

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Основы электротехники и радиоэлектроники»
для студентов специальности 7.070101 «Физика»
дневной формы обучения

Часть 2
«Основы радиоэлектроники»

Севастополь
2004



УДК 621.37/.39

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы электротехники и радиоэлектроники». – Ч. 2 «Основы радиоэлектроники» /Сост. В.В. Костюков. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004.-XX с.

Методические указания предназначены для подготовки и проведения лабораторных работ по дисциплине «Основы электротехники и радиоэлектроники» студентов специальности «Физика».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры СПЭМС (протокол № 5 от 23 января 2004 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Маригодов В.В., доктор техн. наук, профессор.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12. ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13. ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ТРАНЗИСТОРОВ).....	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14. ВЫПРЯМИТЕЛИ.....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15. ОДНОКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ.....	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16. ДВУХКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ.....	32
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17. ТИПОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ.....	38
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ.....	45
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН: ЦИФРОВОГО ВОЛЬТМЕТРА, АМПЕРМЕТРА И ОММЕТРА.....	51
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ЧАСТОТОМЕРА Ф433/3.....	58
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.....	65
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА.....	73
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	81



ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для подготовки, выполнения и оформления результатов лабораторных работ по дисциплине «Основы электротехники и радиоэлектроники» студентами специальности «Физика».

Лабораторные работы выполняются или на универсальных лабораторных стендах, или на специализированных электронных макетах и электронных приборах.

Перед выполнением эксперимента студенты должны изучить теоретическую часть соответствующей лабораторной работы.

В методических указаниях используются общепринятые обозначения физических величин:

u, U, U_m, U_0 – соответственно мгновенное, действующее, амплитудное и среднее значения напряжений;

i, I, I_m, I_0 – соответственно мгновенное, действующее, амплитудное и среднее значения токов;

r, x, z, Z – соответственно активное, реактивное, полное и комплексное сопротивления;

f, ω – соответственно циклическая и угловая частоты;

K_U, K_i, K_P, K_{oc} – соответственно коэффициенты усиления по напряжению, по току, по мощности, коэффициент обратной связи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. – М.: Радио и связь, 1989. – 488 с.
2. Гершунский Б.С. Основы электроники и микроэлектроники. – К.: Вища шк., 1989. – 422 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 1988. – 448 с.
4. Булычев А.Л., Лямин П.М. Электронные приборы. – М.: Высш. шк., 2000. – 416 с.
5. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высш. шк., 2002. – 512 с.



- 5) Объясните способы измерения осциллографом времени и амплитуды.
6) Прокомментируйте построенные графики.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение основных параметров электрических сигналов как носителей информации.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Власть человека над окружающим миром зависит от информированности человека. Под информацией подразумевают совокупность сведений о событиях или предметах предназначенных для передачи, приема, обработки, хранения или использования. Информация, подлежащая передаче и выраженная в определенной форме, называется сообщением. Сообщение может быть представлено в форме звука, текста, изображения и т.д. Следовательно, сообщение (а, следовательно, и информация) может быть передана на расстояние с помощью определенного материального носителя. Например, при передаче сообщения по почте материальным носителем является бумага. Физический объект или физический процесс, несущий информацию, называют сигналом. По своей физической природе сигналы могут быть звуковыми, световыми, электрическими и т.д. В радиоэлектронике, в основном, используются электрические сигналы.

С материальной точки зрения электрический сигнал можно представить некоторой функцией времени $U(t)$, которая характеризует изменение его мгновенного значения напряжения, тока или мощности.

Если $U(t)$ может принимать дискретные значения (например, 1 и 0), то сигнал называется дискретным по состояниям.

Если $U(t)$ может принимать любые значения, то сигнал называют непрерывным по состояниям, или аналоговым, например, сигналы систем передачи речевой информации.

Современные методы преобразования сигналов позволяют непрерывные сигналы представить эквивалентными, дискретными и наоборот.

Чтобы произвести анализ прохождения сигнала через радиотехнические цепи, необходимо его представить в удобной математической форме. В теории сигналов широкое применение нашли два способа их математического и физического представления: временной и спектральный.

Спектральный способ основан на представлении сигнала в виде суммы гармонических составляющих разных, обычно кратных друг другу, частот.



Пусть имеется некоторая периодическая функция времени $U(t)$, удовлетворяющая условию Дирихле, с периодом T_1 . Тогда частота этой функции $f_1 = 1/T_1$. Круговая частота этой функции

$$\omega_1 = 2\pi f_1 \quad (1)$$

Тогда эту функцию можно представить в виде ряда Фурье

$$U(t) = U_0 + a_1 \cos(\omega_1 t) + a_2 \cos(2\omega_1 t) + \dots + a_K \cos(K\omega_1 t) + b_1 \sin(\omega_1 t) + b_2 \sin(2\omega_1 t) + \dots + b_K \sin(K\omega_1 t) + \dots \quad (2)$$

Неизвестные коэффициенты a и b могут быть найдены по формулам

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^{T_1} u(t) dt; \quad a_K = \frac{2}{T_1} \int_0^{T_1} u(\tau) \cos(k\omega_1 t) dt; \quad b_K = \frac{2}{T} \int_0^{T_1} u(t) \sin(k\omega_1 t) dt \quad (3)$$

Ряд (3) можно упростить, если удастся учесть свойства симметрии функции $u(t)$. Рассмотрим некоторые виды симметрии

Четная функция. Четная функция удовлетворяет условию $u(t) = u(-t)$. В этом случае $b_K = 0$.

Нечетная функция. Она удовлетворяет условию $u(t) = -u(-t)$. В этом случае $U_0 = 0$ и $a_K = 0$.

Функция, симметричная относительно оси времени. Эта функция удовлетворяет условию $u(t) = -u(t + T_1/2)$. Для этой функции равны нулю все коэффициенты с четными номерами $U_0 = 0$; $a_{2K} = 0$; $b_{2K} = 0$.

Проведя тригонометрические преобразования, ряд (3) можно представить в виде:

$$u(t) = U_0 + U_{m1} \sin(\omega_1 t + \Psi_1) + U_{m2} \sin(\omega_1 t + \Psi_2) + \dots + \dots U_{mK} \sin(k\omega_1 t + \Psi_K) + \dots \quad (4)$$

Амплитуды синусоид могут быть вычислены как

$$U_{mK} = \sqrt{a_K^2 + b_K^2} \quad (5)$$

Начальные фазы (4) вычисляются по формулам

$$\Psi_K = \arctg \frac{a_K}{b_K} \quad (6)$$

При определении знака угла начальной фазы необходимо учитывать знаки a_K и b_K - рисунок 1.

пределах рабочей части экрана.

Величина исследуемого сигнала в вольтах будет равна произведению измеренной величины изображения в делениях на цифровую отметку показаний переключателя «Вольт/делен.». Эксперимент повторить для нескольких значений напряжений.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ.

5.1. В эксперименте 4.1. по известной частоте f_0 исследуемого сигнала рассчитать период исследуемого сигнала T_0 . По известному периоду определить абсолютную Δ и относительную β погрешности измерения временных интервалов: $\Delta T = T - T_0$, $\beta = \frac{\Delta T}{T_0}$.

Построить график зависимости относительной погрешности измерения временных интервалов от длительности временного интервала. Указать на графике пределы допустимых погрешностей измерения временных интервалов.

5.2. По известной частоте и осциллограммам, полученным в пункте 4.2., определить частоту исследуемого сигнала.

5.3. В эксперименте 4.3. по известному действующему значению синусоидального напряжения рассчитать его амплитудное значение U_{m0} . Определить абсолютную Δ и относительную β погрешность измерения

амплитуды: $\Delta U_m = U_m - U_{m0}$, $\beta = \frac{\Delta U_m}{U_{m0}}$.

Построить график зависимости относительной погрешности измерения амплитуды от величины напряжения. Указать на графике пределы допустимых погрешностей измерения напряжений.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

- 1) Цель работы.
- 2) Структурная схема электронного осциллографа.
- 3) Технические характеристики осциллографа С1-72.
- 4) Таблицы экспериментальных данных.
- 5) Осциллограммы и графики, построенные при выполнении пунктов 5.1 и 5.3.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 1) Объясните принцип действия осциллографа.
- 2) Укажите назначение блоков осциллографа.
- 3) Объясните принцип синхронизации в осциллографе.
- 4) Укажите назначение ручек управления осциллографа.



15. Кнопка «Вход X» - подключение и отключение усилителя горизонтального отклонения к гнезду «Вход синхр.»
16. Гнездо «Вход синхр.» - подключение сигнала при внешней синхронизации и для подачи внешнего сигнала на усилитель горизонтального отклонения;
17. Клемма «⊥» - заземление корпуса прибора.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

4.1. Измерение временных интервалов.

Подать на вход «Y» сигнал известной частоты (например, 50 Гц) и, добившись неподвижности изображения на экране, с максимальной точностью определить длительность периода исследуемого сигнала.

Примечание: точность измерения временных интервалов увеличивается при увеличении длины измеряемого интервала на экране. Измеряемый временной интервал определяется произведением двух величин: длины измеряемого интервала времени на экране по горизонтали в делениях и значения коэффициента «Время/деление», устанавливаемого соответствующим переключателем «Время/делен.».

Опыт повторить для нескольких значений частот.

4.2. Измерение частоты.

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

Другим способом определения частоты является сравнение неизменной частоты с эталонной по фигурам Лиссажу.

В этом случае подать на вход УВО сигнал, частоту которого необходимо измерить. Нажимается кнопка «Вход X» и на вход усилителя горизонтального отклонения через гнездо «Вход синхр.» подается сигнал от генератора эталонной частоты. Ручку «стабильность» установить в крайнее правое положение.

При сближении частот на экране появляется вращающийся эллипс, остановка которого 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 к касательной по вертикали. Зарисовать осциллограммы для разных частот.

4.3. Измерение амплитуды исследуемого сигнала.

На вход Y подать синусоидальный сигнал, действующее значение которого известно, и измерить размер изображения по вертикали в делениях.

Положение переключателя «Вольт/делен.» необходимо выбрать таким, чтобы размер исследуемого сигнала получился наибольшим в

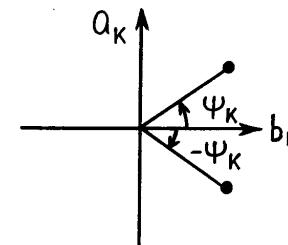


Рисунок 1 - Определение знака угла начальной фазы

Необходимо также учитывать, что формула (6) дает угол в прямоугольном треугольнике, а угол ψ_k отсчитывается от положительно направленной оси абсцисс.

Переменные слагаемые в (4) называются гармониками. Частоты гармоник кратны частоте ω_1 (1). Гармоника с частотой ω_1 называется первой, или основной, гармоникой. Совокупность гармонических колебаний, на которые можно разложить сложный сигнал, называется спектром этого сигнала. Спектр сигналов можно изобразить в виде двух графиков. На оси абсцисс обоих графиков откладывается частота ω . По оси ординат амплитудно-частотного спектра откладываются амплитуды ряда (4) - рисунок 2.

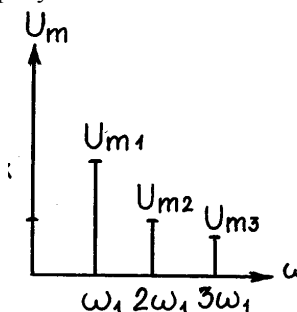


Рисунок 2 - Амплитудно-частотный спектр

По оси ординат фазо-частотного спектра откладывается начальная фаза ряда (4) - рисунок 3.

Спектр сложного сигнала занимает целую полосу частот. Однако интенсивность гармонических составляющих, образующих спектр неодинакова.

Поэтому пользуются понятием активной ширины спектра, т.е. полосы частот, в пределах которой содержится 95% энергии всего спектра.



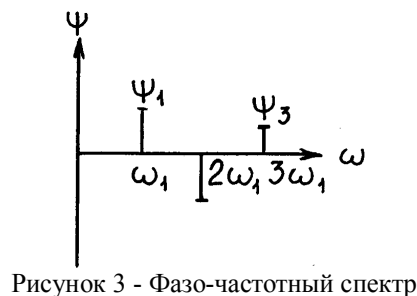


Рисунок 3 - Фазо-частотный спектр

ра.

Количественными характеристиками периодических несинусоидальных электрических сигналов являются:
среднее значение

$$U_0 = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} u(t) dt, \quad (7)$$

действующее значение

$$U = \sqrt{\frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} u^2(t) dt} = \sqrt{u_0^2 + \sum_{K=1}^{\infty} U_K^2}, \quad (8)$$

средневыпрямленное значение

$$U_{CB} = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} u(t) dt, \quad (9)$$

действующее значение переменной составляющей

$$U = \sqrt{U^2 - U_0^2}, \quad (10)$$

Электроизмерительные приборы различных систем измеряют различные количественные характеристики сигналов. Так, приборы электромагнитной системы (⌘) измеряют действующее значение, а магнитоэлектрической системы (□) – среднее значение.

Электрические сигналы характеризуются также следующими коэффициентами:

коэффициент амплитуды

$$K_A = \frac{U_{\max}}{U}, \quad (11)$$

коэффициент искажений

$$K_N = \frac{U_{\sim}}{U}, \quad (12)$$

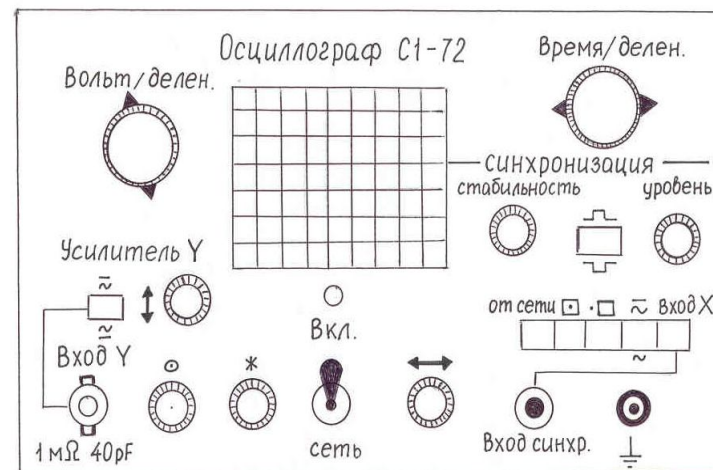


Рисунок 3. Передняя панель прибора C1-72

5. Ручка «☼» - регулировка яркости луча;
6. Ручка «■» - регулировка яркости луча;
7. Тумблер «Сеть» - включение и выключение прибора;
8. Ручка «↔» - перемещение луча по горизонтали;
9. Ручка переключателя «Время/делен.» - переключение длительности развертки;
10. Ручка «Стабильность» - выбор режима работы генератора развертки (ждущий/автоколебательный);
11. Ручка «Уровень» - выбор уровня запуска развертки;
12. Кнопка переключателя полярности синхронизации:
«┐┐» - (кнопка нажата) - синхронизация положительная;
«┐┐» - (кнопка отжата) - синхронизация отрицательная;
13. Кнопка переключателя выбора вида синхронизации:
«От сети» - (кнопка нажата) - внутренняя синхронизация частотой сети;
«□» - (кнопка нажата) - внутренняя синхронизация исследуемым сигналом;
«•□» - (кнопка нажата) - синхронизация внешним сигналом;
14. Кнопка переключателя входа синхронизатора при внутренней и внешней синхронизации:
«~» - (кнопка нажата) - открытый вход;
«~» - (кнопка отжата) - закрытый вход;



Во многих осциллографах наряду с непрерывным режимом обеспечивается ждущий режим развертки, при котором генератор развертки запускается либо исследуемым сигналом, либо внешним синхронизирующим импульсом. При отсутствии входного или синхронизирующего сигнала развертка луча отсутствует.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

В лабораторной работе исследуется электронный осциллограф С1-72.

3.1. Технические характеристики:

1. рабочая часть экрана в миллиметрах:
 - по горизонтали – 60;
 - по вертикали - 36;
 2. Ширина линии луча – не более 0,6 мм;
 3. Полоса пропускания усилителя горизонтального отклонения: 20-10⁶ Гц;
 4. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики тракта вертикального отклонения в диапазоне частот 0 – 1 МГц не более 0,6 дБ;
 5. Коэффициент отклонения усилителя горизонтального отклонения - не более 0,3 В/дел;
 6. Диапазон калиброванных длительностей развертки – 0,05 – 50·10³⁰ мкс/дел;
 7. Погрешность измерения амплитуд - не более 10 %;
 8. Погрешность калибратора амплитуд и временных интервалов: ±2, 5 %;
 9. Погрешность измерения временных интервалов - не более 10 %;
 10. Входное сопротивление: 1±3 % МОм;
 11. Входная емкость: 40±10 % пФ.
- #### 3.2. Расположение органов управления и их назначение.

Органы управления и подсоединения, расположенные на передней панели, изображены на рисунке 3.

