

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по дисциплине

«ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

для студентов

Специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных
систем

специализация «Анализ безопасности информационных систем»

Ставрополь
2026

Цель и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Практическая электроника» является формирование у будущего специалиста по специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем специализация «Анализ безопасности информационных систем» прочных теоретических знаний и практических навыков работы с электронными компонентами и устройствами, освоении методов анализа, проектирования и экспериментального исследования электронных схем и систем. Дисциплина направлена на подготовку студентов к самостоятельному выбору, применению и тестированию электронного оборудования, что обеспечивает базу для дальнейшего изучения специальных инженерных дисциплин и успешной профессиональной деятельности в области электроники и автоматизации.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ

Цель работы: Изучить свойства биполярного транзистора при использовании его в качестве усилительного элемента (УЭ) в схеме резистивного каскада в трёх способах включения:

1. С общим эмиттером (ОЭ);
2. С общей базой (ОБ);
3. С общим коллектором (ОК).

При этом обращается главное внимание на изучение следующих свойств и показателей:

- а) способность усиливать мощность сигнала;
 - б) инвертирование или не инвертирование сигнала;
 - в) определение количественных значений коэффициентов усиления напряжения K , ЭДС K_e , тока K_i , мощности K_p ;
 - г) количественные показатели входного $R_{вх}$ и выходного $R_{вых}$ сопротивлений;
 - д) амплитудно-частотные характеристики и количественные значения граничной частоты $f_{гр}$;
- Ознакомиться с порядком расчёта основных показателей в схеме резистивного каскада при различных способах включения ОЭ, ОБ, ОК.
- Освоить методику измерения качественных показателей усилительного каскада.
- Изучить, схемотехнические вопросы построения усилительного каскада на биполярном транзисторе.

2. Краткое изложение теоретических сведений

2.1. Требуется рассчитать:

1) рассчитать коэффициенты усиления при включении УЭ с ОБ, ОЭ, ОК: K , K_e , K_p , K_i для области средних частот. За среднюю частоту принять частоту $f_{cp}=10$ кГц;

2) рассчитать входные и выходные сопротивления $R_{вх}$ и $R_{вых}$, эквивалентную входную емкость $C_{вх}$; рассчитать значения параметров $h_{11э}$, $h_{11б}$, $h_{11к}$, $Y_{22э}$, $Y_{22б}$, $Y_{22к}$;

3) найти граничные частоты $f_{гр.верхн.}$ для трех схем включения УЭ.

Данные для расчета: транзистор 2N3904 (КТ375Б).

Паспортные данные для транзистора:

1. $h_{21эмин} = 50$;
2. $h_{21эмах} = 280$;
3. $C_k = 5$ пФ;
4. $f_{гр} = 250$ МГц;
5. $\tau_k \leq 300$ пс;
6. $R_{кэ}$ равно от 40 до 60 Ом (в режиме насыщения);
7. $I_{ко} = 7,5$ мА;
8. $R_{вых}$ транзистора равно от 15 до 30 кОм (собственное, без учета внешних нагрузок).
9. Внутреннее сопротивление источника сигнала $R_{г} = 1,0$ кОм;
10. Сопротивление нагрузочного резистора R_k в коллекторной цепи транзистора $R_k = 510$ Ом;
11. Сопротивления резисторов делителя в цепи базы для схем с ОЭ и ОБ:
 - $R_{б1} = 101$ кОм;
 - $R_{б2} = 15$ кОм; (для схемы с ОК – $R_{б1} = 400$ кОм; $R_{б2} = 150$ кОм).

2.2. Пояснения к теоретическим расчетам:

**Пример расчета для схемы с ОЭ (вариант $R_n = \infty$)
смотри рис. 1.**

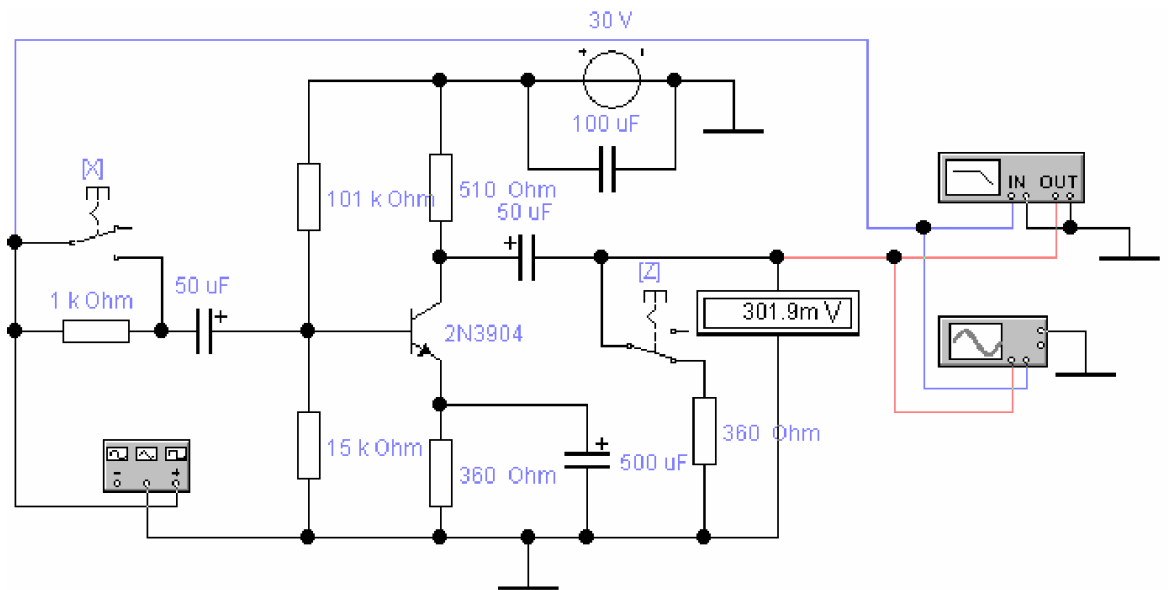


Рисунок 1 – Схема с ОЭ

Физическая эквивалентная схема транзистора, представляющая собой электрическую модель транзистора и отражающая его физические свойства – схема Джиаколетто - может быть представлена в следующем виде:

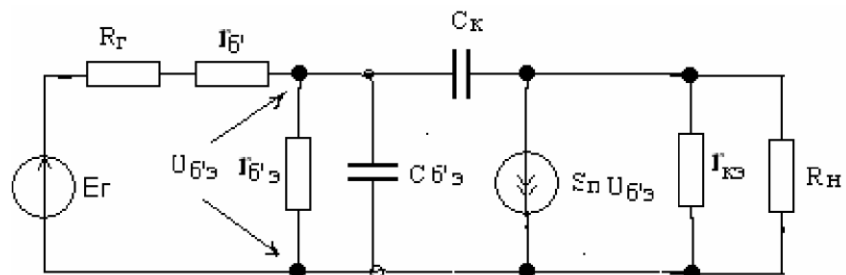


Рисунок 2 – Физическая эквивалентная схема транзистора

1) Определяем среднее значение параметра $h_{21Э}$ (коэффициент прямой передачи входной энергии на выход):

$$h_{21Э} = \sqrt{h_{21Э_{мин}} \cdot h_{21Э_{max_x}}}$$

2) Определяем значение параметра $h_{11Э}$ (входное сопротивление):

$$h_{11Э} = r_{Б'} + r_{Б'Э},$$

где:

— $r_{Б'Э}$ сопротивление базы транзистора, представляющее собой

распределенное (объемное) сопротивление участка кристалла, примыкающего к электроду;

— $r_{\delta'э}$ — сопротивление эмиттерного перехода;

$$r_{\delta'} = \tau_k / C_k$$

$$r_{\delta'э} = \frac{1 + h_{21э}}{\gamma \cdot I_{k0}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\varphi_T},$$

где φ_T - температурный потенциал, равный 26 мВ при комнатной температуре.

3) Расчетное значение входного сопротивления усилительного каскада с учетом сопротивлений $R_{б1}$ и $R_{б2}$ определяется по формуле:

$$R_{вх} = \frac{h_{11э} \cdot R_{б}}{h_{11э} + R_{б}}$$

где

$$R_{б} = \frac{R_{б1} \cdot R_{б2}}{R_{б1} + R_{б2}}$$

4) Определим расчетное значение выходного сопротивления транзистора усилительного каскада.

Значение параметра $Y_{22э}$ (выходная проводимость) составляет:

$$Y_{22э} = \frac{1}{R_{выхтр}}$$

Выходное сопротивление усилительного каскада по переменному току представляет собой параллельное соединение $R_{вых}$ транзистора, равное 15 кОм и сопротивления в цепи коллектора $R_k = 510$ Ом (по известной формуле определить выходное сопротивление усилительного каскада по переменному току)

Определить (для проверки) $R_{вых}$ каскада по формуле:

$$R_{вых} = R_{кэ} \cdot \left(1 + \frac{h_{21э} \cdot r_{э}}{r_{э} + r_{б'}}\right),$$

5) Определить коэффициент усиления по напряжению К:

$$K = \frac{h_{21э} \cdot R_H}{h_{11э}}$$

где R_H - выходное сопротивление каскада по переменному току $R_{вых}$.

6) Коэффициент усиления по току K_i для схемы с ОЭ составляет:

$$K_i = h_{21э}$$

7) Определить величину сквозного коэффициента усиления K_e :

$$K_e = \frac{h_{21э} \cdot R_H}{R_э + h_{11э}}$$

Можно проверить значение K_e по формуле:

$$K_e = \frac{Y_{21э} \cdot R_H}{1 + Y_{11э} \cdot R_э}$$

$$Y_{21э} = \frac{h_{21э}}{h_{11э}} = \frac{118}{472}$$

$$Y_{11э} = \frac{1}{h_{11э}} = \frac{1}{472}$$

8) Определим величину коэффициента усиления по мощности:

$$K_p = K \cdot K_i$$

В эквивалентной схеме емкость коллекторного перехода C_k объединяют с емкостью эмиттерного перехода $C_{б'э}$:

$$C_{вх экв} = C_{б'э} + C_k (1 + S_{п} R_H),$$

или,

$$C_{вх экв} = C_{б'э} + C_k \cdot K,$$

где $S_{п}$ – крутизна характеристики выходного тока по напряжению на эмиттерном переходе, не зависящая от частоты:

$$S_{п} = \frac{h_{21э}}{r_{б'э}}$$

Емкость эмиттерного перехода $C_{б'э}$:

$$C_{б'э} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{h21э} \cdot r_{б'э}} - C_K,$$

где

$$f_{h21э} = \frac{f_{эп}}{h_{21э}}$$

9) Определить верхнюю граничную частоту усилительного каскада $f_{в гр}$:

$$f_{эп} = \frac{\kappa \cdot (R_э + r_{б'} + r_{б'э})}{2\pi C_{экв}(R_э + r_{б'}) \cdot r_{б'э}},$$

где $\kappa = 2 \dots 3$ - поправочный коэффициент.

Сравниваем это расчетное значение $f_{в гр}$ с данными эксперимента.

Пример расчета для схемы с ОЭ (вариант $R_H = 360 \text{ Ом}$) рис.1.

