

АНАЛОГОВАЯ И ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

•Издательство ТГТУ •

УДК 621.38(076)
ББК 385я73-5
К 14

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент
Доктор технических наук, профессор
П. С. Беляев

Составители:
В. Н. Казаков, З. М. Селиванова

Лабораторная работа 1

**ЗНАКОМСТВО С ОСНОВНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
АППАРАТУРОЙ**

Цель работы: ознакомиться с основными измерительными приборами, используемыми в лаборатории; усвоить принцип действия этих приборов, правила применения, получить первоначальную практику работы с ними.

Описание лабораторного стенда

Среди измерительных приборов, входящих в оборудование рабочего места лаборатории "Основы радиоэлектроники", в первую очередь, следует обратить внимание на измерительные генераторы (высокочастотные и низкочастотные), осциллографы и электронные вольтметры.

Измерительные генераторы

Генераторы колебаний синусоидальной формы широко используются для исследования и настройки различных электронных устройств в диапазоне от единиц до сотен тысяч мегагерц. Перекрыть такой диапазон в одном приборе невозможно, поэтому измерительные генераторы разделяют на два вида: звуковых частот и высоких частот. Генераторы высоких частот в свою очередь делятся на генераторы радиовещательного диапазона, генераторы метровых, дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн.

Все измерительные генераторы должны обладать высокой стабильностью частоты, малым коэффициентом гармоник и иметь точную установку частоты. Измерительные генераторы звуковых частот обычно работают в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц.

Генераторы радиовещательного диапазона работают в диапазоне от 100 кГц до 30 МГц.

Кроме перечисленных, измерительные генераторы разделяют на генераторы стандартных сигналов и генераторы сигналов. Особенности генераторов стандартного сигнала – наличие калиброванного выхода, малая величина выходного сигнала и возможность работы в режиме модулированных колебаний. Для этого в приборе используются модулятор и измеритель глубины модуляций выходных колебаний. Генераторы сигналов – источник некалиброванных по выходному напряжению (мощности) колебаний. Основной особенностью таких генераторов является наличие достаточно мощного выхода. Иногда функции генератора стандартных сигналов и генератора сигналов совмещаются в одном приборе. Структурная схема измерительного генератора приведена на рис. 1.1. В задающем генераторе возбуждаются колебания синусоидальной формы регулируемой частоты и амплитуды. Синусоидальность формы колебаний обеспечивается за счет частотно-избирательных свойств элементов LC или RC. Колебательные системы на LC элементах используются в генераторах радиовещательного диапазона. В диапазоне звуковых частот преимущественно используются элементы RC.

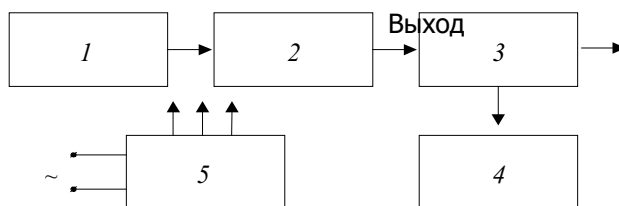


Рис. 1.1 Структурная схема измерительного генератора:
1 – задающий генератор; 2 – усилитель; 3 – выходное устройство;
4 – измерительное устройство; 5 – источник питания

Регулировка частоты колебаний достигается путем изменения параметров элементов LC или RC.

Каждое рабочее место в лаборатории укомплектовано двумя-тремя генераторами синусоидальных колебаний:

высокочастотным генератором стандартного сигнала типа Г4-42;

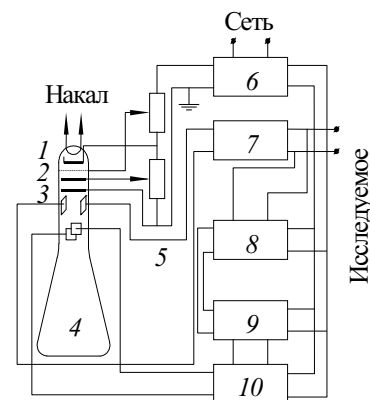
звуковым генератором диапазона 20 Гц – 20 кГц, с маломощным выходом ($U_{\max} = 1 - 3$ В) типа ГЗ-53;

звуковым генератором типа ГЗ-18 (или аналогичный) того же диапазона, но с мощным выходом ($U_{\text{вых. max}} = 60 - 100$ В) для модуляции высокочастотного генератора.

Электронный осциллограф

Осциллограф предназначен для визуального наблюдения электрических колебаний и измерения их параметров. На рис. 1.2 показана упрощенная структурная схема осциллографа, отражающая основные принципы его работы. Индикатором осциллографа является электронно-лучевая трубка, на экране которой электронным лучом рисуется изображение исследуемого сигнала. Для получения такого изображения на пластины горизонтального отклонения трубки подается пилообразное напряжение развертки (рис. 1.3), которое обеспечивает перемещение электронного луча с постоянной скоростью.

Рис. 1.2 Структурная схема осциллографа: 1 – модулятор; 2 – первый анод; 3 – второй анод; 4 – экран; 5 – делитель напряжения; 6 – источник питания; 7 – усилитель исследуемого напряжения; 8 – узел синхронизации; 9 – генератор развертки; 10 – усилитель развертываемого напряжения

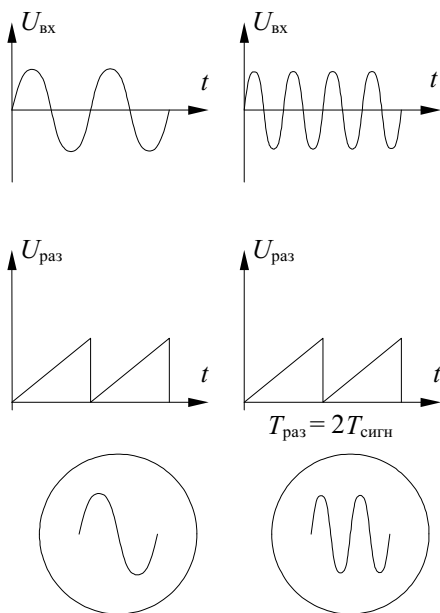


Масштаб изображения по вертикали определяется амплитудой колебания, поступающего на пластины вертикального отклонения, и, при фиксированной амплитуде исследуемых, колебаний может изменяться за счет изменения коэффициента передачи канала вертикального отклонения (Y-канал). Большие сигналы должны ослабляться в Y-канале, а малые – усиливаться. Это определяет необходимую структуру Y-канала, как последовательного соединения делителя входного напряжения с усилителем. Коэффициенты передачи делителя и усилителя должны регулироваться и не зависеть от частоты входных колебаний. Часть схемы осциллографа, связанная с пластинами горизонтального отклонения, носит название X-канала.

Основными элементами X-канала являются генератор развертки и устройство синхронизации. Роль генератора развертки очевидна из самого принципа осциллографирования. Устройство синхронизации предназначено для получения четкой картины на экране осциллографа. Она будет четкой, если отношение

$$\frac{F_{\text{сигн}}}{F_{\text{разв}}} = \frac{T_{\text{разв}}}{T_{\text{сигн}}}$$

будет равно целому числу.



