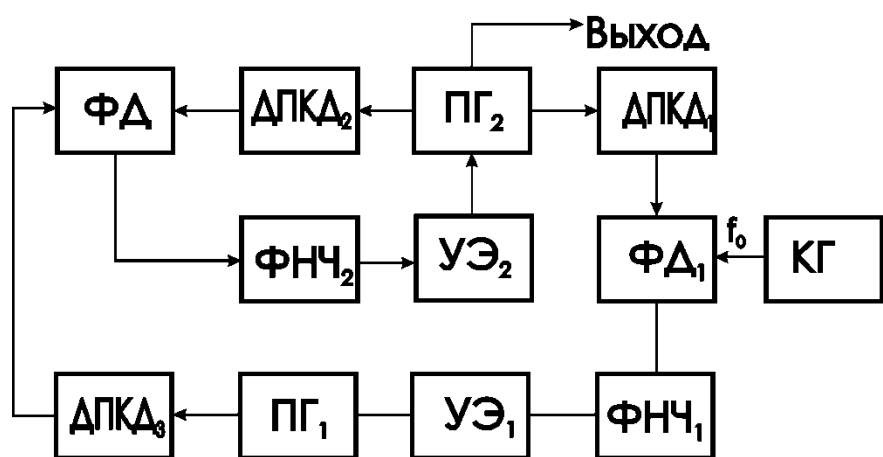


Рисунок 4

Одно из колец выбирается достаточно инерционным ( $\text{ПГ}_1$ ,  $\text{УЭ}_1$ ,  $\text{ФНЧ}_1$ ,  $\text{ДПКД}_1$ ), что обеспечивает хорошую фильтрацию внешних помех с частотой  $f_0$ . Второе кольцо ( $\text{ПГ}_2$ ,  $\text{УЭ}_2$ ,  $\text{ФНЧ}_2$ ,  $\text{ДПКД}_2$ ) делается малоинерционным, что позволяет обеспечивать хорошее подавление собственных шумов выходного генератора  $\text{ПГ}$ . Соответствующим выбором коэффициентов деления  $\text{ДПКД}_1$ ,  $\text{ДПКД}_2$ ,  $\text{ДПКД}_3$  можно при заданном диапазоне работы синтезатора (частота перестройки  $\text{ПГ}_2$ ) обеспечить малую перестройку  $\text{ПГ}_1$ , что позволяет использовать КГ в качестве  $\text{ПГ}_1$ . Это, в свою очередь, дает возможность устранить влияние собственного шума этого генератора на спектральные характеристики выходного генератора  $\text{ПГ}_2$ . Синтезаторы с ДПКД, часто называемые также цифровыми, позволяют максимально использовать элементы цифровой схемотехники. Они имеют значительные преимущества перед другими типами синтезаторов по габаритным размерам, массе, технологичности и надежности.

Необходимо отметить, что цифровые синтезаторы легко сопрягаются с микроЭВМ, которые управляют коэффициентом деления ДПКД и производят предварительную установку частоты  $\text{ПГ}$ .

Как уже указывалось, в состав современного возбуждителя входит формирователь видов работ (ФВР). В современных универсальных

возбудителях обычно формируются все виды работ, предусмотренные регламентом радиосвязи.

В простейших возбудителях формирование требуемого вида работ производится непосредственно на рабочих частотах, т. е. в возбудителе нельзя отдельно выделить формирователь вида работ. Например, в синтезаторе частот с ДПКД (см. рисунок 2) можно осуществить частотную модуляцию, вводя информационный сигнал непосредственно на вход УЭ. С увеличением числа каналов и диапазона рабочих частот возбудителя формирование вида работ и опорных частот становится целесообразным производить в самостоятельных блоках. Это объясняется тем, что совмещение указанных функций усложняет получение требуемого подавления побочных составляющих на выходе возбудителя, особенно если возбудитель работает в широком диапазоне частот.

