

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра радиотехнических систем (РТС)



Якушевич Г.Н.

Исследование системы фазовой автоподстройки частоты

Учебное методическое пособие по лабораторной работе,
практическим занятиям и самостоятельной работе
для студентов направления

«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

по дисциплине

«Радиоавтоматика»

2019

Якушевич Г.Н.

«Исследование системы фазовой автоподстройки частоты»: Учебное методическое пособие по лабораторной работе, практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Радиоавтоматика». Томск: ТУСУР. Научно-образовательный портал, 2019. – 24 с.

Учебное методическое пособие содержит описание компьютерной лабораторной работы, выполняемой в ходе изучения дисциплины «Радиоавтоматика» в среде Electronics Workbench (EWB) (Multisim, Qucs). Пособие содержит так же краткую вводную теоретическую часть, расчетные соотношения, расчетное задание, контрольные вопросы, требования по оформлению отчета.

© Якушевич Г.Н. 2019 г.

© ТУСУР, РТФ, каф. РТС, 2019 г.

Содержание

| | |
|--|----|
| 1 Исследование системы автоматической регулировки усиления | 4 |
| 1.1. Цель работы | 4 |
| 1.2. Краткие теоретические сведения | 4 |
| 1.3 Структурная схема системы ФАПЧ | 5 |
| 1.3.1 Структурная схема фазового дискриминатора | 5 |
| 1.3.2 Структурная схема подстраиваемого генератора | 8 |
| 1.3.3 Структурная схема фильтра низких частот | 11 |
| 1.3.4 Структурная схема системы ФАПЧ в терминах частот | 13 |
| 1.3.5 Структурная схема системы ФАПЧ в терминах расстроек | 13 |
| 1.4 Описание лабораторного макета | 16 |
| 1.5 Краткое описание программы Electronics Workbench (EWB) | 18 |
| 1.6 Расчетное задание | 23 |
| 1.7 Экспериментальное задание | 23 |
| 1.8 Указания по выполнению работы | 24 |
| 1.9 Указания по выполнению отчета | 24 |
| 1.10 Контрольные вопросы | 24 |

Лабораторная работа № 4

1 Исследование системы фазовой автоподстройки частоты

1.1 Цель работы

Исследование регулировочных характеристик системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

1.2 Краткие теоретические сведения

Система ФАПЧ применяется для получения высокостабильных колебаний в системах радиоавтоматики, в которых ошибка отклонения по частоте должна быть равна нулю. К таким системам радиоавтоматики относятся системы использующие телевидение, демодуляцию фазомодулированные сигналы, когерентный и корреляционный прием сигналов, синхронизацию коммутаторов каналов.

На рис. 1.1 приведены эюры сигналов, поясняющие принцип работы системы ФАПЧ. Принцип работы системы ФАПЧ основан на том, что постоянство разности фаз $\Delta\varphi$ двух синусоидальных сигналов приводит к равенству частот этих сигналов $f_1 = f_2$.

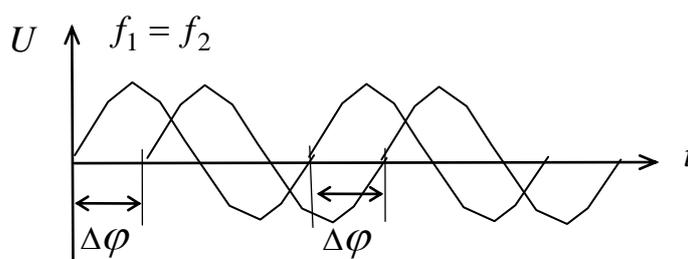


Рис. 1.1 - Эюры сигналов, поясняющие принцип работы системы ФАПЧ

Функциональная схема системы ФАПЧ, представленная на рис. 1.2, содержит эталонный генератор (ЭГ), фазовый дискриминатор (ФД), фильтр нижних частот (ФНЧ) и подстраиваемый генератор (ПГ).

Система ФАПЧ стабилизирует частоту ПГ по частоте сигнала высокостабильного ЭГ. ФД это устройство, предназначенное для преобразования разности фаз двух синусоидальных колебаний одинаковой частоты ЭГ f_C и ПГ f_T в напряжение ФД $U_{ФД}$, которое через ФНЧ в виде

управляющего напряжения U_y подается на вход управляющего элемента ПГ. В установившемся режиме в системе устанавливается постоянная разность фаз между напряжением ЭГ и ПГ, при этом напряжение на выходе ФД также будет постоянным, в результате частота сигнала с ПГ окажется равной частоте сигнала с ЭГ (см. рис. 1.1).

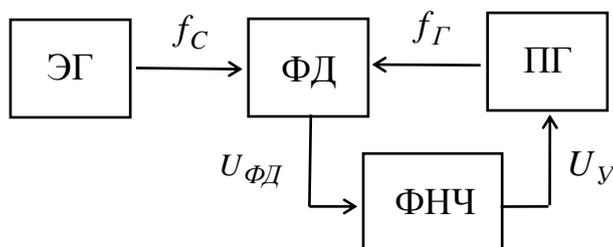


Рис. 1.2 - Функциональная схема системы ФАПЧ

1.3 Структурная схема системы ФАПЧ

Структурная схема системы ФАПЧ моделируется на основе структурных схем функциональных звеньев: ФД, ПГ и ФНЧ. Чтобы построить структурные схемы звеньев, для каждого из них необходимо найти связь между входным воздействием и выходной величиной в виде математического описания.

1.3.1 Структурная схема фазового дискриминатора

ФД это устройство, у которого амплитуда и знак выходного напряжения определяется сдвигом фаз между двумя колебаниями.

Дискриминационная характеристика ФД (рис. 1.3б) является периодической функцией определяемой следующей зависимостью $U_{ФД} = K_{ФД} \cdot \cos(\varphi)$.

Поэтому дискриминационная характеристика ФД имеет бесчисленное множество состояний равновесия, отличающихся на угол $\pm 2\pi n$. Проведем линеаризацию дискриминационной характеристики ФД, считая, что устойчивым состоянием является левый скат косинусоиды. Тогда математическое описание функциональной зависимости между входными и

выходной величинами $U_{\PhiД} = F(\varphi)$ звена ФД, представленного на рис. 1.3а, на основе рис. 4.3б запишется в следующем виде

$$\Delta U_{\PhiД} = K_{\PhiД} \cdot \Delta\varphi,$$

где $\Delta\varphi = \int_0^t 2\pi(f_{Г} - f_{С}) dt$.

Отсюда в операторной форме запишется

$$\Delta U_{\PhiД} = K_{\PhiД} \cdot \frac{2\pi}{p} \cdot \Delta f,$$

где $\Delta f = f_{Г} - f_{С}$.

