

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

Новгородский государственный университет  
имени Ярослава Мудрого

Тихомиров П.И.

## **УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ**

Новгород

2012

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

Новгородский государственный университет  
имени Ярослава Мудрого  
Институт электронных и информационных систем

---

Кафедра радиосистем

Тихомиров П.И.

## **УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ**

Методические указания  
по лабораторным работам  
для специальности 210302.65 "Радиотехника"

Новгород

2012

УДК 621.396  
ББК

Устройства генерирования и формирования сигналов: методические указания по лабораторным работам / сост. П.И. Тихомиров, / ФГБОУ «Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого», Великий Новгород, 2012г. - 41 с.

В учебном пособии в описание каждой работы включены рабочие задания, исследуемые схемы с необходимыми краткими пояснениями, краткие теоретические сведения и контрольные вопросы для самоконтроля подготовки.

Учебное пособие отвечает новым образовательным стандартам и предназначено для подготовки специалистов по специальности 210302.65 "Радиотехника".

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Новгородский государственный университет  
имени Ярослава Мудрого, 2012

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ, ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ.....	5
2 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ .....	6
3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 .....	7
4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 .....	15
5 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 .....	20
6 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 .....	32
ЛИТЕРАТУРА .....	41

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания являются пособием по курсу «Устройства генерирования и формирования сигналов», изучаемому студентами, обучающимися по специальности 210302.65 «Радиотехника».

В описание каждой работы включены рабочие задания, исследуемые схемы с необходимыми краткими пояснениями, краткие теоретические сведения и контрольные вопросы для самоконтроля подготовки.

### 1 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ, ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные занятия проводятся с целью закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков в работе с функциональными узлами радиопередающих устройств.

При подготовке к выполнению лабораторных работ следует:

- 1.1 Внимательно прочитать инструкцию по проведению работы.
- 1.2. Используя инструкцию, усвоить основные теоретические сведения, принцип работы исследуемой схемы, обращая особое внимание на понимание физической сущности процессов и связь характеристик с параметрами элементов схемы.
- 1.3 Продумать методику проведения эксперимента, нарисовать временные диаграммы сигналов в характерных точках схемы.
- 1.4 Подготовить бланки протоколов для оформления результатов исследования с необходимыми схемами, расчетами, временными диаграммами и таблицами.

**ПОСЛЕ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЯМ СТУДЕНТ ДОЛЖЕН ИМЕТЬ ЯСНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ, КОТОРЫЕ БУДУТ ПОЛУЧЕНЫ.**

Неподготовленные студенты к выполнению лабораторных работ не допускаются.

При выполнении работы следует:

1. Четко представлять себе, что измеряют приборы и как ими пользоваться.
2. Тщательно выполнить требуемые измерения в соответствии с разработанной методикой и построить соответствующие графики. Если при построении кривых нужны дополнительные расчеты, проводить их непосредственно на месте.
3. Каждый полученный экспериментальный результат сопоставлять с теоретическим (ожидаемым) результатом. В случае расхождений (сверх предполагаемых погрешностей) проверить методику испытаний, исправность аппаратуры, устранить причины несоответствий. В случае затруднений привлекать преподавателя.

При оформлении отчетов о проделанной работе следует:

1. Основное внимание уделить анализу полученных результатов и уметь их пояснить.
2. В отчете должны содержаться следующие пункты:
  - наименование работы, фамилия исполнителя, номер академической группы;
  - цель испытаний;
  - условия проведения испытаний ( дата, место и т.д.);
  - применяемые приборы;
  - методика проведения испытаний и схемы;
  - результаты расчетов;
  - результаты испытаний с подробными их пояснениями (сопоставление с теоретическими);
  - подпись исполнителя.

Отчеты должны быть оформлены аккуратно.

## 2 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

При работе с лабораторными установками (выполнении лабораторных работ) следует иметь в виду, что на лицевую панель выведены напряжения не превышающие  $\pm 10$  В.

**ОТКРЫВАТЬ КРЫШКИ УСТАНОВОК И ОСЦИЛЛОГРАФОВ ЗАПРЕЩАЕТСЯ.**

### 3 Лабораторная работа № 1

## АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

#### 3.1 Цель работы

Изучение работы схемы базовой модуляции, освоение методов анализа параметров и характеристик электрической схемы модулятора, практическое обеспечение режимов работы активных элементов с целью реализации оптимального режима модулятора и получения заданных частотных и нелинейных искажений.

#### 3.2 Подготовка к работе

3.2.1 Изучить часть курса, в котором рассматриваются амплитудная модуляция и схема базовой модуляции смещением. Уяснить назначение статических и динамических модуляционных характеристик и причины, вызывающие появление амплитудных и частотных искажений.

#### 3.3 Рабочее задание

3.3.1 Снять и построить статическую модуляционную характеристику:

$$I_{\text{к0}} = f(E_{\text{см}}), \text{ при } U_{m\Omega} = 0$$

$E_{\text{см}}$  измерять вольтметром макета, а  $U_{m\Omega}$  - осциллографом.

3.3.2 Выбрать рабочую точку на характеристике, определить  $E_{\text{см.раб.}}$  и  $U_{m\Omega\text{max}}$ . Выставить рабочий режим модулятора.

3.3.3. Снять динамическую модуляционную и амплитудно-частотную характеристики:

$$M = f(U_{m\Omega}), \text{ при } F_{\Omega} = 1000 \text{ Гц}$$

$$M = f(F_{\Omega}), \text{ при } U_{m\Omega} = \text{пост.}$$

3.3.4 Снять осциллограммы в характерных точках схемы: с0, с1, с6, с9, с5-с9 при  $U_{m\Omega} = 0$  и при  $U_{m\Omega\text{max}}$ . Записать масштабы осциллограмм.

3.3.5 Провести анализ полученных результатов.

3.3.6 Оформить отчет.

### 3.4 Краткие теоретические сведения

#### 3.4.1 Общие сведения

Модуляцией называется процесс управления одним или несколькими параметрами несущего радиочастотного колебания в соответствии с изменением параметра передаваемого (модулирующего) сигнала.

В общем случае радиосигнал, несущий в себе информацию, можно представить в виде колебания

$$\alpha(t) = A(t) \cos [\omega_0 t + \theta(t)] = A(t) \cos \Psi(t) \dots\dots \quad (3.4.1)$$

в котором амплитуда  $A$  или фаза  $\theta$  изменяются по закону передаваемого сообщения. Если  $A$  и  $\theta$  - постоянные величины, то выражение (3.4.1) описывает простое гармоническое колебание («несущее»), не содержащее в себе никакой информации.

Если  $A$  подвергается принудительному изменению с целью передачи сообщения, то модуляция называется амплитудной.

Модулированное колебание обладает спектром, структура которого зависит как от спектра передаваемого сообщения, так и от вида модуляции. То обстоятельство, что ширина спектра модулирующего сообщения мала по сравнению с несущей частотой  $\omega_0$ , позволяет считать  $A(t)$  медленной функцией времени. Это означает, что относительные изменения  $A(t)$  за один период несущего колебания  $T_0$  малы по сравнению с единицей и параметры радиосигнала – амплитуда, фаза и частота – изменяются настолько медленно, что в пределах одного периода  $T_0$  колебание можно считать синусоидальным.

Амплитудная модуляция является наиболее простым и очень распространенным в радиотехнике способом заложения информации в высокочастотное колебание.

Общее выражение амплитудно-модулированного радиосигнала запишется в следующем виде

$$\alpha(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \theta_0)$$

Характер огибающей  $A(t)$  определяется видом передаваемого сообщения.

Определение характеристик модулированного сигнала и связь спектров модулированного колебания и модулирующей функции, т.е. спектром исходного сообщения  $S(t)$ , наиболее наглядно можно продемонстрировать в случае тональной модуляции, когда модулирующая функция  $S(t)$  является гармоническим колебанием:

$$S(t) = S_0 \cos(\Omega t + \gamma)$$

Огибающая модулированного колебания при этом может быть записана в виде:

$$A(t) = A_0 + \Delta A_m \cos(\Omega t + \gamma) = A_0 [1 + M \cos(\Omega t + \gamma)], \text{ где}$$

- $\Omega$  - частота модулирующей функции;
- $\gamma$  - начальная фаза огибающей;
- $\Delta A_m$  - амплитуда изменения огибающей;

-  $A_0$  - амплитуда несущего колебания (рис. 1-1);

-  $M = \frac{\Delta A_m}{A_0}$  - коэффициент глубины модуляции или просто коэффициент модуляции

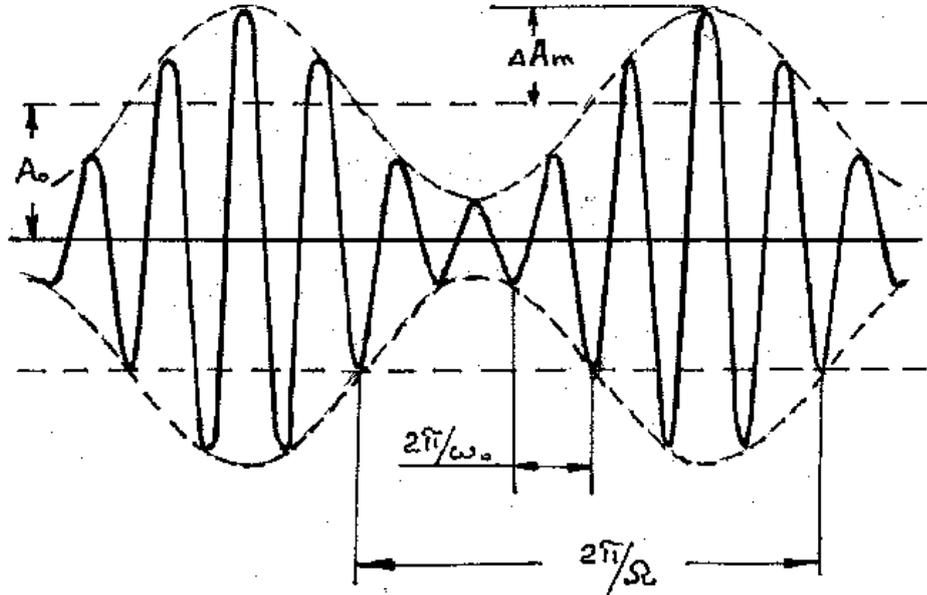


Рис. 1-1.

При неискаженной модуляции ( $M < 1$ ) амплитуда колебания изменяется в пределах от минимальной  $A_{\min} = A_0(1 - M)$  до максимальной  $A_{\max} = A_0(1 + M)$ .

Мгновенное значение модулированного колебания запишется в виде

$$a(t) = A_0[1 + M \cos(\Omega t + \gamma)] \cos(\omega_0 t + \Theta_0) = A_0 \cos(\omega_0 t + \Theta_0) + \frac{MA_0}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Theta_0 + \gamma] + \frac{MA_0}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \Theta_0 - \gamma]$$

Первое слагаемое в правой части представляет собой исходное немодулированное колебание с «несущей» частотой  $\omega_0$ . Второе и третье слагаемые соответствуют новым колебаниям (гармоническим), появляющимся в процессе модуляции амплитуды. Частоты этих колебаний  $\omega_0 + \Omega$  и  $\omega_0 - \Omega$  называются верхней и нижней боковыми частотами модуляции.

Спектральная диаграмма при тональной модуляции показана на рис. 1-2. Ширина спектра в этом случае равна удвоенной частоте модуляции  $2\Omega$ .

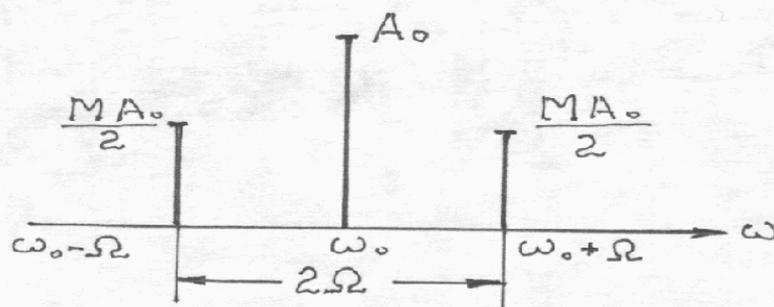
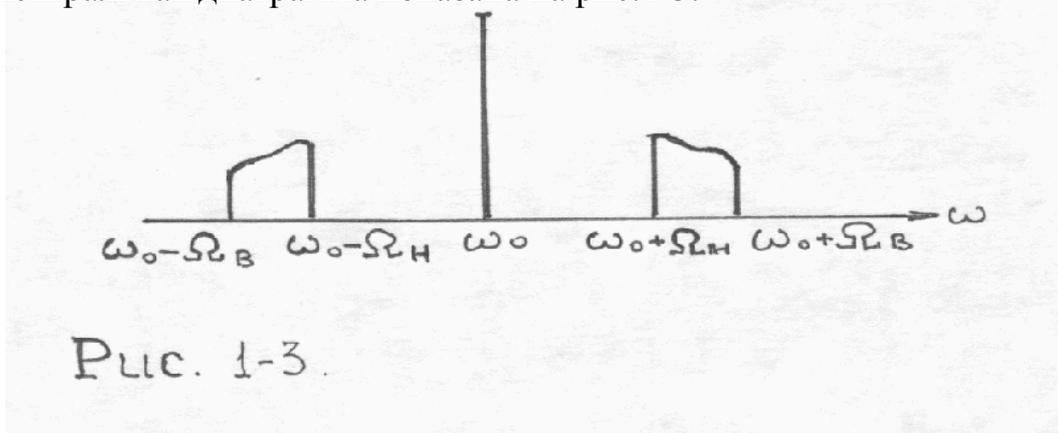


Рис. 1-2.

Полученные результаты нетрудно распространить на случай модуляции любым сложным сигналом. Модулирующий сигнал характеризуется своим спектром, каждая составляющая которого есть гармоническое колебание с частотами от  $\Omega_H$  до  $\Omega_B$ . Суммируя спектры модулированных колебаний при тональной модуляции составляющими спектра исходного сигнала, получим спектр модулированного сигнала при модуляции любым сложным сигналом.

Спектральная диаграмма показана на рис.1-3.



### 3.4.2 Базовая модуляция смещением

На рис.1-4 приведена схема базовой модуляции смещением.