По аналогии с предыдущим расчетом получаем:

$h_{21э}$, $r_{б'}$, $r_{б'э}$, $h_{11э}$; $R_{вх}$ (с учетом значений сопротивлений $R_{б1}$ и $R_{б2}$); $Y_{21э}$, $Y_{22э}$

Коэффициент усиления по напряжению K :

$$K = \frac{h_{21э} \cdot R_H}{h_{11э}},$$

где R_H – параллельное соединение $R_{кэ} = 15 \text{ кОм}$; $R_k = 510 \text{ Ом}$

Коэффициент усиления по току K_i , как и ранее, составляет:

$$K_i = h_{21э}$$

Величина сквозного коэффициента усиления K_e :

$$K_e = \frac{h_{21э} \cdot R_H}{R_э + h_{11э}}$$

Величина коэффициента усиления по мощности: $K_p = K \cdot K_i$

Определим верхнюю граничную частоту усилительного каскада $f_{в гр}$:

$$C_{вх экв} = C_{б'э} + C_K \cdot K,$$

Емкость эмиттерного перехода $C_{б'э}$

$$C_{б'э} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{h21э} \cdot r_{б'э}} - C_{к},$$

где

$$f_{h21э} = \frac{f_{гр}}{h_{21э}},$$

а верхняя граничная частота усилительного каскада $f_{в гр}$ определяется:

$$f_{гр} = \frac{\kappa \cdot (R_2 + r_{б'} + r_{б'э})}{2\pi C_{эв} (R_2 + r_{б'}) \cdot r_{б'э}},$$

где $\kappa = 2 \dots 3$ - поправочный коэффициент.

Пример расчета для схемы с ОБ (вариант $R_n = \infty$)

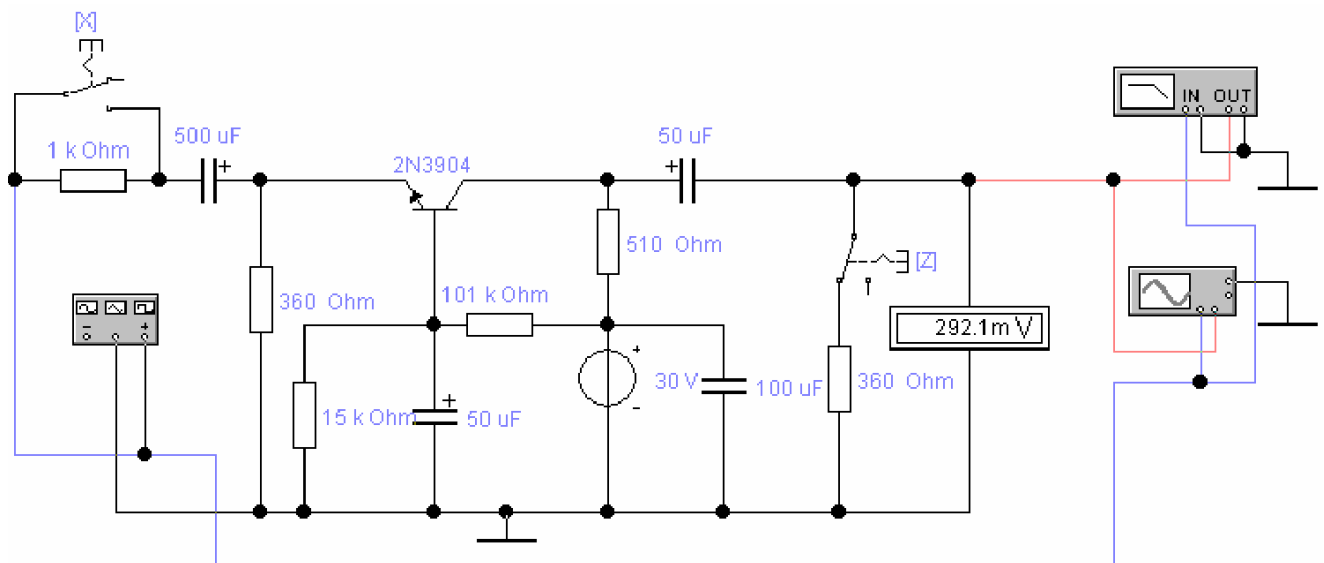


Рисунок 3 – Принципиальная схема усилителя с ОБ

При анализе используются основные параметры, найденные при предыдущем расчете.

- 1) Определим статический коэффициент усиления по току для схемы с ОБ:

$$h_{21б} = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}}$$

- 2) Определим параметр $h_{11б}$ (входное сопротивление транзистора в схеме с ОБ):

$$h_{11б} = \frac{h_{11э}}{1 + h_{21э}}$$

Сопротивления $R_{б1}$ и $R_{б2}$ практически не влияют на величину входного сопротивления. Заносим это значение в табл. 1 для сравнения с экспериментальными данными.

3) Определим (предварительно) параметр $h_{22б}$ (выходную проводимость транзистора в схеме с ОБ:

$$h_{22б} = \frac{1}{R_{вых}}$$

4) Определим сопротивление эмиттера $R_э$ исходя из режима транзистора:

$$— E_{п} = 30В;$$

$$— I_{к0} = 7,5 \text{ мА};$$

$$R_э = \frac{0,2 \cdot E_{п}}{I_{к0}}$$

5) Коэффициент усиления усилителя по току K_i составляет:

$$K_i = \frac{R_э}{R_э + h_{11б}} \cdot \frac{h_{21б}}{1 + h_{22б} \cdot R_{н}}$$

6) Определим коэффициент усиления по напряжению K :

$$K = \frac{h_{21э} \cdot R_{н}}{h_{11э}},$$

или,

$$K = \frac{h_{21б} \cdot R_{н}}{h_{11б}}$$

7) Определим значение общего коэффициента усиления K_e по формуле:

$$K_e = \frac{R_{вх}}{R_{вх} + R_э} \cdot \frac{h_{21б} \cdot R_{н}}{h_{11б}},$$

где $R_{вх}$ - параллельно соединенные сопротивления $h_{11б}$ и $R_э$:

$$R_{вх} = \frac{h_{11б} \cdot R_э}{h_{11б} + R_э}$$

8) Определим величину коэффициента усиления по мощности:

$$K_p = K \cdot K_i$$

9) Определим собственное выходное сопротивление транзистора для схемы с ОБ:

$$R_{вых} = \frac{(1 + Y_{21э}) \cdot R_z}{h_{22э}}$$

Расчетная величина параметра $Y_{22б}$ составляет при этом $Y_{22б} = 1/R_{вых}$

Учитывая, что найденное значение выходного сопротивления по переменному току включено параллельно с $R_k = 510 \text{ Ом}$, фактическое выходное сопротивление каскада будет равно $R_{вых} = 510 \text{ Ом}$.

10) Определим верхнюю граничную частоту усилительного каскада $f_{вгр}$:

$$f_{вгр} = \frac{R_z + r_{б'} + r_{б'э} + S_{\Pi} \cdot r_{б'э} \cdot R_z}{2\pi \cdot C_{б'э} \cdot r_{б'э} \cdot (R_z + r_{б'})}$$

Пример расчета для схемы с ОБ (вариант $R_n = 360 \text{ Ом}$)

При расчетах учтем выше приведенные зависимости (формулы), а также

учтем, что по переменному току выходное сопротивление каскада будет представлять параллельное соединение $R_{вых}$ транзистора, R_k и $R_{нагр}$.

Получаем следующие значения параметров для занесения в табл. 1 и табл. 2: $h_{21б}$; $h_{22б}$; R_z ; $h_{11б}$; K_i ; K ; K_e ; $R_{вх}$; $R_{вых \text{ транз}}$; $R_{вых \text{ усилит}}$; $f_{вгр}$.

Пример расчета для схемы с ОК (вариант $R_n = \infty$) рис.4.

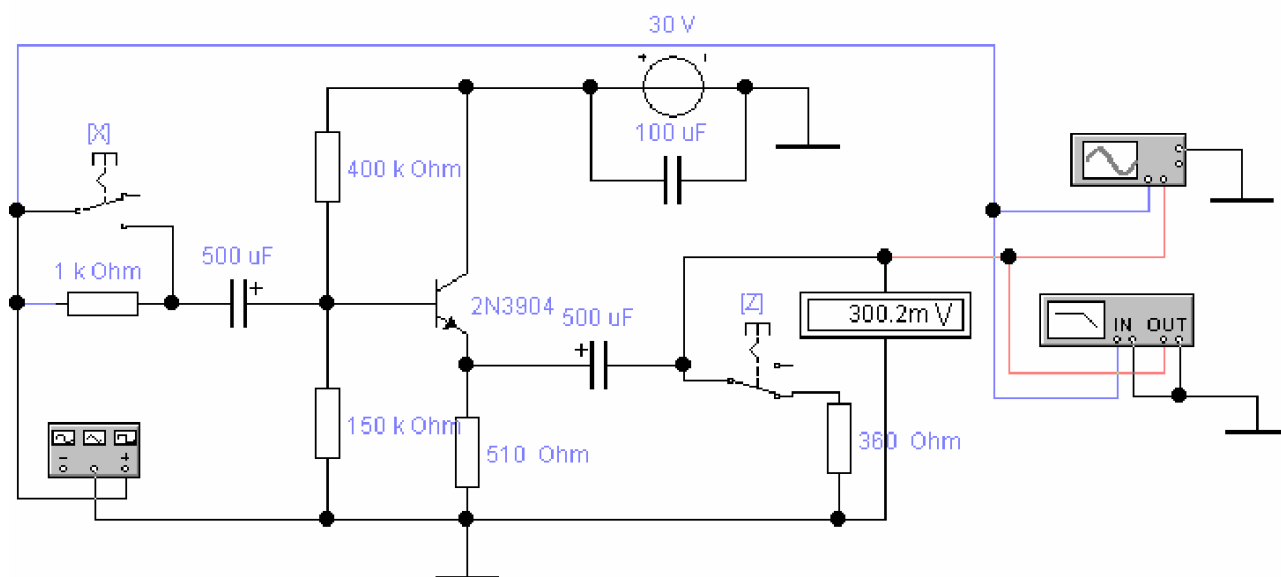


Рисунок 4 – Принципиальная схема усилителя с ОК

1) Коэффициент усиления по напряжению K составляет:

$$K = \frac{(1 + h_{21э})R_H \cdot}{h_{11э} + (1 + h_{21э})R_H}$$

2) Определим коэффициент усиления по току K_i :

$$K_i = h_{21к} = 1 + h_{21э}$$

3) Определим значение K_e по формуле:

$$K_e = \frac{(1 + h_{21э}) \cdot R_H}{R_2 + h_{11э} + (1 + h_{21э}) \cdot R_H}$$

4) Определим расчетное значение входного сопротивления усилителя

$$R_{вх} = h_{11э} + (1 + h_{21э}) \cdot R_H$$

Так как сопротивления R_{B1} и R_{B2} для схемы с ОК велики (см. исходные данные), фактическое входное сопротивление усилителя составит

найденное выше значение. Заносим это значение в табл. 1 для сравнения с экспериментальными данными.