Назначение органов управления следующее:

1. Ручка переключателя «Вольт/делен» - установка необходимого коэффициента отклонения и подключение внутреннего калибратора ко входу усилителя вертикального отклонения (УВО).
2. Кнопка переключателя входа относительно постоянной составляющей:
 - «~» - (кнопка нажата) – открытый вход УВО;
 - «~» (кнопка отжата) - закрытый вход УВО;
3. Ручка «↑» - перемещение луча по вертикали;
4. Гнездо «Вход Y» - подключение исследуемых сигналов к УВО;

коэффициент пульсаций

$$K_{\Pi} = \frac{U}{U_{CB}}, \quad (13)$$

коэффициент формы

$$K_{\Phi} = \frac{U}{U_{CB}}. \quad (14)$$

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. В качестве источника периодического несинусоидального сигнала используется ограничитель напряжения, на который подается переменное синусоидальное напряжение 24 В. В качестве вольтметров используются аналоговые приборы магнитоэлектрической (U_0) и электромагнитной (U) систем. Для визуального наблюдения формы сигнала и его составляющих применяется электронный осциллограф. В качестве фильтра гармоник применяется последовательный резонансный фильтр, в состав которого входят катушка индуктивности L_{1-10} и батарея переменной емкости.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Соберите электрическую цепь согласно схеме, изображенной на рисунке 4.

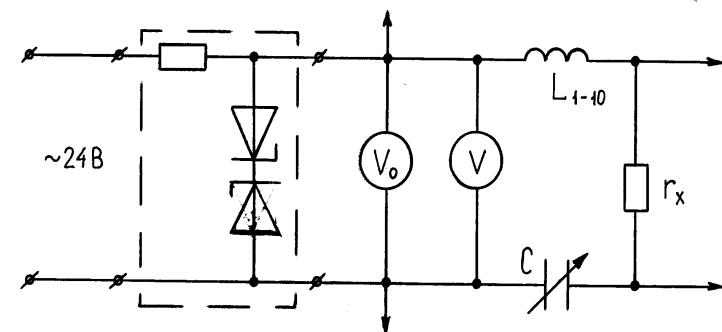


Рисунок 4 - Схема эксперимента

4.2. Исследование электрического сигнала на выходе ограничителя напряжения.

4.2.1. Отключите все емкости на батарее конденсаторов С.



4.2.2. Подсоедините вход осциллографа (Y, $\perp$) к выходу ограничителя напряжения.

4.2.3. Включите тумблер переменного напряжения 24В.

4.2.4. Измерьте среднее (U_0) и действующее (U) значения напряжения на выходе ограничителя напряжения.

4.2.5. Ручками управления осциллографа получите на экране один период выходного напряжения ограничителя с максимальным размером по вертикали. Положение ручки «Время/деление» больше не меняйте. Запишите значение масштабов по горизонтали и вертикали. Тщательно, по клеточкам, срисуйте осциллограммы выходного напряжения.

4.3. Наблюдение первой гармоники.

4.3.1. Рассчитайте емкость переменного конденсатора при которой фильтр настраивается на первую гармонику по формуле

$$C_K = \frac{1}{(K\omega_1)^2 L_{1-10}} \quad (15)$$

где $\omega_1 = 2\pi f$, $f_1 = 50 \text{ Гц}$; L_{1-10} необходимо взять из данных на стенде.

Для первой гармоники $K=1$.

4.3.2. Наберите на батарее конденсаторов рассчитанную емкость.

4.3.3. Подсоедините вход осциллографа (Y, $\perp$) к резистору r_x .

4.3.4. Тщательно, по клеточкам срисуйте осциллограмму первой гармоники. Убедитесь, что это именно первая гармоника, т.к. один период этого колебания укладывается на экране осциллографа, (если не менялось положение ручки «время/деление»).

4.4. Экспериментальное доказательство отсутствия второй (четной) гармоники.

4.4.1. Рассчитайте емкость переменного конденсатора (15), при которой фильтр настраивается на вторую гармонику $K=2$.

4.4.2. Наберите на батарее конденсаторов рассчитанную емкость.

4.4.3. Убедитесь, что на экране осциллографа кривая имеет не два периода, т.е. это не вторая гармоника.

4.5. Наблюдение третьей гармоники.

Повторите для третьей гармоники ($K=3$) пункты 4.3.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.

5.1. Считая сигнал, полученный на выходе ограничителя напряжения, прямоугольными импульсами, по формулам, приведенным в разделе 2, получите спектр этого сигнала до третьей гармоники включительно.

5.2. Изобразите амплитудно-частотный и фазо-частотный спектры.

Если на вход Y воздействует последующее напряжение $U(t)$, а напряжение генератора развертки равно нулю, то, смещаясь по вертикали в соответствии со значениями $U(t)$, луч высветит на экране вертикальную прямую. Если же сигнал $U(t)$ действует одновременно с напряжением генератора развертки U_p , то на экране будет наблюдаться кривая $U(t)$ - развертка исследуемого напряжения во времени.

При исследовании периодических процессов необходимо синхронизировать напряжение генератора развертки с исследуемыми сигналами. В противном случае на экране ЭЛТ изображение будет неустойчивым. Допустим, что напряжение сигнала U_c изменяется во времени по синусоидальному закону, период T_c , которого отличается от периода напряжения развертки T_p (рисунок 2).

В этом случае по окончании импульса синхронизации U_x луч не вернется в исходное положение, поскольку второму периоду развертки будет соответствовать кривая 2 на экране, смещенная относительно кривой 1 на величину $(T_c - T_p)$, и т.д. Таким образом, на экране будет наблюдаться «бегущая синусоида».

Для получения устойчивого изображения на экране необходимо выполнение соотношения: $T_p = n T_c$, где n - целое число - рисунок 2.

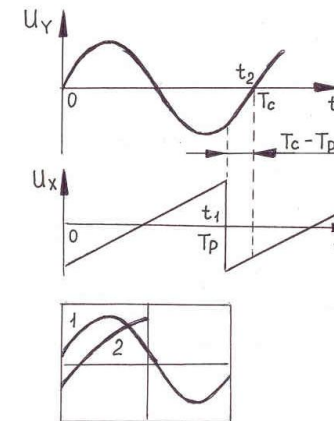


Рисунок 2 - Синхронизация

На экране наблюдается n периодов напряжения сигналов. Управление блоком синхронизации может осуществляться от сети, исследуемым сигналом (внутренняя синхронизация - переключатель Π_5 в положении 1) и от внешнего источника сигналов (внешняя синхронизация - Π_5 в положении 1).



ния (усилитель Y). Входное устройство включает делитель напряжения, позволяющий регулировать чувствительность канала Y и устройство задержки сигнала. Задержка сигнала необходима для того, чтобы напряжение развертки поступало на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ с некоторым опережением. Это позволяет наблюдать на экране начало процесса. На выходе усилителя Y создается напряжение, пропорциональное входному сигналу. Усилитель обеспечивает высокую чувствительность канала Y (до 2500 мм/В) при чувствительности ЭЛТ 0,1...0,4 мм/В.

Канал горизонтального отклонения луча (канал X) состоит из входного устройства, усилителя канала синхронизации (может отсутствовать), генератора развертки и усилителя горизонтального отклонения луча (усилитель X). Входное устройство и усилитель X аналогичны соответствующим блокам канала Y , только входное устройство канала X не имеет устройства задержки сигнала.

Генератор развертки вырабатывает линейно изменяющееся напряжение, которое через усилитель X поступает на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ. Через усилитель синхронизации сигналы от входного устройства Y или X поступают на генератор развертки.

Калибраторы предназначены для калибровки чувствительности канала Y путем подачи стандартного переменного напряжения на вход Y (калибратор амплитуды может отсутствовать) и длительность развертки путем подачи импульсов напряжения со стандартным периодом на модулятор ЭЛТ. Воздействие импульсов на модулятор создает на экране ЭЛТ яркостные метки времени.

С помощью переключателя $П_4$ генератор развертки может быть исключен из каналов. Тогда можно подать на горизонтально-отклоняющие пластины напряжение, пропорциональное сигналу на входе X .

Рассмотрим работу осциллографа в режиме развертки (положение переключателей соответствует рисунку 1).

Линейно изменяющееся напряжение генератора развертки, усиленное усилителем X , смещает электронный луч по экрану слева направо с постоянной скоростью, высвечивая на экране траекторию.

По окончании действия напряжения генератора развертки напряжение на горизонтально-отклоняющих пластинах равно нулю и луч возвращается в исходное положение в левой части экрана. После этого процесс повторяется. Таким образом, смещение X луча по горизонтали пропорционально времени t : $X=kt$.

Если на вертикально-отклоняющие пластины напряжение не подано, то на экране будет наблюдаться горизонтальная прямая.

5.3. Сравните теоретические гармоники с экспериментальными.

5.4. По известному спектру подсчитайте U_0 , U , $U_{св}$, $U_{\sim}$.

5.5. Сравните рассчитанные напряжения с измеренными вольтметром.

5.6. Подсчитайте коэффициенты K_A , K_N , K_P , K_F .

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

1. Название и цель работы.
2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.
3. Осциллограммы выходного напряжения ограничителя и гармоник.
4. Аналитическая запись спектра и его графическое изображение.
5. Экспериментальные и расчетные значения напряжений.
6. Рассчитанные значения коэффициентов.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ,

1. Как связаны между собой информация, сообщение и сигнал?
2. Какие бывают виды электрических сигналов?
3. Что такое спектральное представление сигнала?
4. Как можно определить амплитуды и начальные фазы гармоник?
5. Как симметрия отражается на спектральном составе сигнала?
6. Какими количественными показателями характеризуются электрические сигналы?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13 ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ТРАНЗИСТОРОВ)

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование входных и выходных характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Нелинейными называются элементы электрической цепи, параметры которых зависят от внешних воздействий.

Свойства нелинейных элементов отражаются в характеристиках нелинейных элементов. Классифицировать нелинейные элементы можно по нескольким признакам. Один из таких признаков – это возможность менять параметры нелинейных элементов некоторыми управляющими воздействиями. По этому признаку все нелинейные элементы делятся на управляемые и неуправляемые. У неуправляемых нелинейных элементов характеристика представляет собой одну кривую. У управляемых нелинейных элементов характеристика представляет собой семейство кривых, каждая из которых соответствует некоторому управляющему воздействию.

Одним из таких управляемых нелинейных элементов является биполярный транзистор – полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими р-п переходами и тремя (или более) выводами, усиительные свойства которого обусловлены инжекцией (введением) и экстракцией (извлечением) неосновных носителей заряда.

Взаимодействие между р-п-переходами обеспечивается близостью их расположения. В зависимости от порядка чередования р и п – областей различают транзисторы р-п-р и п-р-п – типов. Условное обозначение биполярных транзисторов показаны на рисунке 1.

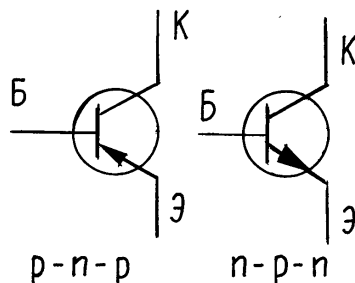


Рисунок 1 - Условное обозначение биполярного транзистора

Дискретные транзисторы создаются по структурной схеме, показанной, например, для транзистора п-р-п, на рисунке 2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- 1) изучение устройства и принципа действия электронного осциллографа.
- 2) Приобретение навыков измерений параметров электрических величин с помощью осциллографа.
- 3) Исследование зависимостей технических характеристик осциллографа от параметров электрических сигналов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.

Электронный (электронно-лучевой) осциллограф – прибор, предназначенный для записи и наблюдения на экране изменений электрических сигналов во времени, а также для измерения различных электрических величин (напряжения, частоты и т.д.).

Структурная схема осциллографа представлена на рисунке 1.

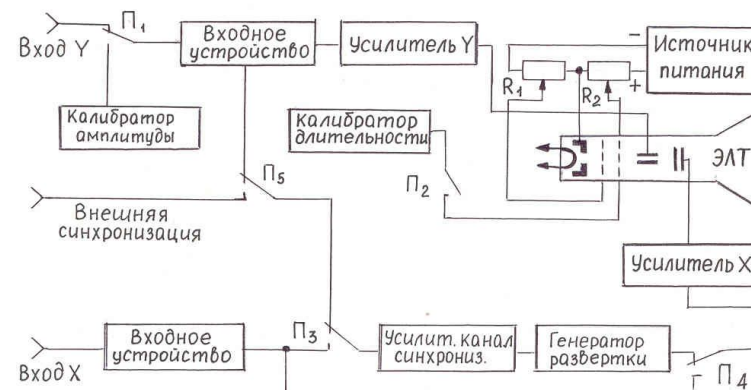


Рисунок 1 - Структурная схема электронного осциллографа

Основным узлом осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). С помощью делителя напряжения R_1 и R_2 электроды ЭЛТ подключаются к высоковольтному источнику питания. Потенциометр R_1 служит для регулирования яркости светового пятна на экране ЭЛТ изменением потенциала модулятора, а потенциометр R_2 – для фокусировки электронного луча на экране изменением потенциала первого анода.

Канал вертикального отклонения луча (канал Y) содержит входное устройство и широкополосный усилитель вертикального отклоне-

где f - значение частоты по шкале генератора; f_0 - измеренное значение частоты.

На этом же графике указать границы допустимой погрешности частоты.

5.2. Используя экспериментальные данные пункта 4.4.2, построить графики зависимости абсолютной и относительной погрешности установки частоты от частоты расстройки (см. пункт 5.1.).

Указать на этом графике границы допустимой погрешности для шкалы «Расстройка».

5.3. Используя экспериментальные данные пункта 4.4.3., построить график зависимости выходного напряжения генератора от частоты.

5.4. Используя экспериментальные данные пункта 4.4.4., построить график зависимости абсолютной и относительной погрешности установки выходного напряжения генератора от величины выходного напряжения (см. пункт 5.1).

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

1. Наименование и цель работы.
2. Блок-схема и назначение основных блоков генератора.
3. Технические характеристики генератора ГЗ-18.
4. Таблицы экспериментальных данных, полученных в пункте 4.4.
5. Расчеты, таблицы и графики, полученные в пункте 5.
6. Вывод о соответствии генератора ГЗ-18 техническим требованиям.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Каково назначение и какие существуют типы измерительных генераторов?
2. Назовите основные технические характеристики генератора ГЗ-18.
3. Приведите блок-схему генератора ГЗ-18 и укажите назначение блоков.
4. Укажите назначение ручек управления генератора ГЗ-18.
5. Укажите подготовительные мероприятия, которые необходимо провести перед началом работы с генератором ГЗ-18.
6. Прокомментируйте полученные экспериментальные зависимости.

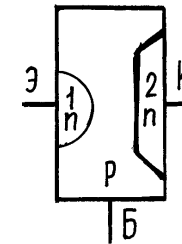


Рисунок 2 - Структурная схема дискретного транзистора

Область 1 легируется сильнее, ее используют в качестве инжектора носителей заряда и называют эмиттером (Э). Область 2 предназначена для экстракции носителей и называется коллектором (К). Размеры коллектора обычно больше размеров эмиттера. Промежуточную область называют базой (Б). Она выполнена в виде тонкого слоя, поэтому носители заряда, инжектируемые эмиттером, проходят через слой базы и попадают на коллектор.

В зависимости от полярности приложенных к р-п – переходам транзистора напряжений различают три режима работы:

- отсечен – оба р-п – перехода закрыты, через транзистор течет небольшой тепловой ток;
- насыщен – оба р-п – перехода открыты;
- активный – один из р-п – переходов открыт, другой закрыт.

Транзистор эффективно управляется только в активном режиме, когда прямое напряжение приложено к эмиттерному переходу, а обратное к коллекторному.

Когда к переходу эмиттер-база приложено прямое напряжение $U_{бэ}$ (рисунок 3), то через этот переход течет ток. Основная часть электронов из эмиттера проходят через слой базы и попадают в область коллектора. Обратное напряжение коллектор – база притягивает электроны и в цепи коллектора также течет ток. Связь между током эмиттера $i_э$ и током коллектора $i_к$ выражается соотношением

$$\alpha_s i_э = i_к \quad (1)$$

где α_s – статический коэффициент передачи тока эмиттера (достигает 0,99).



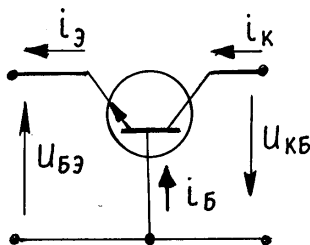


Рисунок 3 - Токи и напряжения транзистора в активном режиме

Отличие α_s от единицы обусловлено ответвлением части тока эмиттера в базу. В соответствии с законом Кирхгофа ток базы

$$i_б = i_э - i_к = (1 - \alpha) i_э \quad (2)$$

К трем электродам транзистора можно подключить два независимых источника напряжения. Напряжение между остальными двумя электродами определяется в соответствии с законом Кирхгофа.

В зависимости от того, какой электрод транзистора является общим для обоих источников напряжения, различают схемы включения транзистора с общей базой (ОБ) (рисунок 3), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК).

Наиболее широкое распространение получила схема с ОЭ (рисунок 4).

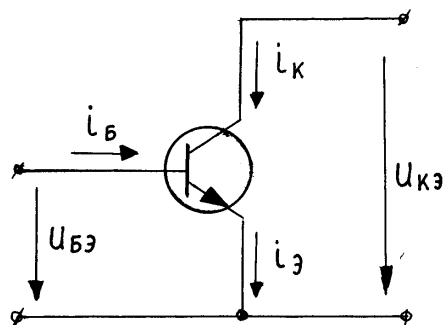


Рисунок 4 - Включение транзистора с ОЭ

Входными вольт-амперными характеристиками (ВАХ) транзистора в схеме с ОЭ называется зависимость тока базы $i_б$ от напряжения базы-эмиттер $U_{бэ}$ при фиксированном напряжении коллектор-эмиттер. С увеличением напряжения $U_{кэ}$ характеристики смещаются вправо,

часть внутреннюю нагрузку тумблером «Внутренняя нагрузка 600 Ом»: м) при других согласованных нагрузках, соответствующих положениям переключателя 50, 150, 600 Ом, точное определение выходного напряжения может быть произведено подключением внешнего вольтметра к выходным клеммам генератора.