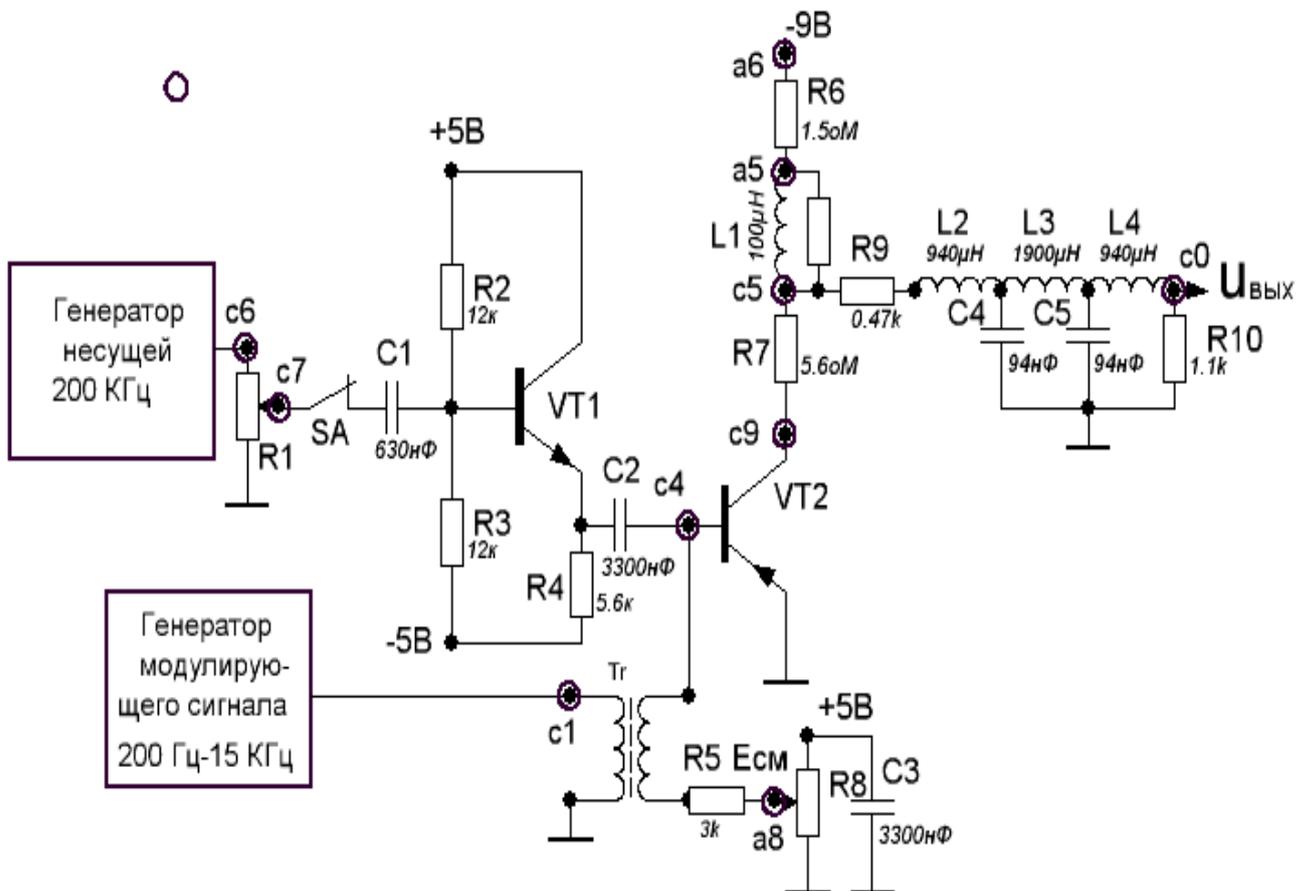
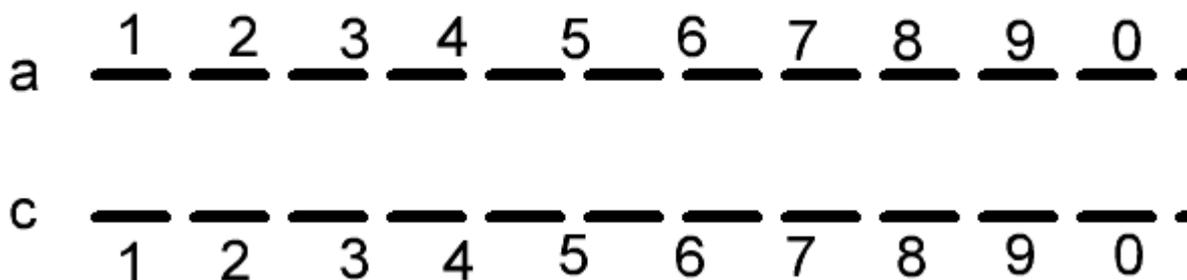


Рис. 1-4

## РАСПОЛОЖЕНИЕ КОНТАКТОВ РАЗЪЕМА



с 1 -  $u_{\Omega}$  - регулируемое, на трансформатор

с 2 -  $u_{\Omega}$  - не регулируемое (генератор)

с 4 - база  $VT2$

с 5 - вход ФНЧ

с 6 -  $u_{\omega}$  - несущая, не регулируемая

с 7 -  $u_{\omega}$  - несущая, регулируемая

с 9 - коллектор  $VT2$

с 0 -  $u_{\text{вых}}$  (после ФНЧ)

с 5 – с 9 - просмотр формы  $i_k$

а1, а 2- +5В

а3, а 4 - -5В

а5, а 6 - измерение  $I_0$

а7 -  $u_{\Omega}$  - синхронизация (прямоугольные импульсы)

а8 -  $E_{CM}$

а 9, а 0 - земля

Модулирующее напряжение от генератора сигналов подается на клемму «с1».

На резисторе R7 сопротивлением 5.6 Ом можно посмотреть форму коллекторного тока и произвести измерение его параметров  $I_{kmax}$ ,  $\Theta$ .

При модуляции смещением в такт с модулирующим сигналом изменяется смещение на базе транзистора VT2, а амплитуда напряжения возбуждения  $U_{m\omega}$  и коллекторное напряжение  $E_k$  в процессе модуляции остаются постоянными. Мгновенное напряжение на эмиттерном переходе транзистора (клемма с 4) при тональной модуляции (рис.1-5) запишется:

$$e_b = E_{cm} \pm U_{m\Omega} \cos \Omega t \pm U_{m\omega} \cos \omega t, \text{ где}$$

$E_{cm}$  – напряжение смещения;

$U_{m\Omega}$  – амплитуда модулирующего напряжения;

$U_{m\omega}$  – амплитуда напряжения возбуждения (несущей).

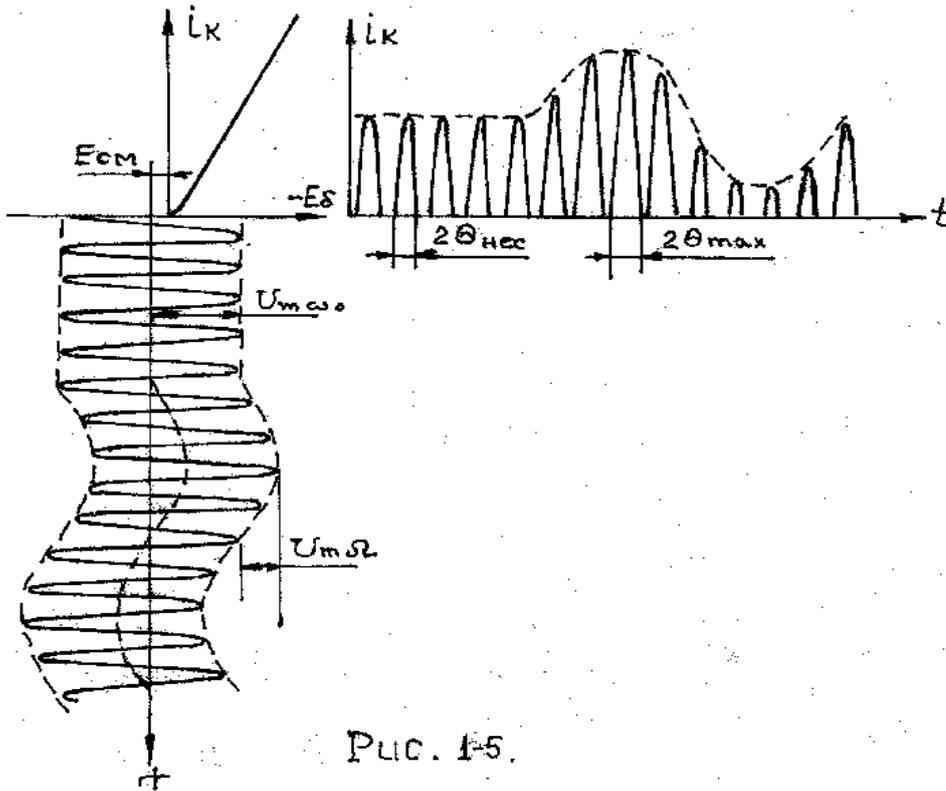


Рис. 1-5.

Транзистор работает в режиме «отсечки». Коллекторный ток представляет собой импульсы косинусоидальной формы. При  $U_{m\Omega} = 0$  угол отсечки коллекторного тока  $2\Theta_{нес}$  постоянен, модуляция отсутствует,  $U_{mвых}$  – постоянна.

При  $U_{m\Omega} \neq 0$  угол отсечки коллекторного тока  $2\Theta$  изменяется по закону изменения  $u_{\Omega}(t)$ , изменяется первая гармоника коллекторного тока - изменяется и  $U_{mвых}$ . Получили промодулированный выходной сигнал  $u_{вых}(t)$  (рис.1-1).

Судить о пригодности генератора на выбранном активном элементе можно по его статическим модуляционным характеристикам

$$I_{k1} = \varphi(E_{\delta}), I_{k0} = \varphi(E_{\delta}) \quad \text{при } U_{m\Omega} = 0. \quad (E_{\delta} = E_{CM})$$

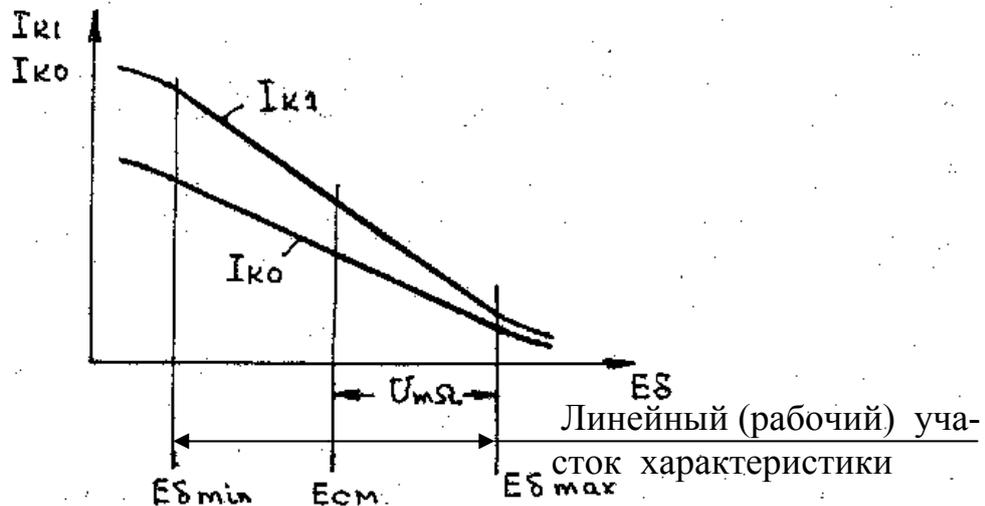


Рис. 1-6.

Линейный участок характеристик определяет режим работы модулятора ( $E_{CM}$  - середина линейного участка,  $U_{m\Omega}$  - максимальная амплитуда модулирующего сигнала), при котором сохраняется линейная зависимость между модулирующим сигналом и первой гармоникой коллекторного тока.

Для учета нелинейности входного сопротивления модулируемого каскада и частоты модулирующего сигнала исследуются динамические модуляционная и амплитудно-частотная характеристики (рис.1-7)

$$M = f(U_{m\Omega}), \quad \text{при } F = 1000 \text{ Гц};$$

$M = f(F), \quad \text{при } U_{m\Omega} = \text{пост}, \text{ частота } F \text{ изменяется в полосе частот модулирующего сигнала.}$

Идеальные характеристики должны быть прямыми линиями. Отклонение от прямых указывает на присутствие нелинейных и частотных искажений.

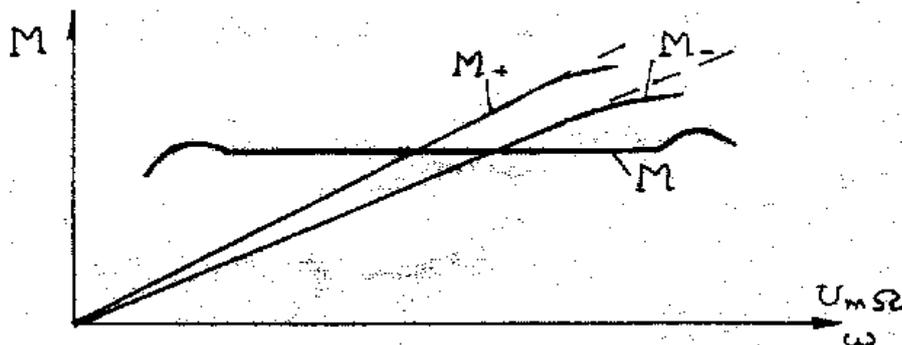


Рис. 1-7

### 3.5 Контрольные вопросы

1. Каким должен быть режим работы генератора при базовой модуляции смещением?
2. Преимущества и недостатки базовой модуляции смещением по сравнению с коллекторной модуляцией?
3. Как определить рабочую точку и  $U_{\text{мстmax}}$  на статической модуляционной характеристике?
4. При каком режиме (максимальном, несущей, линейном) наибольшая мощность рассеивается на коллекторе?
5. При каком режиме (максимальном, несущей, минимальном) наибольший к.п.д. генератора?
6. Как определить коэффициент модуляции с помощью осциллографа?

## 4 Лабораторная работа № 2

### ОДНОПОЛОСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

#### 4.1. Цель работы

Изучение работы схемы получения однополосно модулированного сигнала (колебания), экспериментальное снятие характеристик модулятора.

#### 4.2. Подготовка к работе

4.2.1. Изучить часть курса, в котором рассматриваются амплитудная модуляция, однополосная модуляция и схемы получения однополосно-модулированного сигнала. Уяснить преимущества и недостатки однополосной модуляции в сравнении с амплитудной.

4.2.2. Построить сквозную частотную характеристику  $f_{\text{вых}} = \varphi(f_{\Omega})$  при тональной модуляции,  $f_{\Omega} = 200 \div 4000$  Гц.

#### 4.3. Рабочее задание

4.3.1. Снять сквозную частотную характеристику однополосного модулятора при тональной модуляции  $f_{\text{вых}} = \varphi(f_{\Omega})$ , изменяя  $f_{\Omega}$  от 200 Гц до 4000 Гц.

4.3.2. Определить полосу пропускания фильтра, сняв зависимость  $U_{\text{мвых}} = \varphi(f_{\text{вых}})$ .