При этом кривые, прочерчиваемые лучом за время каждого хода развертки, точно совпадают друг с другом, образуя неподвижное изображение. Практически абсолютной стабильности частот добиться невозможно, поэтому величина отношения $F_{\text{сигн}} / F_{\text{разв}}$ в процессе работы может меняться, и изображение на экране "плывет" или кажется размазанным (рис. 1.4). Устройство синхронизации поддерживает отношение $F_{\text{сигн}} / F_{\text{разв}}$ неизменным, подгоняя автоматически частоту развертки под частоту сигнала. Величина отношения устанавливается в генераторе развертки, схема которого всегда предусматривает регулировку частоты развертки в широком диапазоне – скачком и плавно в пределах каждого поддиапазона.

Выбор отношения $T_{\text{разв}} / T_{\text{сигн}}$ определяет масштаб изображения по горизонтали. Чем больше $T_{\text{разв}} / T_{\text{сигн}}$, тем больше периодов исследуемого сигнала приходится на один период развертки, тем в более сжатом виде сигнал будет изображаться на экране. И наоборот: чем меньше $T_{\text{разв}} / T_{\text{сигн}}$, тем более растянется по горизонтали исследуемый сигнал (рис. 1.5).

Рис. 1.5 Изображение исследуемого сигнала на экране осциллографа

Рабочие места в лаборатории укомплектованы осциллографами типа С1-73, С1-49, С1-67. Краткую инструкцию к пользованию осциллографом такого типа можно найти в приложении к настоящим методическим указаниям.

Электронные вольтметры

Под электронными вольтметрами понимают обычно измерители напряжения, выполненные с применением электронных схем разной степени сложности. Основными их отличительными чертами, с точки зрения эксплуатации, являются: весьма высокое входное сопротивление (до нескольких мегом) и малая зависимость показаний от частоты (большой частотный диапазон от единиц герц до сотен мегагерц) при достаточно широких пределах измерения (от милливольт до сотен вольт). Эти особенности позволяют с успехом применять электронные вольтметры при исследовании и настройке различных радиоэлектронных схем. Подключение к схеме такого вольтметра ввиду высокого входного сопротивления не искажает, как правило, режима схемы, не влияет на ее работу.

Электронные вольтметры могут быть предназначены для работы, как на постоянном, так и на переменном токе. В первом из этих случаев, структурная схема вольтметра весьма проста (рис. 1.6).



Рис. 1.6 Структурная схема электронного вольтметра постоянного тока

Измеряемое напряжение сначала усиливается усилителем постоянного тока (УПТ), а затем подается на индикатор. Структурная схема милливольтметра переменного тока приведена на рис. 1.7. Индикатор в электронном вольтметре может быть применен как аналогового (стрелочного) типа, так и электронно-счетный (цифровой). Шкалы электронных вольтметров градуируются обычно в действующих значениях синусоидального напряжения. Поэтому для несинусоидальных напряжений градуировка прибора непригодна.

Рабочие места в лаборатории укомплектованы электронными вольтметрами типа В7-16.



Рис. 1.7 Структурная схема электронного вольтметра переменного тока

Прочие приборы

На рабочих местах лаборатории "Аналоговая и цифровая электроника" применяются также генераторы прямоугольных импульсов, частотомер и анализатор спектра. Указания к их применению приводятся в соответствующих лабораторных работах по ходу выполнения практикума.

На рабочих местах лаборатории используются цифровые и аналоговые электронные вольтметры различных типов. Инструкции к ним находятся на каждом конкретном рабочем месте.

Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 Изучить принципы работы приборов и инструкции к ним.
- 2 Установить на выходе низкочастотного генератора частоту $F = (200 + K 1000)$ Гц, где K – номер рабочего места. Напряжение ориентировочно установить $U_r = (0,1 + 0,3 K)$ В.
- 3 Измерить имеющимися на рабочем месте вольтметрами напряжение на выходе низкочастотного генератора. Сравнить полученные значения с напряжением на генераторе. Частоту напряжения проконтролировать частотомером.
- 4 Пронаблюдать, полученное при выполнении пункта 2, напряжение на экране осциллографа. С помощью осциллографа измерить действующее значение, амплитуду и оценить период низкочастотного напряжения. Сравнить полученные результаты с заданными.
- 5 Установить на выходе высокочастотного генератора немодулированное колебание с действующим значением: $U_f = (0,1 + 0,06 K)$ В и частотой $F = (110 + K 200)$ кГц.
- 6 Измерить вольтметром напряжение, заданное в пункте 5, на выходе высокочастотного генератора. Сравнить полученное значение напряжения с заданным.
- 7 Пронаблюдать напряжение, полученное при выполнении пункта 6, на экране осциллографа. С помощью осциллографа измерить действующее значение, амплитуду и оценить период высокочастотного напряжения.
- 8 Установить на выходе высокочастотного генератора амплитудно-модулированное колебание с параметрами: $f_n = (150 + K 15)$ кГц, $M = (0,15 + K 0,05)$, $F = (500 + K 150)$ Гц, где K – номер рабочего места. Использовать преимущественно режим внутренней модуляции. При необходимости работы в режиме внешней модуляции на клеммы "Внеш. мод." высокочастотного генератора подается низкочастотное напряжение заданной частоты F с действующим значением не менее 60 В. Коэффициент глубины модуляции устанавливается с помощью модулометра ручкой "Уровень m %".

Порядок работы с осциллографом Измерение временных интервалов

Измеряемый временной интервал определяется произведением двух величин: длины измеряемого интервала времени на экране по горизонтали в делениях и величины времени на деление в данном положении переключателя "ВРЕМЯ/ДЕЛЕН".

Измерение частоты

Частоту сигнала можно определить, измерив его период T : $f = 1/T$.

Подсчитывают расстояние в делениях целого числа периодов сигнала, укладываемых наиболее близко к 10 делениям шкалы.

Пусть, например, 5 периодов (n) занимают расстояние $l = 8,45$ делений при длительности развертки $T_p = 2$ МКС/дел. Тогда искомая частота сигнала равна

$$f = \frac{n}{lT_p} = \frac{5}{8,45 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = \frac{5 \cdot 10^6}{16,9} = 269 \text{ кГц.}$$

Другим методом определения частоты является сравнение неизвестной частоты с эталонной частотой по фигуре Лиссажу.

В этом случае на вход усилителя вертикального отклонения (УВО) подается сигнал частоту которого необходимо измерить, нажимается кнопка "ВХОД X" и на вход усилителя горизонтального отклонения через гнездо "ВХОД СИНХР." подается сигнал от генератора образцовой частоты. Переключатель "ВРЕМЯ/ДЕЛЕН" устанавливается в положение, обеспечивающее удобное наблюдение изображения на экране ЭЛТ. Ручка "СТАБИЛЬНОСТЬ" устанавливается в крайнее правое положение.

При сближении частот на экране появляется вращающийся эллипс, прекращение его вращения указывает на полное совпадение частот. При кратном соотношении частот на экране получается более сложная фигура, причем частота по вертикали так относится к частоте по горизонтали, как число точек касания к касательной по горизонтали относится к числу точек касания по вертикали.

Измерение амплитуды исследуемых сигналов

Перед проведением измерения амплитуды исследуемого сигнала необходимо проверить калибровку по методике, описанной в пункте 3 данной работы. ↔

Измерение амплитуды исследуемых сигналов производится следующим образом: на вход усилителя вертикального отклонения подается исследуемый сигнал. При помощи ручек " " и " " сигнал совмещают с нужными делениями шкалы и измеряют размах изображения по вертикали в делениях. Для уменьшения погрешности от толщины луча измерения производятся или оба по нижним, или оба по верхним краям линии изображения. Положение переключателя "ВОЛЬТ/ДЕЛЕН" необходимо выбрать таким, чтобы размер исследуемого сигнала получался наибольшим в пределах рабочей части экрана.