7) Определим расчетное значение выходного сопротивления транзистора:

$$R_{вых} = \frac{R_2 + h_{11э}}{1 + h_{21э}}$$

8) Определим верхнюю граничную частоту усилительного каскада $f_{вгр}$:

$$f_{вгр} = \frac{k \cdot [R_2 + r_{б'} + r_{б'э} + (1 + S_{\Pi} \cdot r_{б'э}) \cdot R_H]}{2\pi \cdot (C_{б'э} \cdot r_{б'э} \cdot (R_2 + r_{б'} + R_H) + C_K (R_2 + r_{б'}) \cdot (1 + S_{\Pi} \cdot r_{б'э}) \cdot R_H)},$$

где $k = 2 \dots 3$ - поправочный коэффициент.

Сравниваем это расчетное значение $f_{вгр}$ с данными эксперимента.

Пример расчета для схемы с ОК (вариант $R_H = 360 \text{ Ом}$) рис. 4.

При расчетах учтем выше приведенные зависимости (формулы), а также учтем, что по переменному току выходное сопротивление каскада будет представлять параллельное соединение $R_K = 510 \text{ Ом}$, и $R_{нагр} = 360 \text{ Ом}$; кроме того по входу необходимо учесть влияние сопротивлений $R_{б1}$ и $R_{б2}$.

Получить следующие значения параметров для занесения в табл. 1 и табл. 2: K_i ; K ; K_e ; $R_{вх}$; $R_{вых}$; $f_{вгр}$.

Общие указания

Для всех трех схем (ОЭ, ОБ, ОК) сопротивления $R_{б1}$ и $R_{б2}$ по переменному току включены параллельно:

$$R_{б} = \frac{R_{б1} \cdot R_{б2}}{R_{б1} + R_{б2}}$$

При отключенной внешней нагрузке ($R_H = \infty$) сопротивление нагрузки для транзистора равно $R_H' = R_K = 510 \text{ Ом}$

При подключенной внешней нагрузке ($R_H = 360 \text{ ом}$) сопротивление нагрузки для транзистора R_H' по переменному току равно параллельному соединению R_K и R_H :

$$R_H' = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}$$

При обработке результатов экспериментов необходимо учитывать следующее:

- 1) для схемы с общим эмиттером коэффициент усиления по току

$$K_i = \frac{I_{вых}}{I_{вх}},$$

где

$$I_{вх} = \frac{E_2 - U_{вх}}{R_2}, \quad I_{вых} = \frac{U_{вых}}{R_H'}$$

- 2) для схемы с общей базой коэффициент усиления по току

$$K_i = \frac{I_{вых}}{I_{вх} + I_{вых}},$$

где $I_{вх}$ и $I_{вых}$.

- 3) для схемы с общим коллектором коэффициент усиления по току

$$K_i = \frac{I_{вых} + I_{вх}}{I_{вх}},$$

где $I_{вх}$ и $I_{вых}$.

- 4) входные и выходные сопротивления вычисляются по данным табл.1 экспериментальных данных:

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{E_2 - U_{вх}} \cdot R_2; \quad R_{вых} = R_{нагр=360 \text{ Ом}} \cdot \left(\frac{U_{вых_{R_{нагр}=\infty}}}{U_{вых_{R_{нагр}=360 \text{ Ом}}} - 1 \right)$$

Примечание: при определении $R_{вых}$ необходимо зафиксировать $U_{вых}$ при $R_{нагр} = 360 \text{ Ом}$, затем необходимо отключить нагрузку и зафиксировать $U_{вых}$ при $R_{нагр} = \infty$.

- 5) чистое, т.е. собственное входное сопротивление усилительного

элемента (транзистора) $h_{11э}$, $h_{11б}$, $h_{11к}$ (без учета $R_{б1}$ и $R_{б2}$) определяется:

— для схем с ОЭ и ОК

$$h_{11} = \frac{R_{ex} \cdot R_{б}}{R_{б} - R_{ex}},$$

— для схемы с общей базой $h_{11б} = R_{вхб}$

б) выходная проводимость усилительного элемента $Y_{22э}$, $Y_{22б}$, $Y_{22к}$ определяется:

$$Y_{22} = \frac{R_{к} - R_{вых}}{R_{к} \cdot R_{вых}} \text{ Ом}^{-1}$$

Данные для построения логарифмической шкалы при обработке результатов эксперимента:

L , мм – выбранный размер интервала (1-10);

1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10
$L \cdot 0,3$	$L \cdot 0,47$	$L \cdot 0,6$	$L \cdot 0,7$	$L \cdot 0,78$	$L \cdot 0,85$	$L \cdot 0,9$	$L \cdot 0,95$	L

3. Подготовка оборудования к выполнению лабораторной работы

Настоящая методическая разработка посвящена описанию лабораторной работы, которую выполняют на компьютере с помощью программы **Electronics Workbench** - версия 5.12. Для выполнения лабораторной работы необходимо открыть окно Electronics Workbench:

1. Открыть программу Electronics Workbench;
2. В открывшемся окне собрать схемы:
 - с общим эмиттером рис. 1;
 - с общей базой рис. 3;
 - с общим коллектором рис. 4.

К достоинствам данной программы следует отнести: возможность моделировать электронную схему; возможность изменять параметры элементов схемы и входного сигнала и наблюдать их влияние на измеряемые параметры; возможность имитации пользования различными измерительными приборами.

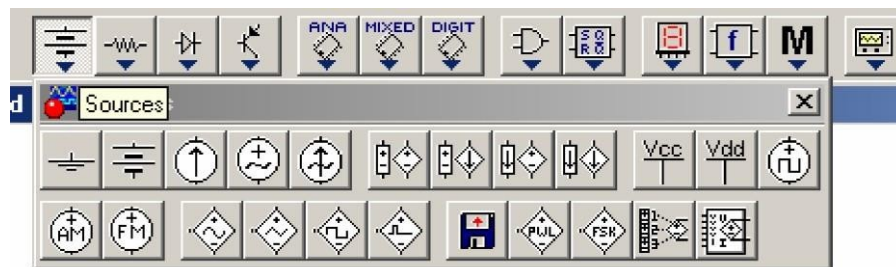


Рисунок 5 – Библиотека компонентов Electronics Workbench

Пользуясь библиотекой компонентов рис. 5, можно найти необходимые для создания схемы компоненты и перенести их на рабочее поле окна. Символ компонента переносится в окно построения схемы с помощью мыши при нажатой левой кнопке. При двойном щелчке по выбранному компоненту (или по контекстному вызову) открывается окно, с помощью которого устанавливаются требуемые параметры.

После размещения компонентов схемы производится их соединение с помощью проводников. Для подключения проводника курсор с помощью мыши подводится к выводу элемента. После появления черной точки следует нажать левую кнопку мыши и, удерживая ее, потянуть проводник к выводу другого элемента до появления на нем такой же черной точки. После построения схемы программа моделирования активизируется кнопкой  в правом верхнем углу окна.

В методической разработке некоторые схемы приведены с показаниями измерительных приборов. Это позволит студентам проверить правильность собранных схем.

Результаты исследований оформить в виде отчета.

4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Исследование схемы включения УЭ с ОЭ

Рассмотрим два режима работы данной цепи: без нагрузки и с нагрузкой (R_H).

Определить на средней частоте $f_{cp} = 10\text{кГц}$ коэффициенты усиления по напряжению K , сквозной коэффициент усиления K_e , коэффициент усиления по току K_i , коэффициент усиления по мощности K_p , проверить наличие или

отсутствие изменения полярности выходного сигнала, снять АЧХ каскада при помощи Bode plotter.

Для этого нужно собрать схему представленную на рис. 1, двойным щелчком левой кнопкой мыши по Bode plotter открыть диалоговое окно (рис. 6), в котором необходимо настроить его следующим образом:

а) выбрать режим работы Magnitude, это означает, что Bode plotter будет работать в режиме АЧХ-метра.

б) в рамке Vertical выбрать линейный масштаб по оси амплитуд, и установить значения верхнего и нижнего порога $F=100-500$, $I=0$.

в) в рамке Horizontal выбрать логарифмический масштаб по оси частот, и установить значения верхнего и нижнего порога $F=10-30\text{GHz}$, $I=1\text{Hz}$.

Затем активизировать схему кнопкой, находящейся в правом верхнем углу экрана; вольтметр покажет значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$.

1.1. При замкнутом положении ключа «X» и разомкнутом ключе «Z» (закороченное положение $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$ и отключена нагрузка $R_H = 360 \text{ Ом}$) уровень сигнала на выходе генератора ($U_{\text{вх}}$ для усилителя) подбирается таким, чтобы напряжение на выходе усилительного каскада составило $U_{\text{вых}} = 300 \text{ мВ}$.

1.2. Повторить измерение при разомкнутом ключе X, подключив тем самым $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$; определить значение E_2 , при котором выходное напряжение усилителя составит $= 300 \text{ мВ}$.

1.3. Повторить оба измерения (с $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$ и $R_2 = 0$) с подключенной нагрузкой $R_H = 360 \text{ Ом}$; для этого нужно замкнуть ключ Z путём нажатия на одноимённую клавишу клавиатуры.

Результаты измерений E_2 и $U_{\text{вх}}$ для случаев с подключенной и отключенной нагрузкой R_H занести в табл.1.

1.4. Установив на средней частоте $f_{cp} = 10 \text{ кГц}$ величину напряжения E_2

(с подключенным $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$), при котором $U_{\text{вых}} = 300 \text{ мВ}$ при подключенной нагрузке ($R_H = 360 \text{ Ом}$), снять АЧХ усилителя (рис. 6). Результаты измерения АЧХ занести в табл. 3. Построить графики АЧХ,

выбрав по горизонтальной (частотной) оси логарифмический масштаб. По АЧХ определить граничные частоты $f_{гр.нижн.}$ и $f_{гр.верхн.}$.

1.5. По данным табл. 1 рассчитать экспериментальные значения K_i , K_p и экспериментальные значения $R_{вх}$, $R_{вых}$, h_{11} и Y_{22} для схемы с ОЭ. Результаты расчетов сопротивлений и проводимостей занести в табл. 2.

1.6. Установить по осциллограммам входного и выходного напряжений наличие или отсутствие инверсии выходного сигнала для схемы с ОЭ. Результаты исследования отразить в отчете в виде соответствующих осциллограмм.

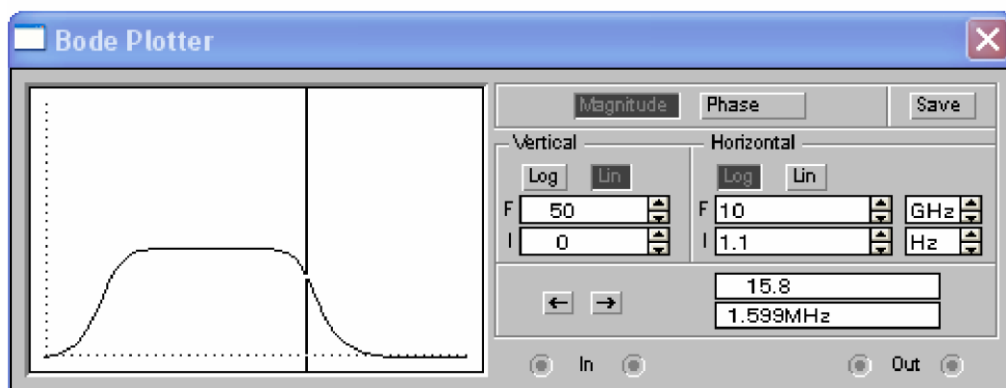


Рисунок 6 – Диалоговое окно Bode plotter (АЧХ для схемы с ОЭ)

Задание 2. Исследование схемы включения УЭ с ОБ

Рассмотрим два режима работы данной цепи: без нагрузки и с нагрузкой (R_H).