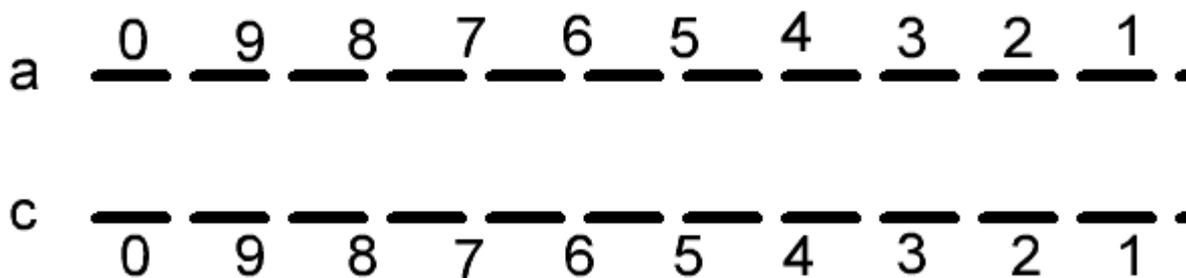
4.3.3. Снять осциллограммы напряжений в характерных точках схемы: на входах модулятора (с5, с1, с2, с7, с8), на выходе модулятора (с6), на входе (с3) и выходе (с4) фильтра, записав масштабы.

4.3.4. Пронаблюдать форму колебаний на выходе фильтра с4 при  $U_{\text{м}\Omega} = 0$ .

4.3.5. Провести анализ полученных результатов.

4.3.6. Оформить отчет.

## РАСПОЛОЖЕНИЕ КОНТАКТОВ РАЗЪЕМА



- с 1 -  $u_{\omega 0}$  (500 КГц)
- с 2 -  $u_{\omega 0}$  (500 КГц)
- с 3 -  $u_{BX}$  фильтра (после усилителя модулятора)
- с 4 -  $u_{ВЫХ}$
- с 5 -  $u_{\Omega}$  - модулирующее напряжение
- с 6 -  $u_{\omega}$  - выход модулятора (трансформатор)
- с 7 -  $u_{\omega 0}$  - обмотка трансформатора
- с 8 -  $u_{\omega 0}$  - обмотка трансформатора
- с 9 -  $u_{\omega}$  - измерение  $f_{\omega}$  (прямоугольные импульсы)
- с 0 -  $u_{\Omega}$  - синхронизация (прямоугольные импульсы)

- а 1 -  $u_{\Omega}$  - с DA1
- а 2 - 1 секунда (меандр)
- а 3 - 32768 Гц
- а 4 - развертка индикатора
- а 5 -  $u_{\Omega}$  на трансформатор с DA3
- а 6 - -5В
- а 7, а 8 - +5В
- а 9, а 0 - земля

## РАСПОЛОЖЕНИЕ КОНТАКТОВ РАЗЪЕМА ГЕНЕРАТОРА

- ↳ 1 - перемычка, обратная связь генератора
- ↳ 2, 3 – вход усилителя на DA2
- 5 -  $u_{ВЫХ}$  DA2
- 6 -  $u_{ВЫХ}$  DA1
- 7 -  $u_{\Omega}$  - регулируемое, выход DA3
- ↳ 8 -  $u_{\Omega}$  - регулируемое, на DA3
- ↳ 9,0 - регулируемое, DA1

#### 4.4. Краткие теоретические сведения

Однополосная модуляция (ОМ) является продуктом амплитудной модуляции, у которой из спектрального состава сигнала исключены несущая частота и одна из боковых полос.

Если сигнал на выходе амплитудного модулятора записать в виде

$$a(t) = A_0 \cos \omega_0 t + \frac{MA_0}{2} \cos (\omega_0 + \Omega)t + \frac{MA_0}{2} \cos (\omega_0 - \Omega)t$$

(полагаем, что модуляция тональная и начальные фазы колебаний =0), то после подавления колебаний с несущей частотой и одной из боковых частот получим сигнал с ОМ:

$$a_{om}(t) = \frac{MA_0}{2} \cos (\omega_0 \pm \Omega)t$$

При использовании балансного модулятора для подавления несущего колебания, на выходе получаем сигнал:

$$a(t) = MA_0 \cos(\omega_0 + \Omega)t + MA_0 \cos(\omega_0 - \Omega)t,$$

форма которого показана на рисунке 2-1, а спектр показан на рис.2-2.

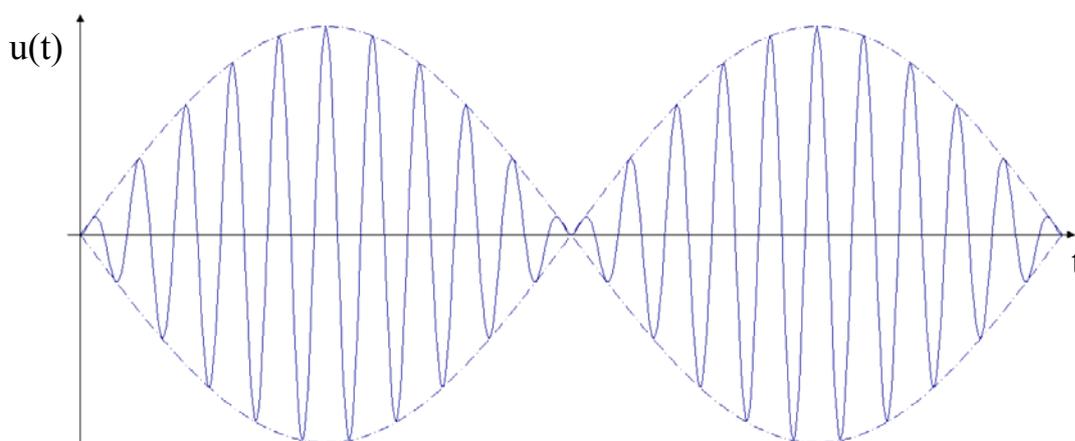


Рисунок 2-1

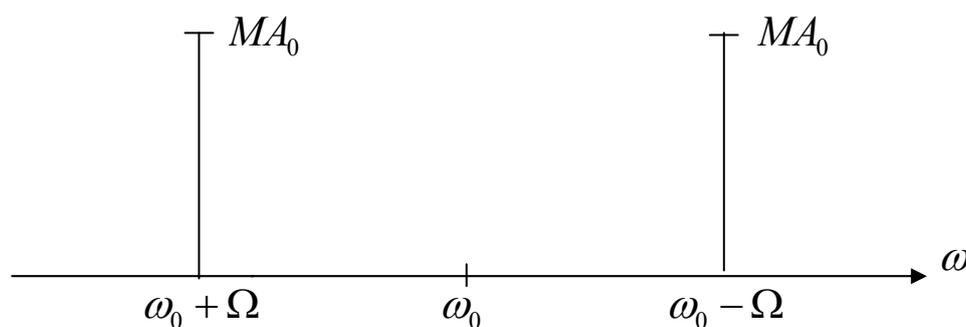


Рисунок 2-2

Амплитуда колебаний боковых частот в 2 раза больше, чем при АМ. Т.е. при ОМ получаем выигрыш по напряжению в 2 раза, а по мощности в 4 раза. Полоса частот ОМ колебания по сравнению с АМ уменьшается вдвое, следовательно, сужается полоса пропускания приемника, что приводит к увеличению отношения сигнал- помеха в  $\sqrt{2}$  по напряжению и в 2 раза по мощности. Таким образом, при ОМ по сравнению с АМ возможен энергетический выигрыш в 8 раз, а на КВ диапазоне – до 16 . К недостатком ОМ можно отнести:

- необходимость высокой стабильности несущей частоты в передатчике и частоты генератора в приемнике;
- существенное усложнение схем передатчика и приемника.

На рис.2-3 приведена схема однополосной модуляции.

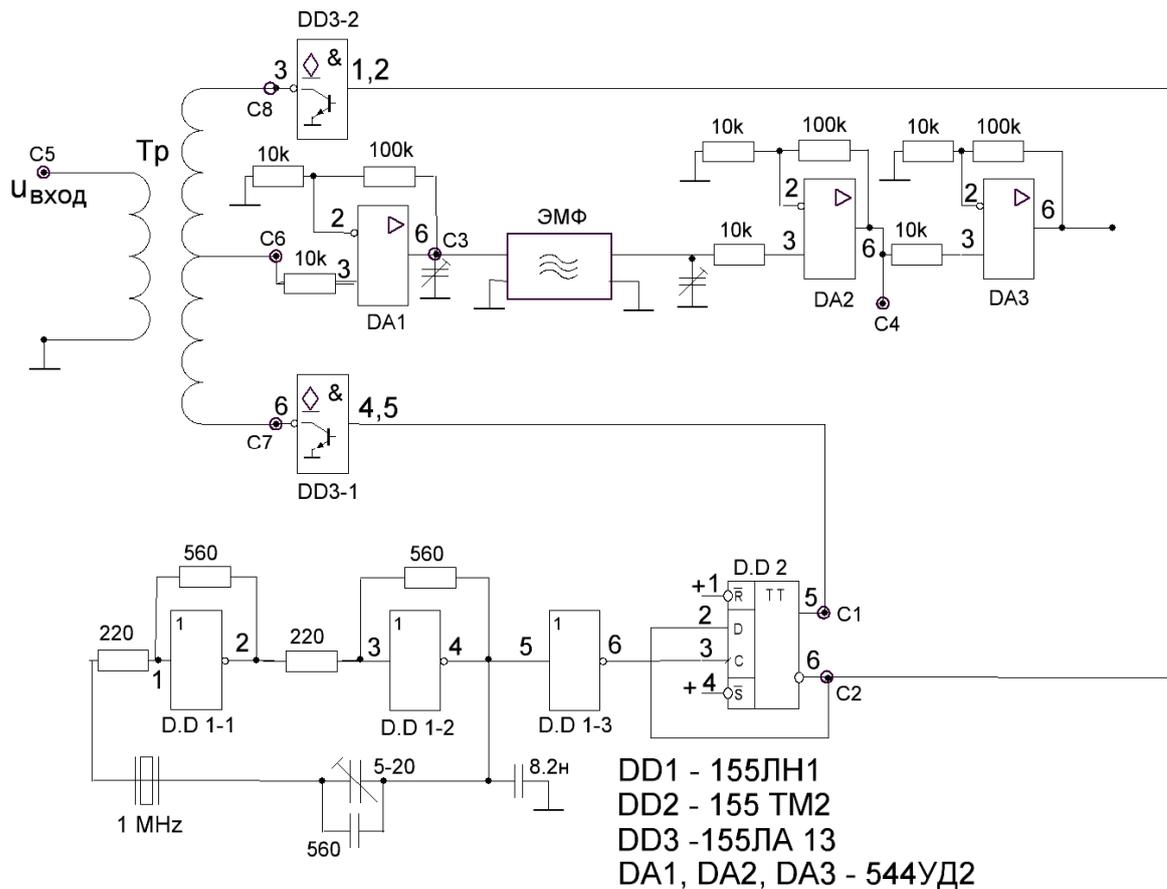


Рисунок 2-3

Кварцевый генератор на микросхеме DD1 (155ЛН1) и делитель частоты на триггере DD2 (155ТМ2) формируют сигнал несущей частоты  $U_{\omega_0}$  (500 кГц). На трансформаторе  $T_p$  и микросхеме DD3 (155ЛА13 с открытым коллектором) реализован балансный модулятор. Электромеханический фильтр (ЭМФ, 500,3 – 503,4 кГц) выделяет верхнюю боковую частоту колебаний  $U_{\omega+\Omega}$ .

На рисунке 2-4 приведена упрощенная схема балансного модулятора на трансформаторе.

Модулированное колебание обладает спектром, структура которого зависит как от спектра передаваемого сообщения, так и от вида модуляции. То обстоятельство, что ширина спектра модулирующего сообщения мала по сравнению с несущей частотой  $\omega_0$ , позволяет считать  $A(t)$  медленной функцией времени. Это означает, что относительные изменения  $A(t)$  за один период несущего колебания

$T_0$  малы по сравнению с единицей и параметры радиосигнала – амплитуда, фаза и частота – изменяются настолько медленно, что в пределах одного периода  $T_0$  модулирующее напряжение можно считать постоянным.

На рисунке 2-4 указаны полярности напряжений на обмотках транс-

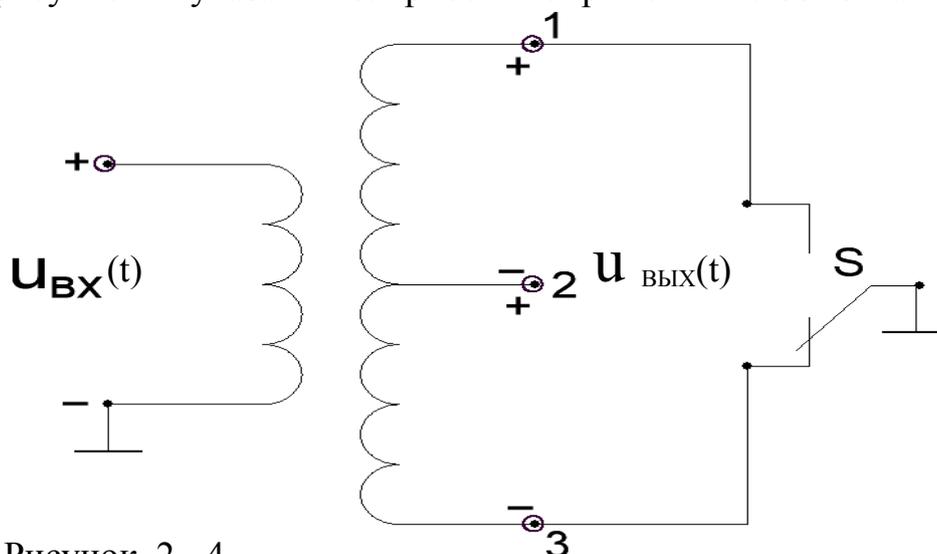


Рисунок 2 - 4

форматора друг относительно друга в некоторый момент времени  $t_0$ . Напряжение точки «2» относительно точки «1» отрицательное, а относительно точки «3» положительное. Если с помощью переключателя «S» точки «1» и «3» поочередно соединять с землей с некоторой частотой  $\omega_0$ , то и полярность напряжения точки «2» будет изменяться с той же частотой  $\omega_0$ .

При гармоническом входном (модулирующем) напряжении  $u_{вх}(t)$ , амплитуда (огнибающая) выходного высокочастотного напряжения  $u_{вых}(t)$  будет изменяться так же по гармоническому закону (рисунок 2-1).

В состав лабораторной установки входят:

- генератор модулирующего напряжения с регулировкой амплитуды и частоты колебаний;
- частотомеры измерения частот модулирующего и выходного сигналов с точностью отсчетов до 10Гц.