По указанной причине в современных возбудителях ввод информации (формирование требуемых видов работ) выполняется на одной фиксированной вспомогательной частоте  $f_{\Pi}$ , а в тракте переноса (ТП) сформированные колебания преобразуются в рабочий диапазон частот  $f_p$  с помощью переменной опорной частоты  $f$ , поступающей с синтезатора частот. Тракт переноса сформированных колебаний содержит, как правило, несколько смесителей.

#### 4 Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется с применением учебной лабораторной установки «Устройства генерирования и формирования сигналов».

Состав установки, требуемый для проведения исследования синтезаторов частоты:

- сменный блок «Исследование синтезатора частоты»;
- частотомер;
- источник постоянного напряжения;
- встроенный тестер.

Сменный блок «Исследование синтезатора частоты», далее «Исследуемый макет» представляет собой синтезатор частоты с импульсной фазовой автоподстройкой частоты.

Структурная схема синтезатора частоты представлена на рисунке 5 и включает в себя:

- кварцевый опорный (эталонный) генератор ОГ частотой 500 кГц;
- делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления М (ДФКД);
- генератор, управляемый напряжением, ГУН;
- делитель частоты с переменным коэффициентом деления N (ДПКД);
- импульсный фазовый компаратор (ИФК), являющийся основным звеном кольца импульсной фазовой автоподстройки частоты;
- фильтр низкой частоты ФНЧ с устройством запоминания уровня управляющего напряжения.

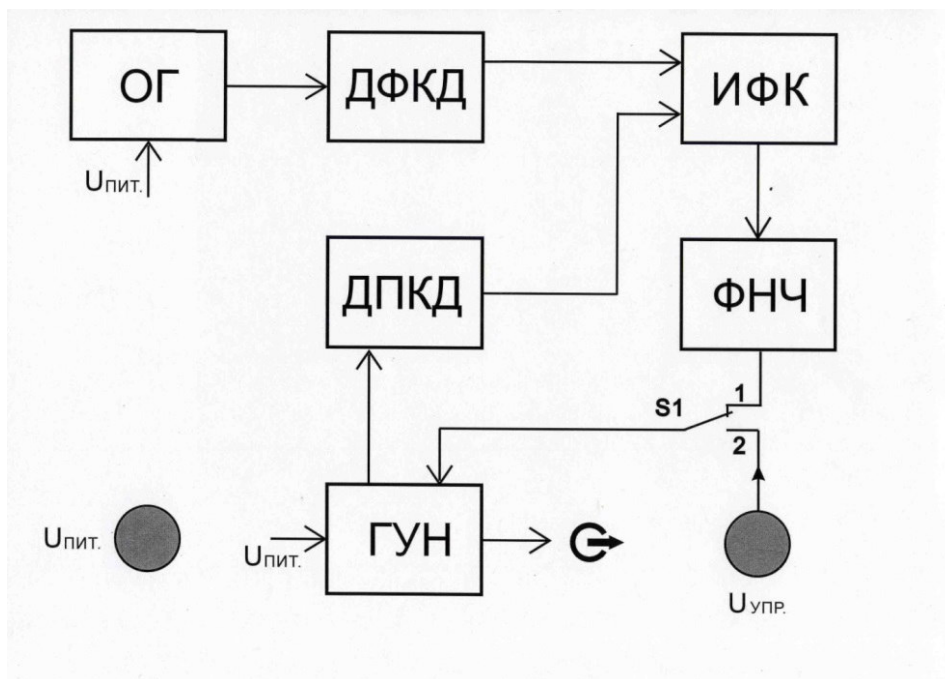


Рисунок 5

Частотомер предназначен для измерения частоты напряжений ВЧ. Имеет три режима работы. В режиме «ВНЕС.» индицирует частоту напряжения, подаваемого на внешний вход частотомера.

Встроенный тестер позволяет измерять токи и напряжения в различных точках сменного блока. Питание тестера производится от выпрямителя установки.