Определить на средней частоте $f_{ср} = 10\text{кГц}$ коэффициенты усиления по напряжению K , сквозной коэффициент усиления K_e , коэффициент усиления по току K_i , коэффициент усиления по мощности K_p , проверить наличие или отсутствие изменения полярности выходного сигнала, снять АЧХ каскада при помощи Bode plotter.

Для этого нужно собрать схему, представленную на рис. 3, двойным щелчком левой кнопкой мыши по Bode plotter открыть диалоговое окно (рис.

7), в котором необходимо настроить его следующим образом:

а) выбрать режим работы Magnitude, это означает, что Bode plotter будет работать в режиме АЧХ-метра.

б) в рамке Vertical выбрать линейный масштаб по оси амплитуд, и установить значения верхнего и нижнего порога $F=100-500$, $I=0$.

в) в рамке Horizontal выбрать логарифмический масштаб по оси частот, и установить значения верхнего и нижнего порога $F=10-30\text{GHz}$, $I=1\text{Hz}$.

Затем активизировать схему кнопкой, находящейся в правом верхнем углу экрана; вольтметр покажет значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$.

2.1 При замкнутом положении ключа «X» и разомкнутом ключе «Z» (закороченное положение $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$ и отключена нагрузка $R_n = 360 \text{ Ом}$) уровень сигнала на выходе генератора ($U_{\text{вх}}$ для усилителя) подбирается таким, чтобы напряжение на выходе усилительного каскада составило $U_{\text{вых}} = 300 \text{ мВ}$.

2.2. Повторить измерение при разомкнутом ключе X, подключив тем самым $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$; определить значение E_2 , при котором выходное напряжение усилителя составит $U_{\text{вых}} = 300 \text{ мВ}$.

2.3. Повторить оба измерения (с $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$ и $R_2 = 0$) с подключенной нагрузкой $R_n = 360 \text{ Ом}$; для этого нужно замкнуть ключ Z путём нажатия на одноимённую клавишу клавиатуры.

Результаты измерений E_g и $U_{\text{вх}}$ для случаев с подключенной и отключенной нагрузкой R_n занести в табл. 1.

2.4. Установив на средней частоте $f_{cp} = 10 \text{ кГц}$ величину напряжения E_g

($R_2 = 1.0 \text{ кОм}$), при котором $U_{\text{вых}} = 300 \text{ мВ}$ при подключенной нагрузке ($R_n = 360 \text{ Ом}$), снять АЧХ усилителя.

Результаты измерения АЧХ занести в табл. 3. Построить графики АЧХ, выбрав по горизонтальной (частотной) оси логарифмический масштаб. По АЧХ определить граничные частоты $f_{\text{гр.нижн.}}$ и $f_{\text{гр.верхн.}}$.

2.5. По данным табл. 1 рассчитать экспериментальные значения K_i , K_p и экспериментальные значения $R_{\text{вх}}$, $R_{\text{вых}}$, h_{11} и Y_{22} для схемы с ОБ.

Результаты расчетов сопротивлений и проводимостей занести в табл. 2. При этом необходимо учесть примечание к определению $R_{вых}$.

2.6. Установить по осциллограммам входного и выходного напряжений наличие или отсутствие инверсии выходного сигнала для схемы с ОБ.

Результаты исследования отразить в отчете в виде соответствующих осциллограмм.

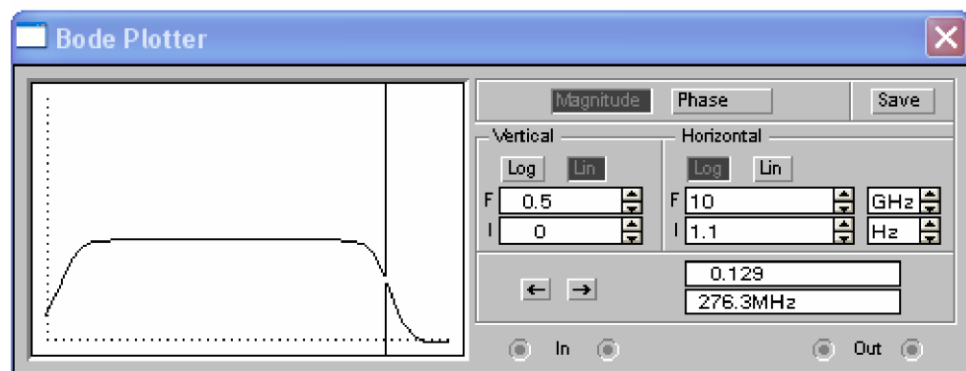


Рисунок 7 – Диалоговое окно Bode plotter (АЧХ для схемы с ОБ)

Задание 3. Исследование схемы включения УЭ с ОК

Рассмотрим два режима работы данной цепи: без нагрузки и с нагрузкой (R_n).

Определить на средней частоте $f_{cp} = 10\text{кГц}$ коэффициенты усиления по напряжению K , сквозной коэффициент усиления K_e , коэффициент усиления по току K_i , коэффициент усиления по мощности K_p , проверить наличие или отсутствие изменения полярности выходного сигнала, снять АЧХ каскада при помощи Bode plotter.

Для этого нужно собрать схему представленную на рис. 4, двойным щелчком левой кнопкой мыши по Bode plotter открыть диалоговое окно (рис. 8), в котором необходимо настроить его следующим образом:

а) выбрать режим работы Magnitude, это означает, что Bode plotter будет работать в режиме АЧХ-метра.

б) в рамке Vertical выбрать линейный масштаб по оси амплитуд, и установить значения верхнего и нижнего порога $F=100\text{-}500$, $I=0$.

в) в рамке Horizontal выбрать логарифмический масштаб по оси частот, и установить значения верхнего и нижнего порога $F=10\text{-}30\text{GHz}$, $I=1\text{Hz}$.

Затем активизировать схему кнопкой, находящейся в правом верхнем углу экрана; вольтметр покажет значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$.

3.1 При замкнутом положении ключа «X» и разомкнутом ключе «Z» (закороченное положение $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$ и отключена нагрузка $R_n = 360 \text{ Ом}$) уровень сигнала на выходе генератора ($U_{\text{вх}}$ для усилителя) подбирается таким, чтобы напряжение на выходе усилительного каскада составило $U_{\text{вых}} = 300 \text{ мВ}$.

3.2. Повторить измерение при разомкнутом ключе X, подключив тем самым $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$; определить значение E_2 , при котором выходное напряжение усилителя составит $U_{\text{вых}} = 300 \text{ мВ}$.

3.3. Повторить оба измерения (с $R_2 = 1.0 \text{ кОм}$ и $R_2 = 0$) с подключенной нагрузкой $R_n = 360 \text{ Ом}$; для этого нужно замкнуть ключ Z путём нажатия на одноимённую клавишу клавиатуры.

Результаты измерений E_2 и $U_{\text{вх}}$ для случаев с подключенной и отключенной нагрузкой R_n занести в табл. 1.

3.4. Установив на средней частоте $f_{cp} = 10 \text{ кГц}$ величину напряжения E_2

($R_2 = 1.0 \text{ кОм}$), при котором $U_{\text{вых}} = 300 \text{ мВ}$ при подключенной нагрузке ($R_n = 360 \text{ Ом}$), снять АЧХ усилителя.

Результаты измерения АЧХ занести в табл.3. Построить на одном графике АЧХ всех трех схем, выбрав по горизонтальной (частотной) оси логарифмический масштаб . По АЧХ определить граничные частоты $f_{\text{гр.нижн.}}$ и $f_{\text{гр.верхн.}}$.

3.5. По данным табл. 1 рассчитать экспериментальные значения K_i , K_p и экспериментальные значения $R_{\text{вх}}$, $R_{\text{вых}}$, h_{11} и Y_{22} для схемы с ОК .Результаты расчетов сопротивлений и проводимостей занести в табл.2. При этом необходимо учесть примечание к определению $R_{\text{вых}}$.

Установить по осциллограммам входного и выходного напряжений

наличие или отсутствие инверсии выходного сигнала для схемы с ОК.
 Результаты исследования отразить в отчете в виде соответствующих осциллограмм.

Рисунок 8 – Диалоговое окно Bode plotter (АЧХ для схемы с ОК)

Все расчеты вписывать в данные таблицы:

Схема	ОЭ без нагр.		ОЭ с нагр.		ОБ без нагр.		ОБ с нагр.		ОК без нагр.		ОК с нагр.	
Ег, мВ												
Uвх, мВ												
Uвых, мВ												
	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.
К												
Ке												
Ки												
Кр												

Таблица 1

Схема	ОЭ без нагр.		ОЭ с нагр.		ОБ без нагр.		ОБ с нагр.		ОК без нагр.		ОК с нагр.	
I _{вх} , ма												
I _{вых} , ма												
U _{вых} , мВ при вкл R _н												
	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.
R _{вх} , Ом												
R _{вых} , Ом												
h ₁₁ , Ом												
Y ₂₂ , Ом ⁻¹												

Таблица 2

f	Гц, кГц, МГц	f _{грн}					f _{ср} = 10кГц				f _{грв}
ОЭ	U _{вых} , мВ						300				
	$\gamma = \frac{U_{вых}}{U_{выхср}}$	0,707					1				0,707
О.Б	U _{вых} , мВ										
	$\gamma = \frac{U_{вых}}{U_{выхср}}$	0,707					1				0,707
О.К	U _{вых} , мВ										
	$\gamma = \frac{U_{вых}}{U_{выхср}}$	0,707					1				0,707

Таблица 3

Примечание: шкала по оси частот - логарифмическая

Привести расчетные значения верхних граничных частот:

- для схемы с ОЭ f_{вгр} ;
- для семы с ОБ f_{вгр} ;
- для схемы с ОК f_{вгр} ;

Содержание отчета

Отчет лабораторной работы должен содержать:

1. Титульный лист (с фамилиями исполнителей, номером группы)
2. Цель работы.
3. В соответствии с порядком проведения работы должны быть приведены:
 - схема;
 - расчетные формулы; результаты расчетов;
 - таблица экспериментальных данных;
 - результаты сравнения экспериментальных и расчетных данных;
 - выводы по работе.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЕЙ

Задание 1. Экспериментально определить влияние разделительных и паразитных емкостей на характер поведения АЧХ усилителей.

Порядок выполнения работы:

1. Открыть Electronics Workbench.
2. Открыть файл 3STA_AMP.sa4 (рис. 1). Запустить программу. Снять амплитудную характеристику усилителя. Амплитуду входного сигнала увеличивать до появления видимых искажений на выходе усилителя. По полученным данным построить амплитудную характеристику, рассчитать коэффициент усиления и динамический диапазон.