4.4. Программа эксперимента.

4.4.1. Определение погрешности установки частоты генератора по шкале частот. Эта проверка производится или методом непосредственного измерения частоты частотомером (например, электронно-счетным ЧЗ-2; ЧЗ-3 или ЧЗ-9) или осциллографическим методом.

Определение погрешности установки частоты по шкале частотомера производится не менее, чем в трех точках.

4.4.2. Определение погрешности установки частоты по шкале «Расстройка». Эта проверка производится по частоте 100 Гц или методом непосредственного измерения частоты генератора частотомером или осциллографическим методом на всех оцифрованных отметках шкалы «Расстройка».

4.4.3. Проверка неравномерности частотной характеристики.

Проверка производится при помощи внешнего вольтметра (например, электростатического С-50) при включенной внутренней нагрузке (положение переключателя нагрузок «Атт.», положение аттенуатора «+30 дБ»).

На частоте 1000 Гц устанавливают выходное напряжение необходимой величины по внешнему вольтметру (например, С-50) и проверяют выходное напряжение в диапазоне 20 Гц - 20000 Гц, не меняя положение регулятора выхода.

Проверку производят при напряжении 25 В.

4.4.4. Определение погрешности установки выходного напряжения генератора.

Проверка производится методом сравнения показания индикатора выходного напряжения генератора с показаниями образцового вольтметра. В качестве образцового вольтметра используется прибор класса не менее 0,5, например, Д-523.

Проверка производится не менее чем в трех отметках каждой шкалы на частоте 50 Гц.

5 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1. Используя экспериментальные данные пункта 4.4.1, построить график абсолютной и относительной погрешности установки частоты от частоты генератора:

$$\Delta f = f - f_0; \delta = \Delta f / f_0,$$



б) при работе с генератором следует произвести его заземление.

4.2. Исходное положение органов управления до включения прибора в сеть:

- а) тумблер «сеть» - выкл.;
- б) переключатель аттенюатора - «+30 дБ»;
- в) тумблер «Внутр. нагрузка 600 Ом» - вкл.;
- г) ручка «Рег. выхода» - в среднее положение;
- д) шкала «Частота, Hz» - в любое положение.

4.3. Подготовка к работе.

- а) вилку шнура питания включить в сеть переменного тока напряжением 220 В;
- б) установить тумблер включения сети в положение «сеть», при этом должна загореться сигнальная лампочка;
- в) установить ручку регулировки выхода примерно в среднее положение;
- г) установить на частотной шкале нулевую частоту;
- д) установить шкалу расстройки на нуль;
- е) вращением ручки «Установка нуля» получить нулевые биения. Контроль нулевых биений производится либо по показаниям стрелочного прибора, либо по оптическому индикатору. Нулевые биения соответствуют неподвижности стрелки прибора в положении ноль;
- ж) установить заданную частоту по основной шкале;
- з) ручка «Расстройка, Гц» позволяет производить плавное изменение частоты в пределах ± 60 Гц в любой частотной точке диапазона;
- и) при необходимости получения повышенной точности установки частоты в диапазоне 20-300 Гц следует установить тумблер «Проверка частоты» в положение 50 Гц. В этом случае на оптическом индикаторе можно наблюдать нулевые биения через каждые 25 Гц по основной шкале. Промежуточное значение частоты могут быть установлены при помощи шкалы расстройки;
- к) величину выходного напряжения генератора можно изменять плавно ручкой «Регулировка выхода» и ступенями через каждые 10 дБ при помощи переключателя аттенюатора, имеющего градуировку «Предел шкалы - ослабление, дБ».

Указанные пределы шкал и ослабления в дБ справедливы лишь при работе на активную согласованную нагрузку, равную 600 Ом, в положении «Атт. 600» переключателя «Сопрот. нагрузки». За нулевой уровень («0» дБ) принято напряжение 0,775 В;

л) при работе на сопротивления нагрузки значительно большее, чем 600 Ом, для правильного отсчета выходного напряжения следует вклю-

так как через переход база эмиттер течет также ток коллектора, создающий на этом переходе дополнительное напряжение, уменьшающее ток базы. На рисунке 5 изображены входные характеристики транзистора КТ348.

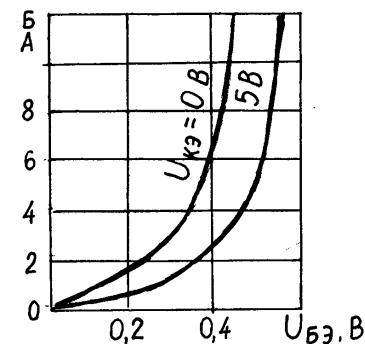


Рисунок 5 - Входные характеристики транзистора с ОЭ

Выходными характеристиками транзистора в схеме с ОЭ называется зависимость тока коллектора i_k от напряжения коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ при форсированном токе базы. (Рисунок 6 – для транзистора КТ348). В этой схеме напряжение перехода коллектор-база равно разности напряжений коллектор-эмиттер и база-эмиттер, т.е.

$$U_{кб} = U_{кэ} - U_{бэ}, \quad (3)$$

поэтому насыщение транзистора наступает при положительном напряжении $U_{кэ}$.

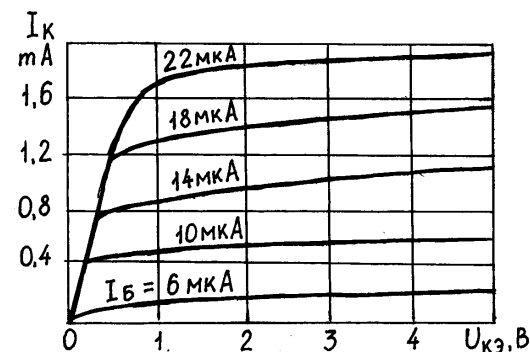


Рисунок 6 - Выходные характеристики транзистора с ОЭ



С увеличением тока базы растёт количество носителей в базе и, следовательно, растёт количество носителей попадающих в коллектор, т.е. растёт ток коллектора. В радиотехнических схемах на электроды транзистора подают постоянные питающие напряжения, определяющие положение рабочей точки на ВАХ транзистора.

Если при этом на вход транзистора поступает переменное напряжение - сигнал, то по отношению к сигналу транзистор ведет себя как активный четырехполюсник. При малых амплитудах сигнала этот четырехполюсник можно считать линейным.

Относительно изменяющихся токов и напряжений транзистор характеризуется следующими параметрами:

- дифференциальный коэффициент передачи тока эмиттера схемы с общей базой

$$\alpha = \left. \frac{\Delta i_k}{\Delta i_e} \right|_{u_{кэ} = const} \quad (3)$$

- дифференциальный коэффициент передачи тока базы транзистора в схеме с общим эмиттером

$$\beta = \left. \frac{\Delta i_k}{\Delta i_b} \right|_{u_{кэ} = const} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (4)$$

Коэффициенты α и β зависят от положения рабочей точки на ВАХ, т.е. от постоянных напряжений и токов.

Примеры зависимости β от i_k и $U_{кэ}$ показаны на рисунках 7 и 8.

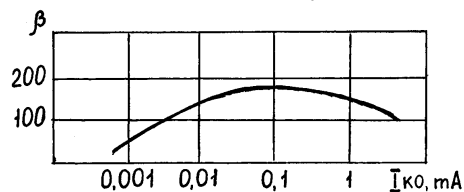


Рисунок 7 – Зависимость β от тока коллектора

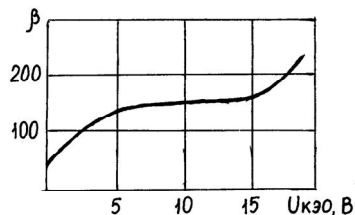


Рисунок 8. Зависимость β от напряжения $U_{кэ}$

Кроме основного выхода, генератор имеет дополнительный низкоомный выход, рассчитанный на нагрузку 5 Ом.

Этот выход генератора обеспечивается дополнительной понижающей обмоткой выходного трансформатора.

3.3. Расположение органов управления.

На передней панели расположены:

- а) ручка и шкала «Установка нуля» - для получения нулевых биений;
- б) ручка и шкала «Расстройка Hz» - для плавного изменения частоты в пределах ± 60 Гц;
- в) ручка «Установка частоты» и шкала «Частота, Hz» - для установки необходимой частоты;
- г) тумблер «Проверка частоты генератора» - для получения повышенной точности установки частоты в диапазоне 20-100 Гц;
- д) кнопка «Выкл. сигнала» - для выключения сигнала;
- е) ручка «Рег. выхода» - для плавного изменения выходного напряжения;
- ж) ручка переключателя аттенуатора «Пределы шкал» - «ослабление, dB» - для изменения выходного напряжения ступенями через каждые 10 дБ;
- з) ручка переключателя «Сопрот. нагрузки» - для переключения сопротивления нагрузки,
- и) тумблер «Внутр. нагрузка 600 Ω » - для включения внутренней нагрузки;
- к) переключатель «Шкала прибора» - для установки необходимой шкалы и подключения выходных ламп генератора;
- л) стрелочный прибор - для контроля выходного напряжения и для контроля токов выходных ламп генератора;
- м) оптический индикатор - для контроля нулевых биений;
- н) тумблер «Сеть» - для включения прибора;
- о) сигнальная лампочка - для контроля за включением прибора;
- п) клеммы «Выход 5 Ом» - для использования выхода 5 Ом;
- р) клеммы «Выход» - основной для работы с прибором;
- с) клемма ($\perp$) и клемма «С.Т.» - для заземления средней точки выходного трансформатора;
- т) предохранитель 3 А.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

4.1. Меры безопасности:

- а) к работе с генератором ГЗ-1 8 могут быть допущены лица, знающие правила техники безопасности;



Преобразование частоты обоих гетеродинов в звуковую частоту производится при помощи кольцевого преобразователя.

В качестве нелинейных элементов в схеме используются германиевые диоды, последовательно и параллельно которым включены сопротивления, уменьшающие возможный разбаланс схемы, обусловленный изменением и разбросом параметров диодов.

3.2.6. Фильтр низких частот.

Нагрузкой преобразователя является симметричный двухзвенный фильтр низкой частоты. Его назначение - отфильтровывать все высококачественные компоненты, получаемые при преобразовании и пропускать заданную полосу звуковых частот.

Элементами фильтра являются индуктивности и емкости.

Симметрирование выходного напряжения при настройке прибора осуществляется потенциометром.

3.2.7. Усилитель низкой частоты выполнен по сквозной двухтактной схеме.

Каждое из плеч схемы содержит три каскада усиления.

Выходной двухтактный каскад содержит выходной трансформатор, нагруженный на делитель, рассчитанный на 600 Ом.

3.2.8. Атенюатор обеспечивает общее ослабление выходного сигнала до 100 дБ, ступенями через каждые 10 дБ.

При ослаблениях до 50 дБ схема аттенюатора представляет собой коммутируемые Т-образные звенья мостового типа.

При ослаблениях свыше 50 дБ последовательно с этими звеньями включается обычное Т-образное звено с затуханием 50 дБ.

Схема аттенюатора рассчитана для работы на активную нагрузку, равную 600 Ом.

3.2.9. Согласующее устройство.

Согласующее устройство включает согласующий трансформатор, внутреннюю нагрузку и переключатели.

Согласующий трансформатор обеспечивает возможность работы генератора на активные нагрузки 50, 150, 600 Ом и позволяет при этом получать на выходе как симметричное, так и несимметричное напряжение.

Переключатель выхода генератора на различные сопротивления нагрузки производится переключателем «Сопротивление нагрузки».

В первом положении переключателя («Атт. 600») к выходным клеммам генератора подключается непосредственно выход аттенюатора.

При работе генератора с сопротивлением нагрузки значительно больше 600 Ом нормальная работа аттенюатора обеспечивается включением внутренней нагрузки 600 Ом.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Исследуется биполярный транзистор КТ626Б, включенный по схеме с общим эмиттером. Напряжение питания 12 В создается стабилизационным источником питания стенда.

Для измерения токов базы и коллектора используются миллиамперметры, расположенные на стенде.

Для измерения напряжения используются цифровые вольтметры. Изменений напряжений осуществляется потенциометрами R_2 и R_4 .

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

4.1. Соберите электрическую цепь согласно схеме, изображенной на рисунке 9.

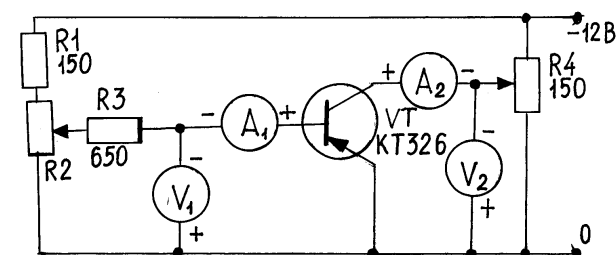


Рисунок 9 – Схема эксперимента

4.2. Запишите типы электроизмерительных приборов, используемых в схеме эксперимента (рисунок 9).

4.3. Установите движки потенциометров R_2 и R_4 в положение, соответствующее минимальному значению подаваемого напряжения (поверните против часовой стрелки до упора).

4.4. Снятие входных характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

4.4.1. Установите потенциометром R_4 напряжение $U_{кэ} = 0$.

4.4.2. Изменяя положение ручки потенциометра R_2 , устанавливайте 7 значений тока базы I_b в соответствии с таблицей 1. При каждом значении I_b измеряйте и записывайте в таблицу 1 $U_{бэ}$.

При эксперименте поддерживать $U_{кэ} = 0$ В

4.4.3. Установить и поддерживать потенциометром R_4 напряжение $U_{кэ} = 5$ В. Повторить измерения, аналогичные п. 4.4.2. Данные занести в таблицу 1.



Таблица 1 -Экспериментальные данные

$U_{кэ}=0$		$U_{кэ}=5\text{ В}$		$U_{кэ}=10\text{ В}$	
$U_{бэ},\text{ В}$	$i_{б},\text{ мА}$	$U_{бэ},\text{ В}$	$i_{б},\text{ мА}$	$U_{бэ},\text{ В}$	$i_{б},\text{ мА}$
	0		0		0
	0,1		0,1		0,1
	0,2		0,2		0,2
	0,3		0,3		0,3
	0,4		0,4		0,4
	0,5		0,5		0,5
	0,6		0,6		0,6

4.4.4. Установите и поддерживайте потенциометром R_4 напряжение $U_{кэ}=10\text{ В}$. Повторить измерения аналогичные п. 4.4.2. Данные занесите в таблицу 1.

4.5. Снятие выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

4.5.1. Установите потенциометром R_2 ток базы $i_{б}=2\text{ мА}$.

4.5.2. Изменяя потенциометром напряжение $U_{кэ}$, снимите 5 точек для построения выходной характеристики. Третий результат снимите для точки перегиба между вертикальным и горизонтальным участками выходной характеристики. Первые два измерения проведите для вертикального участка характеристики. Здесь удобнее задавать ток коллектора. Четвертое и пятое измерения проведите для горизонтального участка характеристики. Здесь удобнее задавать напряжение $U_{кэ}$. Данные измерений занесите в таблицу 2.

Таблица 2 - Таблица экспериментальных данных.

$i_{б}=2\text{ мА}$		$i_{б}=4\text{ мА}$		$i_{б}=6\text{ мА}$	
$U_{кэ},\text{ В}$	$i_{к},\text{ мА}$	$U_{кэ},\text{ В}$	$i_{к},\text{ мА}$	$U_{кэ},\text{ В}$	$i_{к},\text{ мА}$

Звуковая частота усиливается усилителем низкой частоты и поступает на вход аттенюатора (устройство для понижения напряжения с неизменным входным сопротивлением), работающего на трансформатор, согласующий выходное сопротивление генератора с различными сопротивлениями нагрузки.

Напряжение на входе аттенюатора контролируется стрелочным индикатором.

3.2.1. Гетеродин фиксированной частоты (200 кГц) работает по схеме емкостной трехточки.

Параллельно контуру, кроме основных емкостей, включены термокомпенсирующие конденсаторы, обеспечивающие температурную стабилизацию частоты, а также два переменных конденсатора небольшой емкости. Один из них служит для установки нулевой частоты (нулевых биений), другой позволит получить плавную расстройку в пределах $\pm 60\text{ Гц}$ на любой из звуковых частот диапазона.

Установка исходной частоты 200 кГц производится подстроенным конденсатором.

3.2.2. Гетеродин переменной частоты имеет схему в основном аналогичную схеме гетеродина фиксированной частоты.

Кроме основных емкостей, термокомпенсирующий и подстроечный, параллельно контуру включен конденсатор переменной емкости, изменяющий частоту гетеродина в пределах 200 – 180 кГц.

3.2.3. Буферный каскад гетеродина фиксированной частоты применяется для устранения влияния последующего каскада на предыдущий. Каскад работает на полосовый фильтр, настроенный на 200 кГц, который обеспечивает фильтрацию гармоник гетеродина. С выхода полосового фильтра напряжение высокой частоты, отсимметрированное переменным сопротивлением, подается на одну из диагоналей кольцевого преобразователя. Этот сигнал небольшого уровня является преобразуемым колебанием.

3.2.4. Буферный каскад гетеродина переменной частоты.