К дополнительным устройствам относятся схема задержки импульса СЗИ и регулируемый источник управляющего напряжения. Напряжение питания ОГ и ГУН изменяется с помощью переменного резистора « $U_{пит.}$ ».

Делители ДПКД и ДФКД представляют собой счетчики импульсов.

Коэффициент деления  $M$  может принимать значения 50, 100, 200 и определяет шаг сетки частот. Изменение коэффициента деления осуществляется кнопочным переключателем «УСТАНОВКА  $M$ ». Таким образом, в лабораторном макете могут быть получены три сетки частот с шагом 10 кГц, 5 кГц и 2,5 кГц соответственно.

Коэффициент деления  $N$  высвечивается трехразрядным индикатором и может принимать значения от 20 до 999. Изменение коэффициента деления  $N$

осуществляется подачей кодированной команды от устройства управления поразрядно кнопочным переключателем «УСТАНОВКА N».

В стационарном режиме работы синтезатора

$$F_{ог} / M = F_{гун} / N,$$

а фазовый сдвиг между колебаниями на входе ИФК постоянен. Указанный термин по отношению к импульсным последовательностям следует трактовать как разность фаз между их первыми гармониками.

Для смены рабочей частоты на соседнюю в сетке частот достаточно изменить значение N на единицу.

Выполнение лабораторной работы предполагает использование помимо лабораторной установки двухлучевого (двухканального) осциллографа.

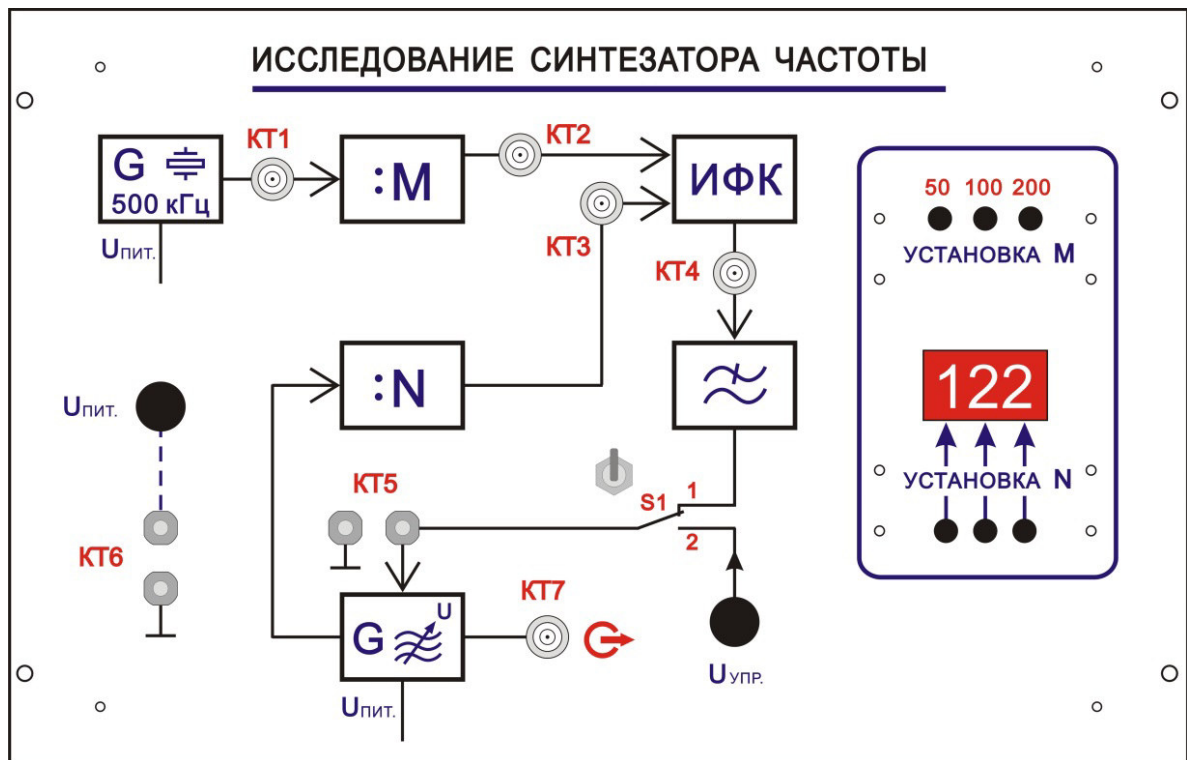
Электропитание установки осуществляется от сети 220В через плавкий предохранитель, установленный на задней стенке корпуса установки. Заземление установки производится (в различных вариантах исполнения) либо через заземляющий контакт соединителя сети 220В, либо через специальную клемму, установленную на задней стенке корпуса установки.