#### 4.5 Контрольные вопросы

1. Каковы преимущества однополосной модуляции по сравнению с амплитудной?
2. Недостатки однополосной линии связи.
3. Какие ограничения существуют по выбору несущей частоты при формировании однополосного сигнала?
4. Методы формирования однополосного сигнала.
5. Сравнительная оценка ОМ и АМ.

## 5. Лабораторная работа №3

### ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

#### 5.1. Цель работы

Изучение работы схемы частотной модуляции, практическое обеспечение режимов работы управляемого генератора частоты с целью реализации оптимального режима модулятора и получения заданных параметров модулированного сигнала. Приобретение опыта снятия модуляционных характеристик и их анализа.

#### 5.2. Подготовка к работе

5.2.1. Изучить часть курса, в котором рассматривается частотная модуляция (ЧМ): методы получения ЧМ колебаний, модуляционные характеристики, спектр ЧМ сигнала, параметры ЧМ сигнала.

5.2.2. Изучить схему ЧМ, реализованную в лабораторном макете и методы измерения девиации.

#### 5.3. Рабочее задание

5.3.1. Снять и построить характеристику управляемого генератора  $f = \varphi(U_{FC1})$ , при  $U_{FC2}$  – постоянном, заданном преподавателем.  $U_{FC1}$  изменять от 2,0 В до 4,5 В через 0,5 В.

5.3.2. На характеристике  $f = \varphi(U_{FC1})$  выбрать середину линейного участка, обозначить ее точкой В и определить  $f_B, U_{FC1-B}$ . Рассчитать и построить статическую модуляционную характеристику  $f_d = \varphi(U_{FC1})$ , где  $f_d = f - f_B$  – девиация частоты.

5.3.3. По статической модуляционной характеристике определить максимальную амплитуду модулирующего напряжения  $U_{m\Omega max}$ .

5.3.4. Выставить режим генератора -  $U_{FC1-B}, U_{FC2}$ . Снять динамическую модуляционную и амплитудно – частотную характеристики, измеряя девиацию двумя методами:

$$f_d = \varphi(U_{m\Omega}), \text{ при частоте } f_{\Omega} = 1000 \text{ Гц};$$

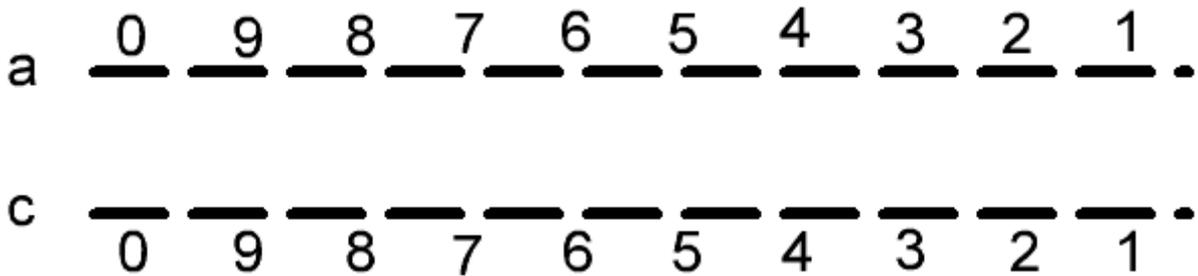
$$f_d = \varphi(f_{\Omega}), \text{ при } U_{m\Omega} \text{ постоянной}.$$

5.3.5. Снять осциллограммы в характерных точках схемы (с1,с0,с2.С6,С7,с8,а6,а7) при  $U_{m\Omega} = 0$  и при  $U_{m\Omega} \neq 0$ , соблюдая временные положения сигналов друг относительно друга, и записывая масштабы.

5.3.6. Провести анализ экспериментальных и расчетных результатов.

5.3.7. Оформить отчет.

## РАСПОЛОЖЕНИЕ КОНТАКТОВ РАЗЪЕМА



с 1 -  $u_{\Omega}$  - ВХОД

с 2 -  $U_{FC1}$

с 3 -  $U_{FC2}$

с 4 -  $U_{m\Omega}$ , на вольтметр

с 5 -  $f_{ГУН}$

с 6 -  $f_{ГУН} : 16$

с 7 -  $u_{ВЫХ} АГЗ$

с 8 -  $u_{ВЫХ} \Phi НЧ$

с 9 - 32768 Гц

с 0 - ВЫХОД компаратора,  $f_{\Omega}$

а 1 - 1 секунда

а 2 - сброс

а 3 - измерение  $N_{\max} - N_{\min}$

а 4 - измерение  $f_{\omega}$

а 5 -  $f_{\omega}$

а 6 -  $f_{\omega}$ , сложение

а 7 -  $f_{\omega}$ , вычитание

а 8 - управление ИД10, КП7

а 9 -  $u_{\Omega}$ , с регулировкой амплитуды

#### 5.4. Краткие теоретические сведения

Радиосигналы, частота которых изменяется по закону передаваемого сообщения, называются сигналами с частотной модуляцией. Частотная модуляция, как и фазовая модуляция, есть частный случай угловой модуляции.

При простейшей гармонической частотной модуляции мгновенная частота колебания определяется выражением

$$\omega(t) = \omega_0 + \omega_D \cos \Omega t, \text{ где}$$

$\omega_0$  и  $\Omega$  - несущая и модулирующая частоты;

$\omega_D$  - амплитуда частотного отклонения, называемая девиацией частоты или просто девиацией.

ЧМ сигнал описывается выражением

$$a(t) = A_0 \cos [\omega_0 t + \omega_D \sin \Omega t + \Theta_0]$$

На рис.3.1 приведена структурная схема лабораторной установки, а на рис.3-2, 3-3,3-4 ее принципиальная электрическая схема.

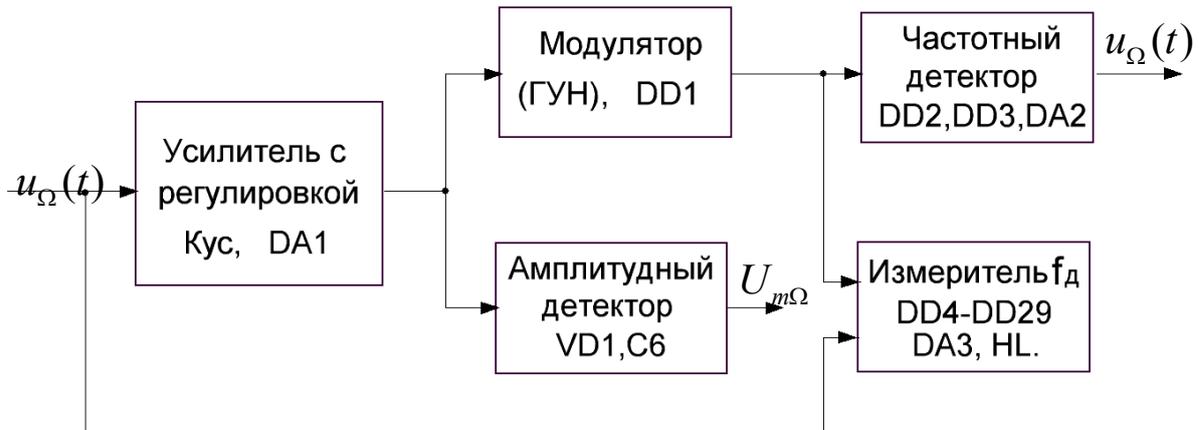


Рисунок 3-1

Усилитель с управляемым коэффициентом усиления (DA1) позволяет регулировать амплитуду модулирующего напряжения  $U_{m\Omega}$ .

Амплитудный детектор (VD1, C6) преобразует модулирующее напряжение в постоянное с уровнем равным  $U_{m\Omega}$ , которое измеряется вольтметром макета – измеряется  $U_{m\Omega}$ .

Частотный модулятор, генератор управляемый напряжением (ГУН) – реализован на микросхеме 531ГГ1(DD1). Частота колебаний задается емкостью конденсатора С1 и регулируется напряжениями:  $U_{FC1}$  - управление частотой и  $U_{FC2}$  – управление диапазоном частоты (рис.3-5)