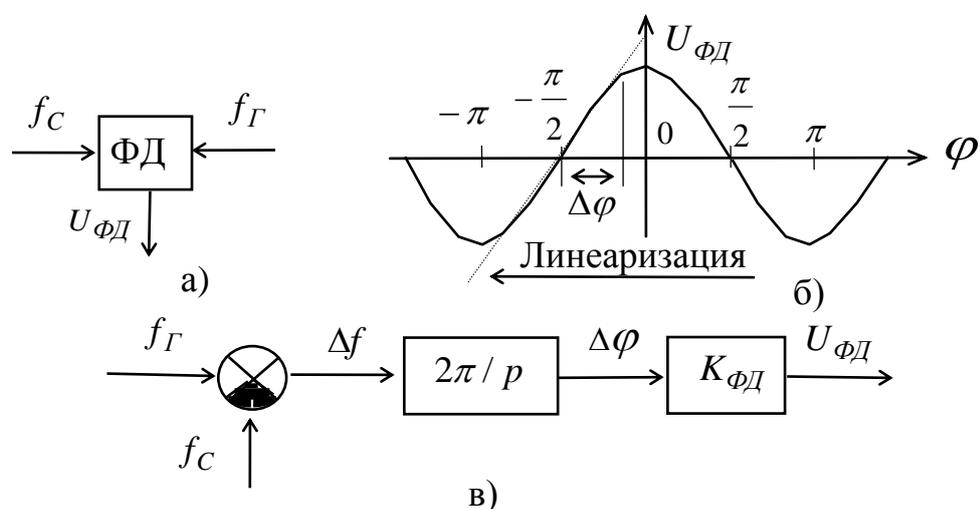


Рис. 1.3 - Фазовый дискриминатор: функциональная схема (а), дискриминационная характеристика (б), структурная схема (в)

Структурная схема ФД для математического описания

$\Delta U_{\PhiД} = K_{\PhiД} \cdot \frac{2\pi}{p} \cdot \Delta f$ содержит сумматор, интегратор и звено направленного действия с коэффициентом передачи $K_{\PhiД}$ (рис. 1.3в).

Рассмотрим принципиальную схему ключевого ФД (рис. 1.4а).

Ключевой ФД на основе делителя напряжения, содержит сопротивление R и полевой транзистор VT , работающий в режиме управляемого сопротивления. На рис. 1.4б приведены эпюры напряжений, поясняющие работу ключевого ФД.

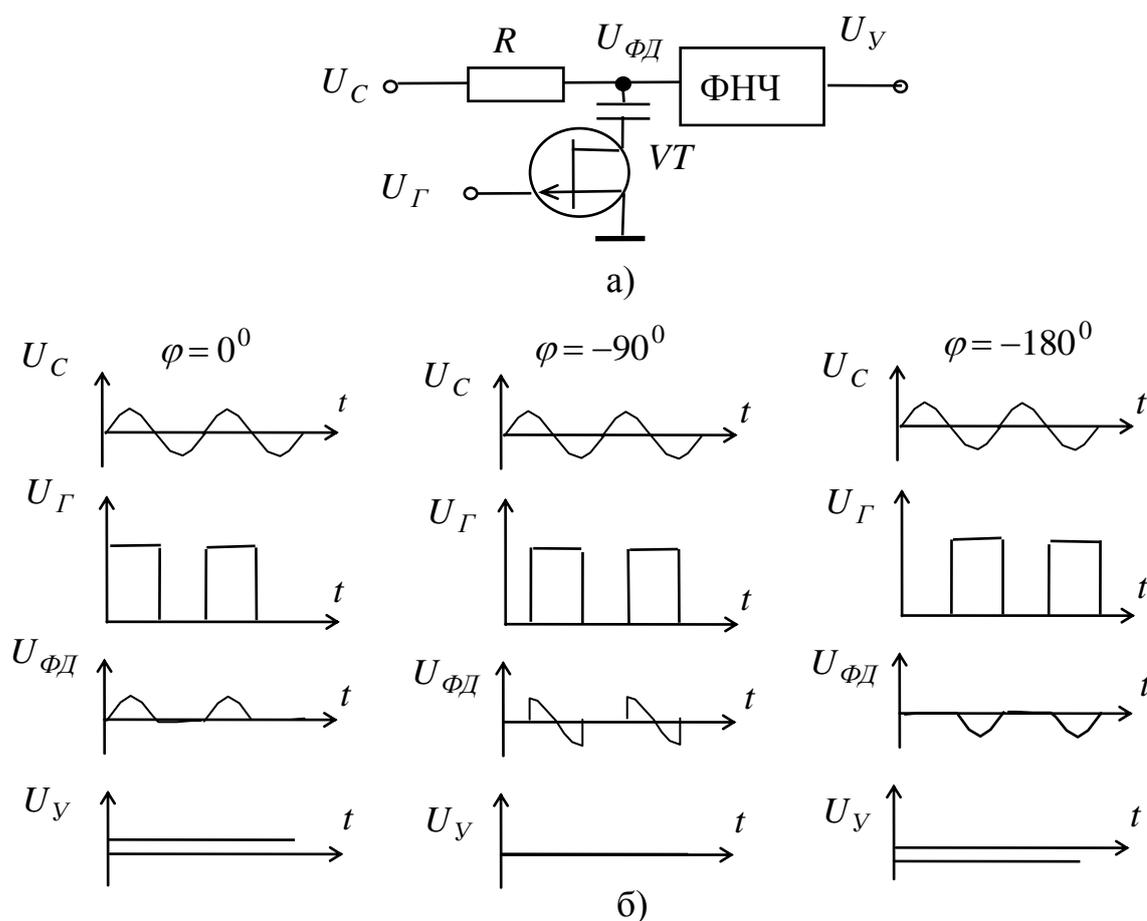


Рис. 1.4 Ключевой ФД: а) принципиальная схема, б) эюры напряжений

При подаче на затвор полевого транзистора VT положительного импульса напряжения U_G сопротивление канала полевого транзистора возрастает, и напряжение сигнала U_C появляется на стоке в виде напряжения $U_{\Phi Д}$. При нулевом напряжении на затворе полевого транзистора сопротивление канала мало и напряжение сигнала U_C на стоке отсутствует. Напряжение ФД $U_{\Phi Д}$, соответствующее фазовому сдвигу, со стока полевого транзистора VT подается на вход ФНЧ, проходит через ФНЧ и на выходе ФНЧ выделяется управляющее напряжение U_Y . Знак и величина управляющее напряжение U_Y зависит от фазового сдвига между напряжениями сигнала U_C и генератора U_G и определяется следующим выражением

$$U_Y = \frac{U_{амп} C}{\pi} \cos(\varphi),$$

где $U_{амп} C$ - амплитудное напряжение сигнала.

Из эюр напряжений рис. 1.4б видно также, что при выполнении условия $U_{Г} > U_{С}$ максимальное выходное напряжение ключевого ФД зависит как от фазового сдвига $\Delta\varphi$, так и от амплитуды входного сигнала $U_{С}$. Поэтому для постоянства максимального выходного напряжения ключевого ФД при изменении амплитуды входного сигнала вводят ограничители амплитуды.

1.3.2 Структурная схема подстраиваемого генератора

Подстраиваемый генератор содержит гетеродин и управляющий элемент, который под действием управляющего напряжения изменяет частоту гетеродина так, что в результате частота ПГ окажется равной частоте ЭГ $f_{Г} = f_{С}$.

Математическое описание функциональной зависимости между входной и выходной величинами $f_{Г} = F(U_{Y})$ для звена ПГ (рис. 1.5а) найдем на основе линеаризации реальной (сплошная линия на рис. 1.5б) регулировочной характеристики ПГ при верхней настройке.