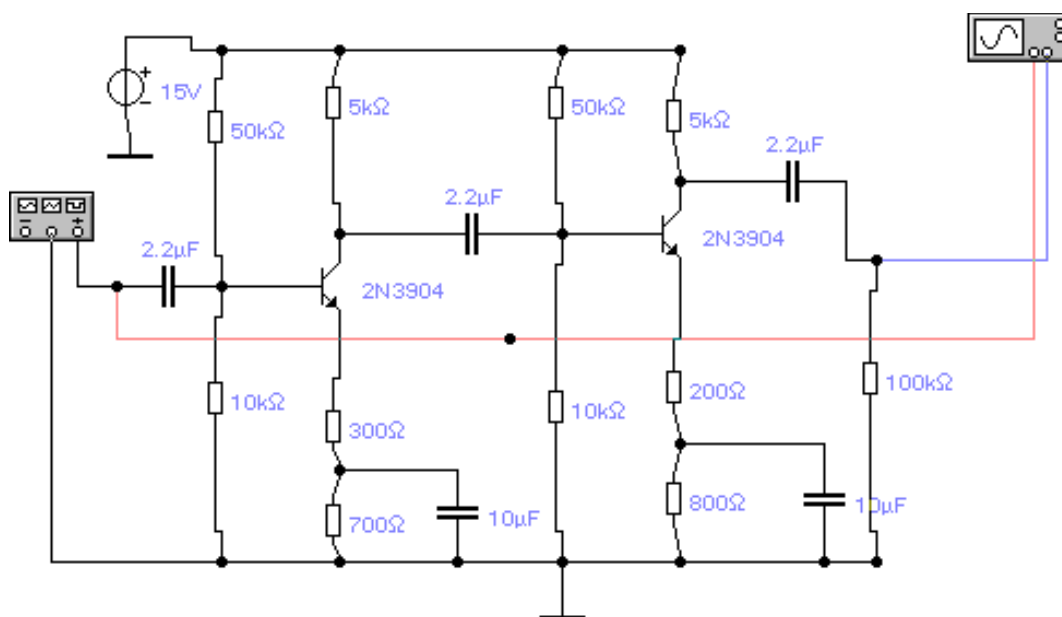


Рисунок 1 – Схема исследуемого усилителя

3. Удалить осциллограф, выставить на поле анализатор спектра, подключить в схему (рис. 2).
4. Активизировать панель анализатора спектра путем осуществления двойного щелчка левой кнопкой мыши в момент нахождения ее на поле анализатора (вместо стрелки появляется рука с указательным пальцем).
5. Включить установку путем перевода переключателя Bode из состояния «0» в состояние «1».

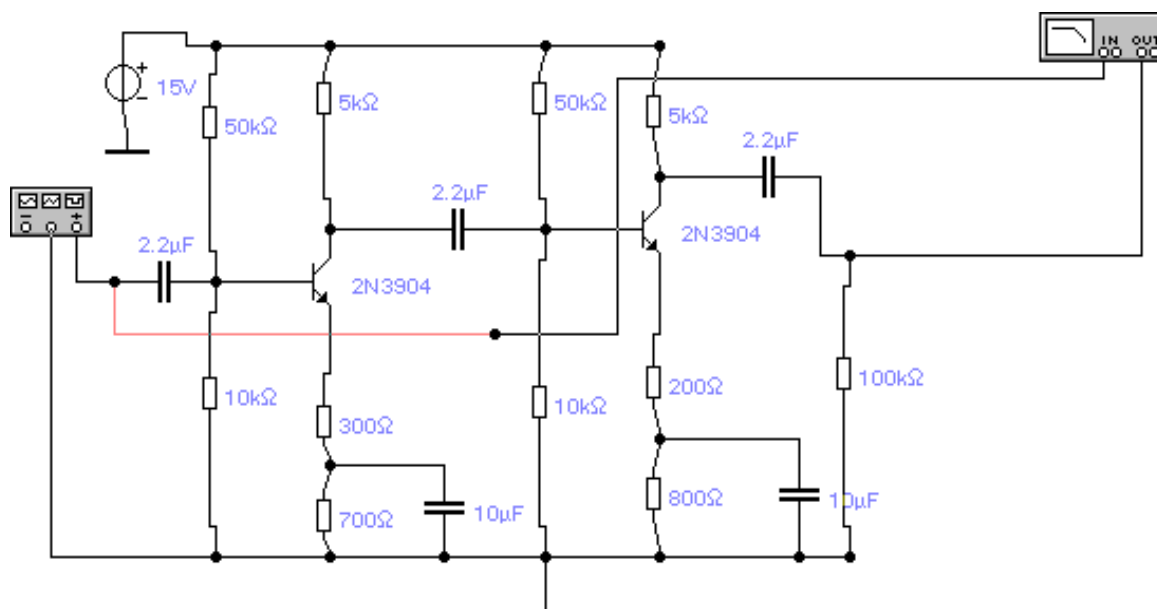


Рисунок 2 – Схема для снятия АЧХ усилителя

6. Снять АЧХ усилителя, определив в обязательном порядке значение коэффициента усиления в контрольных точках K_0 , $0,7K_0$, f_n , f_v .
7. Последовательно установить значения разделительных конденсаторов $C_p = 0,5C_{pн}$, $C_p = 0,1C_{pн}$, повторить измерения по п. 6.
8. Подключить параллельно нагрузке паразитную емкость номиналом $C_{пар} = 10$ пФ, установить значение $C_p = C_{pн}$, выполнить измерения по п.6.
9. Повторить измерения по п.8, установив $C_{пар} = 100$ пФ, $C_{пар} = 1000$ пФ.
10. Оформить отчет, указав в нем название работы, фамилию и инициалы студента, цель работы, привести схему исследуемого УНЧ, вид амплитудной и амплитудно-частотной характеристик усилителя для всех измерений, сделать выводы.

Задание 2. Экспериментально определить влияние шунтирующего конденсатора в эмиттерной цепи на характер поведения АЧХ усилителей.

Порядок выполнения работы:

1. Открыть Electronics Workbench.
2. Открыть файл 3STA_AMP.ca4. Собрать схему усилителя переменного тока, охваченного отрицательной обратной связью (рис. 1).

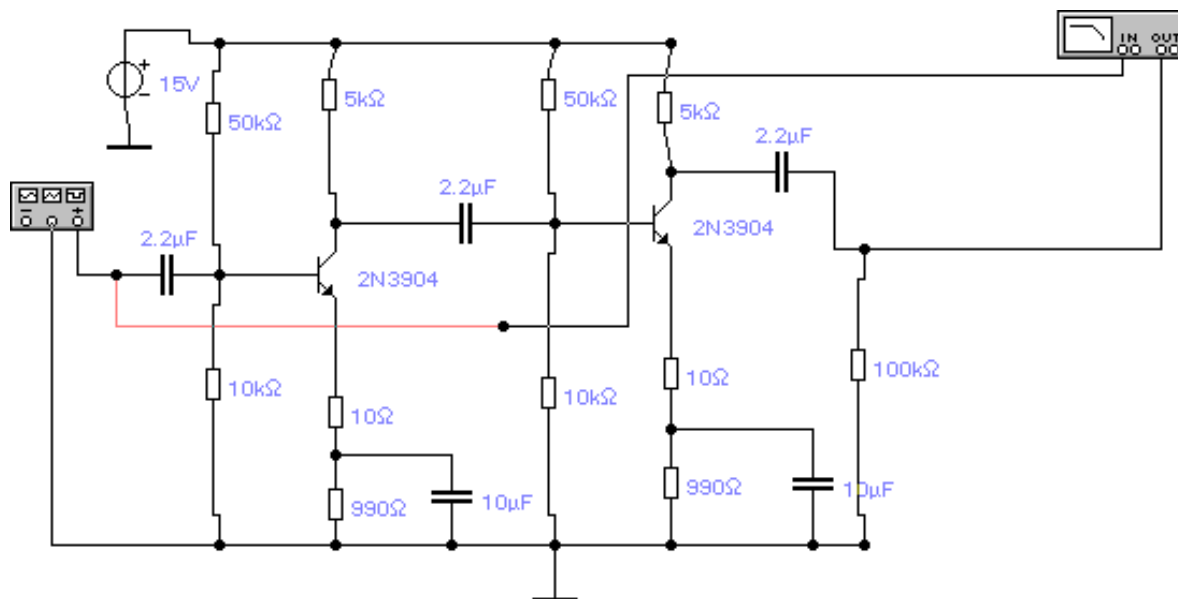


Рисунок 1 – Схема усилителя переменного тока

3. Активизировать панель анализатора спектра путем осуществления двойного щелчка левой кнопкой мыши в момент нахождения ее на поле анализатора (вместо стрелки появляется рука с указательным пальцем).
4. Включить установку путем перевода переключателя Mode из состояния «0» в состояние «1».
5. Снять АЧХ усилителя, определив в обязательном порядке значение коэффициента усиления в контрольных точках K_0 , $0,7K_0$, f_n , f_v .
6. Последовательно установить значения шунтирующего конденсатора (в обоих каскадах одновременно) в цепи эмиттера $C_{ш} = 0,7C_{ш\ n}$, $C_{ш} = 0,3C_{ш\ n}$ и $C_{ш} = 2C_{ш\ n}$, повторить измерения по п. 5.
7. Оформить отчет, указав в нем название работы, фамилию и инициалы студента, цель работы, привести схемы, таблицы для всех измерений, сделать выводы.
8. Изучить теоретический материал по теме. Представить к защите оформленный отчет.

Содержание отчета

Отчет лабораторной работы должен содержать:

1. Титульный лист (с фамилиями исполнителей, номером группы)
2. Цель работы.
3. В соответствии с порядком проведения работы должны быть приведены:
 - схема;
 - расчетные формулы; результаты расчетов;
 - таблица экспериментальных данных;
 - результаты сравнения экспериментальных и расчетных данных;
 - выводы по работе.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО МОДУЛЯТОРА ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Цель работы: Изучить теоретические сведения об амплитудной модуляции. Исследовать параметры амплитудного модулятора гармонических сигналов.

Вопросы занятия:

Теоретические сведения об амплитудной модуляции.

Исследование амплитудного модулятора гармонических сигналов.

Содержание занятия

Одним из основных элементов радиопередающего устройства является модулятор. Электрический сигнал на выходе модулятора является формой представления сообщения для передачи его системой электросвязи. Чтобы передать сигнал системе электросвязи, необходимо воспользоваться каким-либо переносчиком, согласованным с каналом связи, промодулированным по

закону изменения исходного сигнала. Для этого используются так называемые модуляторы. Начнем с наиболее простой модуляции — амплитудной и соответственно устройство для получения амплитудно-модулированного сигнала применяется амплитудный модулятор (АМ).

Прежде чем приступить к рассмотрению схемы АМ, немного теории.

1. Теоретические сведения об амплитудной модуляции.

Модуляцией называется процесс, в результате которого происходит изменение параметра или параметров сигнала-переносчика (несущего колебания) пропорционально другому сигналу (модулирующему), называемому сигналом сообщения.

Процесс преобразования первичного сигнала заключается в изменении одного или нескольких параметров несущего колебания по закону изменения первичного сигнала (т.е. в наделении несущего колебания признаками первичного сигнала) и называется модуляцией.