## **5 Порядок выполнения исследования**

Лабораторная работа проводится с применением схемы соединений контрольных точек сменного блока «Исследование синтезатора частоты», показанного на рисунке 6.

1. Определение диапазона перестройки генератора, управляемого напряжением (ГУН). Снятие характеристики управления.

1.1 Соединить КТ7 исследуемого макета с входом частотомера, расположенного на правой лицевой панели установки. Включить питание частотомера, переключатель режимов работы частотомера установить в положение «Внеш.».



### Рисунок 6

1.2 Переключатель режимов работы тестера установить в положение, соответствующее измерению постоянного напряжения до 20 В. Напряжение с гнезд КТ6 подать на вход тестера.

1.3 Регулятором «U<sub>ПИТ</sub>» установить максимально возможное напряжение питания ГУН и ОГ. Записать величину U<sub>ПИТ</sub> МАКС.

1.4 Вход тестера подключить к КТ5. Переключатель S1 установить в положение 2. Регулятор «U<sub>УПР</sub>» повернуть против часовой стрелки до упора. Записать показания тестера (U<sub>УПР</sub>) (U=0) и минимальное значение частоты ГУН, измеренное частотомером.

1.5 Изменяя величину  $U_{\text{УПР}}$  от минимального до максимального, фиксировать значение частоты ГУН, соответствующее каждому значению  $U_{\text{УПР}}$ . Полученные данные занести в таблицу. Построить характеристику управления ГУН. Определить максимальную частоту ГУН. Рассчитать диапазон перестройки ГУН.

2. Определение нестабильности частоты ОГ и ГУН при изменении питающего напряжения и разомкнутой петле импульсной фазовой автоподстройки частоты.

2.1 Изменяя величину  $U_{УПР}$  установить частоту ГУН, равной 500 кГц.

Записать значение  $U_{*УПР}$ , соответствующее этой частоте.

2.2 Измерить и записать частоту опорного генератора, подключив вход частотомера к КТ1.

2.3 Вход тестера подключить к КТ6. Регулятором « $U_{ПИТ.}$ » установить минимально возможное напряжение питания ГУН и ОГ. Записать величину  $U_{ПИТ\ мин.}$

2.4 Измерить и записать частоту опорного генератора.

2.5 Вход частотомера подключить к КТ7. Вход тестера подключить к КТ5. Регулятором « $U_{УПР}$ » установить  $U_{УПР} = U_{*УПР}$ .

2.6 Измерить и записать частоту ГУН.

2.7 Определить абсолютную  $\Delta f_{ГУН}$ ,  $\Delta f_{ОГ}$  и относительную  $\Delta$

$\Delta$  - нестабильность частоты ОГ и ГУН при изменении питающего напряжения. Сравнить полученные величины, сделать необходимые выводы.

3. Определение шага сетки частот для  $M = 50, 100, 200$ .

3.1 Рассчитать частоту импульсов на выходе ДФКД ( $f_{ОГ}/M$ ) для  $M = 50, 100, 200$ .

3.2 Сравнить полученные результаты с показаниями частотомера, подключив вход частотомера к КТ2 и, изменяя величину  $M$  с помощью переключателя «УСТАНОВКА  $M$ »,

3.3 Полученные значения частоты определяют шаг сетки частот.