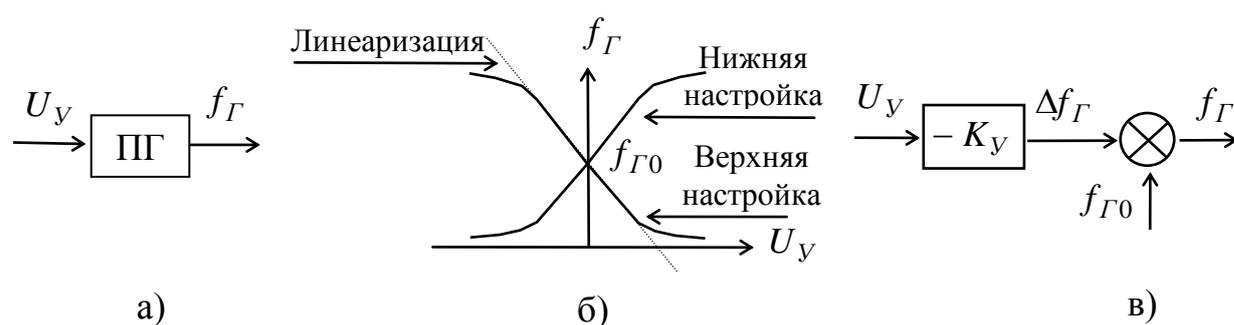


Рис. 1.5 - Схемы ПГ: а) функциональная схема, б) регулировочная характеристика (верхняя настройка: $f_{Г} > f_{С}$ и $K_{Y} * K_{ФД} < 0$; нижняя настройка: $f_{Г} < f_{С}$ и $K_{Y} * K_{ФД} > 0$), в) структурная схема

Из рис. 1.5б видно, что при малых отклонениях частоты гетеродина от ее номинального значения регулировочную характеристику ПГ можно

считать линейной и представить математическую взаимосвязь в следующем виде

$$f_{\Gamma} = -K_{\gamma} \cdot U_{\gamma} + f_{\Gamma 0} = \Delta f_{\Gamma} + f_{\Gamma 0},$$

где $f_{\Gamma 0}$ – частота настройки гетеродина,

K_{γ} – коэффициент передачи ПГ, определяемый крутизной регулировочной характеристики ПГ.

Структурная схема ПГ для математического описания $f_{\Gamma} = -K_{\gamma} \cdot U_{\gamma} + f_{\Gamma 0} = \Delta f_{\Gamma} + f_{\Gamma 0}$ содержит звено направленного действия с коэффициентом передачи $-K_{\gamma}$ и сумматор (рис. 1.5в).

Управление частотой гетеродина осуществляется с помощью управляемых элементов. Для этого в LC -генераторах используются варикапы, в RC -генераторах – полевые транзисторы в режиме управляемого сопротивления.

На рис. 1.6а приведена схема LC -генератора, резонансная частота $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ его подстраивается с помощью включенных параллельно контуру соединенных последовательно варикапов $VB1$ и $VB2$, емкость которых зависит от управляющего напряжения U_{γ} и напряжения смещения E_{CM} , подаваемые на них через высокоомные резисторы R_{VD} .

На рисунке 4.6б приведена зависимость емкости варикапа, обратного смещенного $p-n$ перехода, от управляющего напряжения. Напряжение смещения E_{CM} обеспечивает рабочую точку на характеристике, что позволяет, как увеличивать, так и уменьшать емкость C_{V0} варикапа с помощью управляющего напряжения U_{γ} и, соответственно, уменьшать или увеличивать резонансную частоту параллельного LC контура.

При нижней настройке ПГ увеличение частоты гетеродина приводит к увеличению напряжения ФД $U_{ФД}$ и управляющего напряжения U_{γ} , при

этом приложенное к варикапу напряжение ΔU уменьшается, и емкость варикапа C_{VD} увеличивается (см. рис. 1.6б), частота ПГ уменьшается:

$$\uparrow f_{\Gamma} \rightarrow \uparrow U_{\Phi Д} \rightarrow \uparrow U_Y \rightarrow \downarrow \Delta U \rightarrow \uparrow C_{VD} \rightarrow \downarrow f_{\Gamma}.$$

и наоборот:

$$\downarrow f_{\Gamma} \rightarrow \downarrow U_{\Phi Д} \rightarrow \downarrow U_Y \rightarrow \uparrow \Delta U \rightarrow \downarrow C_{VD} \rightarrow \uparrow f_{\Gamma}.$$

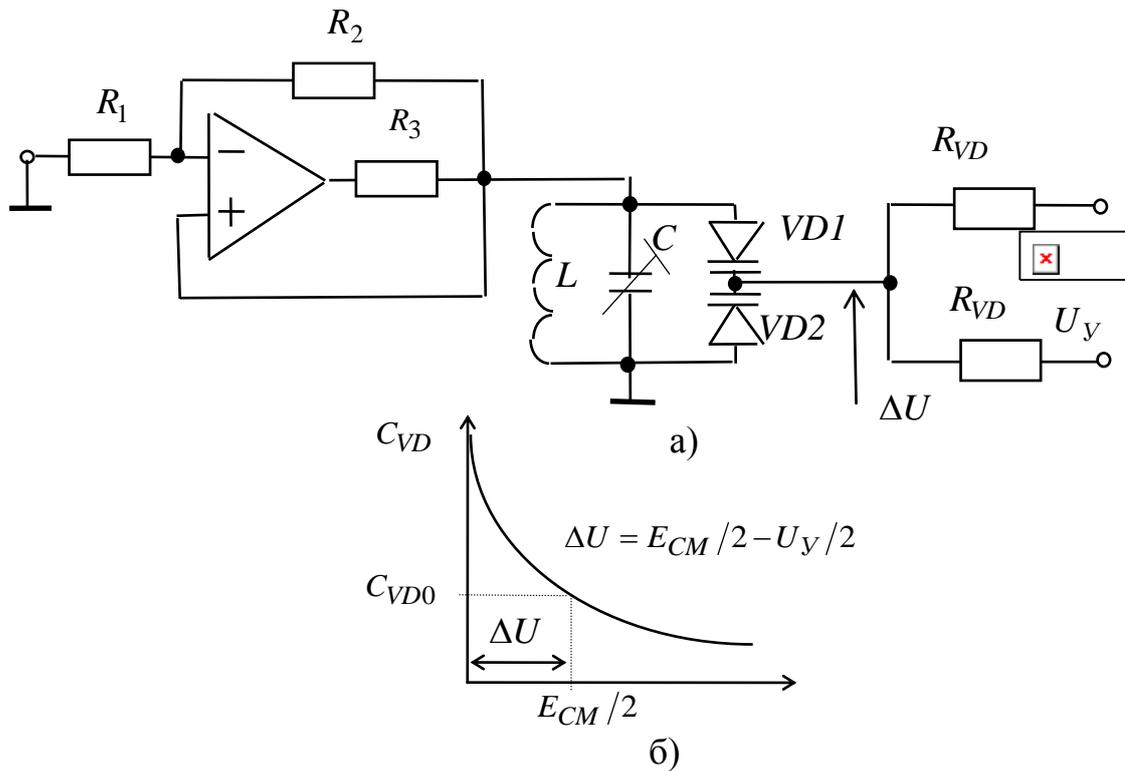


Рис. 1.6 - Принципиальная схема подстраиваемого LC -генератора на основе ОУ (а), вольт-фарадная характеристика варикапа (б)

На рис.1.7 приведены принципиальные схемы RC -генераторов на основе фазосдвигающей цепи и моста Вина с использованием ОУ, частота колебаний которых соответственно запишется

$$f = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{5 \frac{R_{II}}{R} + 1}} \quad \text{и} \quad f = \frac{1}{2\pi \sqrt{T_1 T_2} \sqrt{K K_{OC}}},$$

$$\text{где } T_1 = RC, T_2 = R_{II} C, K = 1 + \frac{R_2}{R_1}, K_{OC} = \frac{1}{2 + R/R_{II}}.$$