Этот каскад работает на полосовый фильтр с достаточно широкой полосой пропускания.

С выхода буферного каскада напряжение подается на кольцевой преобразователь. Этот сигнал, имеющий относительно большой уровень, выполняет функцию несущего колебания.

Напряжение звуковой частоты, полученное после преобразования, практически не зависит от уровня несущего колебания и определяется лишь уровнем преобразуемого сигнала.

3.2.5. Преобразователь частоты.



Погрешность генератора по частоте составляет $\pm(0,01F+2)$ Гц, где $F=|f_0-f_k|$ - частота биений.

В генераторе предусмотрена возможность расстройки частоты в пределах ± 60 Гц.

Погрешность градуировки шкалы расстройки составляет $\pm(0,02 F + 1)$ Гц.

Номинальная выходная мощность генератора равна 1 Вт; максимальная выходная мощность - 3 Вт.

Гармонические искажения при номинальной мощности не превышают:

- 0.5% в диапазоне от 200 до 5000 Гц;
- 1% в диапазоне от 5000 до 20000 Гц;
- 1,5% в диапазоне от 20 до 200 Гц.

Выходное сопротивление генератора рассчитано на согласованные нагрузки 50, 150, 600 Ом.

Потребляемая мощность не превышает 150 ВА.

3.2. Принцип действия.

Блок - схема генератора ГЗ-18 приведена на рисунке 1.

В генераторе для получения сигнала звуковой частоты использован принцип преобразования частот двух высокочастотных гетеродинов (маломощный генератор высокой частоты): одного работающего на фиксированной частоте 200 кГц и другого - переменной частоты.

Напряжение гетеродинов подается на буферные каскады и затем на преобразователь частоты.

На выходе преобразователя включен фильтр низких частот, задерживающий все высокочастотные составляющие, полученные после преобразования.

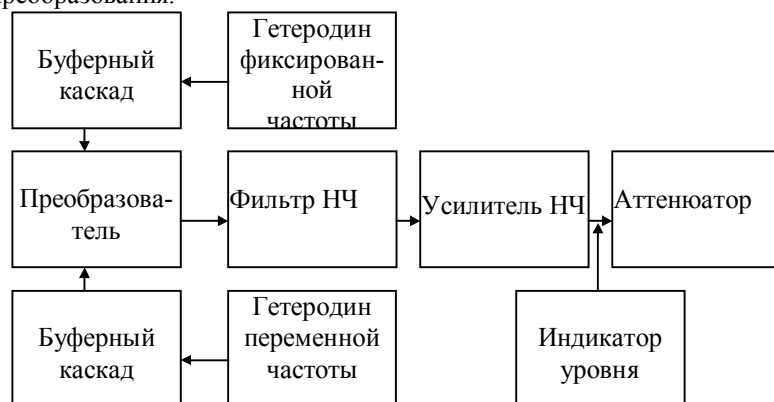


Рисунок 1 - Блок-схема генератора ГЗ-18

4.5.3. Установите потенциометром R_2 ток базы $i_{\bar{o}}=4$ мА.

Повторите измерения, аналогичные п. 4.5.2. Данные занесите в таблицу 2.

4.5.4. Установите потенциометром R_2 ток базы $i_{\bar{o}}=6$ мА.

Повторите измерения, аналогичные п. 4.5.2.

Данные занесите в таблицу 2.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.

5.1. Из справочника по полупроводниковым приборам выпишите паспортные данные транзистора:

- дифференциальный коэффициент передачи тока $\beta = h_{213}$;
- максимальный ток коллектора $i_{k \text{ макс.}}$;
- максимальную мощность, рассеиваемую транзистором $P_{\text{макс.}}$.

5.2. По данным таблицы 1 постройте графики входных характеристик транзистора.

5.3. По данным таблицы 2 постройте графики выходных характеристик транзистора.

5.4. По входным характеристикам транзистора при трех напряжениях $U_{кэ}$ для всех напряжений $U_{бэ}$ подсчитайте входное дифференциальное сопротивление транзистора:

$$r_q = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_{кб}} \Big|_{U_{кк} = \text{const}} \quad (5)$$

Данные расчета занесите в таблицу, аналогичную таблице 1, но вместо столбцов $i_{\bar{o}}$ заполните столбцы r_q .

5.5. По выходным характеристикам при двух возможных $\Delta i_{\bar{o}}$ ($\Delta i_{\bar{o}1}=(4...2)$ мА и $\Delta i_{\bar{o}2}=(6...4)$ мА) для всех значений $U_{кэ}$ подсчитайте дифференциальный коэффициент передачи тока базы - формула (4).

Данные расчета занесите в таблицу, аналогичную таблице 2, но вместо столбцов $i_{\bar{k}}$ заполните столбцы β .

5.6. По данным пунктов 5.4 и 5.5. постройте графики зависимостей r_q ($U_{бэ}$) и β ($U_{кэ}$).

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

1. Наименование и цель работы.
2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.
3. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
4. Графики входных и выходных характеристик транзистора.
5. Графики r_q ($U_{бэ}$) и β ($U_{кэ}$).
6. Паспортные данные транзистора.



7. Выводы с обоснованием поведения графиков.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

71. Что такое нелинейные элементы и каковы их разновидности?
72. Охарактеризуйте устройство и разновидности биполярных транзисторов.
73. Каковы режимы работы и схемы включения транзисторов?
4. Что такое входные характеристики транзистора, как их можно получить экспериментально?
5. Что такое выходные характеристики транзистора и как их можно получить экспериментально?
6. Какие коэффициенты характеризуют транзистор как усилительный элемент? Как их можно определить?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21 ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- 1) Изучение устройства, принципа действия и технических характеристик генератора гармонических сигналов ГЗ-18.
- 2) Исследование характеристик генератора при различных режимах работы.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.

Для настройки, ремонта и диагностики радиоэлектронной техники применяют измерительные генераторы.

Измерительные генераторы являются источниками стабильных испытательных сигналов определенной формы с заданными значениями параметров.

Различают генераторы синусоидальных колебаний (низкочастотные, высокочастотные, СВЧ), шумовых сигналов и сигналов специальной формы.

Низкочастотные измерительные генераторы являются источниками стабильных синусоидальных напряжений, с плавным изменением частоты, чаще всего в пределах от 20 Гц до 20 кГц, калиброванных по частоте и выходному напряжению.

Форма кривой выходного напряжения должна быть близкой к синусоиде. В генераторах промышленного выпуска коэффициент гармоник не превышает 1,5%.

Главной частью любого генератора является возбудитель (задающий генератор). В зависимости от примененной в возбудителе схемы возбуждения колебаний различают три основных типа низкочастотных измерительных генераторов: генераторы типа LC; генераторы типа RC; генераторы на биениях.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

В лабораторной работе исследуется генератор типа ГЗ-18, представляющий собой источник синусоидальных электрических колебаний звуковой частоты и являющийся измерительным прибором, который предназначен для регулировки и испытания радиоаппаратуры.

3.1. Технические характеристики.

Диапазон частот - от 20 до 20000 Гц.

Распределение частот по шкале - линейное от 20 до 100 Гц и логарифмическое от 100 до 20000 Гц.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14 ВЫПРЯМИТЕЛИ

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы;
2. Основные технические характеристики электронного частотомера Ф433/3;
3. Блок-схема частотомера Ф433/3;
4. Схемы экспериментов;
5. Считая в опыте 4.4.1. частоту генератора образцовой f_0 , построить график зависимости относительной погрешности измерения частоты от частоты. Относительную погрешность определить по формуле

$$\delta = \frac{f - f_0}{f_0},$$

где f – показание частотомера.

6. Считая в опыте 4.4.2. образцовую частоту $f_0=50$ Гц, построить график зависимости относительной погрешности измерения частоты от действующего значения напряжения.
7. Построить график зависимости относительной погрешности измерения частоты от коэффициента формы в опыте 4.4.3. Коэффициент

формы определяется по формуле $k_\phi = \frac{U}{U_{св}}$,

где U – действующее значение напряжения;
 $U_{св}$ – среднее по модулю значение этого напряжения.

Для проведенных экспериментов принять:

- а) $f_0=50$ Гц $k_\phi=1,57$;
- б) $f_0=100$ Гц $k_\phi=1,11$;
- в) $f_0=500$ Гц $k_\phi=1$.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите методы измерения частоты электрических сигналов.
2. Приведите основные технические характеристики частотомера Ф433/3.
3. Приведите блок-схему частотомера Ф433/3 и укажите назначение отдельных блоков.
4. Перечислите мероприятия, проводимые при подготовке частотомера Ф433/3 к работе.
5. Укажите порядок работы с электронным частотомером при получении частоты.
6. Прокомментируйте полученные экспериментальные зависимости.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование однополупериодных и двухполупериодных выпрямителей на полупроводниковых диодах, изучение влияния емкостного фильтра на качество сглаживания.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Радиоэлектронные устройства и системы питаются постоянным током. В то же время передача постоянных токов на значительные расстояния связана с большими потерями. Поэтому производство и передача электроэнергии осуществляется на переменном токе. Следовательно, возникает необходимость преобразования тока переменного в ток постоянный. Устройства, преобразующие энергию переменного тока в энергию постоянного тока, называют устройствами питания (УП) или вторичными источниками питания.

Типовые УП состоят из трансформатора, выпрямителя, фильтра и стабилизатора. Трансформатор необходим для получения переменного напряжения требуемой амплитуды. Выпрямитель преобразует двухполярное напряжение в напряжение одной полярности (пульсирующее). Фильтр сглаживает пульсации. Стабилизатор уменьшает изменения выпрямленного напряжения или тока, обусловленные колебаниями напряжения питающей сети или изменением нагрузки.

Устройства питания характеризуются системой параметров, которые подразделяются на параметры режимов эксплуатации и точностные параметры.

Режим эксплуатации характеризуется:

- диапазон допустимого изменения входного напряжения;
- номинальное выходное напряжение;
- максимально допустимый ток нагрузки;
- коэффициент полезного действия η

$$\eta = \frac{P_o}{P} = \frac{U_0^2}{U^2} \quad (1)$$

где U_0 – среднее значение напряжения на нагрузке (измеряется приборами магнитоэлектрической системы ($\square$));

U – действующее значение напряжения на нагрузке (измеряется приборами электромагнитной системы ($\$$)).

Группа точностных параметров отражает степень несоответствия реального УП идеальному. К ним относят коэффициент пульсаций КП,



учитывающий наличие на выходе переменной составляющей напряжения $U_{\sim}$

$$K_n = \frac{U_{\sim}}{U_0} = \frac{\sqrt{U^2 - U_0^2}}{U_0} \quad (2)$$

Схема простейшего выпрямителя представлена на рисунке 1. Этот выпрямитель называется однополупериодным, так как ток в нагрузку поступает только полупериода, а во вторую половину диод закрыт и препятствует этому.

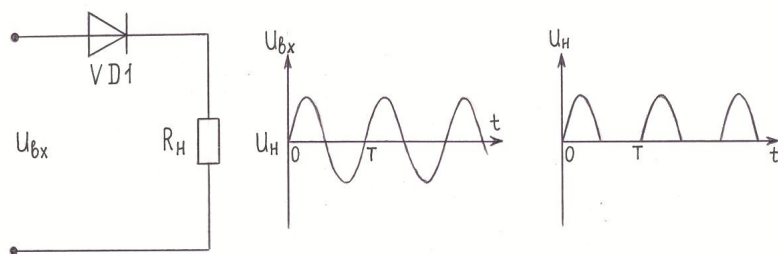


Рисунок 1 - Однополупериодный выпрямитель и его временные диаграммы

Улучшить показатели выпрямителя можно, подключив параллельно нагрузке фильтр в виде емкости (рисунок 2). Когда через диод проходит ток он будет заряжать емкость. При закрытом диоде емкость разряжается через нагрузку и пульсации сглаживаются.

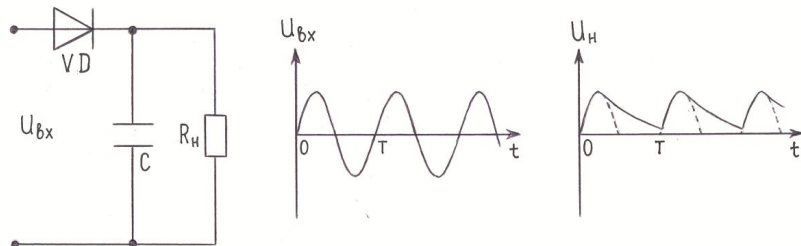


Рисунок 2 - Однополупериодный выпрямитель с емкостным фильтром и его временные диаграммы

В наиболее распространенной мостовой схеме выпрямителей используются оба полупериода входного напряжения (рисунок 3).

Аналогично предшествующему выпрямителю параллельно нагрузке можно поставить емкостной фильтр.

4.4.2. Измерение частоты синусоидальных напряжений различной амплитуды частотой 50 Гц.

Подключить частотомер к источнику регулируемого переменного напряжения и измерить частоту при напряжениях: 5; 15; 30; 100 В. Результаты измерений записать.

4.4.3. Измерение частоты напряжений различной формы.

а) Измерение частоты на выходе однополупериодного выпрямителя (рисунок 3). Результаты измерений записать.

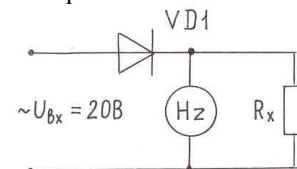


Рисунок 3 – Измерение частоты на выходе однополупериодного выпрямителя

б) Измерение частоты на выходе двухполупериодного выпрямителя (рисунок 4). Результаты измерений записать.

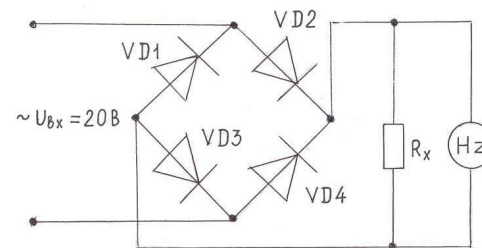


Рисунок 4 – Измерение частоты на выходе двухполупериодного выпрямителя

в) Измерение частоты на выходе ограничителя напряжения (рисунок 5). Результаты измерений записать.

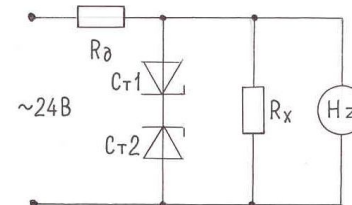


Рисунок 5 - Измерение частоты на выходе ограничителя напряжения



Зажим, соединенный с металлическим корпусом прибора, во всех случаях должен быть надежно заземлен.

4.2. Подготовка прибора к работе.

4.2.1. Механическим корректором установить стрелку измерительного механизма на начальные отметки шкал.

4.2.2. Нажать поочередно кнопки Б1 и Б2 переключателя рода работ. Стрелка прибора должна при этом показывать не менее 7,4 деления по шкале 10, в противном случае необходимо сменить батарею. Полное отклонение стрелки соответствует 5 В.

4.2.3. Нажать кнопку «К» переключателя рода работ и ручкой «Калибровка» установить стрелку измерительного механизма на конечные отметки шкал.

4.3. Порядок работы с электронным частотомером.

4.3.1. Переключатель пределов измерения установить в положение, соответствующее ожидаемому значению измеряемой частоты, или же в положение 1000 кГц, если измеряемая частота неизвестна.

4.3.2. Подключить к зажимам частотомера напряжение измеряемой частоты. При этом незаземленный полюс подводимого напряжения соединить с одним из гнезд «0,1 – 10» или «3 – 300» (в зависимости от значения подводимого напряжения).

4.3.3. Нажать кнопку «И» переключателя рода работ и по показанию стрелки измерительного механизма и положению переключателя пределов измерения произвести отсчет измеряемой величины.

4.3.4. Отсчет измеряемой величины производить:

- в пределах 0,1...100 кГц – по шкале 10 и 30;
- в пределах 300 кГц – по шкале 300;
- в пределах 500 и 1000 кГц – по шкале 500.

Примечание: ввиду высокой чувствительности прибора при отсутствии измеряемого напряжения, особенно при присоединенных проводах, возможно отклонение стрелки.

4.3.5. По окончании измерений нажать кнопку «Выкл.» переключателя рода работ.

4.4. Программа эксперимента.

4.4.1. Измерение частоты на различных пределах измерения частотомера.

Подключить частотомер к генератору синусоидальных колебаний.

Выставить на генераторе частоты: 50; 200; 500; 2000; 5000; 15000 Гц.

Для каждого из выставленных напряжений определить частоту как можно точнее. Результаты измерений записать.

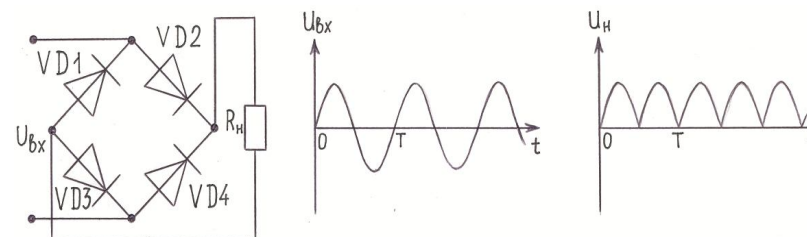


Рисунок 3 - Двухполупериодный выпрямитель и его временные диаграммы

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. В качестве источника энергии используется регулируемый источник переменного напряжения. Для построения выпрямителей используются или один из диодов, или диодный мост. В качестве фильтра необходимо взять батарею переменных конденсаторов.