4. Расчет допустимых значений  $N$  для заданного шага сетки частот и измеренного диапазона перестройки ГУН.

4.1 Для заданного преподавателем значения  $M$  и измеренного диапазона перестройки ГУН рассчитать допустимые значения  $N$ .



4.2 Установить заданное значение М переключателем «УСТАНОВКА М».

4.3 Подключить вход частотомера к КТ7. Переключатель S1 установить в положение 2.

4.4 Нажатием кнопок «УСТАНОВКА N» последовательно изменять значение коэффициента деления N, высвечиваемое на индикаторе, от минимально возможного до максимального. При этом фиксировать показания частотомера. Убедиться в правильности произведенного расчета допустимых значений N.

5. Расчет значений М и N для заданного значения частоты. Экспериментальная проверка правильности расчета М и N .

5.1 По заданному преподавателем значению частоты рассчитать значения М и N:

$$N / M = f_{\text{ГУН}} / f_{\text{ОГ}}.$$

5.2 Установить рассчитанные значения М и N. Сравнить показания частотомера с заданным преподавателем значением частоты.

5.3 Определить по характеристике управления ГУН напряжение  $U_{\text{УПР}}$ , соответствующее заданному значению частоты.

5.4 Вход тестера подключить к КТ5. Измерить « $U_{\text{УПР}}$ » подключив тестер в КТ5. Сравнить полученные результаты. Сделать необходимые выводы.

6. Определение неустойчивости частоты ГУН при замкнутой петле импульсной фазовой автоподстройки частоты.

6.1 Переключатель S1 установить в положение 1.

6.2 Подбором М и N установить частоту ГУН равной 500 кГц. Записать точное значение частоты. Регулятором « $U_{\text{ПИТ}}$ » поочередно установить максимально - и минимально возможное напряжение питания ГУН и ОГ.

6.3 Определить абсолютную и относительную неустойчивость частоты ГУН при изменении питающего напряжения. Сравнить

результаты вычислений с результатами, полученными в п.2, сделать необходимые выводы.

7. Изобразить структурную схему синтезатора частоты с импульсной фазовой автоподстройкой частоты и кратко пояснить назначение каждого элемента.

## 6 Форма отчета по выполнению лабораторной работы

1. Определение диапазона перестройки генератора, управляемого напряжением (ГУН). Снятие характеристики управления.

Упит. макс. = \_\_\_\_ В. Измерено тестером на выходе ГУН (КТ6).

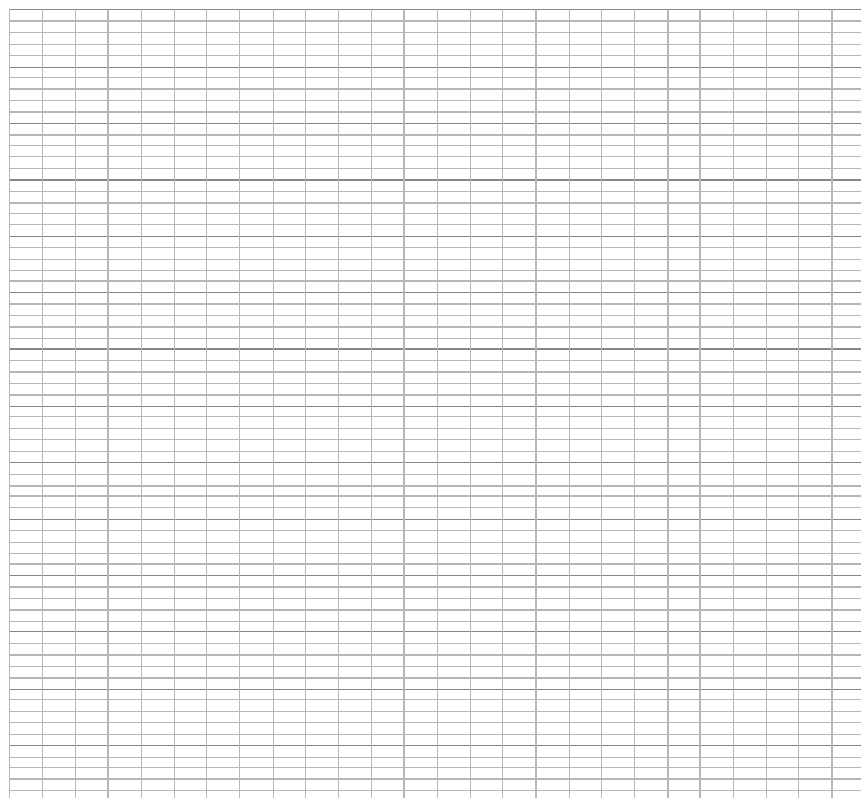
Уупр. В	0	0,03	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$f_{\text{ГУН}}$ , кГц							
Уупр. В	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,3
$f_{\text{ГУН}}$ , кГц							