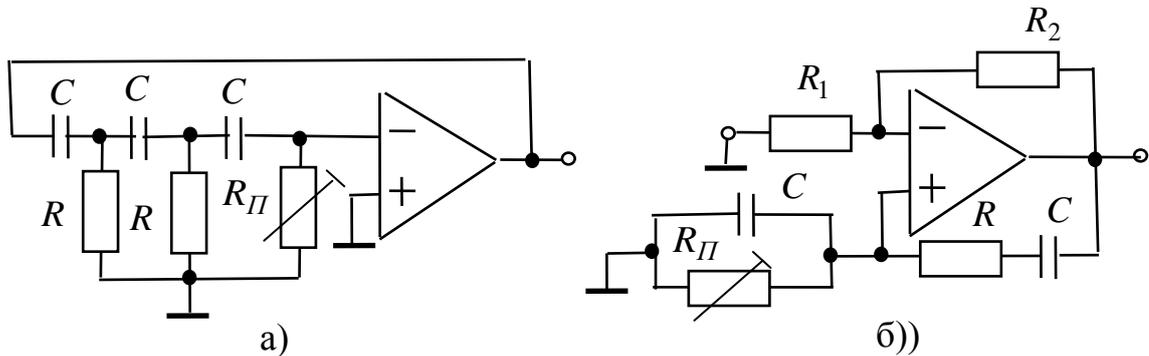


Рис. 1.7 - Принципиальные схемы RC -генераторов на ОУ:
а) на основе фазосдвигающей цепи, б) на основе моста Вина

В качестве переменного сопротивления $R_{П}$ можно использовать электрически управляемое сопротивление на основе полевого транзистора. Сопротивление канала полевого транзистора находится из выражения

$$R_{П} = R_0 \frac{1}{1 - U_{У} / U_{ОТС}},$$

где R_0 - сопротивление канала полевого транзистора при напряжении на затворе равном нулю, $U_{ОТС}$ - напряжение отсечки полевого транзистора.

1.3.3 Структурная схема фильтра низких частот

С выхода ФД, как нелинейного звена, на вход ФНЧ поступает постоянное напряжение и спектр частот. ФНЧ предназначен для выделения из поступающего на его вход напряжения ФД $U_{ФД}$ постоянного управляющего напряжения $U_{У}$ и подавления спектра комбинационных частот и гармоник.

Математическое описание функциональной зависимости между входной и выходной величинами $U_{У} = F(U_{ФД})$ функционального звена ФНЧ, представленного на рис. 1.8а, запишется в следующем виде

$$U_{У} = W_{\Phi}(p) \cdot U_{ФД} \quad .$$

Структурная схема ФНЧ для математического описания $U_Y = W_{\Phi}(p) \cdot U_{\Phi Д}$ состоит из звена направленного действия, коэффициент передачи которого равен $W_{\Phi}(p)$ (рис. 1.8б).

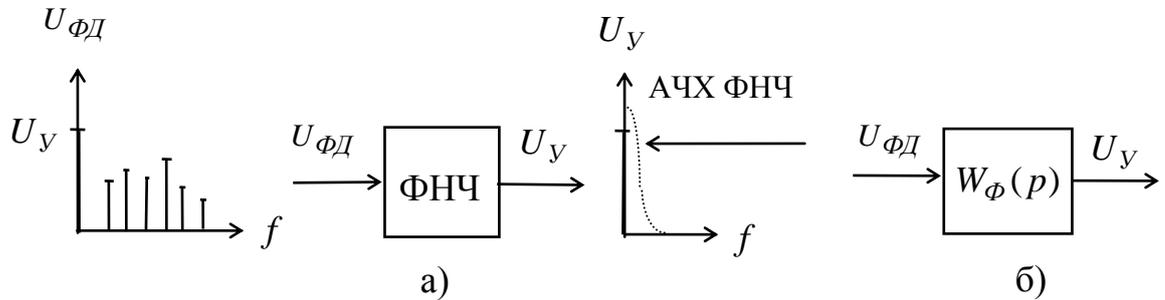


Рис. 1.8 - Схемы ФНЧ: а) функциональная, б) структурная

На рис. 1.9а-1.9б приведены принципиальные схемы ФНЧ, реализованные на основе RC -звена и на основе операционного усилителя (ОУ), соответственно.

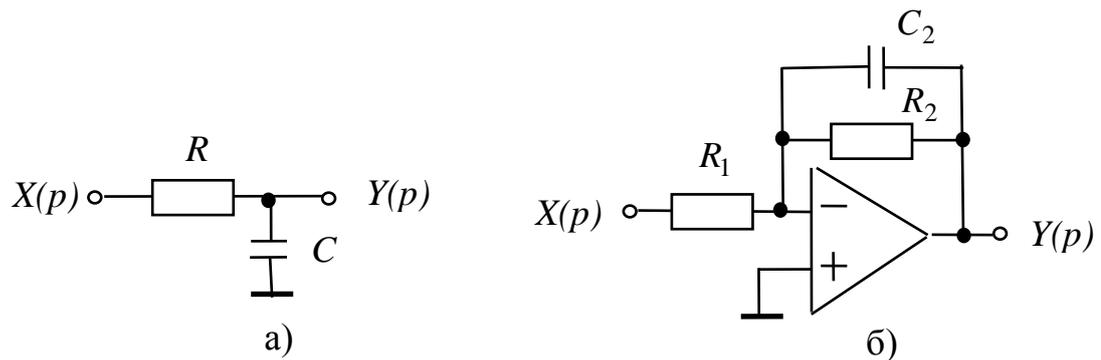


Рис. 1.9 - Принципиальные схемы ФНЧ: а) на основе RC -звена, б) на основе ОУ

Операторный коэффициент передачи для схемы ФНЧ на основе RC -звена запишется в следующем виде

$$W_{\Phi}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{1/pC}{R + 1/pC} = \frac{1}{1 + pT},$$

где $T = RC$ – постоянная времени.

Недостатком схемы ФНЧ на основе RC -звена является то, что коэффициент передачи не может быть больше 1 и необходимость введения буферных каскадов при последовательном соединении. Последнее обусловлено тем, что данная реализация ФНЧ не является однонаправленной.

Операторный коэффициент передачи для схемы ФНЧ на основе ОУ запишется в следующем виде

$$W_{\Phi}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = -\frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} = \frac{K}{1 + pT},$$

где $K = -R_2/R_1$, $T = R_2 C_2$.

Таким образом, коэффициент передачи ФНЧ на основе ОУ определяется отношением R_2 к R_1 , а верхняя граничная частота $\omega = 1/T$.

1.3.4 Структурная схема системы ФАПЧ в терминах частот

На рис. 1.10 приведена структурная схема системы ФАПЧ в терминах частот, состоящая из структурных схем звеньев ФД, ФНЧ и ПГ в терминах частот.