Величина исследуемого сигнала в вольтах будет равна произведению измеренной величины изображения в делениях, умноженной на цифровую отметку показаний переключателя "ВОЛЬТ/ДЕЛЕН".

При работе с выносным делителем 1:10 полученный результат необходимо умножить на 10.

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель лабораторной работы.
- 2 Перечень использованных измерительных приборов с указанием их конкретных типов и заводских номеров.
- 3 Основные технические характеристики измерительных приборов, принцип работы, структурные схемы и методика их применения.
- 4 Результаты измерений и осциллограммы по пунктам задания.

Контрольные вопросы

Типы генераторов, применяемых при выполнении лабораторных работах, диапазоны их выходных сигналов. Методики измерения периодов, амплитуд сигналов, их частоты. Принцип работы цифровых измерительных приборов.

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы: исследование вольтамперных характеристик полупроводниковых биполярных и полевых транзисторов и определение их основных параметров.

Описание лабораторного стенда

Стенд для исследования полупроводниковых приборов состоит из переносного блока, на передней панели которого смонтирован исследуемый прибор и клеммы для снятия входных и выходных величин. Для снятия статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ), собрать схему на стенде в соответствии с рис. 2.1.

При включении транзистора по схеме с ОЭ его выходным напряжением будет напряжение между эмиттером и коллектором, выходным током – ток коллектора, а выходными статическими характеристиками – семейство

$$I_K = f(U_{КЭ})/I_B = \text{const.}$$

Входным напряжением транзистора будет напряжение между базой и эмиттером, входным током будет ток базы, входными статическими характеристиками – семейство

$$I_B = f(U_{БЭ})/U_{КЭ} = \text{const.}$$

Семейство статических характеристик транзистора характеризуют основные параметры: коэффициенты эмиттерного α и β базового токов, входное $r_{вх}$ и выходное $r_{вых}$ сопротивления транзистора, а также коэффициент внутренней обратной связи по направлению μ_n . Все указанные параметры легко определить из семейств статических характеристик. Например, при включении транзистора по схеме с ОЭ:

$$r_{вых} = r_k = \Delta U_{КЭ} / \Delta i_k \text{ при } i_B = \text{const};$$

$$r_{вх} = r_B = \Delta U_{БЭ} / \Delta i_B \text{ при } U_{КЭ} = \text{const};$$

$$\mu = \Delta U_{БЭ} / \Delta U_{КЭ} \text{ при } i_B = \text{const},$$

т.е. $r_{вх}$ определяется наклоном входных характеристик, $r_{вых}$ – наклоном выходных характеристик.

Принцип работы полевого транзистора напоминает принцип работы электронной лампы, а вид семейства его выходных вольтамперных характеристик $I_C = f(U_C)/U_3 = \text{const}$ аналогичен характеристикам пентода. Поэтому в качестве основных параметров полевых транзисторов используются те же величины, что и для пентода: крутизна, характеристики S , коэффициент усиления μ_T и внутреннее сопротивление R_i .

Практически $S = 0,3 - 3 \text{ мА/Вт}$, R_i – несколько мОм; граничная частота до 1 ГГц; более сильная температурная зависимость, чем у биполярных транзисторов.

Порядок выполнения работы

1 Собрать схему (рис. 2.1), снять и построить семейство входных характеристик $I_B = f(U_{БЭ})$ биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, при значениях напряжения: $U_K = 0, -5, -10 \text{ В}$. Изменять его от 0 до 1 В с шагом 0,2 В. Вольтметр – типа В7-16. Приборы для измерения $I_B, I_K, U_{КЭ}$, соответственно $\mu\text{А}, \text{мА}, \text{В}$

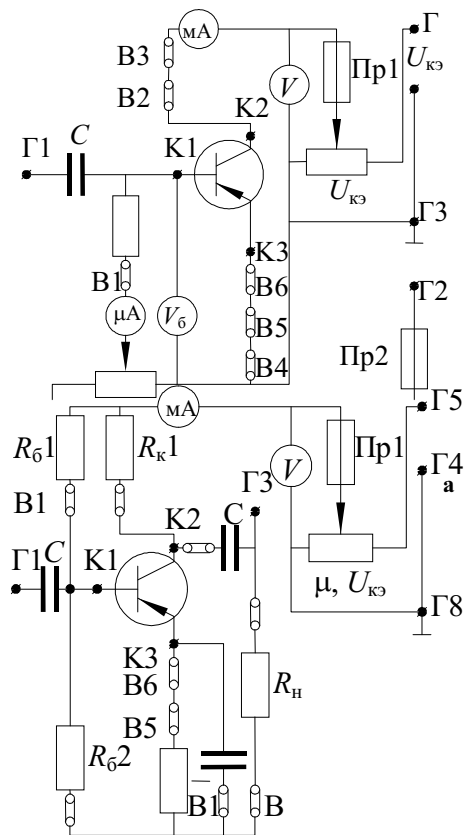


Рис. 2.2 Схема включения транзистора для снятия АЧХ

- 1 Схемы всех измерений.
- 2 Таблицы, графики и эпюры напряжений.
- 3 Расчетные параметры.
- 4 Выводы.

2 Снять и построить семейство выходных характеристик $I_K = f(U_{КЭ})$ биполярного транзистора, при трех значениях тока базы: $I_B = 50, 100, 150 \text{ мкА}$. $U_{КЭ}$ изменять от 0 до 10 В.

3 По полученным характеристикам транзистора определить параметры $\alpha, \beta, r_{вх}, r_{вых}, \mu_T$ при $U_{КЭ} = -5 \text{ В}, I_B = 100 \text{ мкА}$.

4 Определить верхнюю граничную частоту АЧХ транзистора, для чего собрать на стенде схему (рис. 2.2). Установить напряжение $U_{КЭ} = -5 \text{ В}$. На гнездо Г1 стенда подать синусоидальное напряжение порядка 100 мВ с генератора. К гнезду Г3 подключить цифровой вольтметр. Плавно меняя частоту генератора и поддерживая амплитуду выходного сигнала постоянной, определить верхнюю граничную частоту транзистора, на которой амплитуда выходного сигнала изменяется в 0,707 раз. По осциллографу в точках К1, К2, К3, Г3 контролировать входной и выходной сигналы относительно земли (Г8).

5 Собрать схему (рис. 2.1), заменив в ней биполярный транзистор на полевой, включенный по схеме с общим истоком. Полярность питающих напряжений в гнездах (Г5-Г4), (Г8-Г9) поменять на противоположные. Снять стокные характеристики $I_C = f(U_{СИ})/U_3 = \text{const}$ для $U_3 = 0, -1, -2 \text{ В}$. Напряжение U_C задавать потенциометром "Рег. U_B ". Напряжение U_C – потенциометром "Рег. $U_{КЭ}$ ", изменяя от 0 до 10 В с шагом 1 В. Фиксировать изменение напряжения U_3 .

6 По снятым характеристикам построить графики функции $I_C = f(U_C)/U_3 = \text{const}$ и определить параметры $S, r_i, r_{вх}, \mu_T$.

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.