$f_{\text{ГУН мин.}} = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц.  $f_{\text{ГУН макс.}} = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц.

Диапазон перестройки генератора управляемого напряжением \_\_\_\_\_ кГц.

Характеристика управления

$f_{ГУН}$ , кГц



$U_{упр.}$  В

2. Определение нестабильности частоты ОГ и ГУН при изменении питающего напряжения. (Отчет)

$f_{ГУН} = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц при  $U_{упр}^* = 2,53$  при  $U_{пит. макс} = \underline{\hspace{2cm}}$  В

$f_{ОГ} = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц  $F = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц

$f_{ГУН} = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц при  $U_{упр}^* = 2,53$  В при  $U_{пит мин} = \underline{\hspace{2cm}}$  В

$f_{ОГ} = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц  $F = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц

$\Delta f_{ГУН} = \underline{\hspace{2cm}}$  кГц

$\Delta f_{ГУН} / f_{ГУН} = \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$$\Delta f_{ог} = \text{_____ кГц}$$

$$\Delta f_{ог} / f_{ог} = \text{_____} / \text{_____} = \text{_____}$$

Вывод:

3. Определение шага сетки частот для фиксированного коэффициента деления  $M = 50, 100, 200$ .

Шаг сетки частот определяется  $f_{ш} = f_{ог}/M$ , кГц.

Частота опорного генератора, кГц	Фиксированный коэффициент деления $M$	Шаг сетки $f_{ш}$ , кГц
500	50	_____
500	100	_____
500	200	_____

4. Расчет допустимых значений переменного коэффициента деления  $N$  для заданного шага сетки частот и измеренного диапазона перестройки ГУН. (п. 1; п. 3)

$$f_{ог} / M = f_{ГУН} / N.$$

$$N_{мин} = f_{мин} (п.1) / f_{ш} (п. 3).$$

$$N_{макс.} = f_{макс.} (п.1) / f_{ш} (п. 3).$$

а) для  $M=50$ , шаг сетки  $f_{ш} = 10$  кГц

$$N_{мин.} = f_{ГУН} \times M / f_{ог} \text{ или } f_{мин.} / f_{ш}.$$

$$N_{мин.} = \text{_____} \times \text{_____} / 500 = \text{_____}$$

$$N_{мин.} = \text{_____} / \text{_____} = \text{_____}$$

$$N_{макс.} = f_{ГУН} \times M / f_{ог} \text{ или } f_{макс.} / f_{ш}$$

$$N_{макс.} = \text{_____} \times \text{_____} / \text{_____} = \text{_____}$$

$$N_{макс.} = \text{_____} / \text{_____} = \text{_____}$$

$$N_{\text{мин.}} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad N_{\text{макс.}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