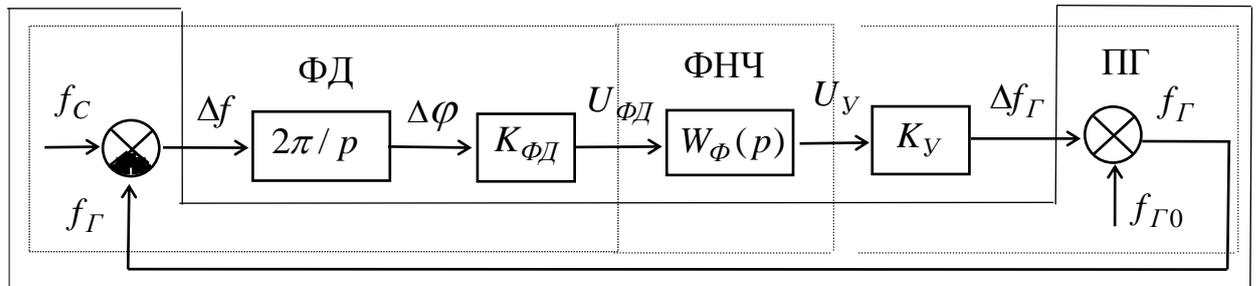


Рис. 1.10 - Структурная схема системы ФАПЧ в терминах частот

Полученная структурная схема системы ФАПЧ в терминах частот не удобна для анализа: во-первых, из-за наличия опорной частоты $f_{Г0}$; во-вторых, как отмечалось выше, при анализе системы ФАПЧ важно относительное отклонение частоты. Поэтому упростим структурную схему ФАПЧ в терминах частот обведенную на рис. 1.10 сплошной тонкой линией и определим структурную схему системы ФАПЧ в терминах расстроек.

1.3.5 Структурная схема системы ФАПЧ в терминах расстроек

Для структурной схемы системы ФАПЧ в терминах расстроек запишем:

- 1) текущее значение частоты гетеродина $f_G = f_{Г0} + \Delta f_G$,
- 2) текущее значение частоты сигнала $f_C = f_{C0} + \Delta f_C$,

3) ошибку системы ФАПЧ $\Delta f = f_G - f_C = (f_{G0} + \Delta f_G) - (f_{C0} + \Delta f_C)$.

С учетом того, что для системы ФАПЧ $f_{G0} = f_{C0}$ получим

$$\Delta f = \Delta f_G - \Delta f_C,$$

что соответствует сумматору в структурной схеме системы ФАПЧ в терминах расстроек. Теперь можно построить структурную схему системы ФАПЧ в терминах расстроек (рис. 1.11).

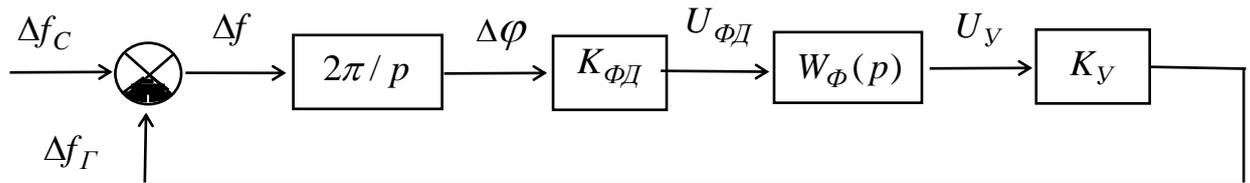


Рис. 1.11 - Структурная схема системы ФАПЧ в терминах расстроек

На основе структурной схемы системы ФАПЧ в терминах расстроек (рис. 1.11), ошибка регулирования Δf запишется в следующем виде

$$\Delta f = \Delta f_C - \Delta f_G = \Delta f_C - \Delta f \cdot \frac{2\pi}{p} \cdot K_{\Phi Д} \cdot W_{\Phi}(p) \cdot K_{У}.$$

Отсюда получим

$$\Delta f = \frac{\Delta f_C}{1 + \frac{2\pi}{p} \cdot K_{\Phi Д} \cdot W_{\Phi}(p) \cdot K_{У}}.$$

Таким образом, статическая ошибка регулирования системы ФАПЧ $\Delta f = 0$, так как для статического стационарного режима $p = 0$.

При больших начальных расстройках начинают проявляться нелинейности элементов системы ФАПЧ. Проведем графический анализ работы системы ФАПЧ при больших расстройках.

Регулировочная характеристика системы ФАПЧ (рис. 1.12) в режиме слежения представляет прямую линию, совпадающую с осью абсцисс Δf_C .

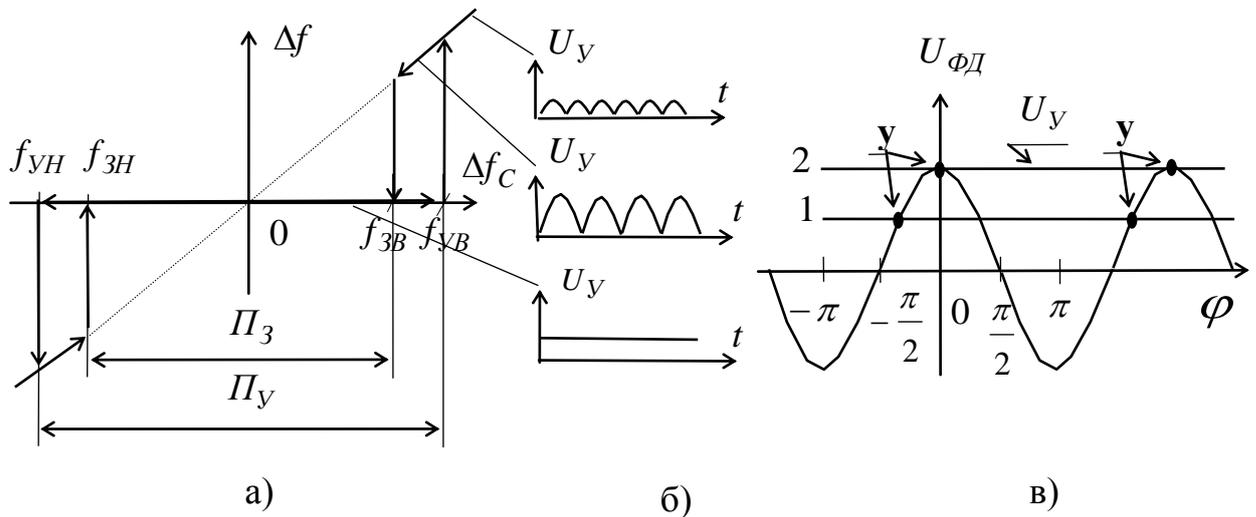


Рис. 1.12 - Регулировочная характеристика системы ФАПЧ (а), эпюры управляющих напряжений U_y при вхождении в режим слежения (б), дискриминационная характеристика ФД с различными точками y стационарного режима (в)

Полосой удержания Π_y называют область отклонений частот сигнала, соответствующей режиму слежения, если система вначале находилась в этой области, при этом полоса удержания равна $\Pi_y = f_{yB} - f_{yH}$, где f_{yB} и f_{yH} - верхняя и нижняя частоты удержания, соответственно.

Полосой захвата Π_3 называют область отклонений частот сигнала, соответствующей режиму слежения, если система вначале находилась вне этой области, при этом полоса захвата равна $\Pi_3 = f_{3B} - f_{3H}$, где f_{3B} и f_{3H} - верхняя и нижняя частоты захвата, соответственно. При этом всегда выполняется соотношение $\Pi_y > \Pi_3$ (см. рис. 1.12а).