Гармоническое колебание, выбранное в качестве несущего, в следующем виде:

$$U_0(t) = U_{m, \text{вх}, 0} \cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

Это колебание полностью характеризуется тремя параметрами: амплитудой U , частотой ω и начальной фазой φ . Модуляцию можно осуществить изменением любого из трех параметров по закону передаваемого сигнала.

В качестве модулирующего сигнала воздействует такое же гармоническое колебание, но с меньшей частотой:

$$S(t) = U_{m, \Omega} \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega}) \quad (2)$$

Таким образом на входе модулятора действует сигнал:

(3)

На выходе амплитудного модулятора в этом случае должен быть получен сигнал вида

$$u_{\text{вых}}(t) = U_{m, \text{вых}, 0} [1 + M \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega})] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (4)$$

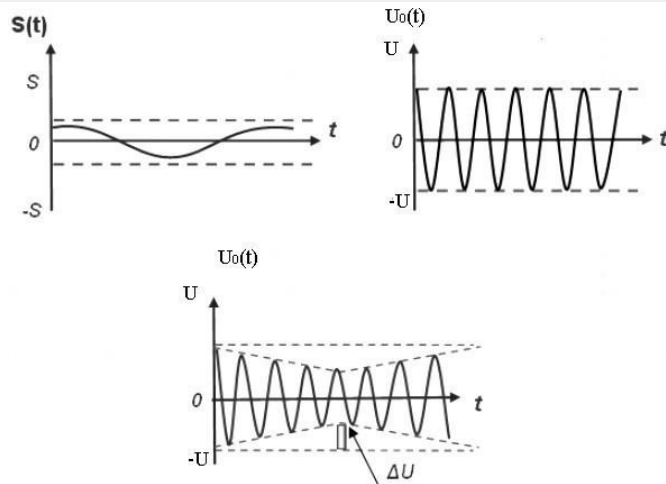


Рисунок 1 - Передаваемый сигнал $S(t)$, несущее колебание $U_0(t)$, без модуляции и с модуляцией, модулированный сигнал (в).

Параметр $M = \Delta U / U$ есть нечто иное как глубина амплитудной модуляции или коэффициентом (индексом) амплитудной модуляции $M_{\text{ам}}$. При $M_{\text{ам}} = 0$ модуляции нет и $u(t) = u_0(t)$, т.е. получается немодулированное несущее колебание (1). Обычно амплитуда несущего выбирается больше амплитуды первичного сигнала, так что $M_{\text{ам}} < 1$.

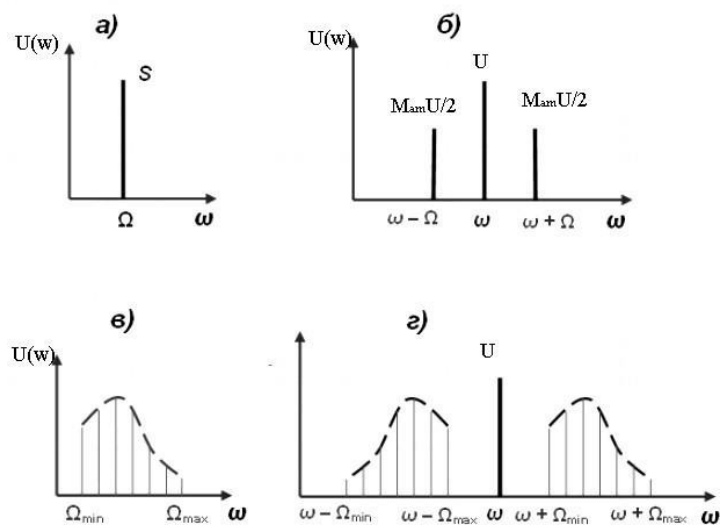


Рисунок 2 - Спектры синусоидального (а) и сложного (в) сигналов и модулированных ими по амплитуде несущих колебаний (б и г).

На рисунке 2 показана форма передаваемого сигнала (а) несущего колебания до модуляции (б) и модулированного по амплитуде несущего колебания (в).

Произведя в (3) преобразования, получим, что амплитудно-модулированное колебание состоит из суммы трех гармонических составляющих с частотами ω , $(\omega + \Omega)$ и $(\omega - \Omega)$ и амплитудами соответственно U , $M_{ам}U/2$ и $M_{ам}U/2$.

$$u(t) = U \cos \omega t + (M_{ам} U / 2) \cos (\omega + \Omega) t + (M_{ам} U / 2) \cos (\omega - \Omega) t$$

Таким образом, спектр амплитудно-модулированного колебания (или АМ-колебания) состоит из частоты несущего колебания и двух боковых частот, симметричных относительно несущей, с одинаковыми амплитудами (рис.2, б). Спектр первичного сигнала $s(t)$ приведен на рис.2, а.

Если первичный сигнал сложный и его спектр ограничен частотами Ω_{min} и Ω_{max} (см. рис.2, в), то спектр АМ – колебания будет состоять из несущего колебания и двух боковых полос, симметричных относительно несущей (см. рис.2, г).

Анализ энергетических соотношений показывает, что основная мощность АМ - колебания заключена в несущем колебании, которое не содержит полезной информации. Нижняя и верхняя боковые полосы несут одинаковую информацию и имеют более низкую мощность

Характеристики модуляторов

Основными характеристиками модуляторов являются модуляционная и частотная.

Модуляционная характеристика представляет собой зависимость отклонения информационного параметра несущей от воздействующего постоянного модулирующего напряжения U_m . При гармонической несущей и применении амплитудного модулятора это отклонение амплитуды U_m .

В идеальном случае модуляционная характеристика должна быть линейной (рисунок 3) однако реальная характеристика имеет отклонения. Эти отклонения приводят к нелинейным искажениям модулированного сигнала. По данной характеристике определяют качественные показатели модулятора (амплитуду модулирующего сигнала).



Рисунок 3 - модуляционная характеристика модулятора

Частотная характеристика представляет собой зависимость основного параметра модулированного сигнала от частоты модулирующего гармонического сигнала $u_m(t)$. Для гармонической несущей такими параметрами являются коэффициент M_{AM} при АМ,

Идеальная частотная характеристика имеет постоянное значение на всех частотах (рисунок 4). Реальная характеристика имеет отклонения, что приводит к частотным искажениям. По частотной характеристике определяют частотные свойства модулятора (полосу пропускания модулятора).



Рисунок 4 - Частотная характеристика модулятора

Модуляционная и частотная характеристики снимаются экспериментально.

Формирование амплитудно-модулированных сигналов

Однотактный амплитудный модулятор на диоде

В состав данного модулятора входит диод (нелинейный элемент) и полосовой фильтр (рисунок 5). Нелинейный элемент в схеме необходим так как модуляция связана с изменением спектра сигнала.

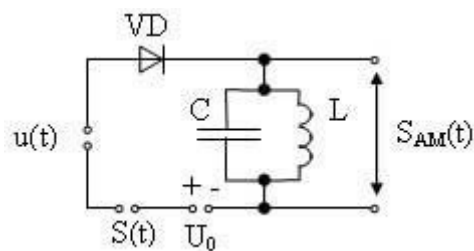


Рисунок 5- Принципиальная электрическая схема однотактного амплитудного модулятора на диоде

На диод VD, вольтамперная характеристика которого аппроксимирована полиномом второй степени, подаются три напряжения:

напряжение смещения U_0 , напряжения модулирующего сигнала ($u(t)$) и несущего ($S(t)$) колебания.

В результате воздействия входных сигналов на нелинейный элемент с кусочно-линейной аппроксимацией в токе последнего появляются гармоники и комбинационные составляющие входных сигналов, а именно составляющие с частотами:

$\Omega, \omega_0, 2\omega_0, 3\omega_0, \dots, \omega_0 \pm \Omega, 2\omega_0 \pm \Omega, \dots$ (смотри рис. 6).

Составляющие с частотами $\omega_0 \pm \Omega$ образуют требуемое амплитудно-модулированное колебание. Оно должно быть выделено полосовым фильтром со средней частотой, равной несущей, и полосой пропускания, достаточной для выделения составляющих с частотами $\omega_0 \pm \Omega$

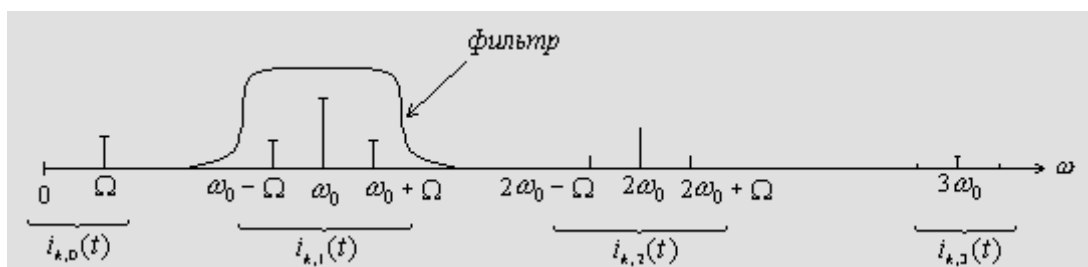


Рисунок 6

Для выделения необходимых составляющих сигнала на выходе АМ устанавливается полосовой фильтр настроенный на частоту несущей с полосой пропускания $\omega_0 \pm \Omega$

Амплитудный модулятор на транзисторе

Данный модулятор (рисунок 7) используется для формирования больших амплитуд.

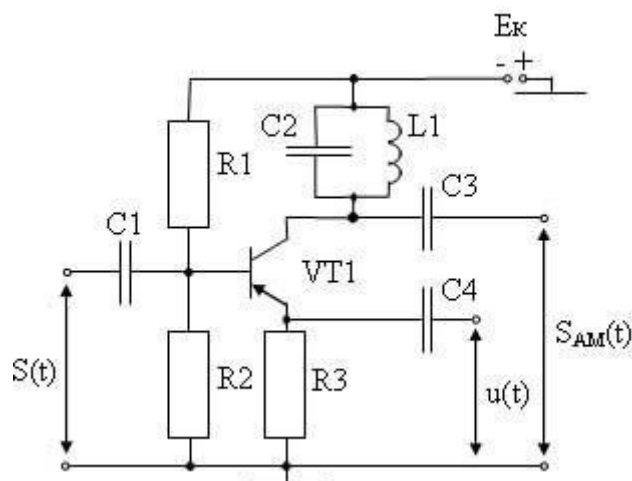


Рисунок 7 - Принципиальная электрическая схема амплитудного модулятора на транзисторе

В модуляторе в качестве нелинейного элемента используется транзистор (VT), включенный по схеме с общим эмиттером. Нагрузкой транзистора является колебательный контур C2 L1, который используется в качестве полосового фильтра и настраивается на частоту первой гармоники несущего колебания ω_0 . Также модулятор содержит делитель напряжения R1 R2 подающий напряжение смещения для выбора положения рабочей точки транзистора, резистор R3 обеспечивающий температурную стабилизацию рабочей точки, разделительные конденсаторы C1, C3, C4 разделяющие ток питания от тока сигнала. Модулирующий сигнал подается на эмиттер транзистора. Несущее колебание вместе с напряжением смещения поступают на базу VT. Модулированный сигнал снимается с коллектора.