Для визуального наблюдения формы напряжения применяется электронный осциллограф. Для измерения действующего U и среднего U_0 значений напряжений используются вольтметры соответственно электромагнитной и магнитоэлектрической систем.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

4.1. Исследование однополупериодного выпрямителя.

4.1.1. Соберите электрическую цепь согласно схемы, изображенной на рисунке 4. Значками «Y», « $\perp$ » обозначено подключение осциллографа.

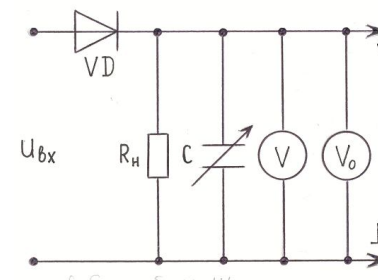


Рисунок 4 Схема эксперимента.

Вход осциллографа должен быть открыт, т.е. осциллограф должен воспринимать как переменную, так и постоянную составляющую ис-



следуемого напряжения. Для этого кнопка «~» осциллографа должна быть нажата

4.1.2. Исследование выпрямителя без фильтра.

4.1.2.1. Отключить фильтр С и подать на вход выпрямителя напряжения 40 В.

4.1.2.2. Ручками управления осциллографа получить на экране один период с максимальным заполнением по вертикали.

4.1.2.3. Тщательно по клеточкам срисовать осциллограмму, записать положение ручек управления и в дальнейшем их не менять.

4.1.2.4. Показания приборов занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Таблица экспериментальных и расчетных данных

C, мкФ	0	10	20	∞	
U_0 , В					
U , В					
$U_{\sim}$, В					
ε					
η					

4.1.3. Исследование выпрямителя с фильтром.

Поочередно подключайте емкости, указанные в таблице 1.

Повторите для этих ситуаций пункты 4.1.2.3. и 4.1.2.4.

4.1.4. Исследование выпрямителя при бесконечной емкости.

Эффект бесконечной емкости можно получить при конечной емкости, установив бесконечное сопротивление.

Повторите для этой ситуации пункты 4.1.2.3. и 4.1.2.4..

4.2. Исследование двухполупериодного выпрямителя.

4.2.1. Собрать электрическую цепь согласно схеме, изображенной на рисунке 5.

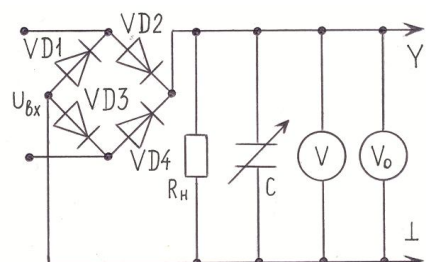


Рисунок 5 - Схема эксперимента

4.2.2. Для двухполупериодного выпрямителя проведите исследования, аналогичные однополупериодному, повторив пункты 4.1.2. ÷ 4.1.4.

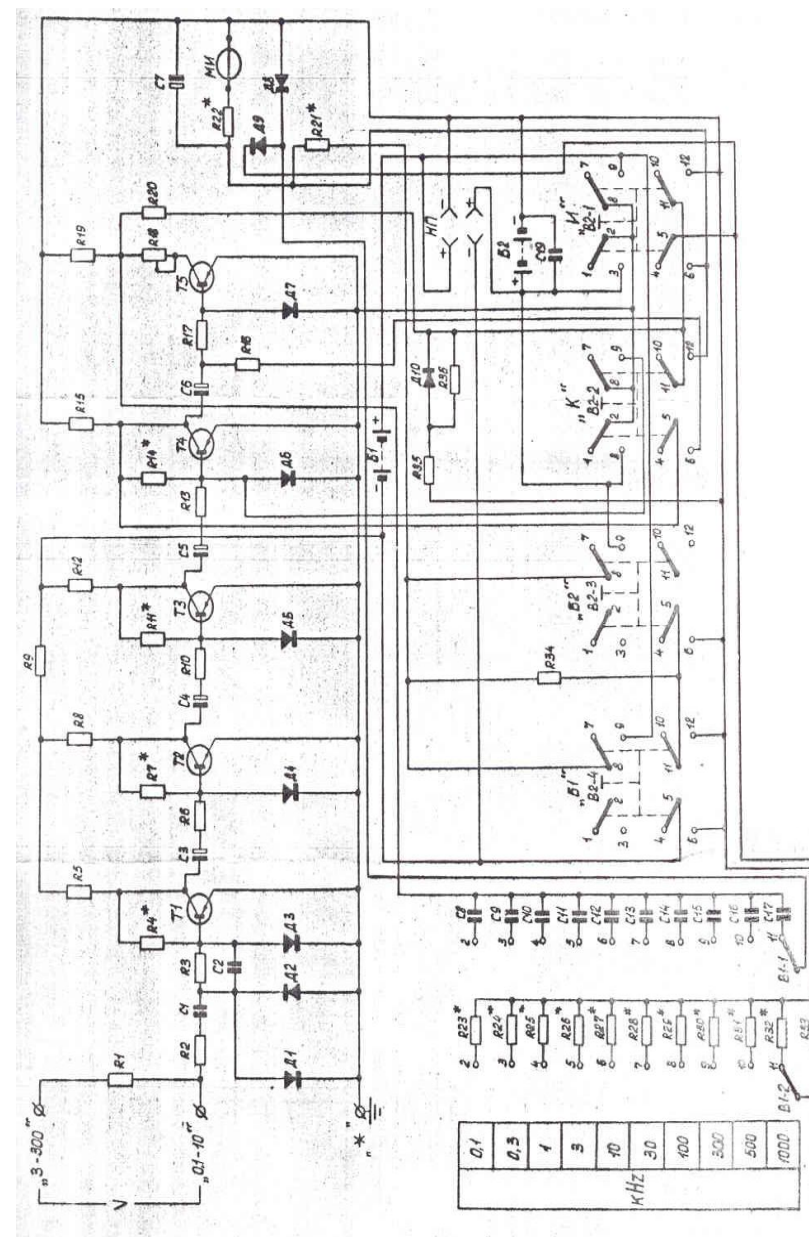


Рисунок 2 - Принципиальная схема частотомера

c – емкость (Ф);

$U_{зар}$ - напряжение, до которого конденсатор заряжается (В);

$U_{разр}$ - напряжение, до которого конденсатор разряжается (В).

Принципиальная схема частотомера представлена на рисунке 2.

3.2.1. Входное устройство.

Входное устройство состоит из делителя R1 и R2, разделительного конденсатора C1 и входного ограничителя, состоящего из двух диодов Д1 и Д2 и резистора R3.

3.2.2. Усилитель-ограничитель.

Усилитель-ограничитель состоит из четырех аналогичных каскадов, собранных на транзисторах Т1 – Т4. Каждый каскад работает как усилитель тока с общим эмиттером.

Стабилизация по постоянному току осуществляется с помощью резисторов смещения R4, R7, R11, R14. Значение сопротивлений резисторов R5, R8, R12, R15 выбирается с учетом получения нормального рабочего режима соответствующего транзистора.

Конденсатор C2 служит для повышения чувствительности при измерении высоких частот.

Диоды Д3 – Д7 применяются для обеспечения разряда конденсаторов C3 – C6, а резисторы R6, R10, R13, R17 защищают диоды Д4 – Д7 от перегрузки током конденсаторов C3 – C6.

3.2.3. Схема электронной коммутации.

Схема электронной коммутации собрана на транзисторе Т5, работающем в ключевом режиме.

В эту схему входят переменный резистор R18, служащий для калибровки частотомера, диоды Д8 и Д9, блок конденсаторов C8 – C17 и шунтирующие подстроечные резисторы R23 – R33.

3.2.4. Измерительный механизм.

В приборе Ф433/3 применен измерительный механизм магнитоэлектрической системы с внутрирамочным магнитом и подвижной частью на растяжках.

Вместе с резистором R20 измерительный механизм служит вольтметром при калибровке частотомера, а вместе с резистором R21 – вольтметром при проверке напряжения питания батарей Б1 и Б2.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Меры безопасности.

Работа с напряжением выше 40 В должна проводиться при строгом соблюдении правил техники безопасности.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.

5.1. Для обоих выпрямителей при всех значениях емкостей по формулам, приведенным в разделе 2, подсчитайте действующее значение переменной составляющей $U_{\sim}$, коэффициент пульсаций- K_p и КПД- η .

Данные расчетов занесите в таблицы.

5.2. Для обоих выпрямителей постройте графики зависимости U_o , $U_{\sim}$, ϵ , η от емкости фильтра.

5.3. Сделайте вывод о влиянии емкости фильтра на качество работы выпрямителя. Сравните показатели качества двух видов выпрямителей при одной и той же емкости.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

6.1. Наименование и цель работы.

2. Схемы экспериментов с указанием типов используемых приборов.

3. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.

4. Осциллограммы для всех экспериментов.

5. Расчетные формулы.

6. Графики зависимости экспериментальных и расчетных данных от емкости сглаживающего фильтра.

7. Выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Каково назначение и составные части вторичных источников питания?

2. Какими параметрами характеризуются устройства питания?

3. Объясните принцип действия однополупериодного выпрямителя.

4. Объясните принцип действия двухполупериодного выпрямителя.

5. Каково назначение и принцип действия емкостного фильтра?

6. Проведите сравнительный анализ исследуемых выпрямителей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15 ОДНОКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ: экспериментальное исследование однокаскадного транзисторного усилителя низкой частоты.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Принцип действия усилителя основывается на преобразовании энергии устройства питания в энергию сигнала. Основную функцию преобразователя энергии в усилителе выполняет активный элемент, способный с небольшой входной энергией управлять значительно большей энергией источника питания, например, транзистор.

Минимальная часть усилителя, сохраняющая основную функцию – способность усиливать сигналы – называется каскадом усиления. Каскад усиления состоит из усилительного (активного) элемента и цепей, обеспечивающих заданный режим этого элемента и согласование с источником сигнала и нагрузкой.

Важной количественной характеристикой усилителя является коэффициент усиления по напряжению.

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \quad (1)$$

где $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{вх}}$ – действующие значения выходного и входного сигнала усилителя.

Разные по величине входные сигналы усилитель, естественно, усиливает по-разному. С этой стороны об усилителе можно судить по его амплитудной характеристике – рисунок 1.

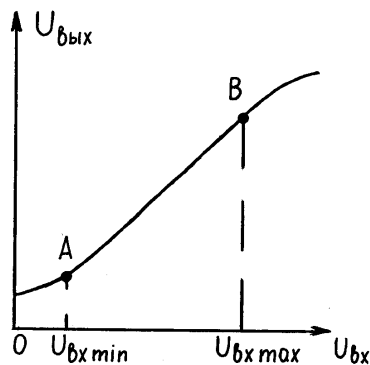


Рисунок 1 - Амплитудная характеристика усилителя

3.1. Технические характеристики:

- пределы измерения: 0,1 – 0,3 – 1 – 3 – 10 – 30 – 100 – 300 – 500 – 1000 кГц;
- основная погрешность, не более: $\pm 1,5\%$ на частотах до 300 кГц и $\pm 6\%$ на частотах до 1000 кГц;
- форма напряжения измеряемой частоты – любая, при этом кривая напряжения должна иметь не более одного максимума за период при продолжительности положительной полуволны в пределах 0,4 – 0,6 полного периода, при коэффициенте амплитуды не более 2, а постоянная составляющая напряжения не должна превышать 150 В;
- значение напряжения измеряемой частоты: 0,1...10 В; 3...300 В.

3.2. Описание и принцип работы.

В частотомере Ф433/3 используется конденсаторный метод измерения частоты. Блок-схема прибора приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Блок-схема частотомера Ф433/3

Напряжение измеряемой частоты подается на вход прибора и ограничивается по амплитуде во входном устройстве и усилителе-ограничителе, предназначенном для устранения зависимости показаний прибора от амплитуды исследуемого напряжения.

Прямоугольные импульсы с выхода усилителя-ограничителя в течение отрицательного полупериода измеряемой частоты открывают ключ схемы электронной коммутации (в положительный полупериод ключ закрыт).

При открытом ключе через измерительный механизм протекает ток заряда конденсатора. При закрытом ключе конденсатор разряжается, ток разряда минует измерительный механизм. Среднее значение тока измерительного механизма прямо пропорционально частоте перезаряда конденсатора и выражается формулой

$$I = f \cdot C \cdot (U_{\text{зар}} - U_{\text{раз}}),$$

где I – среднее значение тока измерительного механизма (А);
 f – частота перезаряда конденсатора (измеряемая частота, Гц);

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ЧАСТОТОМЕРА Ф433/3

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- 1) Изучение устройства, принципа действия и технических характеристик электронного частотомера Ф433/3;
- 2) Приобретение навыков работы с электронным частотомером;
- 3) Исследование зависимости погрешности измерения частоты от частоты, амплитуды и формы электрических сигналов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Измерение частоты является одной из важнейших задач, решаемых в радиоэлектронике.

Частота может быть измерена с очень высокой точностью, поэтому получили широкое распространение методы измерения различных параметров с предварительным преобразованием их в частоту и измерением последней.

Методы измерения частоты зависят от частотного диапазона. При измерении низких частот применяют мостовые методы, метод разряда-заряда конденсатора и метод сравнения.

Мостовые методы основаны на использовании отдельных типов частотно-зависимых схем, например, мост Вина. Мостовые частотомеры имеют низкую точность и очень узкие пределы измеряемой частоты – не более 8...10 кГц.

Метод разряда-заряда конденсатора используется в широко распространенных конденсаторных частотомерах. Частотомеры этого типа измеряют частоты от 10 Гц до 1 МГц.

Метод сравнения заключается в сопоставлении измеряемой частоты с частотой, принимаемой за образцовую.

Методы измерения высоких частот можно разделить на две группы: резонансные методы и методы сравнения частот.

Резонансные методы основаны на использовании резонансных явлений в колебательных системах. Колебательные системы с сосредоточенными параметрами применяют при частотах до 100 МГц. Измерение частот методом сравнения основан на сравнении измеряемой частоты с частотой образцового генератора.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В данной лабораторной работе исследуется частотомер Ф433/3, предназначенный для измерения частоты электрических колебаний в диапазоне 20 Гц – 1 МГц.

Считается нормальным, когда усилитель работает в пределах линейного участка (отрезок АВ) своей амплитудной характеристики. Отношение $U_{ex\ max}/U_{ex\ min}$ характеризует диапазон напряжений сигналов, усиливаемых без существенных искажений и называется динамическим диапазоном:

$$D = \frac{U_{ex\ max}}{U_{ex\ min}} \quad (2)$$

Сигналы разных частот также по-разному усиливаются усилителем. Этот аспект отражает частотная характеристика усилителя – рисунок 2.

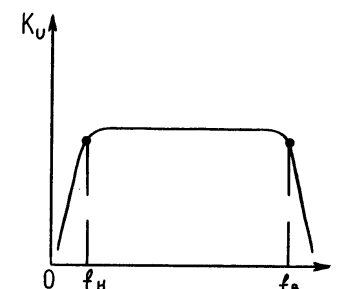


Рисунок 2 - Частотная характеристика усилителя

Диапазоном рабочих частот усилителя называют полосу частот от нижней f_n до верхней f_g , в пределах которой модуль коэффициента усиления не выходит за пределы заданных допусков.

$$\Delta f = f_g - f_n \quad (3)$$

В зависимости от расположения Δf на оси частот различают усилители низкой частоты (УНЧ) и усилители высокой частоты (УВЧ). УНЧ без искажений усиливают сигналы в полосе частот от 20 Гц до 20 КГц.

Наиболее распространенная схема усилительного каскада на транзисторе, включенном по схеме ОЭ, представлена на рисунке 3.

При заданном напряжении источника питания $U_{п}$ величина сопротивления R_3 определяет наклон нагрузочной прямой на выходных характеристиках транзистора. Если считать сопротивление нагрузки R_5 большим по сравнению с R_3 , то коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U \approx \frac{h_{21} R_3}{h_{11}}, \quad (4)$$



где h_{21} и $h_{11} - h$ – параметры транзистора по схеме с общим эмиттером.

Сопротивления R1 и R2 задают положение точки покоя транзистора на нагрузочной прямой. Точка покоя (т.е. в отсутствие усиливаемого сигнала) характеризуется следующими параметрами: $I_{б0}$ – ток базы в режиме покоя; $I_{к0}$ – ток коллектора в режиме покоя; $U_{эко}$ – напряжение эмиттер-коллектор в режиме покоя.

Для уменьшения влияния температуры на характеристики усилительного каскада с общим эмиттером в цепь эмиттера включают резистор R4. При наличии R4 увеличение эмиттерного тока $I_э = I_б + I_к$ из-за повышения температуры приводит к увеличению напряжения на резисторе R4. Это вызывает понижение потенциала базы по отношению к потенциалу эмиттера:

$$U_{эб} = \frac{U_{п} \cdot R2}{R1 + R2} - R4 \cdot I_э, \quad (5)$$

а, следовательно, к уменьшению токов $I_э$ и $I_к$.

Но на резисторе R4 будет теряться и часть полезного сигнала. Для уменьшения этих потерь параллельно R4 включают конденсатор C2. Емкость C2 выбирают таким образом, чтобы для всех частот усиливаемого сигнала ее сопротивление было намного меньше R4.

Конденсатор C1 предотвращает попадание на базу транзистора постоянной составляющей с источника сигнала. В противном случае постоянная составляющая смещала бы точку покоя на нагрузочной прямой и, следовательно, изменяла бы режим работы транзистора.