Контрольные вопросы

Полупроводники, их атомная структура. Электронные и дырочные проводимости. Понятие донорной и акцепторной проводимости. Носители зарядов в них. Электронно-дырочный переход, понятие дрейфа и диффузии носителей. Температурная зависимость проводимости. Основные структуры биполярных транзисторов. Основные параметры транзистора. Схемы включения транзистора. Особенности полевых транзисторов и их типы. Характеристики полевых транзисторов. Преимущества и недостатки биполярных и полевых транзисторов.

Лабораторная работа 3

СОГЛАСУЮЩИЙ КАСКАД НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Цель работы: определение основных качественных характеристик согласующего каскада на полевом транзисторе.

Описание лабораторного стенда и методические указания

Электрическая принципиальная схема каскада приведена на рис. 3.1. Это истоковый повторитель, собранный на полевом транзисторе VT1 с "p-n" переходом и управляемым каналом "n" типа, у которого напряжение питания, подаваемое на сток, положительно.

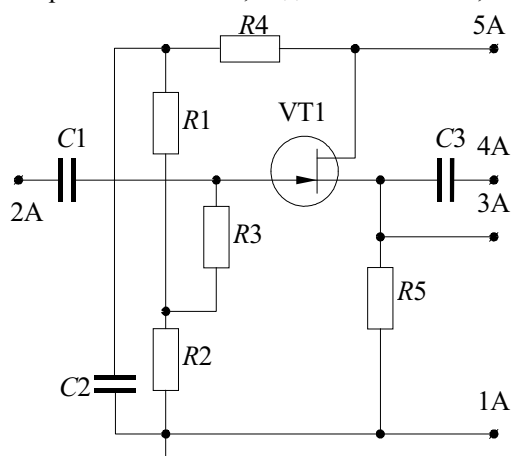


Рис. 3.1 Электрическая принципиальная



Напряжение питания должно быть стабилизировано величиной (9 – 10,5) В. Положение рабочей точки на динамической стокзатворной вольтамперной характеристике задается делителем напряжения R1, R2 (в данном случае напряжение на затворе +1 В). Крутизна динамической характеристики в рабочей точке $S = 1,5 \text{ мА/В}$.

Большая протяженность линейного участка динамической характеристики обеспечивает неискаженную передачу сигнала с амплитудой до 1 В (0,7 В эффективных). Входное сопротивление истокового повторителя 1 МОм; АЧХ равномерна в полосе 20 Гц – 30 кГц; коэффициент передачи 0,47; выходное сопротивление около 600 Ом; ток, потребляемый каскадом, в зависимости от экземпляра полевого транзистора составляет 3,5 мА.

Рис. 3.2 Структурная схема измерений параметров истокового повторителя: ГГС – генератор гармонического сигнала; ОС – осциллограф; ЦЭВ – цифровой электронный вольтметр

Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему измерений в соответствии с рис. 3.2.
- 2 Определить чувствительность схемы и максимальный неискаженный выходной сигнал.
- 3 Снять проходную характеристику $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ и оценить ее нелинейность. Определить коэффициент передачи:

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{S R'_n}{1 + S R'_n},$$

где S – крутизна входной характеристики

$$R'_n = R \times \parallel R_n \parallel \times r \approx R_n = 560 \text{ Ом}$$

Сравнить с расчетным значением.

- 4 Для среднего значения сигнала по амплитуде снять АЧХ каскада, для чего с генератора ГГС подавать на вход каскада сигнал постоянной амплитуды и переменной частоты с $F = (0 - 50) \text{ кГц}$. На выходе каскада фиксировать амплитуду напряжения по осциллографу или цифровому вольтметру. Построить график $U_{\text{вых}} = f(F)$. Определить полосу пропускания каскада на уровне $0,7 U_{\text{max}}$ и сравнить с заданной в техусловиях.

- 5 Оценить верхнюю граничную частоту АЧХ каскада по значению

$$f_{CB} \cong \frac{1}{2\pi\tau_B}; \text{ где } \tau_B = R_{\text{вых}} C_{\text{вых}}; R_{\text{вых}} \approx \frac{1}{S};$$

$$C_{\text{вых}} \cong C_{22} \text{ и } \sim 10 \text{ пФ}; C_{\text{вх}} - C_{12} \text{ и } \sim 8 \text{ пФ}$$

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Расчетные параметры всех измерений.
- 3 Схема измерительного стенда.
- 4 Выводы.

Контрольные вопросы

Чем определяются входное и выходное сопротивления истокового повторителя? Почему коэффициент передачи по напряжению истокового повторителя меньше единицы?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Цель работы: изучение усилителя мощности и измерение основных параметров, характеризующих качество работы усилителя.

Описание лабораторного стенда и методические указания

Принципиальная электрическая схема усилителя показана на рис. 4.1. Первый каскад построен по схеме с общим эмиттером на транзисторе VT3. Предконечный фазоинверсный каскад построен по последовательной двухтактной схеме на транзисторах VT4 (n-p-n) и VT5 (p-n-p).

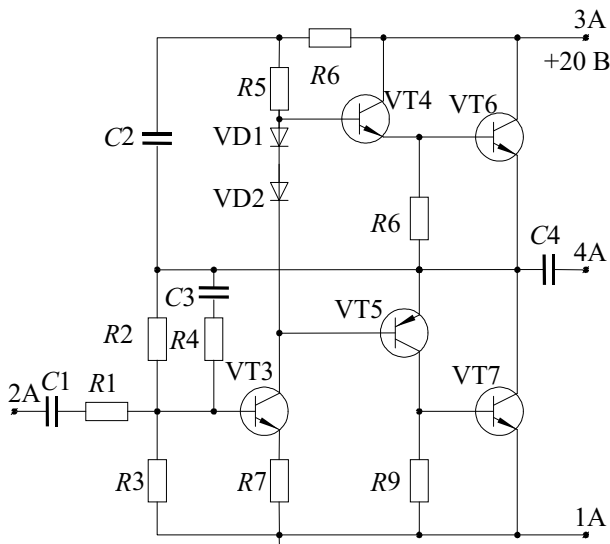


Рис. 4.1 Принципиальная схема усилителя мощности

Выходной каскад выполнен по двухтактной безтрансформторной схеме с последовательно соединенными транзисторами VT6 и VT7.

В усилителе мощности обеспечивается равномерная амплитудно-частотная характеристика благодаря глубокой частотно-независимой отрицательной обратной связи. Напряжение обратной связи снимается с нагрузки выходного каскада и подается в цепь базы первого каскада через резистор R2 и цепочку C3, R4.

Для устранения искажения сигнала типа "Ступенька" на базы транзисторов VT4 и VT5 подано напряжение смещения, снимаемое с диодов VD1 и VD2. Кроме того, как термочувствительные элементы, эти диоды поддерживают в заданных пределах ток покоя выходных транзисторов VT6 и VT7 при изменении температуры окружающей среды. Входное сопротивление усилителя мощности равно 3,5 кОм. Мощность, развиваемая усилителем на нагрузке в 4 Ом равна 4 Вт. Максимальная мощность нагрузки – 0,5 Вт. Максимальный входной сигнал – 1,3В.

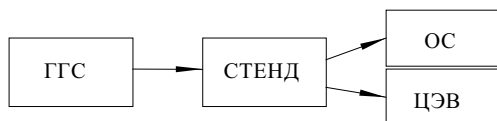
Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему измерений в соответствии с рис. 4.2.
- 2 Определить чувствительность схемы и максимальный искажающий сигнал.