Достоинством данного модулятора является высокий КПД, т. к. транзистор работает в режиме отсечки коллекторного тока. Временные диаграммы сигналов схемы, поясняющие процесс формирования АМ сигнала в режиме отсечки коллекторного тока показаны на рисунке 8.

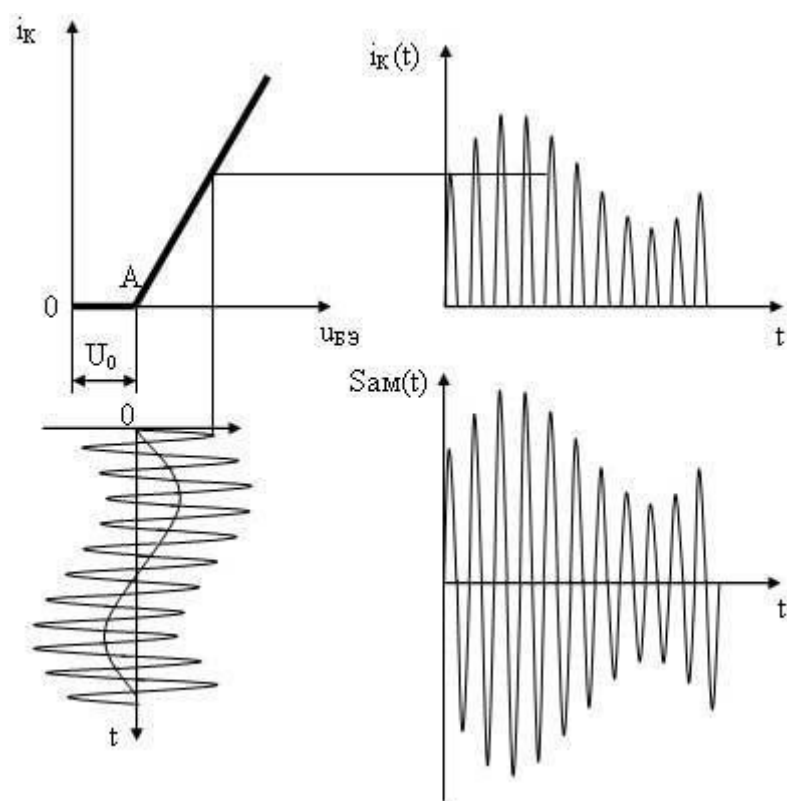


Рисунок 8.

Описание функций EWB 5.12 необходимых для выполнения лабораторной работы.

Для выполнения лабораторной работы необходимо знать как осуществляется построение графика АЧХ и анализ Фурье в среде Electronics Workbench.

Построение графика АЧХ.

Для построения графика АЧХ используют команду анализ AC Frequency которая располагается на вкладке «Меню Analysis».

AC Frequency - частотный анализ схемы по переменному току. При этом сначала производится анализ схемы по постоянному току (как в DC Operating Point) для получения линейных, с маленьким сигналом моделей для всех нелинейных компонентов схемы и точки смещения напряжения. Затем создается комплексная матрица (содержащая и реальные и мнимые компоненты схемы). При построении матрицы источникам постоянного тока

придаются нулевые значения. Источники переменного тока, конденсаторы, и катушки индуктивности представлены их моделями переменного тока. Нелинейные компоненты представлены линейными моделями маленького сигнала переменного тока, полученными по результатам анализа схемы по постоянному току.

Все входные источники рассматриваются, как синусоидальные. Частота источников игнорируется. Если используемый генератор функций установлен на квадратную или треугольную форму волны, во время анализа он будет автоматически переключен (для внутреннего представления) на синусоидальную форму волны.

Затем производится расчет ответа схемы по переменному току как функции частоты.

Допущения: аналоговые устройства, малосигнальные; цифровые компоненты обрабатываются как большие сопротивления (резисторы) относительно "земли".

Замечание. Узлы, находящиеся внутри подсхем, не могут быть выбраны для анализа.

Выполнение анализа:

1. Рассмотрите вашу схему и остановитесь на узлах для анализа. Вы можете задать амплитуду и фазу источника тока для анализа AC Frequency. Для этого произведите двойной щелчок на выбранном источнике и перейдите на закладку Analysis Setup в открывшемся меню.

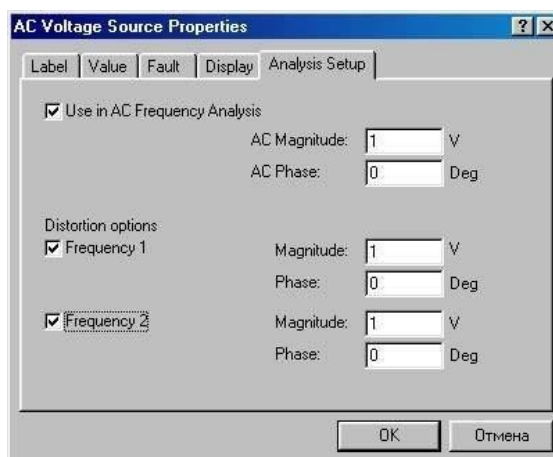


Рисунок 9. Закладка Analysis Setup

2. Выберите Analysis/AC Frequency.
3. Произведите необходимые установки в открывшемся диалоговом окне рис. 10 (не забудьте указать анализируемый узел).

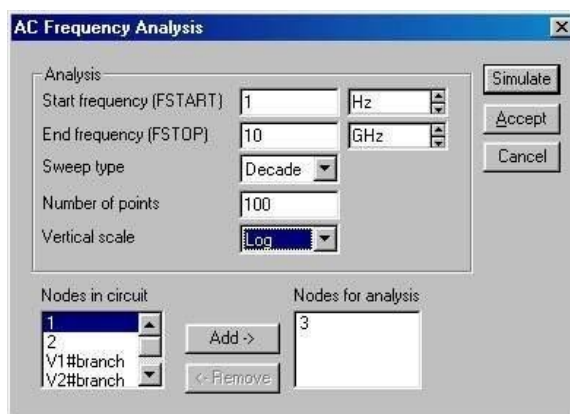


Рисунок 10. Выбран 3-й узел.

4. Нажмите клавишу Simulate (Моделирование). Для остановки анализа (при необходимости) нажмите ESC.

Результат частотного анализа схемы по переменному току показан на двух графиках (рис. 11): усиление в зависимости от частоты и фаза в зависимости от частоты. Эти графики появляются, когда анализ закончился.

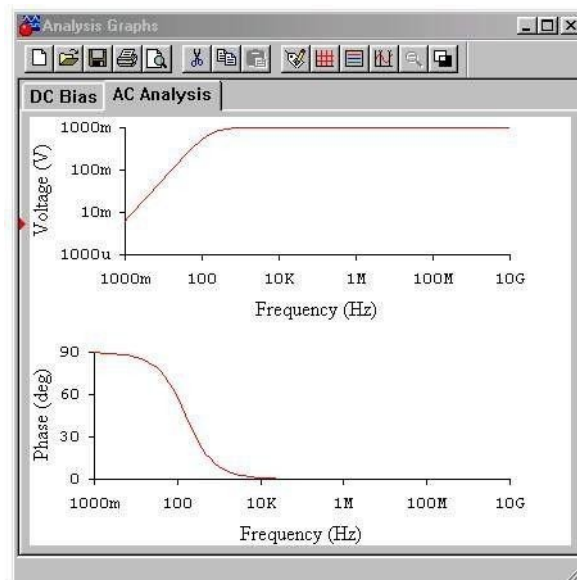


Рисунок 11

Анализ Фурье

Команда выполняет анализ Fourier. Fourier - анализ Фурье, оценивает постоянную составляющую, основную и гармонические компоненты периодического сигнала. Анализ выполняет Дискретное Преобразование Фурье этого сигнала. Производится преобразование формы волны периодического напряжения в ее частотные компоненты. Electronics Workbench автоматически выполняет анализ периодического сигнала, чтобы произвести анализ Фурье.

Вы должны выбрать выходной узел в окне диалога. Выходная переменная - узел, в котором производится анализ формы волны напряжения.

Анализ также требует задание основной частоты, которая должна быть установлена в частоту источника переменного тока в вашей схеме. Если Вы имеете несколько источников переменного тока в вашей схеме, Вы можете установить основную частоту в значение наименьшего общего множителя частот. Например, если Вы имеете источник 10.5 кГц и источник 7 кГц, установите основную частоту в 0.5 кГц при этом надо учитывать, что частоты первого и второго источника должны быть кратны друг другу с коэффициентом частоты которую вы установили в поле Fundamental

Frequency. В противном случае вы не уведете гармоники принадлежащие частотам генераторов

Значения следующих параметров могут быть определены произвольно:

- число частотных компонентов, показанных между гармониками,
- частота осуществления выборки,
- параметры анализа периодического сигнала, на котором выполняется

дискретный анализ Фурье.

Если не указаны, эти параметры рассчитываются автоматически.

Замечание. Узлы, находящиеся внутри подсхем, не могут быть выбраны для анализа.

Выполнение анализа:

1. Рассмотрите вашу схему и остановитесь на узлах для анализа.
2. Выберите Analysis/Fourier.
3. Произведите необходимые установки в открывшемся диалоговом окне рис. 12 (не забудьте указать анализируемый узел).

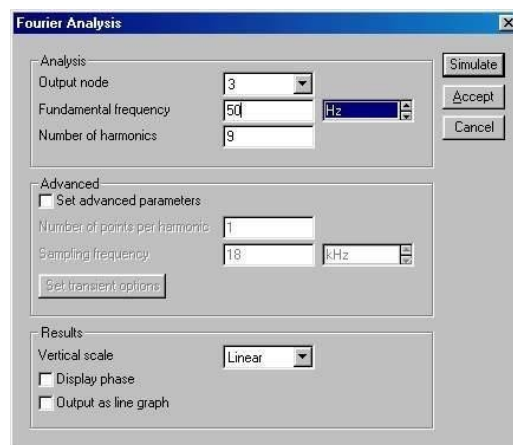


Рисунок 12. Окно анализа Фурье

4. Нажмите клавишу Simulate (Моделирование). Для остановки анализа (при необходимости) нажмите ESC.

Анализ Фурье выводит график амплитуд частотных компонентов (гармоник) Фурье (рис. 13.) и, произвольно, значения фаз компонентов, в зависимости от частоты. По умолчанию график амплитуд представлен в виде гистограмм, но может быть задан, чтобы быть отображен в виде линии.

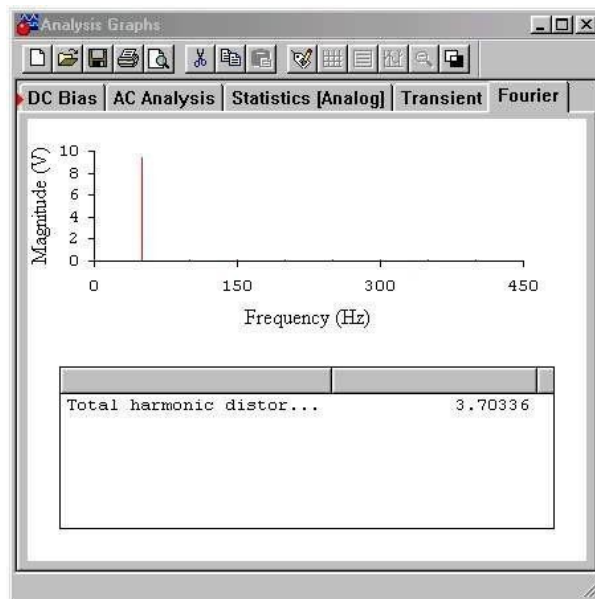


Рисунок 13

Схема АМ модулятора.