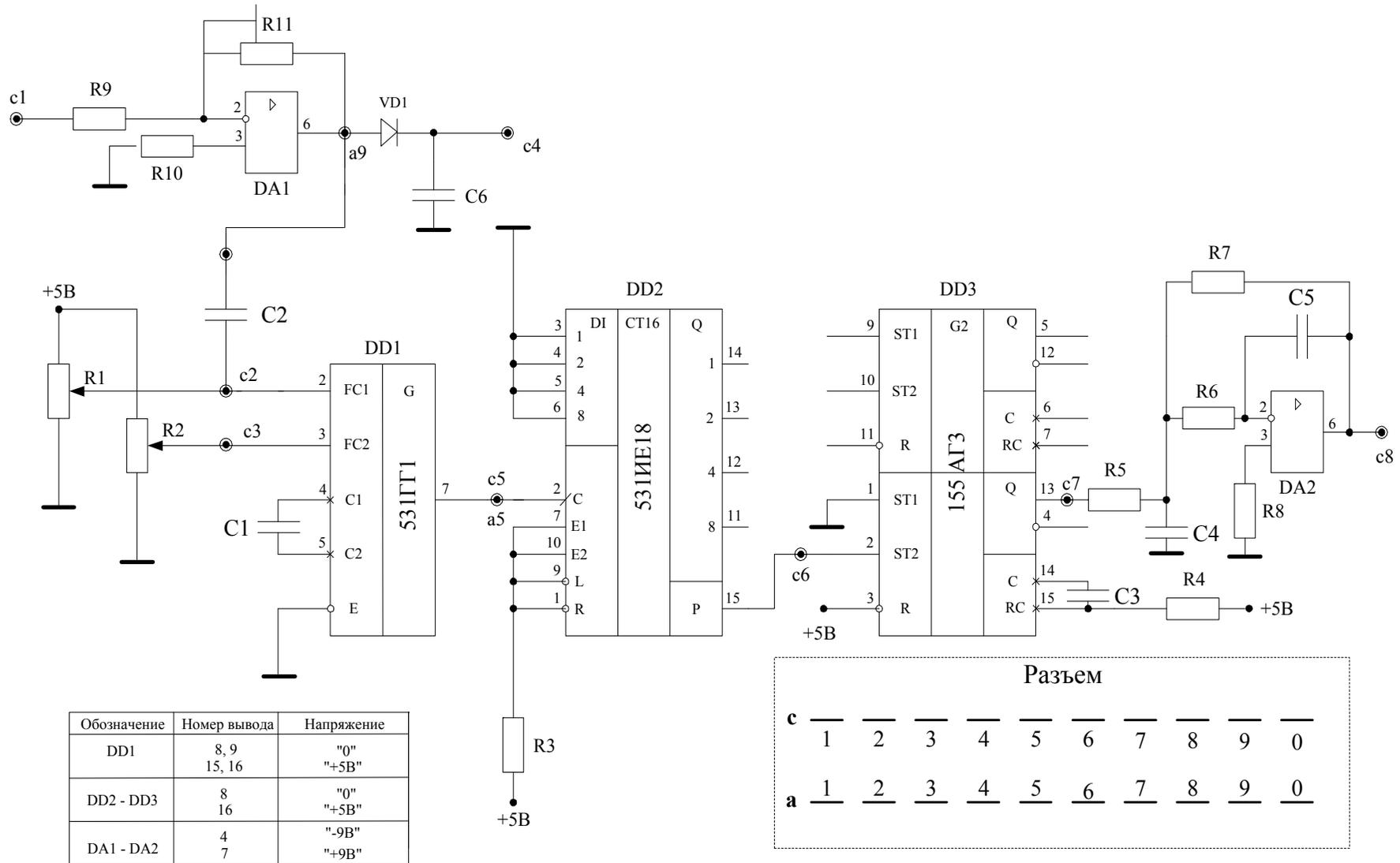


Рис. 3-2

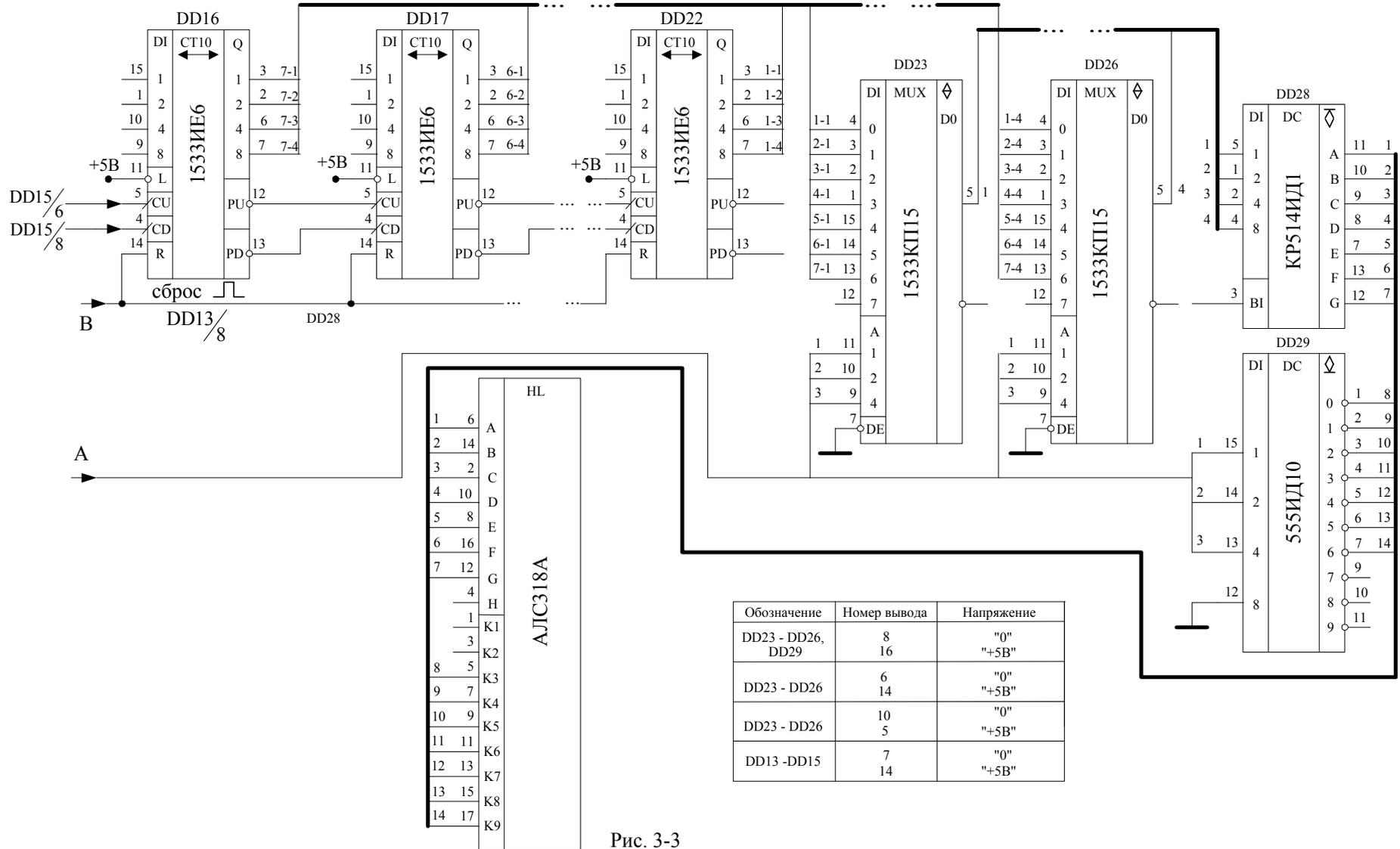


Рис. 3-3

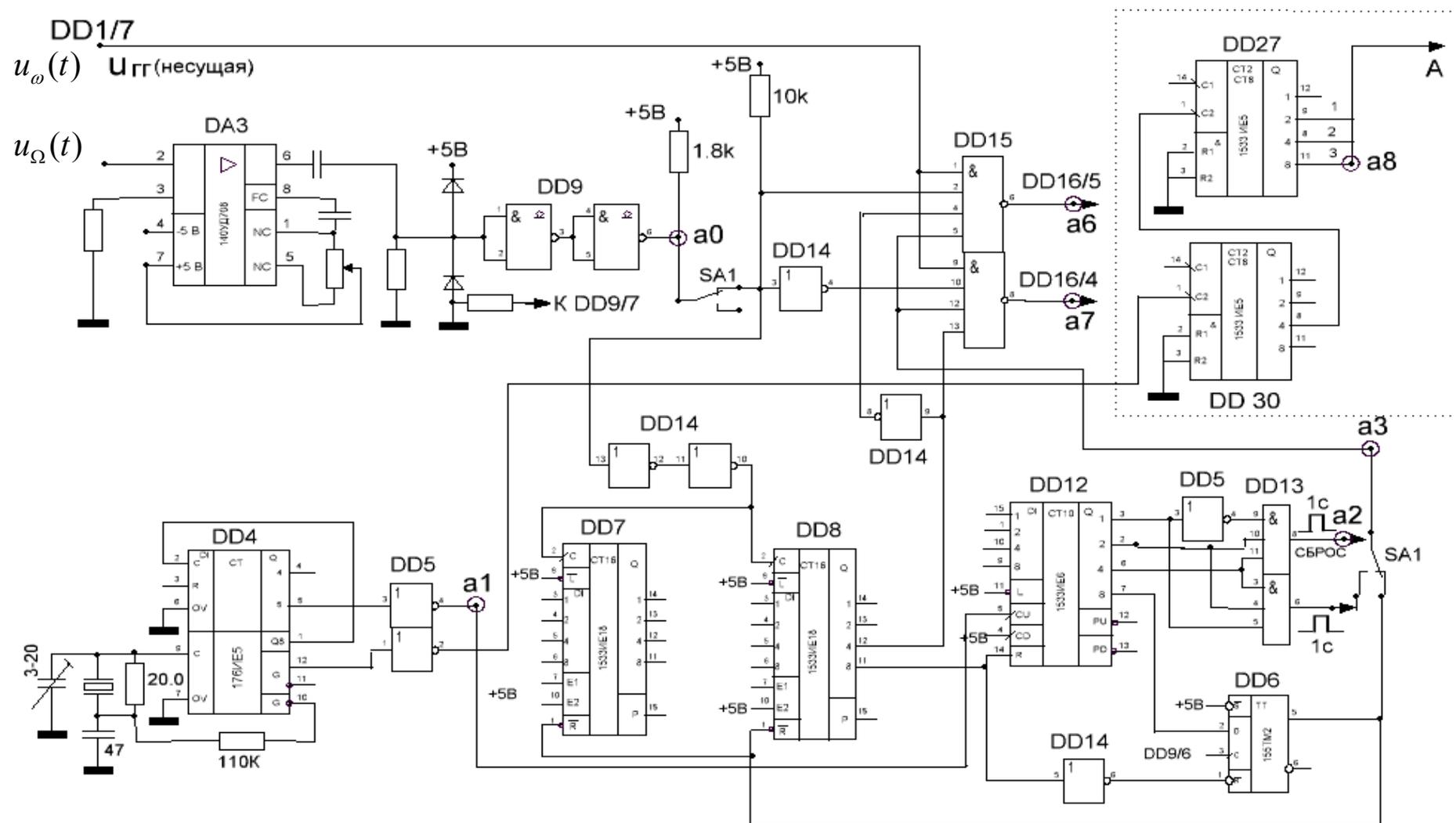


Рис. 3.4.

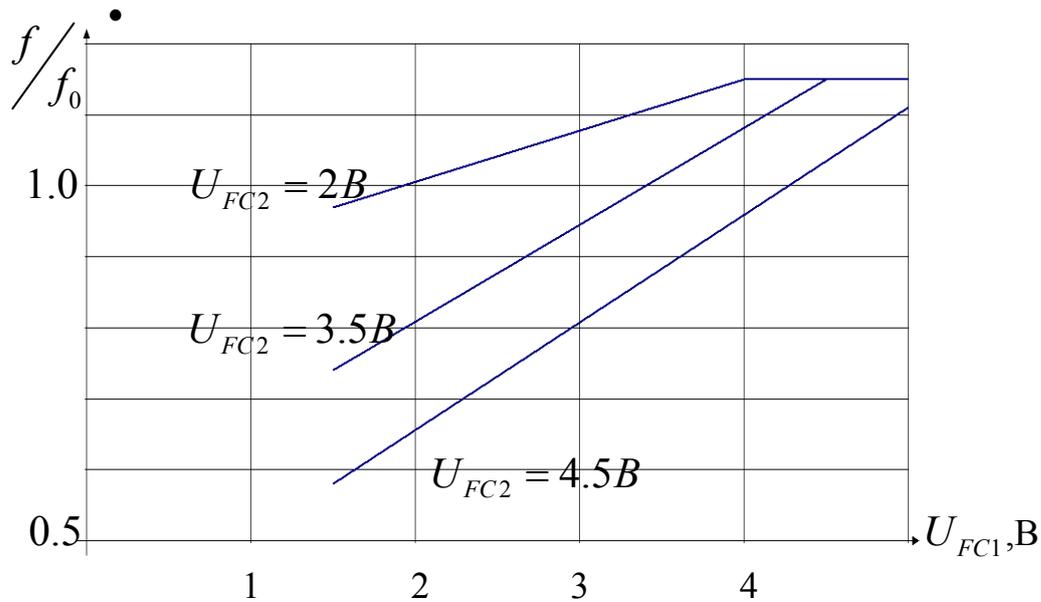


Рисунок 3-5

Девياцию частоты можно определить по протектированному ЧМ-сигналу. Детектирование ЧМ – сигнала основано на преобразовании модулированного по частоте сигнала в последовательность прямоугольных импульсов с постоянными амплитудой  $U_m$  и длительностью  $t_u$ , временное положение которых соответствует закону модуляции ЧМ- сигнала. Выделение низкочастотного модулирующего напряжения осуществляется с помощью активного ФНЧ (DA2). Для снижения требований к элементам частотного детектора по быстродействию, частота ЧМ-сигнала делится на 16 (DD2). Нормирование импульсов по амплитуде и длительности осуществляется ждущим мультивибратором (DD3).

Структурная схема частотного детектора приведена на рисунке 3-6.

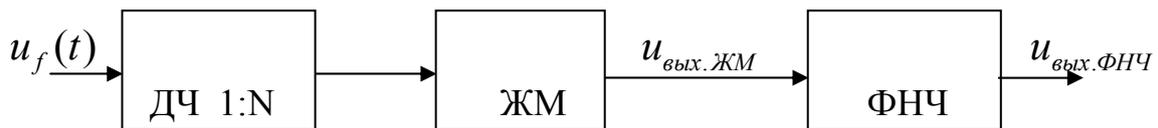
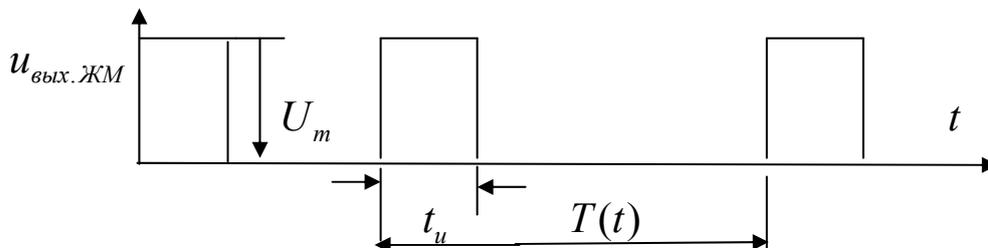


Рисунок 3-6

Напряжение на выходе ЖМ имеет вид:



Напряжение на выходе ФНЧ (постоянная составляющая импульсной последовательности) определяется выражением

$$u_{\text{ФНЧ}(t)} = \frac{U_m \cdot t_u}{16T(t)} = U_m \cdot t_u \frac{f(t)}{16} = U_m t_u \left( \frac{f_B}{16} + \frac{f_D}{16} \cos \Omega t \right) = \frac{U_m \cdot t_u \cdot f_B}{16} + \frac{U_m \cdot t_u \cdot f_D}{16} \cos \Omega t =$$

$$= U_{=} + U'_m \cos \Omega t, \text{ где}$$

$-U_{=} = \frac{U_m \cdot t_u \cdot f_B}{16}$  – постоянная составляющая выходного напряжения измеряемая

при  $f_D=0$ , т.е. при отсутствии модулирующего сигнала;

$-U'_m = \frac{U_m \cdot t_u \cdot f_D}{16}$  – амплитуда переменной составляющей выходного напряжения, пропорциональная девиации.

Девиация вычисляется по результатам измерений по осциллографу  $U_{=}$ ,  $U'_m$  и выбранной частоте  $f_B$ :

$$f_D = \frac{U'_m}{U_{=}} \cdot f_B = \frac{f_B}{U_{=}} \cdot U'_m$$

Данный метод измерения девиации не дает истинной характеристики модулятора, т.к. на результат оказывает влияние ограниченная полоса и неравномерность частотной характеристики ФНЧ.

Для исключения указанного недостатка используется метод, теоретические основы которого заключаются в следующем.

Частота сигнала на выходе модулятора при гармоническом модулирующем сигнале изменяется по закону  $f = f_B + f_D \sin 2\pi F t$ , где  $-2\pi F = \Omega$ .

Пусть некоторое устройство считает в течение полупериода  $\frac{T}{2} = \frac{1}{2F}$  количество импульсов  $n$  с выхода модулятора:

$$n = \int_t^{t+\frac{T}{2}} (f_B + f_D \sin 2\pi F t) dt = f_B t \Big|_t^{t+\frac{T}{2}} - \frac{f_D}{2\pi F} \cos 2\pi F t \Big|_t^{t+\frac{T}{2}} = \frac{f_B \cdot T}{2} - \frac{f_D}{2\pi F} \left[ \cos 2\pi F \left( t + \frac{T}{2} \right) - \cos 2\pi F t \right] = \frac{f_B}{2F} -$$

$$- \frac{f_D}{2\pi F} \left[ \cos \left( 2\pi F t + 2\pi F \cdot \frac{1}{2F} \right) - \cos 2\pi F t \right] = \frac{f_B}{2F} - \frac{f_D}{2\pi F} [\cos(2\pi F t + \pi) - \cos 2\pi F t] = \frac{f_B}{2F} + \frac{f_D}{\pi F} \cos 2\pi F t$$

При  $t=0$  получим количество импульсов с выхода модулятора за положительный полупериод модулирующего напряжения:

$$n_{\max} = \frac{f_B}{2F} + \frac{f_D}{\pi F}$$

При  $t = \frac{T}{2}$  получим количество импульсов с выхода модулятора за отрицательный полупериод модулирующего напряжения:

$$n_{\min} = \frac{f_B}{2F} - \frac{f_D}{\pi F}$$

Если

подсчет импульсов производить в течение 64 периодов частоты  $F$ , то получим

$$N_{\max} = n_{\max} \cdot 64 = \frac{f_B \cdot 64}{2F} + \frac{f_D \cdot 64}{\pi F}$$

$$N_{\min} = n_{\min} \cdot 64 = \frac{f_D \cdot 64}{2F} - \frac{f_D \cdot 64}{\pi F}$$

Если из первого выражения вычесть второе, то получим

$$N_{\max} - N_{\min} = \frac{128 f_D}{\pi F}, \text{ откуда}$$

$$f_D = (N_{\max} - N_{\min}) \frac{\pi F}{128}.$$

Структурная схема измерителя девиации, реализующая полученный алгоритм, представлена на рисунке 3-7.

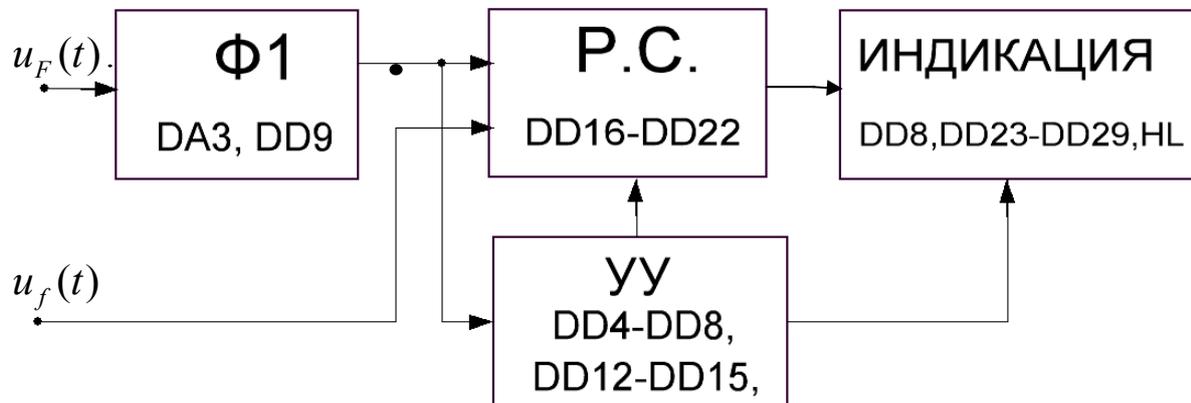


Рисунок 3-7

Работа измерителя:

-Ф1—компаратор, преобразует модулирующее гармоническое напряжение  $u_F(t)$  в прямоугольные импульсы со скважностью -2 (переключение компаратора при переходе входного напряжения через «0»), которые управляют направлением счета реверсивного счетчика-сложение/ вычитание;

-Р.С. - реверсивный счетчик (двоично-десятичный), подсчитывает разность импульсов модулированного напряжения ( $u_f(t)$ )  $N_{\max} - N_{\min}$  за 128 периодов модулирующего напряжения;

- ИНДИКАЦИЯ - отображает число, находящееся в реверсивном счетчике, т.е.  $N_{\max} - N_{\min}$ ;

- У.У.- устройство управления, определяет последовательность работы узлов измерителя. Работа У.У. иллюстрируется временными диаграммами рисунков 3-8, 3-9. Секундные импульсы ( $T = 1\text{с}$ ) с генератора DD4 поступают на двоично-десятичный счетчик DD12, работающий в счетном режиме. Начнем рассматривать работу схемы с момента времени, когда в счетчик DD12 записалось число 6 (рисунок 3-8). На выходе схемы DD13/8 ( $a2$ ) сформируется импульс сброса счетчиков, длительностью  $1\text{с}$ . Когда в счетчик DD12 запишется число 8, на выходе DD12/7 и входе DD6/2 (вход D) установится высокий (единичный) уровень. На вход DD6/3 (вход C) поступают сформированные из  $u_{\Omega}$  прямоугольные импульсы. Первым положительным перепадом этих импульсов триггер DD6 переводится в единичное состояние,  $DD6/5(a3)=1$ . Снимается блокировка счетчиков DD7, DD8 (на входах  $\bar{R}$  устанавливается 1) и элементов DD15. Дальнейшая работа устройства иллюстрируется рисунком 3-9, выполненном в большем масштабе.