Снять проходную характеристику $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$ и определить ее линейность. Нелинейность в процентах оценить величиной $\delta = \Delta U / U_{\text{max}}$, где ΔU – максимальное отклонение характеристики от линии, U_{max} – максимальное значение проходной характеристики.

Рис. 4.2 Структурная схема измерений параметров усилителя мощности:

ГГС – генератор гармонического сигнала; ОС – осциллограф; ЦЭВ – цифровой электронный вольтметр



3 Подать среднее значение входного сигнала и зарисовать четкие эпюры напряжения. По осциллограмме полагаться оценить качественно наличие 2-й и 3-й гармоник в выходном спектре сигнала. С этой целью на осциллограмме измерить с помощью калибратора время достижения заданного уровня A_0 двумя полупериодами (рис. 4.3) τ_1 и τ_2 , а также амплитуды полупериодов A_1 и A_2 . Как известно, в случае идеальной симметрии двухтактной схемы на нагрузке выделяется первая гармоника, а все остальные отсутствуют. Практически это не выполняется и, если $\tau_1 \neq \tau_2$, то присутствует 2-я гармоника, а в случае $A_1 \neq A_2$ присутствует 3-я и другие гармоники. Количественно оценку величины гармоник можно выполнить, например, методом пяти ординат.

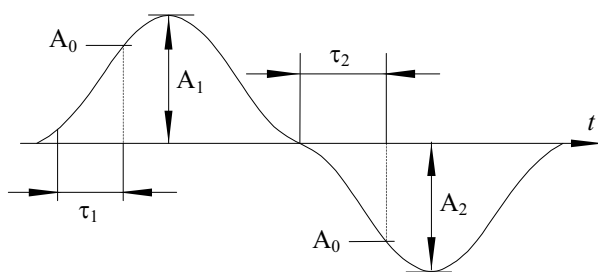


Рис. 4.3 Осциллограмма выходного сигнала

определяется режим работы усилительного элемента по току? Какими показателями режим *A* превосходит режим *B* и наоборот? Какими преимуществами обладает двухтактный усилитель мощности перед однотактным?

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Рисунки измерительных стендов.
- 3 Таблицы и графики результатов измерений, эпюры и осциллограммы основных сигналов.
- 4 Выводы.

Контрольные вопросы

В чем заключается основное отличие усилителя мощности от усилителя напряжения? Чем

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы: изучение режимов работы операционного усилителя (ОУ).

Описание лабораторного стенда

Стенд для исследования ОУ состоит из ОУ, набора резисторов и конденсаторов с гнездами коммутации, а также элементов включения и контроля питания стенда.

Сборка необходимой схемы для исследования осуществляется соединительными шнурами со штекерами на концах, подбор необходимых элементов входных цепей ОУ и обратной связи осуществляется в соответствии с заданием.

Схема стенда приведена на рис. 5.1.

Порядок выполнения работы

Инвертирующий усилитель

1 Рассчитать инвертирующий усилитель и собрать схему (рис. 5.2, *a*) для следующих данных: $K_{\text{н}} = 10$; $K_0 = 5 \cdot 10^5$; $R_{\text{н}} = 100 \text{ К}$; $\text{ТКЕ} = 50 \text{ мкВ/К}$; $I_{\text{см}0} = 50 \text{ мВ}$; $C = 1 \text{ мкФ}$. В процессе расчета определить: $R_{\text{ос}}$, R_1 , $R_{\text{бал}}$, $K_{\text{реал}}$, β , δ , температурный дрейф $\Delta U_{\text{вых.}}(I_{\text{см}})$.

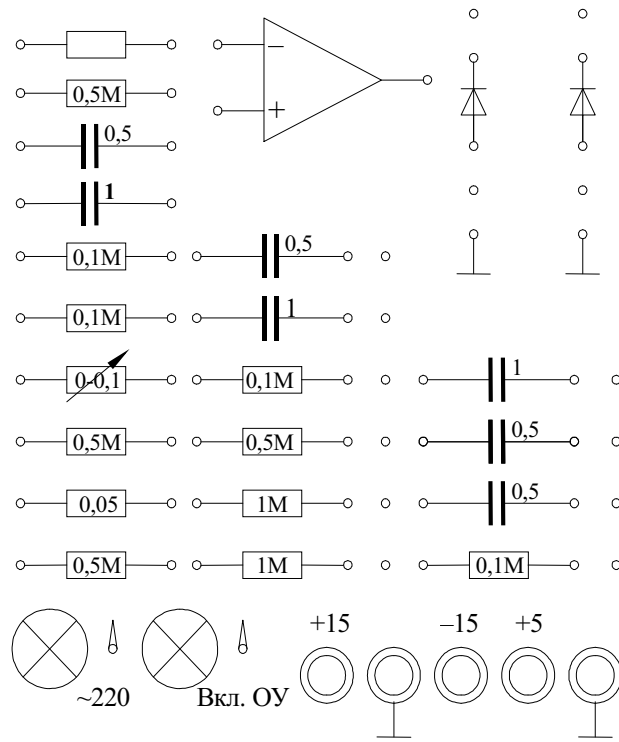


Рис. 5.1 Схема стенда

- 2 Определить максимальный уровень входного сигнала и оценить коэффициент усиления.
- 3 Определить полосу пропускания при малом сигнале на входе (0; 1 В).
- 4 Определить полосу пропускания при максимальном сигнале на входе.
- 5 Оценить усиление переменного сигнала (искажение, коэффициент усиления), добавив к схеме рис. 5.2, б конденсатор C .

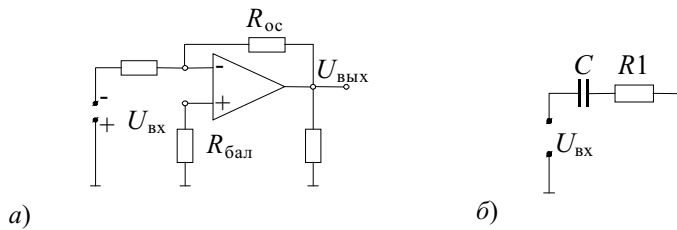


Рис. 5.2 Схема инвертирующего усилителя (а) и усилителя с конденсатором (б)
Неинвертирующий усилитель

- 1 Рассчитать инвертирующий усилитель и собрать схему (рис. 5.3, а) для следующих данных: $K_n = 11$; $K_0 = 5 \cdot 10^5$; $R_n = 100$ К; $TKE = 50$ мкВ/К; $I_{CM0} = 50$ мВ; $E_c = (0,1; 1; 1,2$ В) $C = 1$ мкФ. В процессе расчета определить: $R_{ос}$, R_1 , $R_{бал}$, $K_{реал}$, β , δ_k , $\Delta U_{вых.}(E_{см})$.

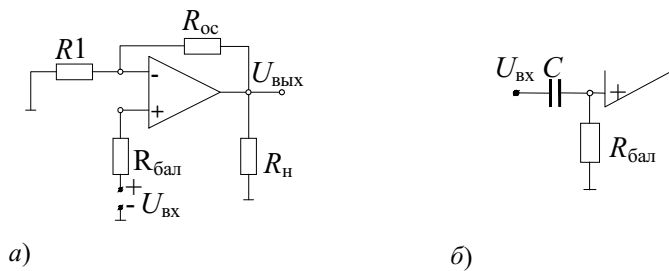


Рис. 5.3 Схема усилителя: а – неинвертирующего; б – переменного напряжения

- 2 Определить максимальный выходной сигнал и коэффициент усиления.