Таким образом, в полосе удержания в режиме слежения ошибка регулирования системы ФАПЧ $\Delta f = 0$ (рис. 1.12а). При этом между частотами колебаний ЭГ и ПГ устанавливается разность фаз $\Delta\varphi$, определяемая точками пересечения дискриминационной характеристики ФД с горизонтальными прямыми 1 или 2 (на рис. 1.12в точки y). Вне полосы удержания ошибка регулирования $\Delta f = \Delta f_C$ (см. рис. 1.12а). При этом колебания ЭГ и ПГ образуют биения, которые детектируются ФД и ослабленные ФНЧ поступают на вход управляющего элемента. При

сближении частот ЭГ и ПГ частота биений, поступающих на вход управляющего элемента, уменьшается, а амплитуда колебаний за счет уменьшения ослабления ФНЧ увеличивается. Форма напряжений при приближении к частоте захвата приведена на двух верхних эпюрах рис. 1.12б. На частоте захвата амплитуды биений становится достаточной для вхождения системы ФАПЧ в режим слежения и появляется постоянное управляющее напряжение (нижняя эпюра рис. 1.12б). При этом полоса захвата в системе ФАПЧ меньше полосы удержания $P_3 < P_y$. Это неравенство определяется наличием в системе ФАПЧ функционального звена ФНЧ.

Полосы удержания и захвата определяются из выражений

$$P_y = 2 K_y U_{y \text{ MAX}}, P_3 = 1.21 \sqrt{\frac{P_y}{T_{\text{ФНЧ}}}},$$

где - $U_{y \text{ MAX}} = \frac{U_{\text{ампС}}}{\pi} K_{\text{ФД}} K_{\text{ФНЧ}}$, а $T_{\text{ФНЧ}}$ - постоянная времени ФНЧ.

Таким образом, в системе ФАПЧ ошибка регулирования по частоте равна нулю за счет того, что в системе происходит слежение за разностью фаз колебаний ЭГ и ПГ.

1.4 Описание лабораторного макета

На рис. 1.13 приведена схема лабораторного макета для исследований регулировочных характеристик подстраиваемого генератора и системы ФАПЧ.

Схема лабораторного макета содержит подстраиваемый генератор (ПГ), фазовый детектор (ФД), фильтр нижних частот (ФНЧ), усилитель-инвертор (Уинв), сумматор (СУМ) и контрольно-измерительные приборы: функциональный генератор, генератор синусоидального сигнала, осциллограф, источники постоянного напряжения и вольтметр постоянного

напряжения. Схема макета содержит три тумблера: тумблер 1 и тумблер три в положении 1 используются для исследования регулировочных характеристик подстраиваемого генератора, а в положении 2 - регулировочных характеристик системы ФАПЧ, тумблер 2 - замыкает или размыкает цепь обратной связи системы ФАПЧ.

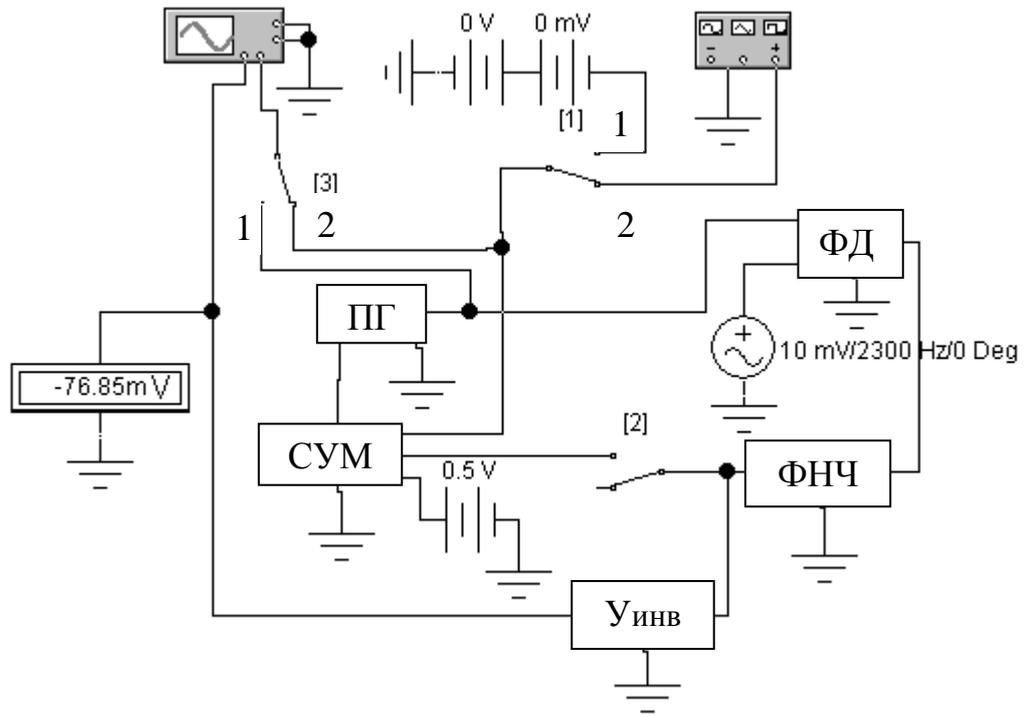


Рис. 1.13 – Схема лабораторного макета

На рис. 1.14 приведена принципиальная схема подстраиваемого RC -генератора на основе операционного усилителя и моста Вина.

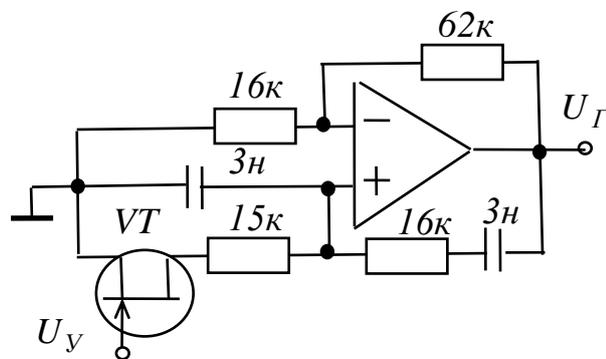


Рис. 1.14 – Принципиальная схема RC -генератора на основе моста Вина

На рис. 1.15 приведены принципиальные схемы ФД и ФНЧ на основе операционных усилителей.

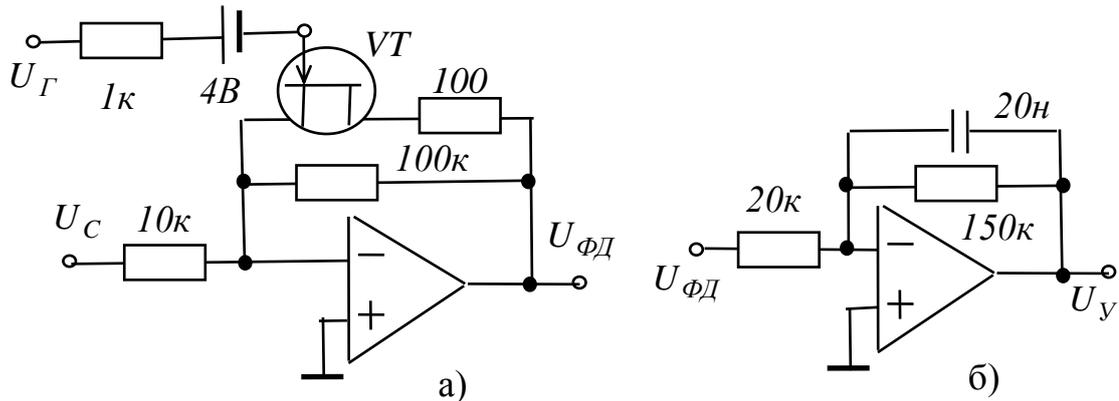


Рис. 1.15 – Принципиальные схемы ФД (а) и ФНЧ (б)

На рис. 1.16 приведены принципиальные схемы усилителя-инвертора и сумматора на основе операционных усилителей.