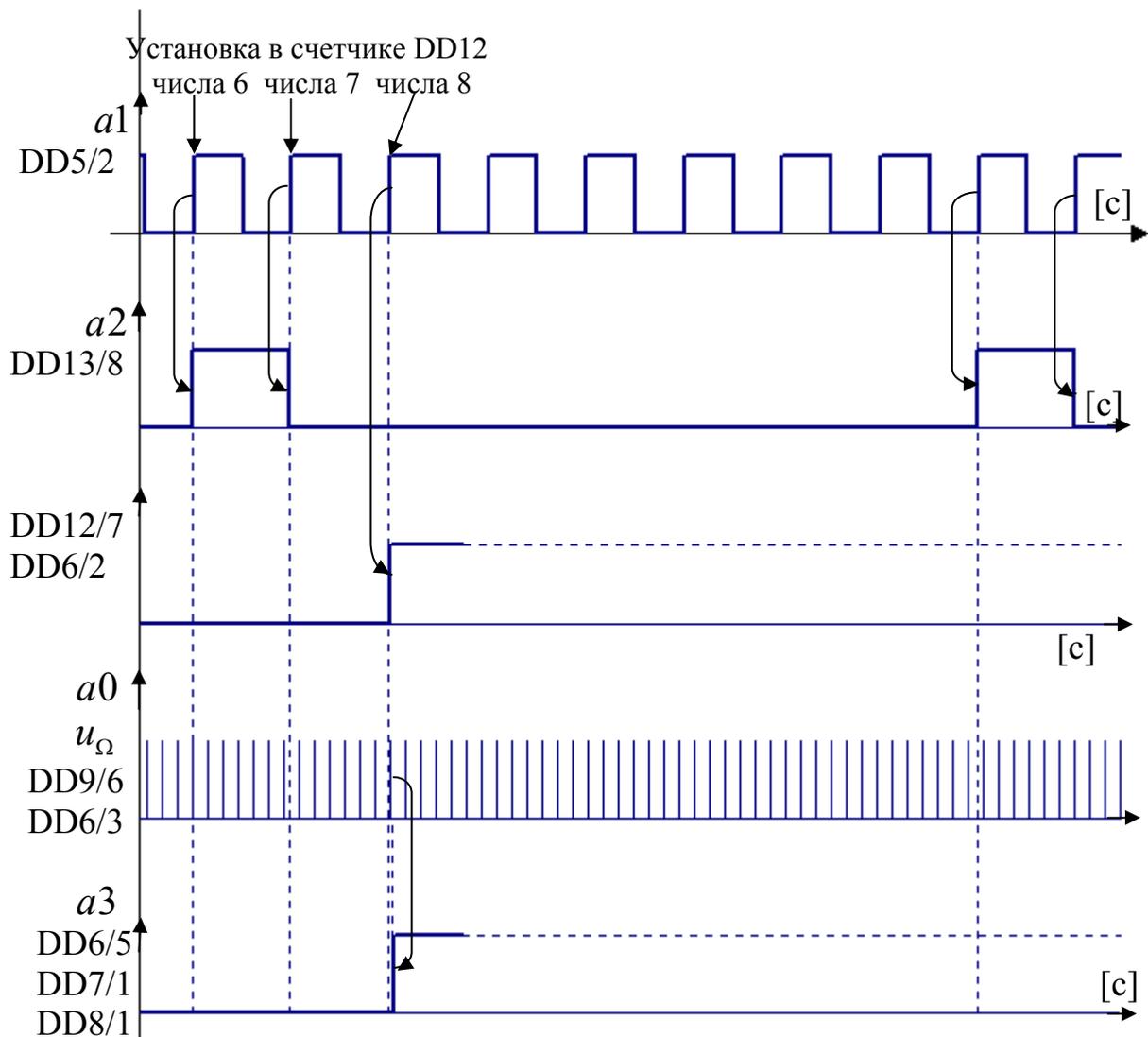


Рисунок 3-8

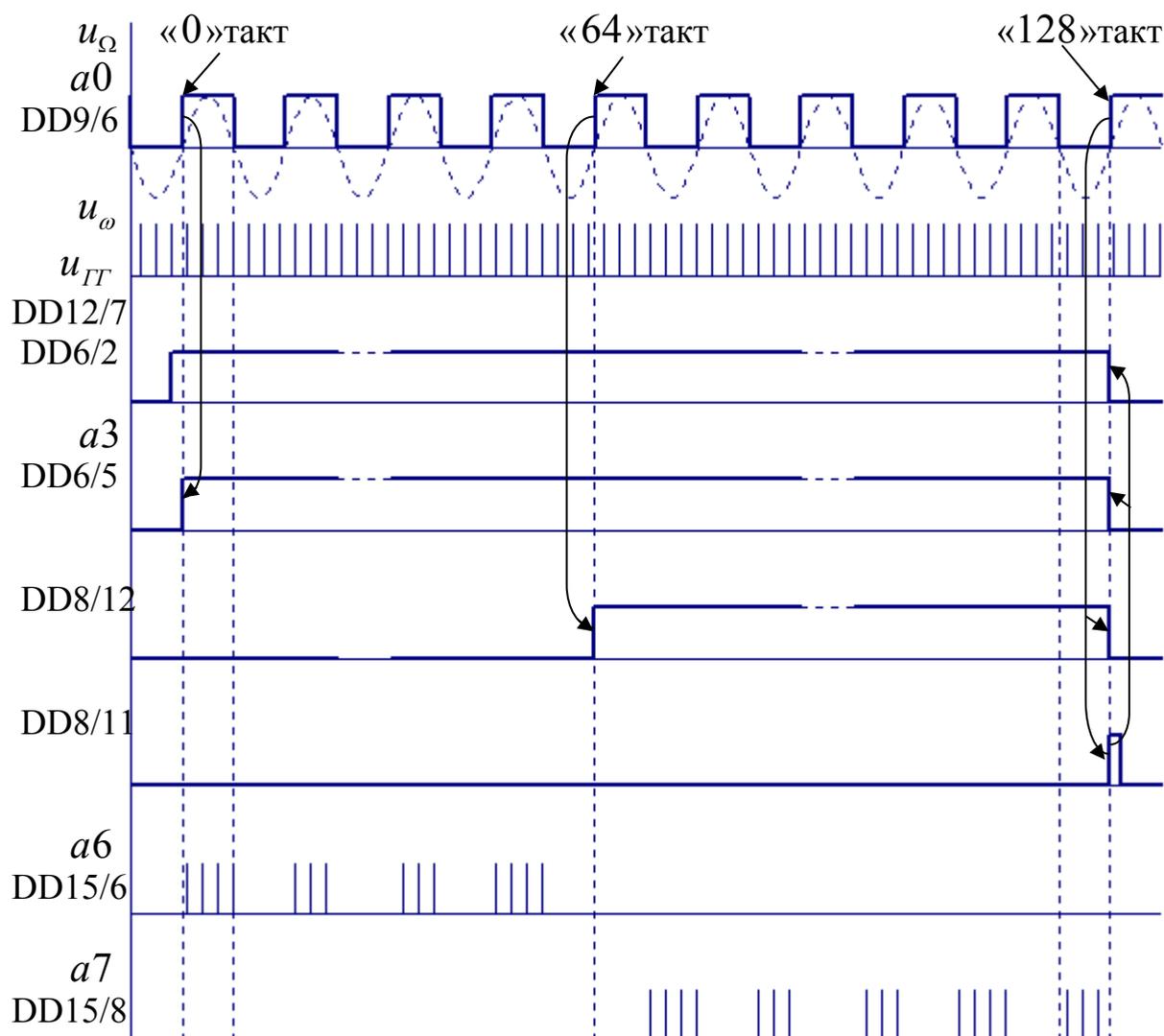


Рисунок 3-9

Начинается этап измерения. Счетчики DD7, DD8 считают с нуля. В течение 64 тактов (периодов  $u_{\Omega}$ ) верхний элемент DD15, управляемый сигналами  $a3 \cdot \overline{DD8/12} \cdot a0 \cdot u_{\omega}$ , пропускает сигнал  $u_{\omega}$  ( $a6$ ) на вход сложения реверсивных счетчиков. В счетчиках записывается число  $N_{\max}$ . В следующие 64 такта (с 64 по 128) нижний элемент DD15, управляемый сигналами  $a3 \cdot DD8/12 \cdot \overline{a0} \cdot u_{\omega}$ , пропускает сигнал  $u_{\omega}$  ( $a7$ ) на вход вычитания реверсивных счетчиков. Содержимое счетчиков уменьшается на  $N_{\min}$ , остается число  $N_{\max} - N_{\min}$ .

На 128 такте сигнал на выходе DD8/11 принимает значение «1» (высокий уровень), который сбрасывает в «0» счетчик DD12 и триггер DD6. Низкий уровень сигнала DD6/5 ( $a3$ ) блокирует выходы элементов DD15, сбрасывает в «0» и блокирует работу счетчиков DD7, DD8. Как только DD устанавливается в «0», снима

ется блокировка счетчика DD12 (низкий уровень на входе DD12/14 и высокий уровень на входе DD6/1). Наступает этап индикации результата измерения длительностью в 6 секунд. Счетчик DD12 начинает считать секунды, при числе «6» сформируется сигнал сброса счетчиков *a2*. Вернулись к состоянию начала рассмотрения работы схемы.

#### Перечень элементов

DD1-531ГГ1	DD23÷DD26- 1533RG15
DD2 – 531ИЕ18	DD27- 1533ИЕ5
DD3- 155АГ3	DD28- КPS14ИД1
DA1,DA2-140Д708	DD29- 555ИД10
DD4- 555ЛН1	DD13- 555ЛИЗ
DD5÷DD12- 1533ИЕ6	DD14- 555ЛА3
DD16÷DD22- 1533ИЕ6	DD15- 555ЛА4
HL – АЛС318 А	DA3- К544СА3
R1,R2,R9,R11 – 33 кОм	R6– 9,1 кОм
R3,R4 – 5,1 кОм	R7 – 36 кОм
R5,R8– 18 кОм	R10,R17,R18 – 10 кОм
R12,R14 – 560 кОм	R15 – 3 кОм
R13 – 220 кОм	R16 – 3 кОм
C1 – 51 пФ	C5 – 256 пФ
C2 – 0,05 мкФ	C6 – 1 мкФ
C4 – 3 нФ	C7 – 220 пФ
	C8 – 3÷20 пФ

### 1.3 Контрольные вопросы

1. Каковы достоинства и недостатки частотной модуляции?
2. Что такое – модуляционная характеристика?
3. Как выбирается рабочая точка на статической модуляционной характеристике?
4. Для чего снимаются динамическая модуляционная и амплитудно-частотная характеристики?
5. Охарактеризуйте и сравните два метода измерения девиации.
6. Объясните работу схемы лабораторной установки.

## 6.Лабораторная работа №4

### СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ

#### 6.1Цель работы

Изучение работы синтезатора частот с петлей фазовой автоподстройки (ФАП), экспериментальное определение основных характеристик синтезатора частот.

#### 6.2 Подготовка к работе

6.2.1. Изучить часть курса, в которой рассматриваются синтезаторы частот (СЧ), принцип построения СЧ с петлей ФАП, работу схемы лабораторного макета.

#### 6.3 Рабочее задание

6.3.1. Снять и построить зависимости  $f_{ГУН} = \varphi(U_{FC1})$  при значениях напряжения  $U_{FC2} = 3,03 \text{ В}; 3,53 \text{ В}; 4,09 \text{ В}$ , изменяя  $U_{FC1}$  от 1.5В до 4.5 В через 0,5 В.

6.3.2. Определить характеристику, у которой изменение частоты  $f_{ГУН} = \varphi(U_{FC1})$  в пределах 4 МГц – 8 МГц происходит с максимальной крутизной.

6.3.3. Установить режим ГУН в соответствии с выбранной характеристикой.

6.3.4 Измерить точность поддержания частоты  $f_{ГУН}$  при коэффициентах деления ДПКД 9 – 16 при двух вариантах ФД (произвести по 10 измерений  $f_{ГУН}$  и вычислить среднее значение  $f_{ГУН\text{ ср}}$  и оценку среднеквадратического отклонения  $\hat{\sigma}$ ).

6.3.5. Определить зону захвата при перестройке  $f_{ГУН}$  при двух вариантах ФД (коэффициент деления ДПКД следует менять ступенями 16 – 15, 16– 14, 16-12,16-8, 9 – 10, 9 –11, 9 – 13).

6.3.6. Определить зону захвата при перестройке  $f_{ГУН}$  при двух вариантах ФД и при увеличении точности настройки  $f_{ГУН}$  (коэффициент деления ДПКД менять как в п.6.3.5,исключив 16-8).

6.3.7. Пронаблюдать явление «боковой фазовой модуляции» при различных  $K_{ДПКД}$  и двух вариантах ФД, оценить ее величину качественно (при выполнении этого пункта сигнал с выхода ДПКП наблюдать на осциллографе – размытость периода колебаний).

6.3.8. Зарисовать осциллограммы в точках схемы: КТ1÷КТ5, КТ7÷КТ13, в одном масштабе и соблюдая фазовые соотношения.

6.3.9. Провести анализ полученных результатов.

6.3.10. Оформить отчет.