Конденсатор C3 препятствует попаданию постоянной составляющей напряжения в нагрузку R5.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Усилительный каскад собран на транзисторе КТ313А. Источником входного сигнала является генератор переменной частоты ГЗ-112. Для измерения действующих значений входного и выходного напряжений применяются цифровые вольтметры В7-38. В усилительном каскаде предусмотрено варьирование величин сопротивлений в цепи коллектора R3, нагрузки R5 и разделительной емкости C3.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

4.1. К усилительному каскаду (схема на рисунке 3) на вход подключите генератор ГЗ-112 и на вход и выход – вольтметры В7-38. Подключите источник питания – 12 В.

На схеме все сопротивления в даны в килоомах, все емкости – в микрофарадах.

$$\Delta = U - U_0, \quad \delta = \frac{\Delta}{U_0},$$

где U_0 – расчетные значения напряжений.

5.2. Для пункта 4.3.2., аналогично пункту 5.1., определить абсолютную и относительную погрешности при измерении переменного напряжения.

5.3. Для пункта 4.3.3. по данным на стенде величинам сопротивлений определить величины абсолютной и относительной погрешности измерением сопротивления цифровым омметром.

5.4. Построить графики зависимости относительных погрешностей от значений измеряемых величин.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

1. Наименование и цель работы.
2. Структурная схема и принцип работы цифрового вольтметра с двойным интегрированием.
3. Технические характеристики цифрового измерительного прибора Ц4313
4. Структурная схема и назначение функциональных блоков прибора Ц4313.
5. Схемы экспериментов и экспериментальные данные
6. Результаты расчетов.
7. Графики зависимости относительных погрешностей от численных значений измеряемых величин.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип преобразования измеряемой величины в цифровой код.
2. Объясните назначение функциональных блоков прибора Ц4313.
3. Приведите основные технические характеристики цифрового прибора Ц4313.
4. Укажите особенности эксплуатации цифрового прибора Ц4313.
5. Продемонстрируйте последовательность расчета в экспериментальных схемах.
6. Прокомментируйте полученные экспериментальные зависимости.



Требуется отжать кнопку «~». Собрать схему, изображенную на рисунке 3.

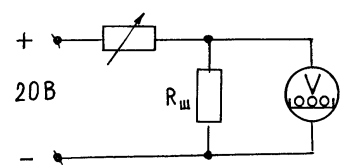


Рисунок 3 - Измерение напряжения цифровым вольтметром

Выставив значение переменного сопротивления равным нулю и включив предел измерения вольтметра «500», измерить напряжение на сопротивлении $R_{ш}$.

При возможности уменьшите предел измерения цифрового вольтметра и более точно измерьте напряжение.

Выставив значение переменного сопротивления на половину максимального сопротивления и подобрав предел измерения, измерить напряжение на сопротивлении $R_{ш}$ максимально точно и более грубо.

Выставив значение переменного сопротивления на максимальное сопротивление, повторить измерения аналогично предыдущему пункту.

Записать показания цифрового вольтметра, величины входного напряжения и всех сопротивлений.

4.3.2. Измерение напряжения переменного тока цифровым вольтметром.

Требуется нажать кнопку «~». Провести измерения аналогично пункту 4.3.1., но для переменного тока.

4.3.3. Измерение сопротивлений цифровым вольтметром. Найти на лабораторном стенде сопротивления следующих порядков:

- десятки ом;
- сотни ом;
- килоомы;
- мегаомы,

и измерить их величины с помощью цифрового вольтметра. Записать величины измеряемых сопротивлений.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ.

5.1. Для пункта 4.3.1. по заданным входному напряжению и сопротивлениям рассчитать напряжение по $R_{ш}$. Рассчитать абсолютную погрешность Δ и относительную погрешность δ :

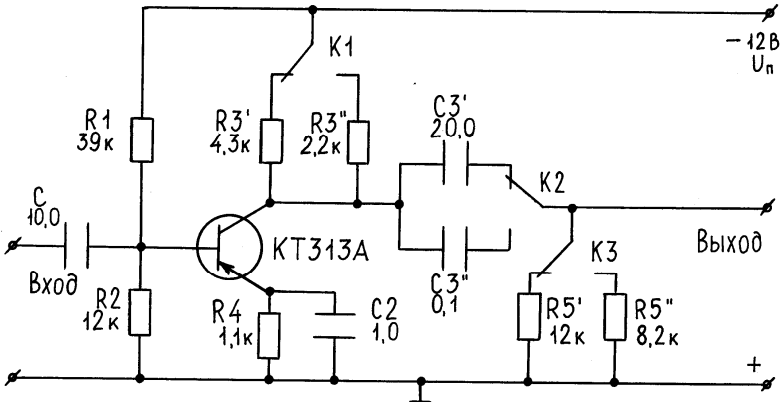


Рисунок 3 - Принципиальная схема усилительного каскада

4.2. Получение амплитудной характеристики каскада.

4.2.1. Ключи К1, К2, К3 установите в положение с большим значением величин сопротивлений и емкостей.

4.2.2. Установите на генераторе, подключенном ко входу усилительного каскада, частоту 1 кГц.

4.2.3. Изменяя входное напряжение от 0 В до 1 В в соответствии с таблицей 1, измерьте выходное напряжение усилителя. Данные занесите в таблицу 1, в строку «Исходный вариант».

Таблица 1. Экспериментальные данные.

	$U_{вх},$ В	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	...	0,9	1,0
Исходный вариант								...		
R3 ↓ Ост. исх.										
C3 ↓ Ост. исх.										
R5 ↓ Ост. исх.										

4.2.4. Снимите амплитудную характеристику при уменьшенном сопротивлении R3 при тех же значениях входного напряжения. Данные занесите в таблицу 1 в строку «R3 ↓».



4.2.5. Снимите амплитудную характеристику при уменьшенной емкости С3 при тех же значениях входного напряжения. Данные занесите в таблицу 1 в строку «С3 ↓». Верните С3 в исходное состояние.

4.2.6. Снимите амплитудную характеристику при уменьшенном сопротивлении нагрузки R5 при тех же значениях входного напряжения. Данные занесите в таблицу 1 в строку «R5 ↓». Верните R5 в исходное состояние.

4.3. Получение частотной характеристики.

4.3.1. Ключами K1, K2, K3 выставьте максимальные значения сопротивлений и емкостей.

4.3.2. Генератором переменной частоты поддерживайте на входе усилителя напряжение в пределах 40÷50 мВ.

4.3.3. Изменяя частоту входного напряжения от 20 Гц до 1 МГц (10^6 Гц) в соответствии с таблицей 2 измерьте входные и выходные напряжения усилителя. Данные занесите в таблицу 2 в строку «Исходный вариант».

Таблица 2 - Экспериментальные и расчетные данные

	$f, \text{Гц}$	20	100	500	10^3	$5 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5	10^6
Исходный вариант	$U_{\text{вх}}, \text{В}$										
	$U_{\text{вых}}, \text{В}$										
	K										
R3 ↓ Ост. исх.	$U_{\text{вх}}, \text{В}$										
	$U_{\text{вых}}, \text{В}$										
	K										
С3 ↓ Ост. исх.	$U_{\text{вх}}, \text{В}$										
	$U_{\text{вых}}, \text{В}$										
	K										
R5 ↓ Ост. исх.	$U_{\text{вх}}, \text{В}$										
	$U_{\text{вых}}, \text{В}$										
	K										

4.3.4. Снимите частотные характеристики для ситуаций, рассмотренных в пунктах 4.2.4.; 4.2.5.; 4.2.6. Данные измерений занесите в соответствующие строки таблицы 2.

Выпрямленное и отфильтрованное напряжение подается на вход стабилизатора, которым оно стабилизируется до значения $(9 \pm 0,5)$ В и преобразуется в напряжение прямоугольной формы (меандр), используемое для управления индикатором отсчетного устройства и получения напряжения питания отрицательной полярности.

Напряжение питания отсчетного устройства формируется из положительного и отрицательного питающих напряжений путем понижения их при помощи стабилитронов.

Отсчетное устройство состоит из двух блоков (плат), на одной из которых размещен аналого-цифровой преобразователь с элементами согласования. На другой плате расположены микросхемы, осуществляющие стыковку АЦП с жидкокристаллическим индикатором (ЖКИ).

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

4.1. Меры предосторожности и особенности эксплуатации прибора.

4.1.1. Если ориентировочное значение измеряемой величины неизвестно, переключатели пределов измерения необходимо установить на максимальное значение.

4.1.2. Запрещается переключать род работ и пределы измерения без отключения прибора от измеряемой величины.

4.1.3. Запрещается пропускать через прибор ток больше 0,5 А.

4.1.4. Появление на индикаторном устройстве числа 5000 – сигнал перегрузки (необходимо увеличить пределы измерения).

4.2. Подготовка к работе.

В соответствии с родом измеряемой величины вставить соединительный провод в гнездо:

V, Ω – при измерении напряжения и сопротивления;

I – при измерении силы тока;

*- задействовано всегда (общий).

При измерении переменного напряжения нажать кнопку «~» на переключателе рода работ. При измерении постоянного напряжения эту кнопку отпустить.

На переключателе рода работ нажать кнопку, соответствующую измеряемой величине:

V – при измерении напряжения;

I – при измерении тока;

Ω – при измерении сопротивления.

4.3. Программа эксперимента.

4.3.1. Измерение напряжения постоянного тока цифровым вольтметром.



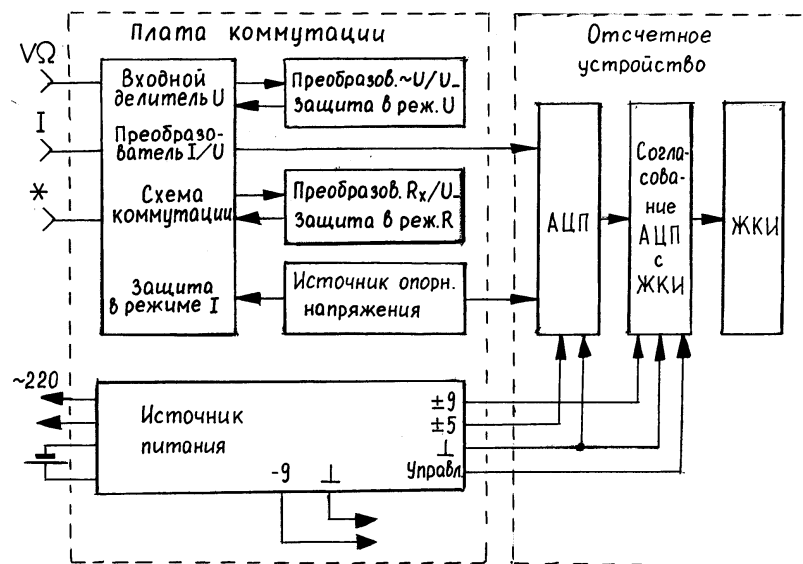


Рисунок 2 – Структурная схема прибора Щ4313

$$U_R = U_0 \frac{R_x}{R_0} \cdot \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{21}},$$

где U_0 – опорное напряжение на выходе ИОНа;

R_x – измеряемое напряжение;

R_0 – сопротивление опорного резистора;

R_{21}, R_{22} – сопротивления делителя.

Номинальное выходное напряжение преобразователя (R/U.) равно 200 мВ.

Преобразователь переменного напряжения в постоянное (U./U.) выполнен по схеме однополупериодного преобразователя средневывпрямленных значений и включает в себя элементы обратной связи, резисторы нагрузки, конденсаторы фильтров и защиту входа преобразователя от перегрузок.

Источник опорного напряжения (ИОН) выполнен по схеме преобразователя тока в напряжение. Опорное напряжение для вольтметра $U_0=0,1$ В, а опорное напряжение для преобразователя омметра $U_0=-5$ В.

Блок питания состоит из трансформатора, мостового выпрямителя и фильтрующего конденсатора.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. По данным таблицы 1 на одном чертеже постройте амплитудные характеристики для всех исследуемых ситуаций.
2. Для всех ситуаций на линейном участке амплитудной характеристики подсчитайте коэффициент усиления и динамический диапазон.
3. Сделайте вывод о влиянии на эти параметры величины входного напряжения и R_3, C_3, R_5 .
4. По данным таблицы 2 для всех ситуаций подсчитайте коэффициент усиления K . Данные занесите в таблицу 2.
5. На одном чертеже постройте частотные характеристики для всех исследованных ситуаций.
6. Для всех ситуаций определите диапазон рабочих частот при условии, что $K > K_{\max}/\sqrt{2}$.
7. Сделайте вывод о влиянии на частотную характеристику частоты и элементов схемы.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

1. Наименование и цель работы.
2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.
3. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
4. Графики амплитудных и частотных характеристик.
5. Необходимые формулы для нахождения расчетных данных.
6. Значения коэффициентов усиления, динамических диапазонов рабочих частот для всех исследованных ситуаций.
7. Выводы по результатам экспериментов.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое усилительный каскад и каков его принцип действия?
2. Какими параметрами и зависимостями характеризуется усилитель?
3. Каково назначение резисторов в усилительном каскаде?
4. Каково назначение конденсаторов в усилительном каскаде?
5. Объясните поведение амплитудной характеристики усилителя?
6. Объясните поведение частотной характеристики усилителя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16 ДВУХКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ: экспериментальное исследование транзисторного двухкаскадного усилителя низкой частоты с отрицательной обратной связью.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Требования к современным усилителям настолько разноплановы, что их невозможно обеспечить одним каскадом усиления. Действительно, большое входное сопротивление обеспечивает входной каскад с малым усилением, большой коэффициент усиления – маломощные промежуточные каскады, заданную мощность в нагрузке – мощный выходной каскад.

В многокаскадных усилителях выход предыдущего каскада соединяется со входом последующего. Связь каскадов осуществляется через конденсатор, трансформатор или непосредственно.

Коэффициент усиления по напряжению многокаскадного усилителя K_U равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов

$$K_U = \prod_{i=1}^N K_{Ui} \quad (1)$$

Но увеличение количества каскадов в усилителе имеет и свои негативные стороны: увеличиваются собственные шумы усилителя, возрастает вероятность самовозбуждения усилителя, т. е. превращение его в генератор. Для улучшения свойств усилителя желательно поставить работу усилителя в зависимость от выходного сигнала. Это становится возможным благодаря обратным связям, которые обеспечивают возвращение части энергии с выхода усилителя на его вход.

В зависимости от сдвига фаз между поданным и возвращенным сигналом обратные связи могут быть положительными и отрицательными. Если фазы поданного и вернувшегося сигналов совпадают, то обратная связь считается положительной. Если фазы поданного и вернувшегося сигналов противоположны, то обратная связь считается отрицательной. В зависимости от того, как отбирается часть энергии с выхода усилителя, обратные связи делятся на обратные связи по току и напряжению. Если отобранная энергия пропорциональна выходному напряжению, такая связь называется обратной по напряжению.

В зависимости от того, как выход цепи обратной связи соединяется со входом усилителя, различают последовательные и параллельные обратные связи. Если эти выходы соединены последовательно (имеют

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В лабораторной работе исследуется комбинированный цифровой прибор Щ4313, предназначенный для измерения тока, напряжения и сопротивления.

3.1. Технические характеристики:

- 1) Вид измеряемых токов и напряжений – постоянный, синусоидальный;
- 2) Предельно допустимый измеряемый ток – 0,5 А;
- 3) Предельно допустимое измеряемое напряжение – 500 В;
- 4) Предел измерения сопротивления – 20000 кОм;
- 5) Пределы допускаемого значения основной погрешности:

а) Напряжение постоянного тока: $\pm \left[0,3 + 0,15 \left(\frac{U_k}{U_x} - 1 \right) \right];$

б) Сила постоянного тока: $\pm \left[0,4 + 0,2 \left(\frac{I_k}{I_x} - 1 \right) \right];$

в) Напряжение переменного тока: $\pm \left[1,0 + 0,5 \left(\frac{U_k}{U_x} - 1 \right) \right];$

г) Сила переменного тока: $\pm \left[1,0 + 0,5 \left(\frac{I_k}{I_x} - 1 \right) \right];$

д) Сопротивление: $\pm \left[1,0 + 0,6 \left(\frac{R_k}{R_x} - 1 \right) \right];$

3.2. Описание принципа работы прибора Щ4313.

Структурная схема прибора Щ4313 приведена на рисунке 2.

Входной делитель ослабляет измеряемое напряжение. Коэффициенты деления делителя - 10, 100, 1000, 10000. Активное сопротивление делителя – $(1,0 \pm 0,3)$ МОм.

Преобразователь тока в напряжение (I/U) состоит из многопредельного шунта и элементов защиты от перегрузок. Номинальное напряжение на выходе шунта на всех диапазонах измерения тока – 200 мВ.

Преобразователь сопротивления в напряжение (R/U) преобразует сопротивление в постоянное напряжение. Выходное напряжение (U_R) преобразователя определяется для диапазона 200 Ом выражением

$$U_R = U_0 \frac{R_x}{R_0},$$

и для остальных диапазонов выражением



на вход интегратора И поступает измеряемое напряжение U_x . Через интервал времени t_u , когда напряжение на выходе интегратора равно $U_u = k \int_0^{t_u} U_x dt$, устройство управления размыкает ключ K_1 и замыкает ключи K_2 и K_3 . Ко входу интегратора будет приложено напряжение U_0 , противоположное по знаку U_x , а на счетчик начнут поступать импульсы от генератора образцовой частоты ГОЧ.