б) для  $M=100$ , шаг 5 кГц

$$N_{\text{мин.}} = f_{\text{ГУН}} \times M / f_{\text{ОГ}} \text{ или } f_{\text{мин.}} / f_{\text{ш.}}$$

$$N_{\text{мин.}} = \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{\text{мин.}} = \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{\text{макс.}} = f_{\text{ГУН}} \times M / f_{\text{ОГ}} \text{ или } f_{\text{макс.}} / f_{\text{ш.}}$$

$$N_{\text{макс.}} = \underline{\hspace{1cm}} \times \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{\text{макс.}} = \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{\text{мин.}} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad N_{\text{макс.}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

в) для  $M=200$ , шаг 2,5 кГц

$$N_{\text{мин.}} = f_{\text{ГУН}} \times M / f_{\text{ОГ}} \text{ или } f_{\text{мин.}} / f_{\text{ш.}}$$

$$N_{\text{мин.}} = \underline{\hspace{1cm}} \times \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{\text{мин.}} = \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{\text{макс.}} = f_{\text{ГУН}} \times M / f_{\text{ОГ}} \text{ или } f_{\text{макс.}} / f_{\text{ш.}}$$

$$N_{\text{макс.}} = \underline{\hspace{1cm}} \times \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{\text{макс.}} = \underline{\hspace{1cm}} / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{\text{мин.}} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad N_{\text{макс.}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

## 5. Расчет значений $M$ и $N$ для заданного диапазона частоты.

### Экспериментальная проверка правильности расчета $M$ и $N$ .

Преподавателем заданы следующие параметры:

$$f_{\text{мин}} = 1000 \text{ кГц}; f_{\text{макс}} = 1300 \text{ кГц}, \text{ шаг сетки } f_{\text{ш}} = 10 \text{ кГц.}$$

Рассчитать значения  $M$  и  $N$ .

$$M = f_{\text{ОГ}} / f_{\text{ш.}} \quad M = 500 / 10 = 50.$$

$$N \text{ для } f_{\text{мин.}} = f_{\text{мин.}} / f_{\text{ш}} = M \times f_{\text{мин.}} / f_{\text{ог.}}. N = \_ \times \_ / \_ = \_$$

$$N_{\text{мин.}} = \_ / \_$$

$$N \text{ для } f_{\text{макс.}} = f / F_{\text{ш}} = M \times F_{\text{макс}} / f_{\text{ог.}}. N_{\text{макс}} = \_ \times \_ / \_ = \_$$

$$N_{\text{макс.}} = \_ / \_ = \_$$

Убедиться в том, что  $f_{\text{мин.}}$  и  $f_{\text{макс.}}$  соответствуют заданным значениям.

Изменяя значения  $N$  убедиться в правильности установки шага сетки.

Определяем по характеристике управления ГУН напряжения  $U_{\text{упр.}}$  соответствующие  $f_{\text{мин.}}$   $f_{\text{макс.}}$ . Отмечаем эти точки на характеристике управления ГУН.

Для заданных крайних частот измерено:  $U_{\text{упр. мин}} = \_ \text{ В}$ ,

$U_{\text{упр. макс.}} = \_ \text{ В}$ .

Вывод:

6. Определение неустойчивости частоты ГУН при замкнутой петле импульсной фазовой автоподстройки частоты.

Подбором  $M$  и  $N$  установить частоту  $f = 500 \text{ кГц}$ .

$$f_{\text{ГУН}} = \_ \text{ кГц при } U^*_{\text{упр.}} = \_ \text{ В } U_{\text{пит. макс.}} = \_ \text{ В}$$

$$f_{\text{ГУН}} = \_ \text{ кГц при } U^*_{\text{упр.}} = \_ \text{ В } U_{\text{пит. макс.}} = \_ \text{ В}$$

$$\Delta f_{\text{ГУН}} = \_$$

$$\Delta f_{\text{ГУН}} / f_{\text{ГУН}} = \_ / \_ = \_$$

7. Изобразить структурную схему синтезатора частоты с импульсной фазовой автоподстройки частоты и кратко пояснить назначение каждого элемента.