## РАСПОЛОЖЕНИЕ КОНТАКТОВ РАЗЪЕМА

<u>+5В</u>	<u>+5В</u>	<u>КТ11</u>	<u>КТ12</u>	<u>+9В</u>	<u>КТ13</u>	<u>КТ14</u>	<u>-9В</u>	<u>"0"</u>	<u>"0"</u>
<u>КТ1</u>	<u>КТ2</u>	<u>КТ3</u>	<u>КТ4</u>	<u>КТ5</u>	<u>КТ6</u>	<u>КТ7</u>	<u>КТ8</u>	<u>КТ9</u>	<u>КТ10</u>

КТ 1 – 2МГГц

КТ 2 – 500 КГц

КТ 3 -  $f_{ГУН}$

КТ 4 -  $f_{ГУН} : N$

КТ 5 -  $U_{FC1}$

КТ 6 -  $U_{FC2}$

КТ 7 – ВЫХОД  $X < Y$

КТ 8 – ВЫХОД  $X > Y$

КТ 9 -  $\bar{Q}$

КТ 10 -  $Q$

КТ 11 – ВЫХОД счетчика  $X$ ,  $F_0 : 16$

КТ 12 – ВЫХОД счетчика  $Y$ ,  $f_{ГУН} : N : 16$

КТ 13 – ВЫХОД ФНЧ ( $U_{FC1}$ )

## 6.4 Краткие теоретические сведения

Наиболее ответственным и сложным из компонентов возбuditеля является синтезатор частот (СЧ) – устройство, позволяющее получать одно или одновременно несколько колебаний с любой из некоторого множества частот при точности и стабильности частоты, определяемыми опорным генератором (ОГ). Как правило, частота ОГ стабилизируется кварцем, что позволяет получить ее относительную стабильность  $10^{-7}$  и менее.

Синтезом частот называют процесс получения одного или нескольких колебаний с нужными частотами из конечного числа исходных колебаний путем преобразования частот, т.е. с помощью операций сложения, вычитания, умножения и деления их на рациональные числа.

При построении синтезаторов частот используют две группы методов формирования сетки частот:

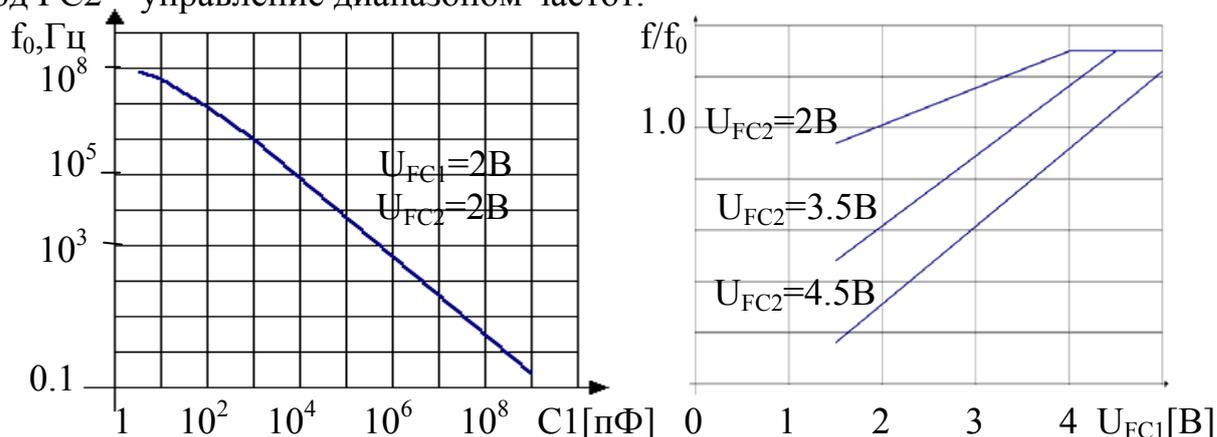
- методы пассивного синтеза;
- методы активного синтеза.

Отличительной особенностью методов активного синтеза является обязательное наличие в тракте синтезатора перестраиваемых или управляемых автогенераторов, включенных в схему так, чтобы их стабильность частоты практически не влияла на стабильность частоты выходного сигнала синтезатора, которая определяется только свойствами ОГ. Наиболее часто для этого используется фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ). В зависимости от используемой элементной базы синтезаторы делятся на аналоговые и цифровые.

На рис.4-1 приведена структурная схема лабораторной установки синтезатора частот с петлей ФАПЧ, а на рис.4-2 – принципиальная электрическая схема установки. Синтезатор генерирует сетку частот от 4,5 МГц до 8,0 МГц с шагом 0,5 МГц.

ОГ выполнен на одном из мультивибраторов микросхемы КР531ГГ1 (DD1.1), стабилизированном кварцем с частотой 2 МГц, и делитель частоты КР555ИЕ5 (DD3) с коэффициентом деления  $1 \div 4$ . Полученная частота  $F_0 = 0.5 \text{ МГц}$  определяет шаг сетки частот, является опорной.

ГУН - (генератор управляемый напряжением) выполнен на второй половине микросхемы КР531ГГ1 (DD1.2), у которого вход FC1 - управление частотой, а вход FC2 – управление диапазоном частот.



Выше приведены: график зависимости частоты генерируемого сигнала  $f_0$  от емкости конденсатора  $C1$  при  $U_{FC1} = U_{FC2} = 2B$  и график зависимости  $f/f_0$  от напряжения  $U_{FC1}$  при различных значениях напряжения  $U_{FC2}$ .

ДПКД-выполнен на синхронном двоичном счетчике КР555ИЕ17 (DD2). Счетчик работает на вычитание, коэффициент деления определяется числом  $a_4 a_3 a_2 a_1$ , устанавливаемым переключателями S4, S3, S2, S1 и загружаемым в счетчик в начале каждого цикла с входов  $DI$  сигналом  $\overline{P}$ . Коэффициент деления определяется выражением

$$N = a_4 \cdot 2^3 + a_3 \cdot 2^2 + a_2 \cdot 2^1 + a_1 \cdot 2^0 + 1.$$

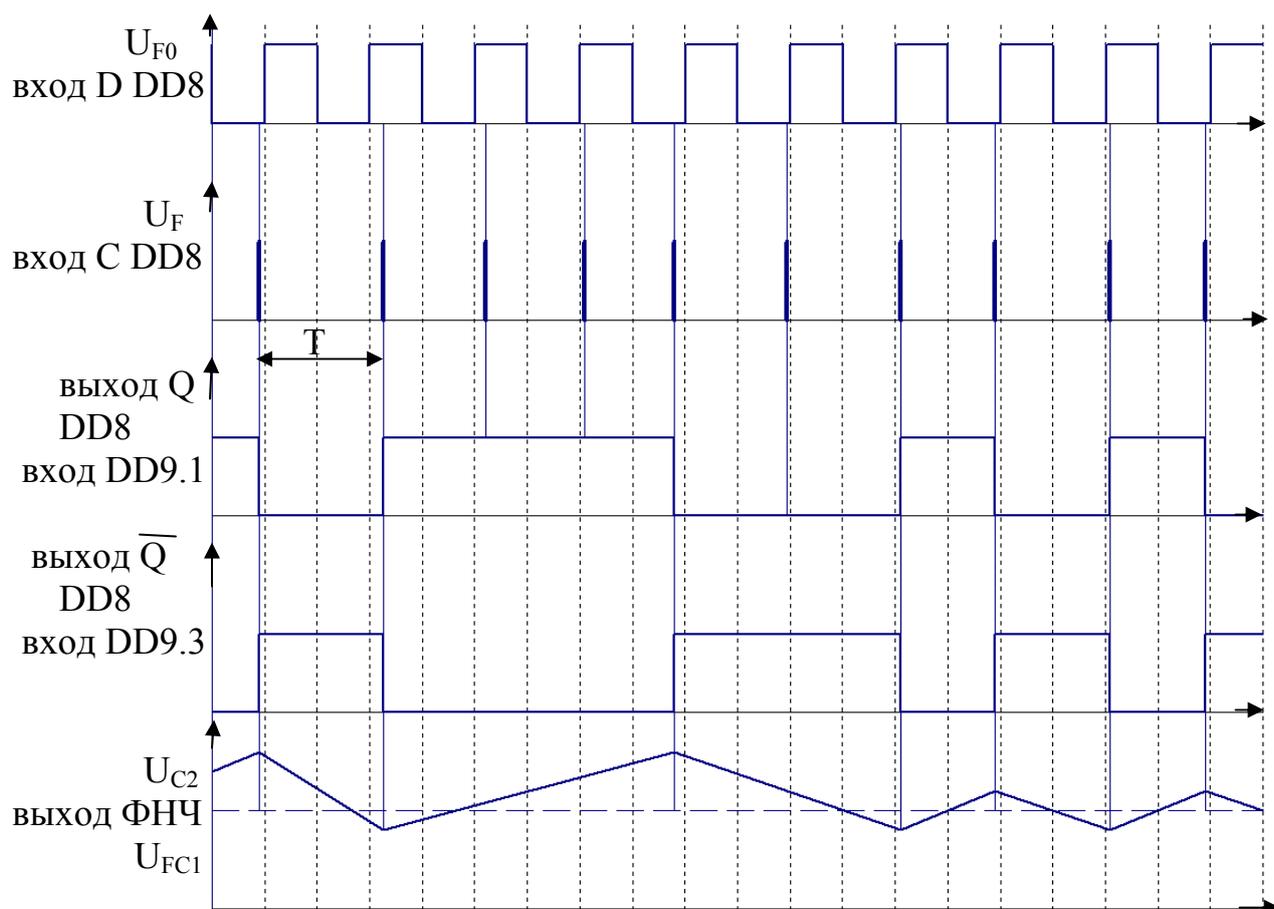
В данной схеме коэффициент деления  $N$  изменяется от 8 до 16.

Фазовый детектор сравнивает по фазе колебания с близкими частотами. ДПКД делит частоту ГУН  $f$  до частоты опорного генератора  $F_0$ . Изменяя  $N$  от 16 до 8 будем изменять  $f = NF_0$  от 8 МГц до 4 МГц с шагом 0.5 МГц.

ФНЧ (R11, VD1, R12, VD2, C2, R14) выполнен с расширенным диапазоном изменения выходного напряжения по принципу интегратора, а не выделяющего постоянную составляющую входного сигнала. При закрытых выходных транзисторах элементов DD9.1, DD9.2 (на входах элементов низкие уровни), конденсатор  $C2$  может зарядиться до напряжения  $U_{пит}$ . При закрытом выходном транзисторе элемента DD9.1 и открытом выходном транзисторе элемента DD9.2 конденсатор может разрядиться до нуля. Элементы DD9.1, DD9.2, DD9.3 (КР531ЛА1) с открытым коллектором согласовывают сигналы с выходов ФД 1, ФД 2 с входами ФНЧ. При  $U_{BX,DD9.1} = 0, U_{BX,DD9.3} = 1$  диод VD1 закрыт, диод VD2 открыт – конденсатор  $C2$  заряжается, напряжение на выходе ФНЧ повышается. При  $U_{BX,DD9.1} = 1, U_{BX,DD9.3} = 0$  диод VD1 открыт, диод VD2 закрыт – конденсатор  $C2$  разряжается, напряжение на выходе ФНЧ понижается. При  $U_{BX,DD9.1} = 1, U_{BX,DD9.3} = 1$  диоды VD1, VD2 закрыты, конденсатор  $C2$  разряжается токами утечки, напряжение на выходе ФНЧ практически не меняется.

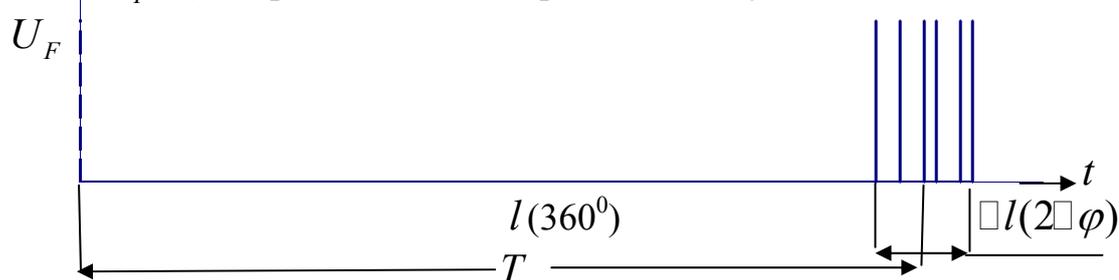
В схеме предусмотрены два варианта фазовых детекторов ФД 1 и ФД 2.

ФД 1 выполнен на D – триггере КР555ТМ2 (DD8.1) и формирует сигнал на выходе в зависимости от разности фаз сигналов  $F_0$  и  $F$  опережение – отставание. Работа схемы иллюстрируется приведенными ниже временными диаграммами. Опорное напряжение  $U_{F_0}$  в виде меандра подается на вход  $D$  триггера DD8, а на вход  $C$  через инвертор DD6.5 подаются короткие положительные импульсы  $U_F$  с выхода ДПКД. Сравниваются фазы сигналов по положительным фронтам.



Если  $F > F_0$ : сигнал  $U_F$  опережает  $U_{F_0}$ , в триггер  $DD8$  записывается 0 ( $Q = 0, \bar{Q} = 1$ ), конденсатор  $C2$  разряжается, понижается напряжение  $U_{FC1}$ , уменьшается частота  $F$ , увеличивается период  $T$ . Сигнал  $U_F$  начинает отставать от сигнала  $U_{F_0}$ , в триггер записывается 1, конденсатор  $C2$  заряжается до тех пор, пока сигнал  $U_F$  не опередит  $U_{F_0}$ , а в триггер запишется 0. Вернулись к началу рассмотрения работы схемы.

Рассматривая временные диаграммы сигнала  $U_F$  видим, что период колебаний  $T$  не постоянен, Следовательно, не постоянны *мгновенная частота  $F$*  и фаза  $\varphi$ , т.е. наблюдается, как говорят, «*боковая фазовая модуляция*». Величиной «*боковой фазовой модуляции*»  $\square\varphi$  оценивают степень стабильности мгновенной частоты. Не постоянство периода колебаний хорошо просматривается на осциллограмме сигнала  $U_F(t)$  по размытости изображения импульсов.