В момент времени t_3 , когда $I_u=0$, сравнивающее устройство СУ размыкает ключ K_3 и прекращает доступ импульсов на счетчик СЧ.

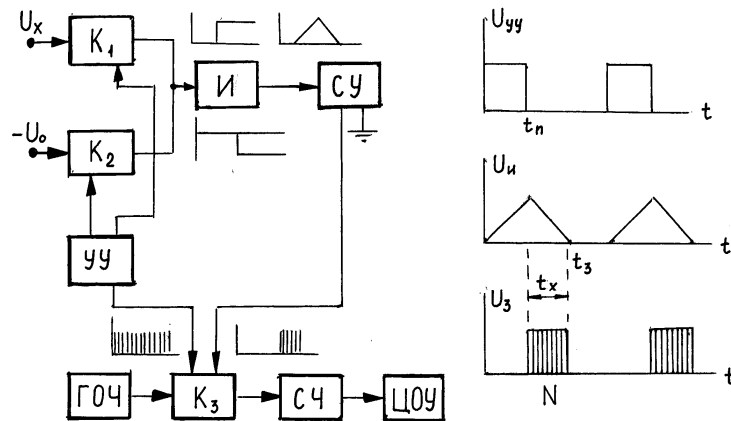


Рисунок 1. Структурная схема и временная диаграмма вольтметра

Время t_x поступления импульсов на счетчик СЧ определяется из соотношения

$$U_u = k \int_0^{t_u} U_x dt = k \int_0^{t_x} U_0 dt = k t_x U_0,$$

где

$$t_x = \frac{\int_0^{t_u} U_x dt}{U_0} = \frac{U_x}{U_0} t_u.$$

Количество импульсов, зафиксированных цифровым отсчетным устройством ЦОУ, за время t_x

$$N = \frac{t_x}{T_0} = \frac{t_u}{T_0 U_0} U_x,$$

т.е. пропорционально измеряемому напряжению U_x .

одинаковый входной ток), то такая связь называется последовательной.

Во всех современных усилителях имеются обратные связи, которые могут существенно изменить свойства усилителей: увеличить входное и уменьшить выходное сопротивления, снизить собственные шумы, уменьшить чувствительность к разбросу параметров элементов, расширить полосу пропускания.

Если обратная связь последовательная отрицательная по напряжению и коэффициент передачи по напряжению цепи обратной связи β , то коэффициент усиления по напряжению K_{oc} усилителя с обратной связью выражается через коэффициент усиления K усилителя без обратной связи

$$K_{oc} = \frac{K}{1 + \beta K}, \quad (2)$$

т.е. отрицательная обратная связь уменьшает коэффициент усиления K усилителя без обратной связи.

Но зато эта обратная связь увеличивает входное сопротивление усилителя

$$R_{вх. oc} = R_{вх} (1 + \beta K), \quad (3)$$

где $R_{вх}$ – входное сопротивление усилителя без обратной связи.

Эта же обратная связь уменьшает выходное сопротивление усилителя

$$R_{вых. oc} = \frac{R_{вых}}{1 + \beta K}. \quad (4)$$

Основными показателями усилителя являются также:
- коэффициент усиления по напряжению

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}; \quad (5)$$

- амплитудная характеристика $U_{вых} = F(U_{вх})$;

- частотная характеристика $K_u = F(f)$,

где f – частота входного сигнала усилителя.

Линейная часть амплитудной характеристики является рабочим участком и характеризуется динамическим диапазоном

$$D = \frac{U_{вх max}}{U_{вх min}} \quad (6)$$

Частотные свойства усилителя определяются полосой пропускания, т.е. областью частот, где коэффициент усиления не меньше некоторого значения (чаще всего $K \geq K_{max} / \sqrt{2}$).



3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

Схема исследуемого двухкаскадного усилителя низкой частоты с отрицательной обратной связью представлены на рисунке 1. Транзисторы включены по схеме с общим эмиттером. Резисторы R3 и R8 определяют наклон нагрузочных прямых. Резисторы R1, R2 и R6, R7 определяют положение точек покоя на нагрузочных прямых. Резисторы R4 и R9 в цепи эмиттера служат для температурной стабилизации точек покоя. Конденсаторы, шунтирующие эти резисторы по переменной составляющей (C3 и C6), необходимы для уменьшения потерь полезного сигнала.

Конденсаторы C1, C2 и C3 необходимы для определения полезного сигнала от постоянной составляющей, которая может изменить режимы работы транзисторов, сместив точку покоя.

Резистор R5 и конденсатор C4 – элементы отрицательной обратной связи. Ключ K позволяет включать или отключать эту обратную связь. Во включенном состоянии напряжение на выходе цепи обратной связи равно

$$U_{oc} = \beta U_{вых} = \frac{R4'}{R5 + R4'} U_{вых} \quad (7)$$

Это напряжение подается на резистор R4' в цепи эмиттера первого транзистора. В результате становится более отрицательным потенциал эмиттера этого транзистора. Но так как потенциал базы этого транзистора отрицателен и не меняется, следовательно, уменьшается напряжение эмиттер-база.

А это равносильно уменьшению амплитуды входного сигнала. Следовательно, данная обратная связь является отрицательной.

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Источником входного сигнала является генератор переменной частоты ГЗ-112. Для измерения действующих значений входного и выходного напряжений применяются цифровые вольтметры В7-38.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

4.1. К двухкаскадному усилителю (схема на рисунке 1) на вход подключите генератор ГЗ-112, а на вход и выход вольтметры В7-37. Подключите источник питания – 12В.

4.2. Получение амплитудной характеристики усилителя.

4.2.1. Ключом K отключить обратную связь усилителя.

4.2.2. Установите на генераторе, подключенном ко входу усилителя, частоту 1 кГц.

4.2.3. Изменяя входное напряжение от 0 до 1 В, в соответствии с табли-

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН: ЦИФРОВОГО ВОЛЬТМЕТРА, АМПЕРМЕТРА И ОММЕТРА.

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- 1) Изучение устройства, принципа действия и технических характеристик цифрового прибора Щ4313.
- 2) Приобретение навыков работы с цифровыми приборами. Исследование характеристик прибора при различных режимах работы.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.

Одним из принципов, на которых основано действие цифровых измерителей электрических величин, является преобразование измеряемой величины в пропорциональный ей интервал времени с последующим преобразованием этого интервала в дискретную форму и в цифровой код.

Измеряемые величины посредством делителя напряжения и соответствующих преобразователей трансформируются в нормированное напряжение постоянного тока.

Например, преобразователь U/U_0 - преобразователь переменного напряжения в постоянное - представляет собой линейный преобразователь средневыпрямленных значений. Преобразователь R_x/U (преобразователь сопротивления в напряжение) - представляет собой линейный преобразователь, выходное напряжение (U_R) которого определяется выражением:

$$U_R = U_0 \frac{R_x}{R_0},$$

где U_0 - опорное напряжение на выходе источника опорного напряжения (ИОН);

R_x - измеряемое сопротивление;

R_0 - сопротивление образцового резистора.

Аналого-цифровой преобразователь выполняет основную функцию преобразования нормированного аналогового напряжения в код индикатора. Преобразование напряжения во временной интервал осуществляется, например, методом двухтактного интегрирования, обладающего наиболее высокими метрологическими показателями.

Структурная схема вольтметра с двухтактным интегрированием и соответствующие ей временные диаграммы представлены на рисунке 2.

Измерение напряжения осуществляется следующим образом.

В исходном состоянии ключи K_1 , K_2 , и K_3 разомкнуты. В начальный момент времени устройство управления УУ замыкает ключ K_1 и



Постоянная времени τ - это расстояния между точками a и b на оси времени. a - точка пересечения перпендикуляра к оси времени из точки d на графике. Точка b - точка пересечения касательной из точки d с осью времени.

5.2. Для данной цепи $\tau = r_m C$, где $r_m = 1$ МОм - входное сопротивление осциллографа.

Определить емкость цепи C .

5.3. Емкость цепи складывается из емкости кабеля C_k и входной емкости осциллографа $C_0 = 40$ пФ: $C = C_k + C_0$.

Определить емкость кабеля C_k .

5.4. Зная длину кабеля l , определить емкость кабеля на единицу длины $C_0 = C_k / l$.

5.5. Зная C_0 , применив формулу (1), вычислить $\ln(b/a)$.

5.6. Применив формулу (2), определить индуктивность кабеля на единицу длины L_0 .

5.7. Пренебрегая потерями в кабеле, рассчитать волновое сопротивление Z и коэффициент распространения γ для частот 1 кГц и 1 МГц.

5.8. Используя таблицы параметров коаксиальных кабелей, найденные параметры и геометрические размеры, определите тип кабеля.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Основные типы длинных линий и эквивалентная схема элемента длинной линии.
3. Схема эксперимента и экспериментальные данные.
4. Рассчитанные C_0 , L_0 , Z , γ и предлагаемый тип коаксиального кабеля.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Как Вы понимаете термин «цепь с распределенными параметрами» и каковы причины распределения параметров.
2. Может ли цепь считаться как цепью с распределенными параметрами, так и с сосредоточенными параметрами?
3. Приведите основные типы длинных линий.
4. Запишите формулы для индуктивности и емкости на единицу длины. Прокомментируйте их.
5. Нарисуйте схему эксперимента и объясните ее работу.
6. Как по экспериментальным данным определяются емкость и индуктивность на единицу длины?
7. По условному обозначению кабеля охарактеризуйте его характеристики и размеры.

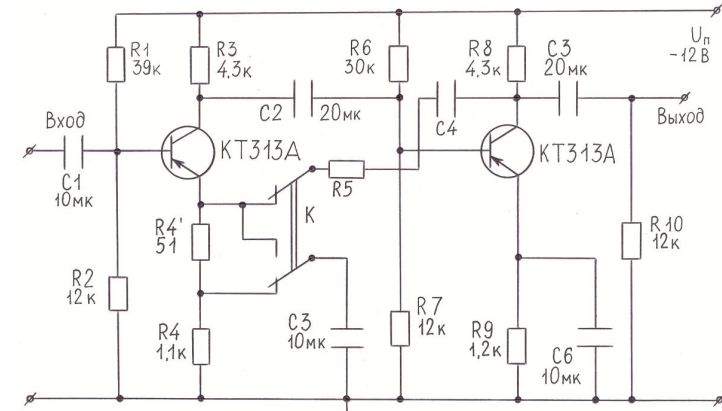


Рисунок 1. - Двухкаскадный усилитель низкой частоты

цей 1, измерьте выходное напряжение усилителя. Данные занесите в таблицу 1 в строку «Без обратной связи». – «Без о.с.».

Таблица 1 – Амплитудная характеристика

$U_{вх}, В$		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
Без о.с.	$U_{вых}$										
	K										
С о.с.	$U_{вых}$										
	$K_{ос}$										
β											

4.2.4. Ключом К включите обратную связь и снимите амплитудную характеристику усилителя с обратной связью (см.п.4. 2.3.). Данные занесите в таблицу 1 в строку «С о.с.».

4.3. Получение частотных характеристик усилителя.

4.3.1. Ключом К отключите обратную связь усилителя.

4.3.2. Генератором переменной частоты поддерживайте на входе усилителя напряжение в пределах 40-50 мВ.

4.3.3. Изменяя частоту входного напряжения от 20 Гц до 1 МГц (10^6 Гц), в соответствии с таблицей 2, измерьте входные и выходные напряжения усилителя. Данные занесите в таблицу 2 в строку «Без обратной связи».

4.3.4. Ключом К включите обратную связь и снимите частотную характеристику усилителя с обратной связью (см. пункт 4.3.3.). Данные занесите в таблицу 2 в строку «С обратн. связью».



Таблица 2 – Частотные характеристики усилителя

	f, Гц	20	100	500	10 ³	5·10 ³	10 ⁴	2·10 ⁴	5·10 ⁴	10 ⁶
Без обратн. связи	U _{вх} , В									
	U _{вых} , В									
	K									
С обратн. связью	U _{вх} , В									
	U _{вых} , В									
	K _{ос}									
β										

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

- 5.1. По данным таблицы 1 на одном чертеже постройте амплитудные характеристики для усилителя без обратной связи и с обратной связью.
- 5.2. Для каждого из входных напряжений таблицы 1 подсчитайте коэффициенты усиления K и K_{ос}.
- 5.3. Из формулы (2), выразив коэффициент передачи по напряжению цепи обратной связи

$$\beta = \frac{K - K_{ос}}{KK_{ос}}, \quad (8)$$

подсчитайте β для всех напряжений таблицы 1.

- 5.4. Постройте график зависимости β=F(U_{вх}) и определите, является ли данная обратная связь амплитудно-зависимой.
- 5.5. По данным таблицы 2 для каждой частоты подсчитайте коэффициенты усиления K и K_{ос}.
- 5.6. На одном чертеже постройте частотные характеристики усилителей без и с обратной связью.
- 5.7. По формуле (8) подсчитайте β для всех частот таблицы 2.
- 5.8. Постройте график зависимости β=F(f) и определите, является ли данная обратная связь частотно-зависимой.
- 5.9. Используя амплитудные характеристики, подсчитайте динамические диапазоны (6) и определите влияние на них обратной связи.
- 5.10. Используя частотные характеристики, найдите полосы пропускания и определите влияние на них обратной связи.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.
3. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
4. Графики U_{вых}=F(U_{вх}), K=F(f); β=F(U_{вх}), β=F(f).
5. Необходимые формулы для нахождения расчетных данных.

C_к- коаксиальный кабель с подпаянными с одной стороны штекерами и тумблером на другом конце;
 P - поляризованное реле;
 Y - вход осциллографа;
 ⊥ - корпус (земля) осциллографа.

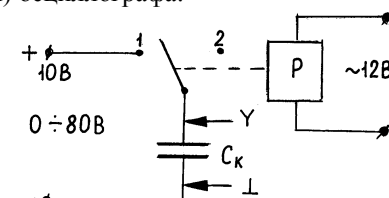


Рисунок 3 – Схема эксперимента

Коаксиальный кабель одним своим концом подключен в схему, второй конец разомкнут.

В положении 1 контакта реле коаксиальный кабель заряжается от источника постоянного напряжения.

В положении 2 контакта реле коаксиальный кабель разряжается через осциллограф. При этом на экране осциллографа виден переходной процесс разряда кабеля.

Тщательно, по клеточкам срисовать осциллограммы переходного процесса.

Записать величину входного напряжения и положения ручек управления осциллографа [В/дел.] и [Время/дел.]. Записать l – длину исследуемого коаксиального кабеля.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

- 5.1. По осциллограмме, полученной в пункте 4.1., определить постоянную времени цепи (рисунок 4).

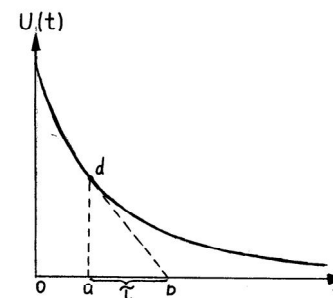


Рисунок 4 – Графическое определение τ



Второй элемент указывает величину волнового сопротивления кабеля в омах, третий элемент - округленный до меньшего целого числа диаметр кабеля по изоляции и четвертый элемент - материал изоляции (первая цифра) и порядковый номер разработки (одна или две цифры).

Материалам изоляции присвоены следующие цифровые обозначения:

- 1 – полиэтилен, $\epsilon=2,2\dots2,4$;
- 2 – фторопласт, $\epsilon=2,5\dots2,7$;
- 3 – полистирол, $\epsilon=2,2\dots2,8$;
- 4 – полипропилен, $\epsilon=2,2$;
- 5 – резина, $\epsilon=2,6\dots3$;
- 6 – неорганическая изоляция.

Параметры некоторых коаксиальных кабелей приведены в таблице 1.

Тип кабеля	Старое обозначение	Z, Ом	C ₀ , пФ/м	Диаметры, мм (рис. 2)		
				2a	2b	Внешний
РК-75-4-15	РК-1	75±3	76	0,72	4,6	7,3
РК-75-4-16	РК-49	75±3	76	0,78	4,6	7,3
РК-75-9-13	РК-103	75±3	75	1,35	9,0	12,2
РК-50-9-11	РК-106	50±2	110	2,7	9,0	12,2
РК-50-7-16	РК-47	50±2	115	2,28	7,3	10,3

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде.

Переходной процесс вызывается переключением контактов поляризованного реле РП17. Так как переходной процесс кратковременный и его невозможно наблюдать непосредственно, то с помощью поляризованного реле этот процесс повторяется 50 раз в секунду, и на экране осциллографа возникает неподвижное изображение переходного процесса. Выводы осциллографа обозначены: Y- вход, $\perp$ - корпус. Тип осциллографа - С1-72, входное сопротивление которого $1\pm3\%$ МОм. а входная емкость – $40\pm10\%$ пФ ($40\pm10\%\cdot10^{-12}$ Ф).

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

4.1. Определение C₀ – емкости коаксиального кабеля на единицу длины. Схема эксперимента приведена на рисунке 3.

На схеме обозначены:

6. Значения динамических диапазонов и полос пропускания в усилителях без и с обратной связью.

7. Выводы о влиянии обратной связи на характеристики и показатели усилителя.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Чем обусловлено создание многокаскадных усилителей?

2. С чем связано наличие в усилителях обратных связей?

3. Какие бывают виды обратных связей?