Сделать краткие выводы по проведенным исследованиям.

## 7 Контрольные вопросы

1. Для чего используется синтезатор частоты?
2. Пояснить принцип работы синтезатора косвенного синтеза.
3. Пояснить принцип работы синтезатора прямого синтеза.
4. Пояснить принцип работы гибридного синтезатора частоты.
5. Преимущества и недостатки различных типов синтезаторов частоты.
6. Пояснить назначение делителя с переменным коэффициентом деления.
7. Какие требования предъявляются к кварцевому (опорному) генератору?
8. Что такое ГУН, и какие требования к нему предъявляются?
9. С помощью какого устройства задается шаг изменения частоты?
10. С помощью какого устройства задается диапазон перестройки частоты?
11. Каким устройством в синтезаторе частоты определяется его стабильность?
12. Как осуществляется модуляция радиосигнала в синтезаторах частоты?

## 8. Список сокращений

АГ — автогенератор  
ВЧ — высокая частота (3.. 30 МГц)  
Г — генератор  
ГГ — генератор гармоник  
ГУН — генератор управляемый напряжением  
Д — делитель частоты  
ДПКД — делитель частоты с переменным коэффициентом деления  
ЗГ — задающий генератор  
КГ — кварцевый генератор  
КД — коэффициент деления  
ОГ — опорный генератор  
ПГ — подстраиваемый генератор  
ПФ — полосовой фильтр  
СВЧ — сверхвысокие частоты (3...30 ГГц)  
СИЧ — скачкообразное изменение частоты  
УЭ — управляемый элемент  
ФАПЧ — фазовая автоматическая подстройка частоты  
ФД — фазовый детектор  
ФОЧ — формирователь опорных частот  
ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Информационный ресурс «Киберпедия». Синтезаторы сетки частот, назначение, характеристики. <https://cyberpedia.su/14x5a59.html>
2. Криков Д.С., Добычина Е.М. Способы построения и элементная база быстродействующих широкополосных синтезаторов частот. «Электросвязь» №4, 2017. – С.66-71.
3. Манассевич В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование. - М.: Связь, 1979.-384 с.
4. Микросхемы синтезаторов ФАПЧ и DDS компании Analog Devices. URL: [http:// www.analog.com/ru/products/clock-and-timing.html](http://www.analog.com/ru/products/clock-and-timing.html)
5. Микросхемы синтезаторов ФАПЧ компании Texas Instruments. URL: <http://www.ti.com/llds/ti/clock-and-timing/rf-plls-and-synthesizers-products.page>
6. Микросхемы синтезаторов ФАПЧ компании Skyworks. URL: [http://www.skyworksinc.com/Products\\_PLLs\\_Synthesizers\\_VCOs.aspx](http://www.skyworksinc.com/Products_PLLs_Synthesizers_VCOs.aspx)
7. Микросхемы синтезаторов ФАПЧ компании Peregrine Semiconductor. URL: [http:// www.psemi.com](http://www.psemi.com)
8. Микросхемы синтезаторов ФАПЧ компании Maxim Integrated. <https://www.maximintegrated.com/en.html>
9. Микросхемы синтезаторов ФАПЧ и DDS компании Элвис. <http://multicore.ru>
10. Микросхемы синтезаторов ФАПЧ компании Миландр. <http://www.milandr.ru>
11. Микросхемы синтезаторов DDS компании Euvis. <http://www.euvis.com/>
12. Микросхемы синтезаторов DDS компании НИИМА «Прогресс». <http://www.mri-progress.ru/products/>
13. Синтезаторы частот в технике радиосвязи./ А.В.Рыжков, В.Н.Попов. - М.: Радио и связь, 2001.- 458 с.
14. Проектирование радиопередающих устройств. / В. В. Шахгильдян, В. А. Власов, В. Б. Козырев и др.; Под ред. В В. Шахгильдяна. — М.: Радио и связь, 2003. — 512с.