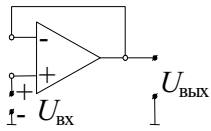


Рис. 5.4 Схема повторителя напряжения

3 Определить полосу пропускания для малого (0, 1 В) и большого (предельного) сигнала.

4 Реализовать повторитель напряжения и убедиться в его работоспособности (рис. 5.4).

В соответствии с рис. 5.3, б собрать усилитель переменного напряжения и определить его коэффициент усиления и качество усиления.

Дифференциальный усилитель

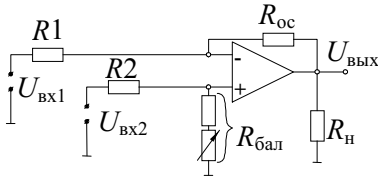


Рис. 5.5 Схема дифференциального усилителя

1 Собрать схему ОУ в соответствии с рис. 5.5 для следующих данных: $R_1 = R_2 = 100 \text{ К}$; $R_{ос} = R_{бал} = 1 \text{ М}$; $R_н = 100 \text{ К}$.

2 Оценить коэффициент усиления при максимальном выходе.

Импульсные схемы на основе ОУ аналоговый компаратор

1 Собрать схему однополярного компаратора (рис. 5.6) для следующих данных: $U_{оп} = 2 \text{ В}$; $U_{вх} = 5 \text{ В}$; $R_н = 100$; $R_1 = 1 \text{ К}$; $R_2 =$

$= 1 \text{ М}$.

2 Зарисовать эпюры напряжений на выходе и выходе с экрана осциллографа. Сделать выводы о стабильности работы схемы при гармоническом сигнале на входе.

Мультивибратор

1. Собрать схему (рис. 5.7) и рассчитать ее элементы для следующих данных: $U_{нас}^+ = U_{нас}^-$; $T_1 = T_2$; $T = 2C$.
2. Зарисовать эпюры напряжений на входах и выходе и оценить период колебания.

Ждущий мультивибратор

1 Собрать схему ждущего мультивибратора (рис. 5.8) с параметрами: $R = 10 \text{ — } 100 \text{ К}$; $C = 0,5 \text{ мкФ}$; $R_1 = 100 \text{ К}$; $R_2 = 1 \text{ М}$; $C_{вх} = 0,5 \text{ мкФ}$; $R_{вх} = 100 \text{ К}$.

2 Отключив диод D_1 , добиться регулировкой четкого изображения импульсов на экране осциллографа. Определить длительность импульсов.

3 Включить диод D_1 и синхронизирующим импульсом отрицательной полярности запустить одновибратор. Эпюру напряжения зарисовать и объяснить все, что получилось.

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Рисунки всех схем операционного усилителя.
- 3 Расчетные параметры всех измерений.
- 4 Выводы.

Контрольные вопросы

Какой тип обратной связи образуется при подключении сопротивления между выходом и инвертирующим звеном? Перечислить достоинства и недостатки инвертирующего усилителя. С какой целью в схему включается сопротивление $R_{бал}$ и каким образом выбирается его величина? Как определяется температурный дрейф усилителя? Чем определяется минимальный уровень входного сигнала?

Назовите достоинства и недостатки неинвертирующего усилителя. Чем определяется входное сопротивление неинвертирующего усилителя? Как определяется ошибка, создаваемая синфазным сигналом на входе? Где предпочтительно применять неинвертирующий усилитель?

Каково назначение дифференциального ОУ? Какой усилитель называют измерительным?

Обоснуйте целесообразность включения положительной обратной связи в практических схемах компараторов. Почему часто на практике приходится ограничивать величину выходного напряжения компараторе? Какие типы обратных связей используются в схеме автоколебательного мультивибратора? Чем определяется период колебаний мультивибратора? Каким образом реализовать несимметричный мультивибратор? Назовите назначения диодов D_1 и D_2 в одновибраторе. Как изменяется работа одновибратора, если поменять полярность включения диода D_1 ?

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО RC-ФИЛЬТРА НА АНАЛОГОВЫХ ИС

Цель работы: исследование частотных и избирательных свойств активного RC-фильтра.

Описание лабораторного стенда и методические указания

На рис. 6.1 изображена принципиальная электрическая схема исследуемого RC-фильтра, выполненного на основе аналоговых микросхем типа К553УД2 и расположенного на съемной плате лакеммы передней панели стенда.

При синтезе фильтров их передаточные "идеальные" характеристики обычно аппроксимируются полиномами Баттерворта и Чебышева вида

$$|F(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + B_1 \omega^2 + B_2 \omega^4 + \dots + B_n \omega^{2n}}, \quad (1)$$

где ω – нормированная по ω_n частота.

В процессе, решений задачи аппроксимации необходимо определить коэффициенты полинома B_1, B_2, \dots, B_n . Их численные значения будут зависеть от выбранного критерия близости функций.

Для фильтра Баттерворта n -го порядка используется следующий критерий близости функций: в точке $\omega = 0$ значение аппроксимирующей функции, а также значения ее первых n производных должны совпадать с соответствующими значениями модуля передаточной функции идеального фильтра. В результате аппроксимирующий полином (1) примет вид:

$$|F(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + B \omega^{2n}}. \quad (2)$$

Коэффициент B определяет свойства фильтра на границе полосы пропускания, при $\omega = 1$ ($\omega = \omega_c$). Так, $B = 1$ соответствует спаду АЧХ на этой частоте в 2 раза, или на 3 дБ. По аппроксимированной функции определяется передаточная функция фильтра. Полиномы Баттерворта различных порядков, нормированные по частоте ω_c для $B = 1$ (т.е. при неравномерности АЧХ $\Delta a = 3$ дБ), табулированы. Этими таблицами можно пользоваться при произвольно заданных неравномерностях АЧХ. В этом случае изменится лишь нормировка частоты. Новая нормирующая частота станет $\omega_d = \omega_c / \sqrt[n]{B}$. Наклон АЧХ фильтра Баттерворта (λ) составит: при $\omega \gg 1$, для $B = 1$

$$|F(j\omega)|^2 \approx \frac{1}{\omega^{2n}} \quad |F(j\omega)|_{\text{дБ}} = -20 \lg \omega,$$

т.е. $\lambda = -20$ (дБ/дек).

На частоте ω_a , по определению, модуль коэффициента передачи составляет T_a , тогда из (2) для этой частоты можно записать

$$\frac{1}{1 + B \omega_a^{2n}} = T_a^2$$

Отсюда получается соотношение для расчета порядка фильтра (предполагается нормировать ω_a)
 $n = \lg \left[\frac{1}{B} \left(\frac{1}{T_a^2} - 1 \right) \right] / 2 \lg \omega_a$. На практике неравномерность АЧХ задается в децибелах. Следовательно,
 $l = 10^{-\Delta a/20}$; $\Delta a(\text{дБ}) = -20 \lg e$. Из соотношения (2) при $\omega = \omega_c$ нормированная частота равна 1, следовательно
 $B = (1/e^2) - 1$.