4. Как влияет на показатели усилителя последовательная отрицательная обратная связь по напряжению?

5. Каково назначение элементов в схеме усилителя?

6. Исходя из экспериментальных данных, сделайте выводы о влиянии обратной связи на характеристики усилителя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17 ТИПОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- 1) Изучение основных логических операций.
- 2) Ознакомление с интегральными логическими микросхемами.
- 3) Исследование логических элементов, реализованных на интегральных логических микросхемах.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Назначение радиоэлектронных устройств – получение, преобразование, передача и хранение информации, представленной в форме электрических сигналов. Современные радиоэлектронные устройства могут быть аналоговыми и цифровыми.

Цифровая форма информации наиболее естественно применяется в виде двоичных чисел – последовательностей нулей и единиц.

Цифровые устройства более помехоустойчивы, чем аналоговые. Цифровые устройства нечувствительны к разбросу параметров и характеристик транзисторов и других элементов.

Перечисленные и другие достоинства цифровых устройств создают благоприятные предпосылки для создания интегральных микросхем и увеличения их степени интеграции.

Преобразование информации, представленной в цифровой форме, осуществляется путем выполнения определенной последовательности арифметических и логических операций.

Теоретической основой проектирования цифровых устройств является алгебра логики, или алгебра Д. Буля, оперирующая двумя логическими высказываниями: «истинно» и «ложно». Эти высказывания обозначаются соответственно символами 1 и 0.

Сложное высказывание называется логической функцией

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

в которой сама функция y и ее аргументы $x_1, x_2, \dots, x_n$ – это двоичные числа, принимающие значения 0 и 1. Число различных наборов аргументов этой функции равно $M=2^n$, а число различных функций $N=2^M$. Если $n=1$, то $M=2$, а $N=4$. Все возможные логические функции одного аргумента представлены в таблице 1.

В этой таблице функции $y_1=f_1(x)=0$ и $y_4=f_4(x)=1$ – постоянные, не зависящие от аргумента. Функция $y_3=f_3(x)=x$ – тождество, повторяющее значение аргумента. Функция $y_2=f_2(x)$ принимает значения, обратные значениям аргумента. Эта функция – инверсия – логическое отрицание,

$$L_0 \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a}, \quad (2)$$

где $\mu_0=1,256 \cdot 10^{-6}$ [Гн/м] – магнитная постоянная;

$$R_0 = 4,16 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \sqrt{f} \cdot 10^{-8} \text{ [Ом/м]}, \quad (3)$$

где f – частота колебаний электрического сигнала в кабеле;

$$G_0 = C_0 \cdot 2\pi f \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (G_0 = \frac{2\pi\sigma}{\ln(b/a)} \text{ - на постоянном токе, где } \sigma \text{ - удельная проводимость изолятора}) \quad (4)$$

где $\operatorname{tg} \delta$ – угол диэлектрических потерь (угол, дополняющий угол между напряжением и током до 90°).

Применяемые в коаксиальных кабелях диэлектрики (полиэтилен, тефлон, полистирол) имеют малые потери ($\operatorname{tg} \delta$ от $2 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-4}$).

Основными характеристиками коаксиального кабеля являются Z – волновое сопротивление, и γ – коэффициент распространения.

При частоте передаваемого сигнала ω эти величины можно рассчитать по формулам

$$Z = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}}, \quad (5)$$

$$\gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} \quad (6)$$

В ряде случаев, в особенности при высоких частотах, выполняются условия $\omega L_0 \gg R_0$ и $\omega C_0 \gg G_0$. Из этих условий следует, что потерями в кабеле можно пренебречь. Тогда выражения для волнового сопротивления и коэффициента распространения упрощаются:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (7)$$

$$\gamma = j\omega \sqrt{LC}, \quad (8)$$

Условное обозначение конструкции коаксиального кабеля состоит из букв РК, что обозначает «радиочастотный коаксиальный» (первый элемент обозначения) и трех чисел (второй, третий и четвертый элементы обозначения).



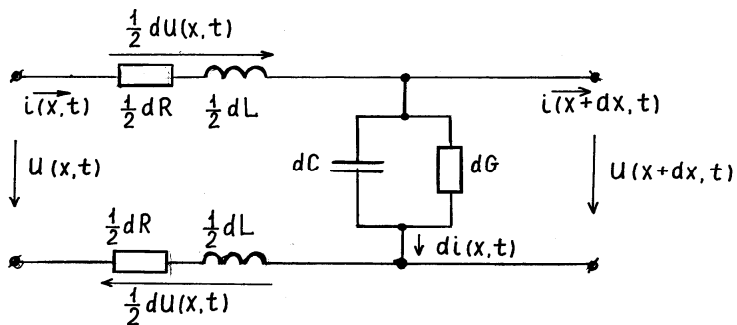


Рисунок 1 – Эквивалентная схема элемента длинной линии

Основные типы длинных линий приведены на рисунке 2

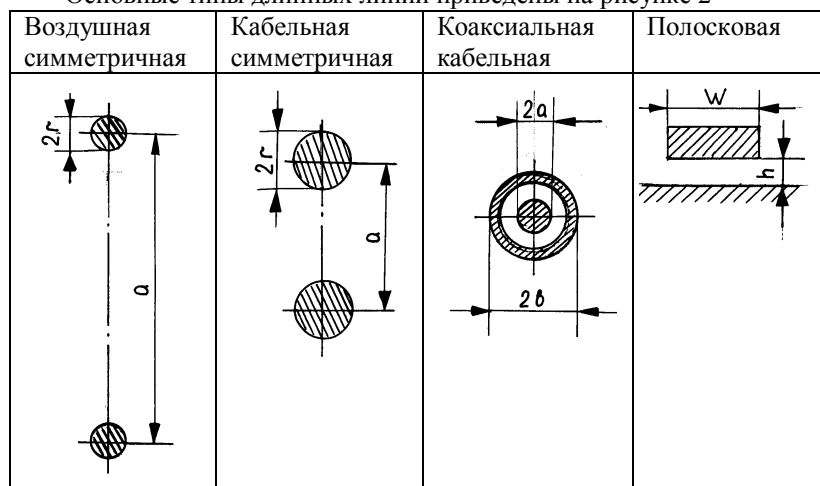


Рисунок 2 – Основные типы длинных линий

длинной линии. Теоретически их можно рассчитать методами электродинамики.

Для коаксиального кабеля

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln(b/a)}, \quad (1)$$

где $\epsilon_0 = 1/(4\pi c^2 \cdot 10^{-7}) \approx 8,86 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная,

ϵ - диэлектрическая проницаемость изоляции внутри кабеля;

Таблица 1 – Логическая функция одного аргумента

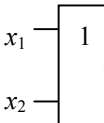
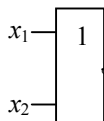
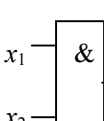
Аргумент	Функция $y_k = f_n(x)$			
x	y_1	y_2	y_3	y_4
0	0	1	0	1
1	0	0	1	1

часто обозначается как НЕ.

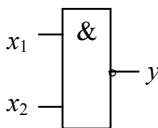
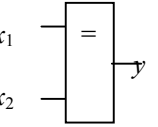
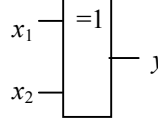
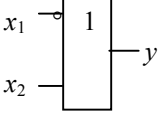
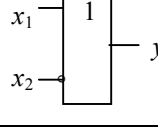
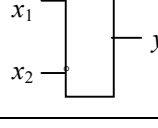
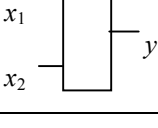
При $n=2$, $M=4$, а $N=16$. Из этих 16 функций две также постоянные, не зависящие от аргументов, четыре – функции одной переменной, а остальные десять зависят от обоих аргументов. Эти функции даны в таблице 2.

Число возможных функций при увеличении числа аргументов растет очень быстро. Практически логические функции, зависящие от большого числа аргументов, выражаются суперпозициями функций, зависящих от меньшего числа аргументов. При суперпозиции функций одни функции подставляются вместо аргументов других, например,

Таблица 2 – Логические функции двух аргументов.

Таблица 2 – Логические функции двух аргументов.						
№	Наименование функции	Условное обозначение и формула	x_1	Таблица значений		Обозначение логического элемента
			x_2	0	1	
1	2	3	4	5	6	7
1	Сложение (логическое ИЛИ)	$y=x_1+x_2$	$\begin{matrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$	
2	Стрелка Пирса (логическое ИЛИ-НЕ)	$y = x_1 \downarrow x_2 = \overline{x_1 + x_2}$	$\begin{matrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$	
3	Умножение (логическое И)	$y=x_1 \cdot x_2$	$\begin{matrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix}$	
1	2	3	4	5	6	7



4	Штрих Шеффера (логическое И-НЕ)	$y = x_1 x_2 = \overline{x_1 \cdot x_2}$	0 1	1 1	1 0	
5	Равнозначность (эквивалентность)	$y = x_1 \sim x_2 = x_1 \cdot x_2 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$	0 1	1 0	0 1	
6	Исключающее ИЛИ (неравно- значность)	$y = x_1 \oplus x_2 = x_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot x_2$	0 1	0 1	1 0	
7	Импликация: от x1 к x2	$y = x_1 \rightarrow x_2 = \bar{x}_1 + x_2$	0 1	1 1	1 0	
8	Импликация: от x2 к x1	$y = x_2 \rightarrow x_1 = x_1 + \bar{x}_2$	0 1	1 0	1 1	
9	Запрет	$y = x_1 \overrightarrow{\rightarrow} x_2 = x_1 \cdot \bar{x}_2$	0 1	0 0	1 0	
10	Запрет	$y = x_2 \overrightarrow{\rightarrow} x_1 = \bar{x}_1 \cdot x_2$	0 1	0 1	0 0	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- 1) Знакомство с устройством и техническими характеристиками коаксиальных кабелей.
- 2) Экспериментальное определение емкости и индуктивности на единицу длины коаксиального кабеля.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.

При строгом анализе электронных цепей необходимо учитывать два обстоятельства:

- а) энергия распространяется с конечной скоростью,
- б) размеры элементов цепей конечны.

Вследствие первого обстоятельства происходящие в цепях процессы имеют волновой характер, т.е. токи и напряжения являются как функциями времени, так и пространственных координат. Вследствие второго обстоятельства приходится учитывать, что параметры элементов цепи R , L , C распределены вдоль цепи.

Оба эти обстоятельства порождают специфические свойства цепей только тогда, когда геометрические размеры цепи становятся соизмеримыми с длиной волны колебаний, происходящих в цепи.

Наиболее распространенными цепями с распределенными параметрами являются линии передачи энергии. Параметры такой линии распределены вдоль одной пространственной координаты - длины. Остальные размеры линии исчезающе малы по сравнению с ее длиной.

Физические свойства длинной линии определяются четырьмя распределенными вдоль линии параметрами: индуктивностью L , емкостью C , продольным активным сопротивлением R и поперечной активной проводимостью G . Каждый отрезок линии длиной dx характеризуется эквивалентной схемой (рисунок 1) с параметрами dL , dC , dR , dG . Если значение этих параметров не зависят от координаты x отрезка dx линии, то такую линию называют однородной.

Для однородной линии вводят параметры L_0 (Гн/м), C_0 (Ф/м), R_0 (Ом/м), G_0 (См/м), характеризующие параметры отрезка линии единичной длины.

Тогда $dL=L_0dx$, $dC=C_0dx$, $dR=R_0dx$, $dG=G_0dx$.

Параметры этих линий зависят от конструкции линии, геометрических размеров и от электрических и магнитных свойств применяемых материалов.

Параметры L_0 , C_0 , R_0 , G_0 называются первичными параметрами



2. В чем причина широкого применения цифровых интегральных микросхем?
3. Что такое логическая функция? Какие значения может принимать она и ее аргументы?
4. Какая функция называется логическое отрицание? Приведите ее таблицу истинности и обозначение элемента.
5. Охарактеризуйте функцию сложения двух аргументов. Приведите таблицу истинности и обозначение элемента.
6. Охарактеризуйте функцию умножения двух аргументов. Приведите таблицу истинности и обозначение элемента.
7. Что такое суперпозиция функций и логический базис?
8. Что такое логические элементы и какие из них реализуют минимальные базисы?

суперпозиция функций двух аргументов является функцией четырех аргументов:

$$y = f_1 \cdot [f_2(x_1, x_2), f_3(x_3, x_4)] \quad (2)$$

Суперпозиция функций – это представление сложной функции структурной формулой, в которую входят логические аргументы, связанные между собой простыми функциями. Набор простейших функций, через которые можно выразить любые другие логические функции, называют полным, или логическим базисом. Одним из распространенных логических базисов является набор И, ИЛИ, НЕ.

Логический базис – минимальный, если удаление хотя бы одной функции превращает этот базис в неполный. Базис И, ИЛИ, НЕ не является минимальным, так как И либо ИЛИ можно выразить через две остальные функции. Так, функция И заменяется суперпозицией функций НЕ, ИЛИ, НЕ, а функция ИЛИ – функциями НЕ, И, НЕ.

Минимальными базисами являются И, НЕ или ИЛИ, НЕ. Имеются минимальные логические базисы, содержащие только одну функцию: функцию Шеффера И-НЕ или функцию Пирса ИЛИ-НЕ.

Электронные цепи, выполняющие простейшие логические функции, называют логическими элементами.

Реализация любой логической функции возможна, если имеются логические элементы, реализующие функции одного из минимальных базисов. Чаще всего используют элементы И-НЕ либо ИЛИ-НЕ.

Один из таких минимальных базисов реализован в виде интегральной микросхемы К155ЛА3, включающей четыре логических элемента 2И-НЕ. Условное графическое обозначение микросхемы представлено на рисунке 1.

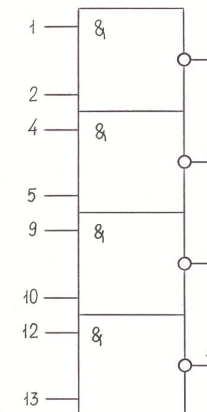


Рисунок 1- Графическое обозначение микросхемы К155ЛА3



Электрические параметры микросхемы:

- потребляемая мощность ≤ 78 мВт;
- напряжение выходного сигнала 1 не менее 2,4 В;
- напряжение выходного сигнала 0 не более 0,4 В;
- напряжение питания: +5 В $\pm$ 5%.

Микросхема рассчитана на применение в устройствах до 10 МГц.

Взяв в качестве базиса логический элемент 2 И-НЕ, можно создать другие логические функции, в частности основные: И (рисунок 2) ИЛИ (рисунок 3) и НЕ (рисунок 4).

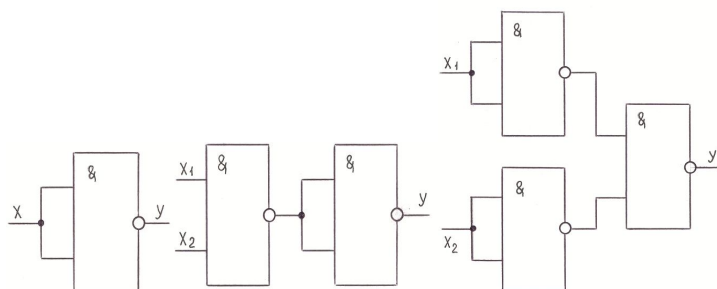


Рисунок 2 Логический элемент И

Рисунок 3 Логический элемент ИЛИ

Рисунок 4 Логический элемент НЕ

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на блоке, обозначенном «К155ЛА3» лабораторного макета, изготовленного под руководством доцента Башук Е.Б.

Замыкание ключей S1÷S5 подает на входы микросхемы напряжение, соответствующее логической единице. Напряжение на выходе микросхемы измеряется внешним цифровым вольтметром относительно земли на клеммах Г1÷Г3. Питание макета осуществляется напряжением 220 В.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 4.1. Переключатель «№ работы» лабораторного макета установите в положение 3, что соответствует подключению блока «К155ЛА3».
- 4.2. Подключите шнур питания макета к щиту питания универсального лабораторного стенда.
- 4.3. Замыкая ключи S1÷S5, подавать напряжение на входы микросхемы (соответствующие логической единице), внешним цифровым вольт-

метром измеряйте выходные напряжения в выходных точках согласно таблице 3.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

5.1. На основе проведенного эксперимента составьте таблицы значений логических функций (таблицы истинности).

Таблица 3 - Экспериментальные данные

№ опыта	Положение ключей					Выходные точки		Логическая функция
	S1	S2	S3	S4	S5	Клеммы	U, В	
1	1					Г1		
	2					Г1		
2		2	2			Г2		
		1	2			Г2		
		2	1			Г2		
		1	1			Г2		
3				2	2	Г3		
				1	2	Г3		
				2	1	Г3		
				1	1	Г3		

5.2. Проведите анализ экспериментальных данных, определите соответствие между номером опыта и логической функцией. Заполните столбец «Логическая функция» таблицы 3.

5.3. Составив таблицы истинности, докажете, что схемы на рисунках 2, 3 и 4 соответствуют указанным логическим функциям.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Наименование и цель работы.
- 6.2. Наименование и условное графическое обозначение используемой микросхемы.
- 6.3. Таблица экспериментальных данных.
- 6.4. Таблицы истинности исследуемых логических элементов.
- 6.5. Схемы используемых логических элементов, полученных с помощью минимального базиса 2 И-НЕ.
- 6.6. Таблицы истинности, соответствующие схемам исследуемых логических элементов.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково назначение и разновидности радиоэлектронных устройств?