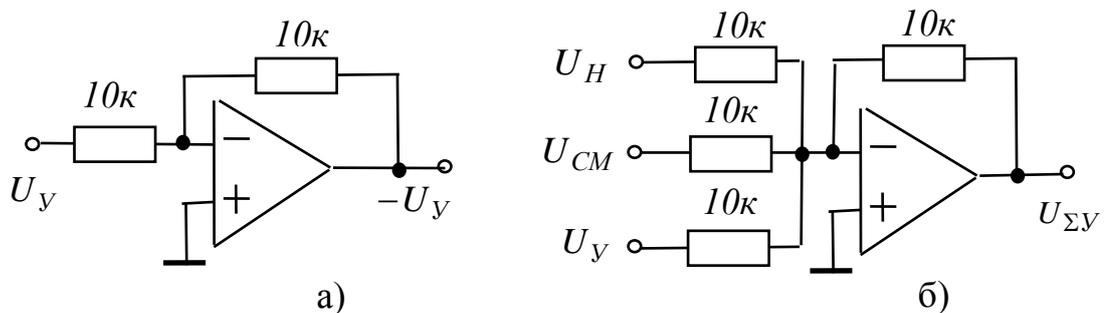


Рис. 1.16 – Принципиальные схемы $U_{\text{инв}}$ (а) и СУМ (б)

1.5 Краткое описание программы Electronics Workbench (EWB)

Electronics Workbench (EWB) – разработка фирмы Interactive Image Technologies (www.interactive.com). Особенностью программы EWB является наличие контрольно измерительных приборов, по внешнему виду, органам управления и характеристикам максимально приближенных к их промышленным аналогам, что способствует приобретению практических навыков работы с наиболее распространёнными приборами. Программа легко усваивается и достаточно удобна в работе.

Запуск программы EWB

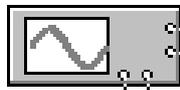
После вызова EWB из среды WINDOWS на экране появляется чистое окно. Для загрузки лабораторной работы надо выбрать команду Open из меню, а затем открыть папку “ФАПЧ” в которой находится файл

лабораторного макета для исследований регулировочных характеристик системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Запуск программы анализа производится кнопкой “Пуск”.

Контрольно-измерительные приборы

Осциллограф (Oscilloscope)



Лицевая панель осциллографа показана на рис. 1.17.

Осциллограф имеет два канала (CHANNEL) А и В с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел (mV/Div) до 5кВ/дел (kV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (Y POS). Выбор режима по входу осуществляется нажатием кнопок .

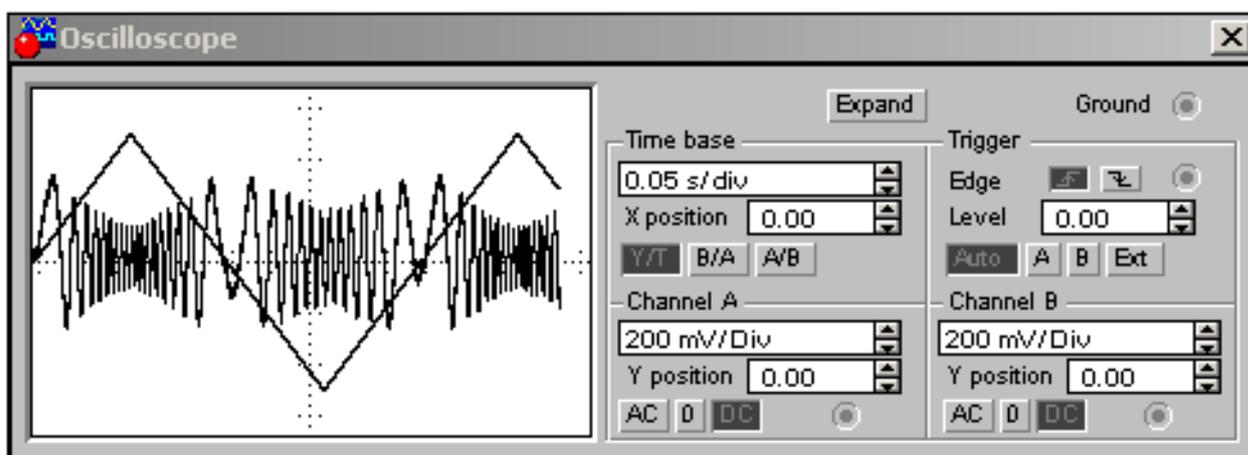


Рис. 1.17 - Лицевая панель осциллографа

Режим AC предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока (его ещё называют режим “закрытого входа”, поскольку в этом режиме на входе усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме 0 входной зажим замыкается на землю. В режиме DC (включен по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Этот режим ещё называют режим “открытого входа”,

поскольку входной сигнал поступает на вертикальный вход непосредственно. С правой стороны от кнопки DC расположен входной зажим.

Режим развертки выбирается кнопками . В режиме Y/T (обычный режим) реализуются следующие режимы развертки: по вертикали – напряжение сигнала, по горизонтали – время; в режиме B/A: по вертикали – сигнал канала B, по горизонтали – сигнал канала A; в режиме A/B: по вертикали – сигнал канала A, по горизонтали – сигнал канала B.

В режиме Y/T длительность развертки (TIME BASE) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел (ns/div) до 1 с/дел (s/div) с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т. е. по оси X (X POS).

В режиме Y/T предусмотрен также ждущий режим (TRIGGER) с запуском развертки (EDGE) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала (выбирается нажатием кнопок , при регулируемом уровне (LEVEL) запуска, а также в режиме AUTO (от канала A, от канала B или от внешнего источника (EXT), подключаемого к зажиму в блоке управления TRIGGER. Названные режимы работы выбираются кнопками .

Заземление осциллографа осуществляется с помощью клеммы GROUND в правом верхнем углу прибора.

При нажатии кнопки ZOOM лицевая панель осциллографа существенно меняется (рис. 1.18) – увеличивается размер экрана, появляется возможность прокрутки изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые за треугольные ушки (они обозначены цифрами 1 и 2) могут быть курсором установлены в любом месте экрана. При этом в индикаторных окошках под экраном приводятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями).