В предлагаемой работе исследуется схема фильтра пятого порядка с полосой пропускания до 500 Гц, с неравномерностью АЧХ не более 7 %. $T_a = 0,1$. Частота среза равна 1 кГц или $\omega_c = 2\pi f_c = 3140(I/C)$. Передаточная функция фильтра имеет вид:

$$F(S) = \frac{1}{(S^2 + 0,6180S + 1)(S^2 + 1,6180S + 1)(S + 1)}.$$

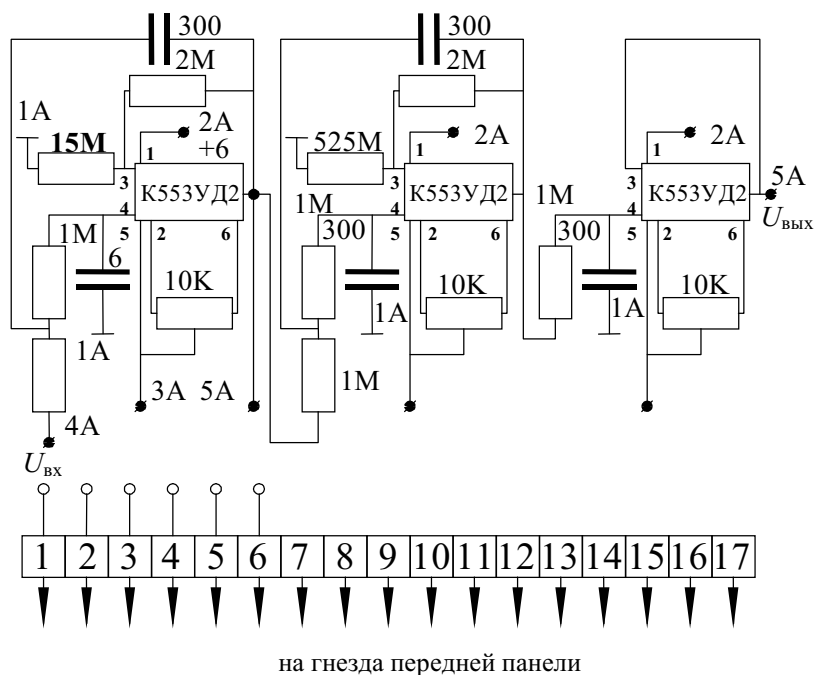


Рис. 6.1 Электрическая принципиальная схема RC-фильтра

Порядок выполнения работы

- 1 Снять передаточную характеристику фильтра, для чего собрать схему по рис. 6.2, снять проходную характеристику фильтра $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ на частоте 100 Гц.
- 2 Определить входное сопротивление, для чего собрать схему по рис. 6.3.
- 3 Для определения выходного сопротивления собрать схему по рис. 6.4.
- 4 Снять частотную характеристику фильтра (рис. 6.2), по которой определить скорость спада АЧХ и неравномерность АЧХ в полосе пропускания. Определить частоту среза фильтра.

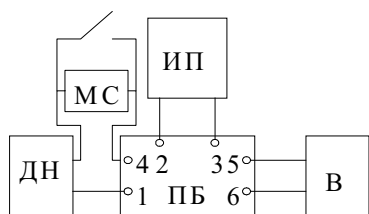


Рис. 6.3 Схема подключения фильтра для определения входного сопротивления

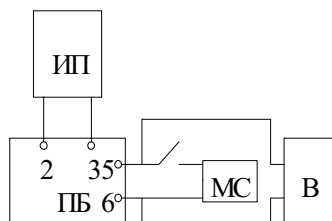


Рис. 6.4 Схема подключения фильтра для определения выходного сопротивления

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Схема измерений.
- 3 Расчетные параметры.
- 4 Выводы.

Контрольные вопросы

Типы электрических фильтров, их АЧХ. Записать общий вид передаточной функции фильтра. Какие критерии используются при решении задач аппроксимации АЧХ фильтров Чебышева и Баттерворта? По какой причине аппроксимация выполняется для квадрата АЧХ? Почему при решении задач аппроксимации фильтров используется нормированный по частоте вид передаточной функции? Из каких соображений рассчитывается порядок фильтра Баттерворта? Сравните АЧХ фильтров Баттерворта и Чебышева.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Цель работы: изучение методики построения функциональных логических устройств комбинационного и последовательностного типов

Описание лабораторного стенда и методические указания

Лабораторный стенд выполнен в виде блока, на передней панели которого расположены: тумблер включения питания от сети, лампочка сигнализации сетевого напряжения и наборное поле (рис. 7.1).

На наборном поле показаны условными обозначениями логические элементы базисов "и-не", "или-не", дешифратор с индикаторной лампой, триггерные устройства D-типа, генератор импульсов, гнезда с напряжениями логической "1" и логического "0". Входы и выходы логических элементов и триггерных устройств соединены со светодиодами, сигнализирующими наличие одного из логических сигналов на гнездах. Элементной базой реализованных на стенде схем являются интегральные микросхемы серии К133: 133ЛА3, 133ЛА6, 133ТМ2, 133ИД1. Лабораторный стенд имеет стабилизированный источник питания напряжением +5 В, встроенный генератор тактовых импульсов.

Порядок выполнения работы

Заданная схема или устройство реализуются с помощью коммутационных шнуров. Свободные входы соответствуют "1" входам.

- 1 Построить комбинационное логическое устройство, заданное таблицей истинности (табл. 7.1).
 - 1.1 Минимизировать функциональное логическое управление с помощью диаграммы Вейча и записать в базисе "и-не".
 - 1.2 Реализовать устройство на элементах макета и проверить функционирование по таблице истинности.
 - 1.3 Оценить функциональную надежность логического устройства по критерию Хаффмена.
- 2 Построить одноразрядный двоичный полусумматор, заданный таблицей истинности (табл. 7.2).
 - 2.1 Функциональные логические управления записать в базисе "и-не" и реализовать на элементах схемы.