Величину «боковой фазовой модуляции» можно определить выражением

$$\Delta\varphi = (360 \cdot \Delta l) / 2l$$

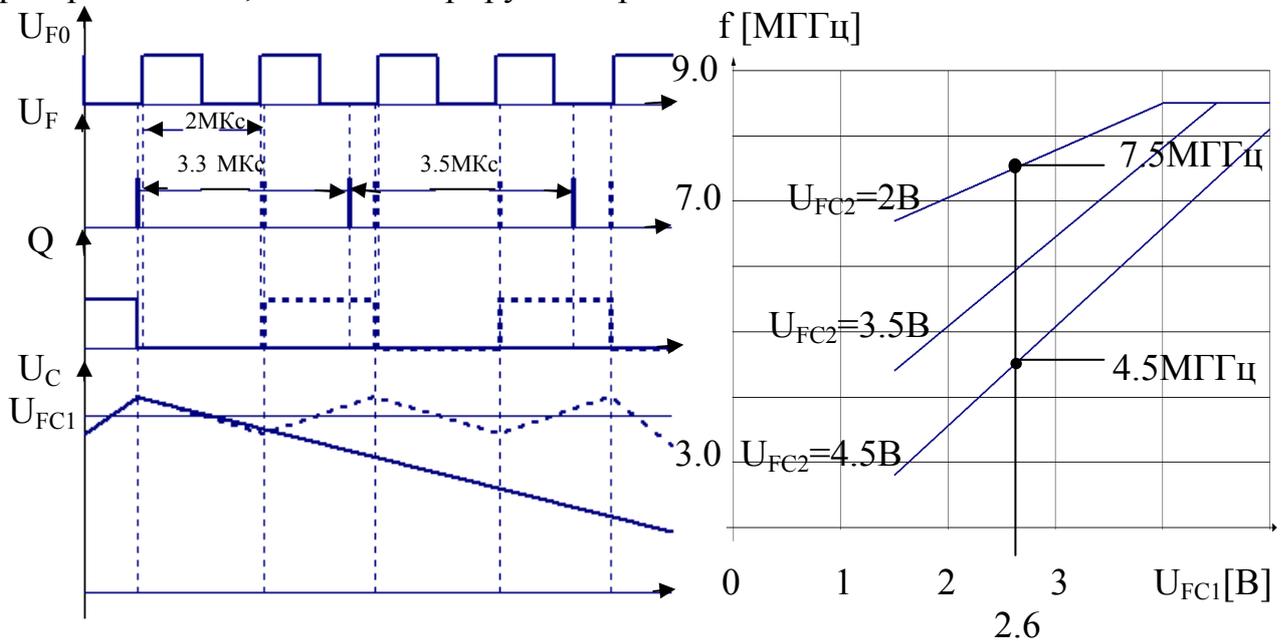
Следует заметить, что ФД1 принципиально не может обеспечить постоянство мгновенной частоты, т.к. на выходах триггера всегда  $Q \neq \bar{Q}$ .

ФД 2 выполнен на синхронных счетчиках КР555ИЕ17 (DD4, DD5), компараторе параллельных слов КР531СП1 (DD7) и формирует сигнал на выходе в зависимости от разности фаз и частот  $U_{F_0}, U_F$  - опережение – отставание и больше – меньше. При равенстве фаз и частот на выходах  $X < Y$  и  $X > Y$  высокие уровни. Следовательно, ФД 2 теоретически может обеспечить постоянство мгновенной частоты генератора и отсутствие «боковой фазовой модуляции»

Повторители DA1, DA2 (140УД708) ослабляют влияние входных сопротивлений ГУН на работу ЦАП и ФНЧ. С помощью резисторов R9, R13 задаются напряжения  $U_{FC1}, U_{FC2}$  при ручном управлении частотой ГУН.

Петля ФАПЧ обеспечивает поддержание равенства частот  $F_0$  и  $F$ .

. В установке предусмотрена возможность более точной настройки частоты ГУН при переходе с одной частоты на другую за счет изменения напряжения управления диапазоном частот  $U_{FC2}$ . При изменении кода установки частоты  $a_4 a_3 a_2 a_1$  (тумблеры S4, S3, S2, S1), одновременно с изменением коэффициента деления ДПКД изменяется напряжение на выходе ЦАП (матрица R - 2R на резисторах R1 ÷ R8), которое является  $U_{FC2}$ . При этом увеличивается зона захвата при перестройке ГУН, что иллюстрируется приведенными ниже



графиками.

Зона захвата – максимальная разность частот, при которой происходит устойчивое переключение с одной частоты на другую.

Рассмотрим пример.

Вариант 1. Необходимо переключить частоту генератора с  $f = 4,5 \text{ МГц}$  на частоту  $f' = 7,5 \text{ МГц}$ . При изменении коэффициента деления с  $N = 9$  на  $N' = 15$ , частота генератора  $f = 4,5 \text{ МГц}$  не успевает измениться, а

частота на выходе ДПКД становится  $F' = 4,5 : 15 = 0,3[\text{МГц}]$  при периоде  $T' = 3,3\text{мкс}$ .

Сигналы  $U_F$  и  $U_C(U_{FC1})$  на временных диаграммах изображены сплошными линиями. Импульсы  $U_F$ , с увеличением периода  $T$  попадают на низкие уровни напряжения  $U_{F0}$ , в триггер записывается низкий уровень, конденсатор разряжается, частота генератора понижается, а по условию должна повыситься. Новое значение частоты  $f' = 7,5\text{МГц}$  не установилось, «захвата» частоты не произошло.

Вариант 2. Параметры переключения, как и в примере 1, но с включенным ЦАП. В данном случае, одновременно с изменением коэффициента деления с  $N = 9$  на  $N' = 15$ , происходит изменение напряжения  $U_{FC2}$  с  $4,5\text{В}$  до  $2\text{В}$ , а частоты генератора  $f$  с  $4,5\text{МГц}$  до  $7,6\text{МГц}$  (при сохранившемся значении напряжения  $U_{FC1} = 2,6\text{В}$ ). Положение импульсов  $U_F$ , состояние триггера  $Q$ , изменение напряжения  $U_C(U_{FC1})$  на временной диаграмме изображено пунктирными линиями. В схеме установилось новое значение частоты  $f = 7,5\text{МГц}$ , произошел «захват» частоты.

В первом случае зона захвата меньше  $3\text{МГц}$ , а во втором случае – равна  $3\text{МГц}$ , т. е. увеличилась.

## 6.5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисуйте временные диаграммы сигналов в контрольных точках схемы КТ1 – КТ12, в одном масштабе и соблюдая фазовые соотношения при  $N = 10$ .
2. Почему в схеме выбраны синхронные делители частоты и счетчики ?
3. Что дает применение ФНЧ, работающего по принципу интегратора, а не выделяющего постоянную составляющую сигнала?
4. При каком из ФД петля ФАПЧ принципиально может поддерживать разность фаз, равную «0»? Почему?
5. Как осуществляется изменение коэффициента деления ДПКД?  
Чем определяется шаг сетки частот?
6. Что необходимо изменить в схеме, чтобы получить шаг сетки частот, равный  $0,25\text{МГц}$ ?
7. Чем вызвано применение микросхемы DD9.2 с открытым коллектором?
8. Чем определяется стабильность частоты ГУН (выходного сигнала)?

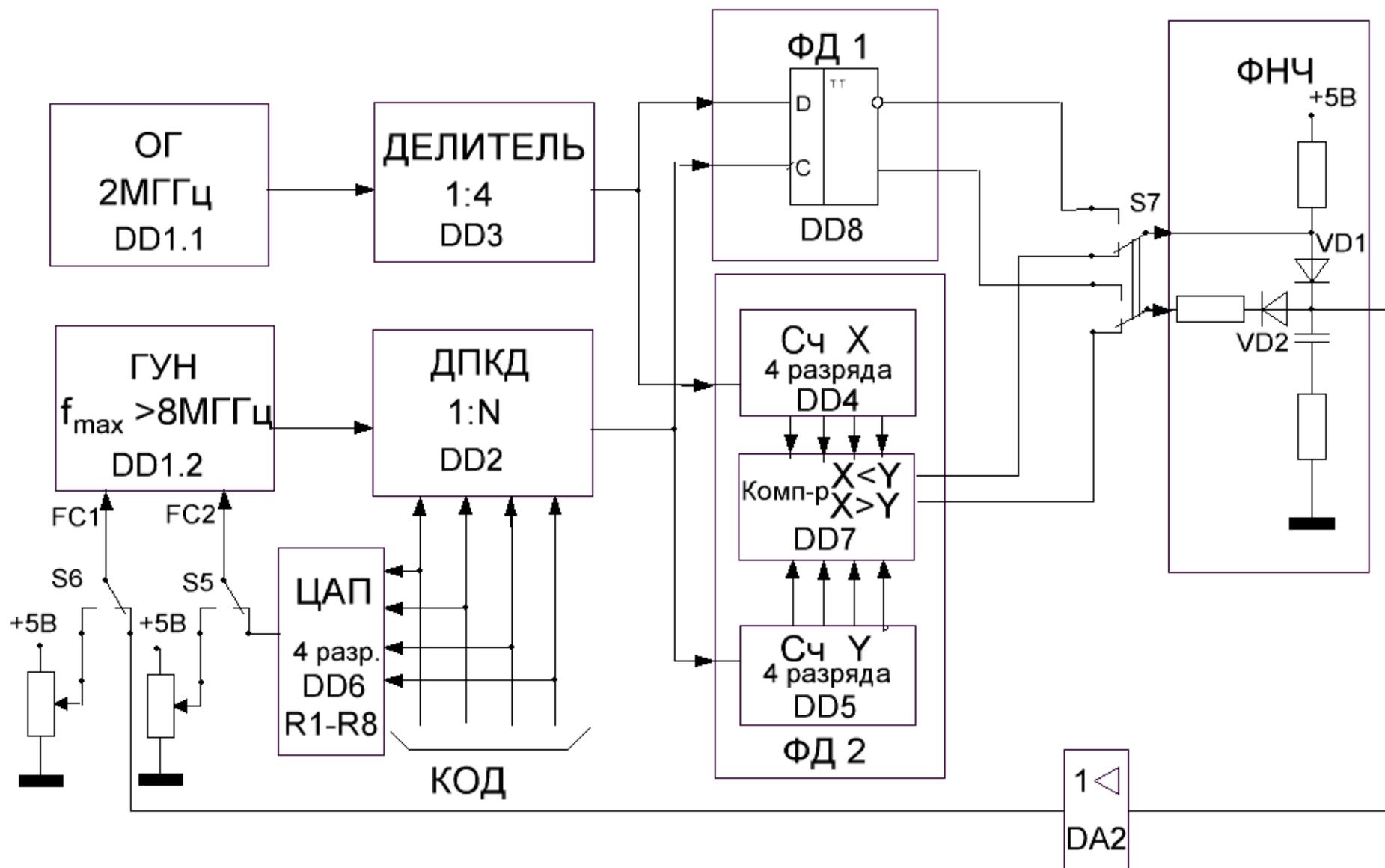


Рисунок 4-1

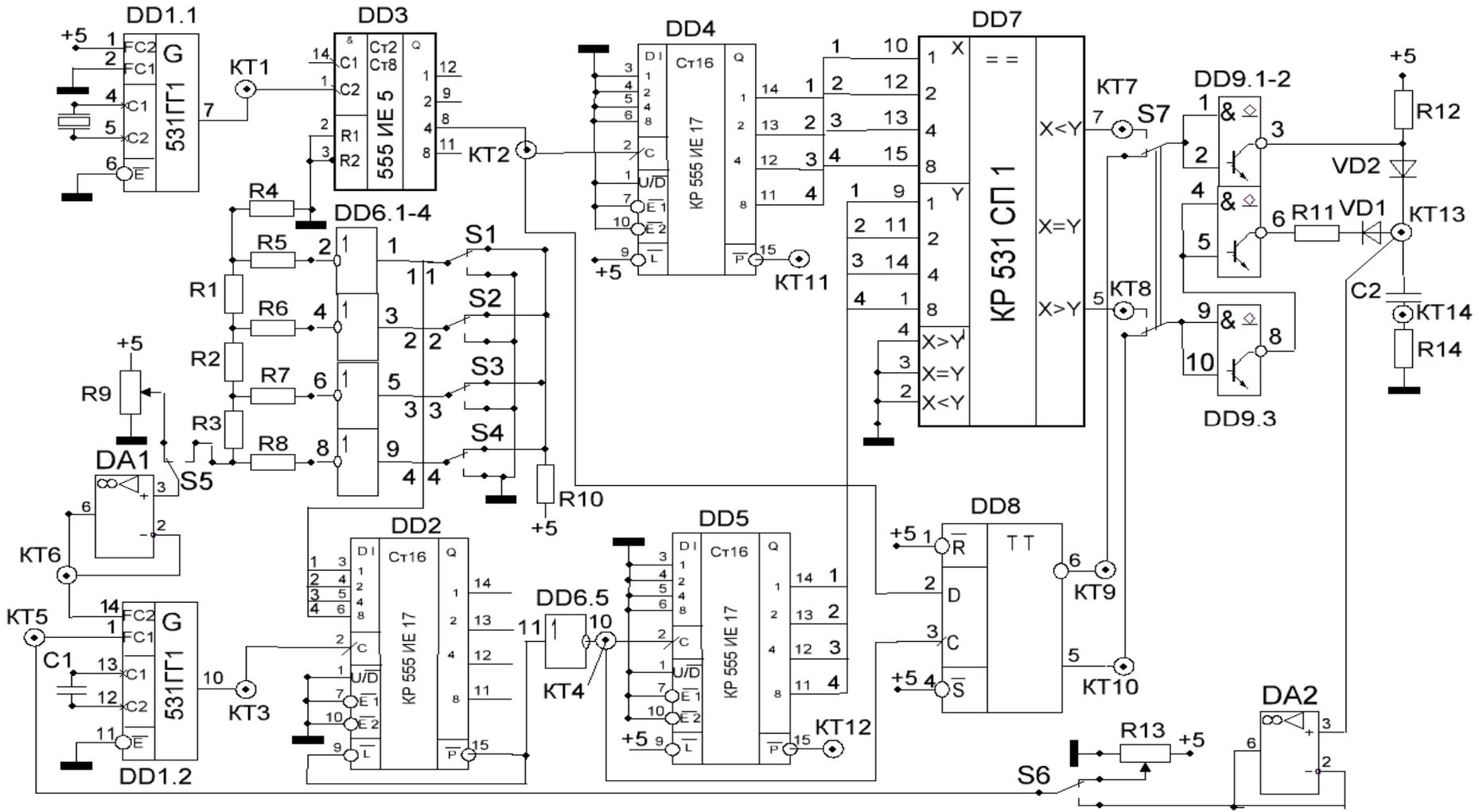


Рисунок 4-2

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. пособие для вузов / И. С. Гоноровский. - 5-е изд., испр. - М. : Дрофа, 2006. - 719 с.
2. Радиопередающие устройства : Учеб.для вузов / Под ред.В.В.Шахгильдяна. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 2003. - 559,[1]с. : ил
3. Шило В.Л. Популярныe цифровые микросхемы : Справ. - 2-е изд.,испр. - М. : Радио и связь, 1989. - 350,[2]с.
4. Пухальский Г.И. Цифровые устройства : Учеб.пособие для студ.вузов. - СПб. : Политехника, 1996. - 885с. : ил.