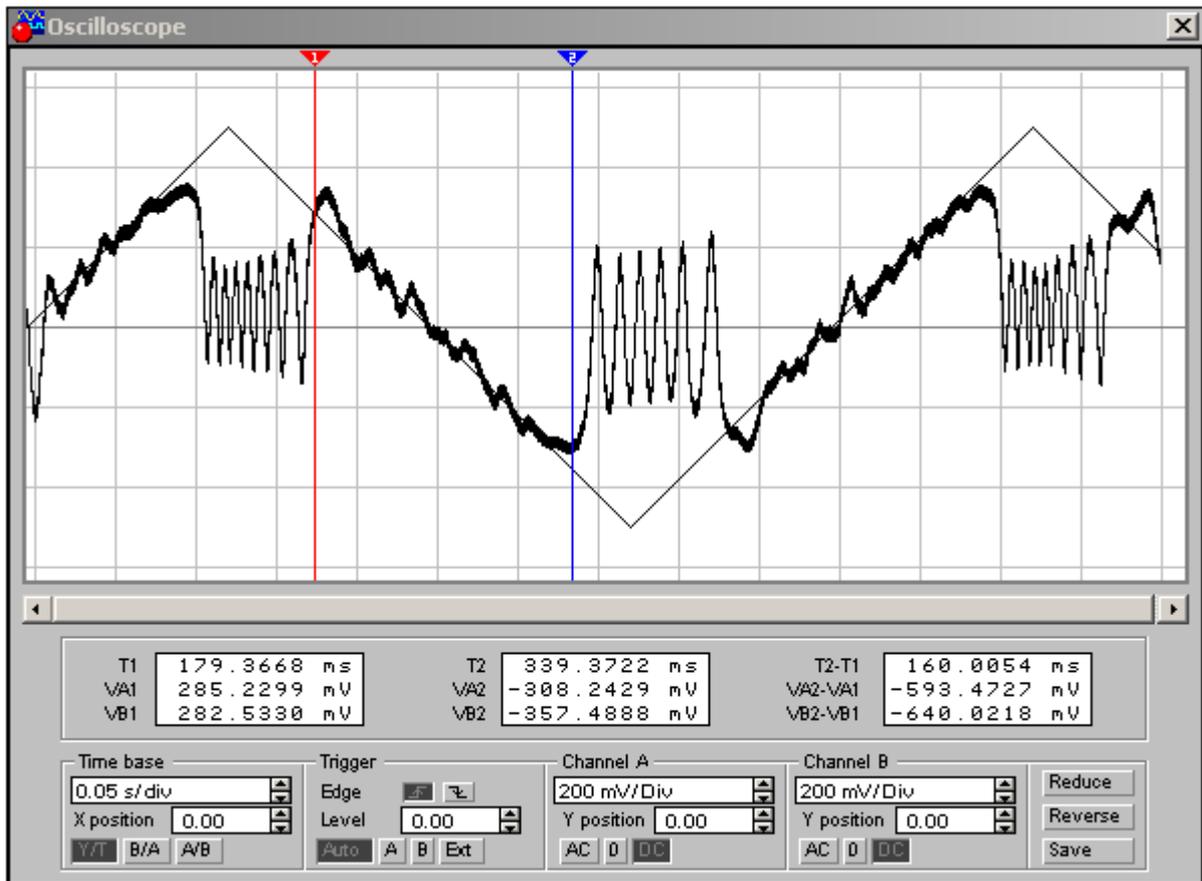
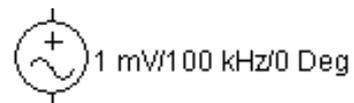


Рис. 1.18 - Лицевая панель осциллографа в режиме ZOOM

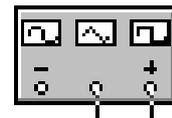
Изображения можно инвертировать нажатием кнопки REVERSE и записать данные в файл нажатием кнопки SAVE. Возврат к исходному состоянию осциллографа производится нажатием кнопки REDUCE.

Источник немодулированного сигнала



Для источника немодулированного переменного напряжения с помощью диалогового окна задаются: напряжение (Voltage), частота (Frequency) и начальная фаза (Phase) синусоидального сигнала.

Функциональный генератор (Function Generator)



Лицевая функционального панель генератора показана на рис. 1.19.

Управление генератором осуществляется следующими органами управления:



- выбор формы выходного сигнала синусоидальной (выбрана по умолчанию), треугольной и прямоугольной;

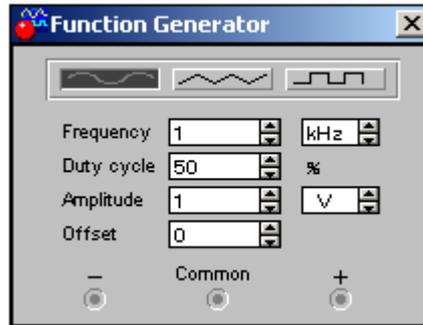


Рис. 1.19 - Лицевая панель функционального генератора



- установка частоты выходного сигнала;



- установка коэффициента заполнения в процентах: для импульсных сигналов это отношение длительности импульса к периоду повторения – величина обратная скважности, для треугольных сигналов – соотношение между переднего и заднего фронтов;



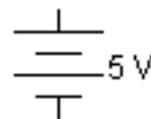
- установка амплитуды выходного сигнала;



- установка смещения (постоянной составляющей) выходного сигнала;



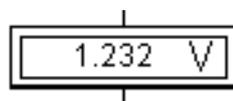
- выходные зажимы; при заземлении клеммы COM (общий) на клеммах “+” и “-” получаем парафазный сигнал.



Источник постоянного напряжения

Для источника постоянного напряжения с помощью диалогового окна, вызываемого двойным щелчком мыши по значку источника, задается значение ЭДС.

Вольтметр



Для вольтметра с помощью диалогового окна задаются: внутреннее сопротивление, режим измерения постоянного или переменного напряжения.

1.6 Расчетное задание

1. Рассчитать и построить регулировочную характеристику ПГ, приведенного на рис. 1.14, для сопротивления канала полевого транзистора при напряжении на затворе равном нулю $R_0 = 2\text{кОм}$ и напряжении отсечки $U_{отс} = 2\text{В}$.
2. По построенной регулировочной характеристике определить передаточную функцию управляемого элемента (крутизну) K_U .
3. Рассчитать максимальное напряжение управления $U_{У МАХ}$, полосу удержания $П_U$, полосу захвата $П_З$ и построить регулировочную характеристику системы ФАПЧ для значения напряжения смещения на затворе $U_{СМ} = 0.5\text{В}$.
4. Оценить устойчивость работы системы ФАПЧ.

1.7 Экспериментальное задание

1. Измерить регулировочную характеристику ПГ для разомкнутой системы ФАПЧ для значения напряжения смещения на сумматоре $U_{СМ} = 0.5\text{В}$ (на затворе -0.5В), задавая значения напряжения настройки U_H от -1В до $+1\text{В}$.
2. Измерить с помощью осциллографа регулировочную характеристику управления замкнутой системы ФАПЧ для значения напряжения смещения на сумматоре $U_{СМ} = 0.5\text{В}$, задавая напряжение настройки U_H треугольной формы с помощью функционального генератора.
3. Определить по регулировочной характеристике управления замкнутой системы ФАПЧ максимальные напряжения управления $U_{У МАХ}$ на частотах $f_{УВ}, f_{УН}, f_{ЗВ}, f_{ЗН}$, полосу удержания $П_U$, полосу захвата $П_З$ и построить регулировочную характеристику системы ФАПЧ.

4. Измерить регулировочные характеристики системы ФАПЧ в режиме слежения и вне режима слежения.
5. Измерить переходные характеристики системы ФАПЧ в режиме слежения.
6. Определить максимальное напряжение сигнала $U_{C MAX}$ при котором система ФАПЧ теряет устойчивость.

1.8 Указания по выполнению работы

При измерении регулировочной характеристики ПГ для определения значения частоты используется осциллограф.

При исследовании регулировочных характеристик ПГ и системы ФАПЧ устанавливается соответствующая развертка осциллографа.

1.9 Указания по оформлению отчета

Выводы должны быть сделаны по каждому пункту исследований и должны содержать: ссылки на рисунки, характер зависимостей, физическое и теоретическое объяснение зависимостей, сравнительный анализ.

1.10 Контрольные вопросы

1. Дайте определение регулировочной характеристики ПГ и системы ФАПЧ.
2. Объясните принцип регулировки частоты.
3. Дайте определение полосы захвата и полосы удержания.
4. Почему полоса удержания в системе ФАПЧ больше полосы захвата, могут ли они быть равны?
5. Каковы функции ФНЧ в системе ФАПЧ? Из каких соображений выбирается постоянная времени ФНЧ?
6. Объясните причины потери устойчивости системы ФАПЧ.