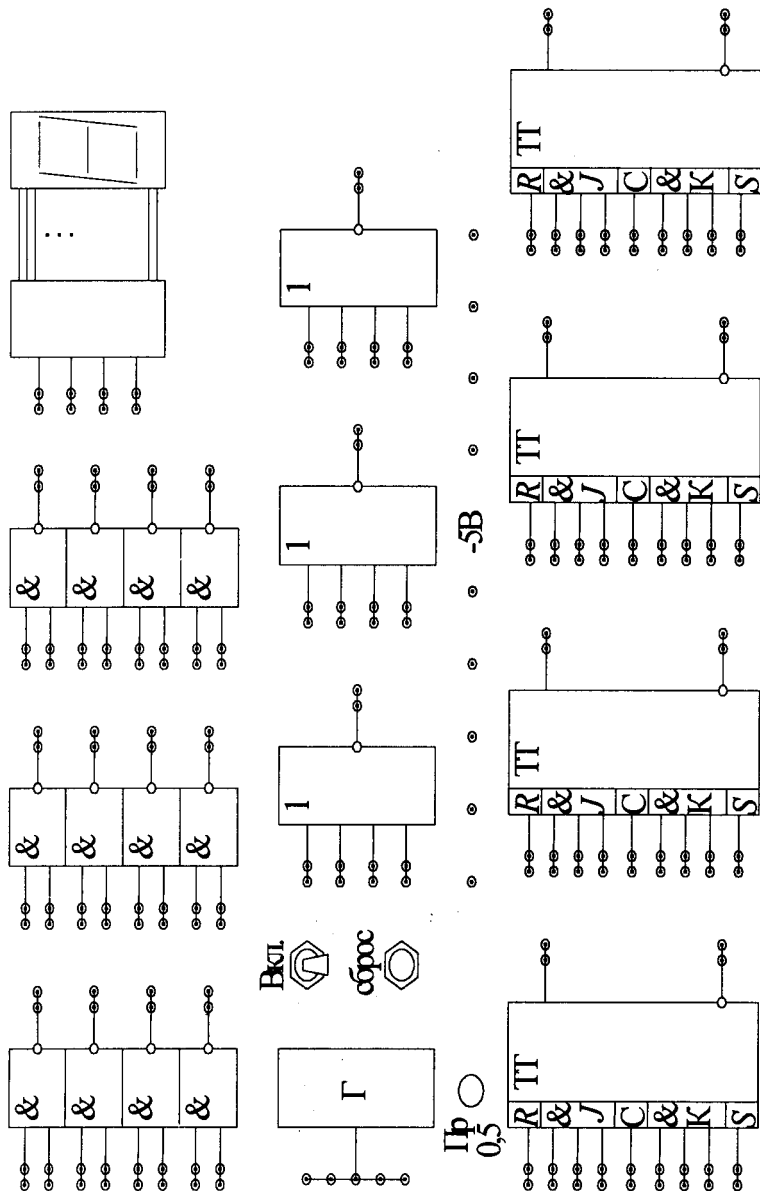


Таблица 7.1

	Вх.	Вх.	Вх.	Вых.
<i>N</i>	<i>X1</i>	<i>X2</i>	<i>X3</i>	<i>Y</i>
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	1
4	1	0	0	1
5	1	0	1	1
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

Таблица 7.2

<i>N</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
0	0	0	0	0
1	0	1	1	0
2	1	0	1	0
3	1	1	0	1

Рис. 7.1 Схема лабораторного стенда

2.2 Функциональные логические управления преобразованные для прямых переменных $S = \overline{OP} + B\overline{P}$; $P = \overline{OB}$ реализовать на элементах базисов "и-или-не", "не", "и-не".

- 3 На D-триггерах организовать сдвигающий вправо регистр, для чего:
 - 3.1 Соединить соответствующим образом триггеры;
 - 3.2 Через установленные входы записать "1" во все триггеры;
 - 3.3 На входы левого триггера подать сигнал "01";
 - 3.4 Подключить тактовый вход триггеров к генератору импульсов и убедиться, что записанное число сдвинулось вправо, и все триггеры обнулились.

- 4 На элементах "и-не" собрать схемы *RS*, *JK*, и *D*-триггеров. Проверить их функционирование по таблицам истинности.
- 5 На *JK*-триггерах собрать схемы счетчиков:
 - 5.1 Последовательного двоичного с индикацией результата счета (рис. 7.2); в исходном состоянии установить все триггеры в "0";
 - 5.2 На сдвигающих регистрах (рис. 7.3); в исходном состоянии установить все триггеры в "0";
 - 5.3 Унитарный кольцевой счетчик (рис. 7.4);

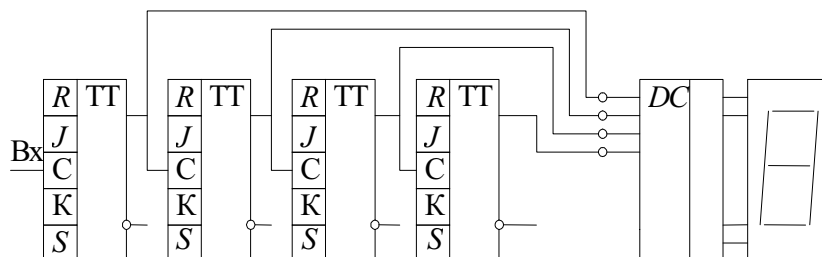


Рис. 7.2 Схема двоичного счетчика

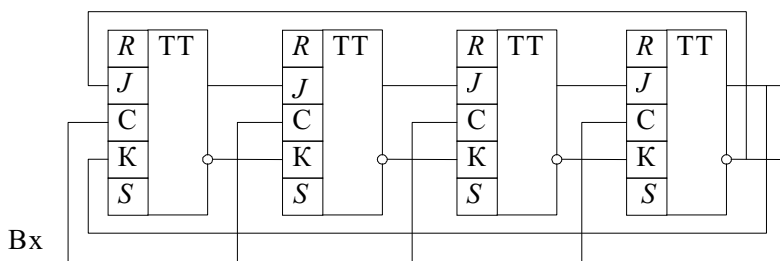


Рис. 7.3 Схема счетчика на сдвигающих регистрах

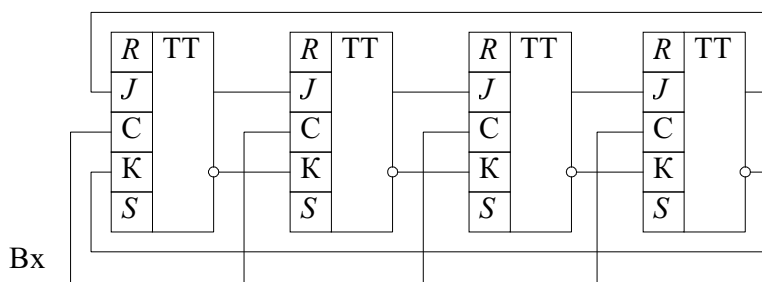


Рис. 7.4 Схема унитарного кольцевого счетчика

Содержание отчета

1. Наименование и цель задания.
2. Рисунок стенда.
3. Таблицы истинности и схемы реализаций в различных базисах.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

Классификация триггерных устройств по функциональному признаку. Особенности тактируемых и асинхронных триггерных устройств. Требования к длительности тактовых импульсов *RS*-триггеров. Особенности *JK*-триггеров и их функциональная надежность. Схемы *D*-триггеров на элементах "и-не". Чем определяется задержка в тактируемых и асинхронных *D*-триггерах? Сравните по реализации *D*-, *RS*-, *JK*-триггерные системы по аппаратным затратам, быстродействию и помехоустойчивости. Параметры, которыми характеризуются счетчики. Методы организации переноса в счетчиках. Отличительные особенности двоичных и недвоичных счетчиков. На какие классы делятся регистры? Приведите примеры реализации регистров сдвига на основе различных триггеров. Счетчики на основе регистров сдвига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опадчий Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника. М.: Радио и связь, 1996. 768 с.
2. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники. М.: Радио и связь, 1990. 512 с.
3. Каяцкас А. А. Основы радиоэлектроники. М.: Высш. шк., 1988. 464 с.
4. Цифровые интегральные микросхемы: Справочник / Богданович М. И., Грель И. Н., Дубина С. А. и др. Минск.: Полымя, 1996. 605 с.
5. Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / Под ред. Н. Н. Горюнова. М.: Энергоатомиздат, 1984.

Содержание

Лабораторная работа 1	ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСИЛИТЕЛЯ С ТРАНСИСТОРОМ.....	3
Лабораторная работа 2	ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ	10
Лабораторная работа 3	СОГЛАСУЮЩИЙ КАСКАД НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ	13
Лабораторная работа 4	ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ	16
Лабораторная работа 5	ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ	18
Лабораторная работа 6	ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО RC-ФИЛЬТРА НА АНАЛОГОВЫХ ИС	22
Лабораторная работа 7	ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ.....	26