Схема исследуемого амплитудного модулятора представлена на рис. 14

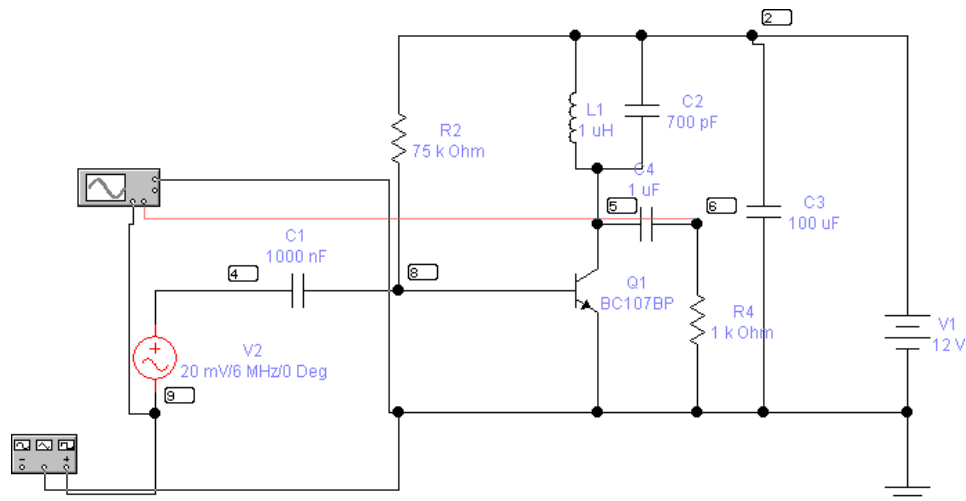


Рисунок 14-Принципиальная схема АМ модулятора

Практическая часть

1. запустить программу Electronics Workbench и собрать схему представленную на рис. 14.
2. установить амплитуду генератора V1 как указано на рис.14.
3. частоту универсального генератора установить равной 3 КГц, выходное напряжение 10 мВ.

4. с помощью команды построения АЧХ проверить что контур в коллекторе транзистора настроен на резонанс. Полученный график зарисовать
5. с помощью команды построения Фурье, построить спектр сигнала на выходе модулятора. График зарисовать.
6. изменяя уровень сигнала модулирующего генератора от 1 мВ до 80 построить график модуляционной характеристики модулятора (рис. 3).
7. установить на выходе модулирующего генератора уровень сигнала 30 мВ.
8. изменяя частоту модулирующего генератора от 150 Гц до 100 кГц заполнить таблицу 1 и построить график частотной характеристики модулятора (рис. 4).

Таблица 1.

Частота генератора	15 0 Гц	17 0	18 0	20 0	25 0	50 0	80 0	1кГ ц	1 0	2 0	3 0	4 0	4 5	5 0	10 0
Коэффицие нт Мам															

Содержание отчета

1. краткое содержание теоретической части.
2. схема исследуемого модулятора.
3. результаты экспериментов и графики построенные по этим результатам
4. таблица 1.
5. выводы.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: построение схемы и изучения принципа работы генератора гармонических колебаний

Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое генератор гармонических колебаний? Каково его основное назначение?
2. Нарисуйте структурную схему автогенератора. Поясните назначение элементов схемы.
3. Назовите условия самовозбуждения генератора. Расскажите подробно о каждом из них.
4. Поясните понятия «мягкий» и «жесткий» режимы самовозбуждения.
5. Как получить на выходе синусоидальный сигнал определённой частоты?
6. Назовите причины, вызывающие нарушения стабильности частоты автогенератора.
7. Что такое кварцевый резонатор?
8. Нарисуйте схему и поясните работу LC-автогенератора с индуктивной связью.
9. Нарисуйте схему и поясните работу трехточечных схем автогенератора. По каким формулам определяется частота генерации?
10. В каких случаях применяются RC-генераторы.
11. Нарисуйте и поясните схему RC-генератора с мостом Вина.
12. Нарисуйте и поясните схему RC-генератора с двойным T-образным мостом.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему автогенератора, изображенного на рисунке 12.1

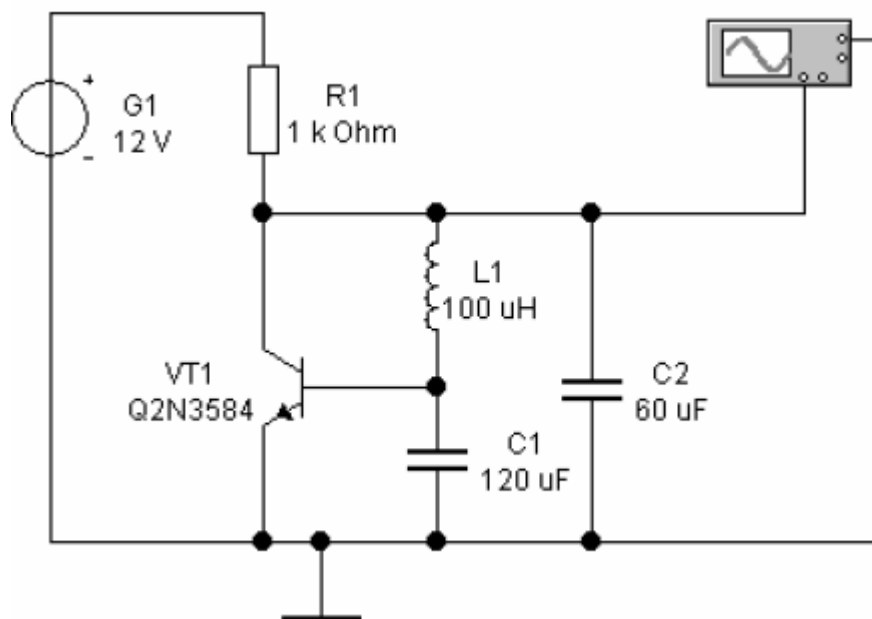


Рисунок 1 Схема для исследования автогенератора, собранного по схеме емкостной трехточки.

2. Установить значение параметров элементов в соответствии со схемой (рекомендуется использовать полученные при расчете).
3. Включить схему.
4. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.
5. Остановить процесс.
6. Нажать на осциллографе кнопку Expand.
7. На экране можно просмотреть запись осциллограммы, начиная от момента включения схемы (рисунок 12.2)

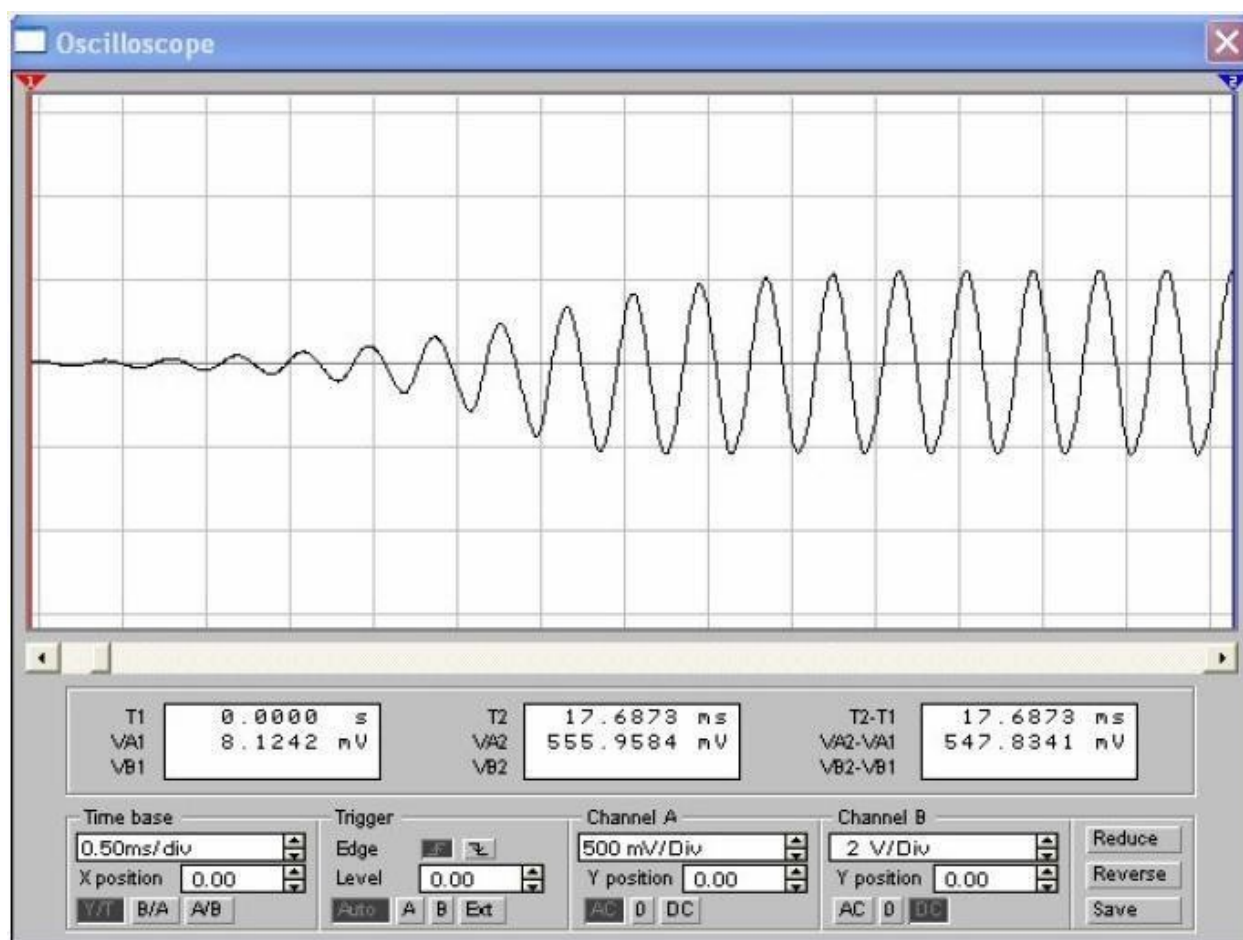


Рисунок 2 – Наблюдение самовозбуждения генератора

8. Произвести расчет схемы для заданной частоты (Предлагается преподавателем или рассчитывается по формуле $f = [\text{Ваш номер по журналу}] \times 1000 \text{ Гц}$)
9. Подставить в схему полученные значения.
10. Повторить пункты 3-6.
11. Установить маркеры 1 и 2 (синий и красный) так, как показано на рисунке 12.4, добиваясь, чтобы разность $VA2-VA1$ была как можно ближе к нулю.
12. Определив период колебаний из строки $T2-T1$, рассчитать частоту генерации и сравнить результаты с расчетными.
13. Собрать схему автогенератора, изображенную на рисунке 12.3

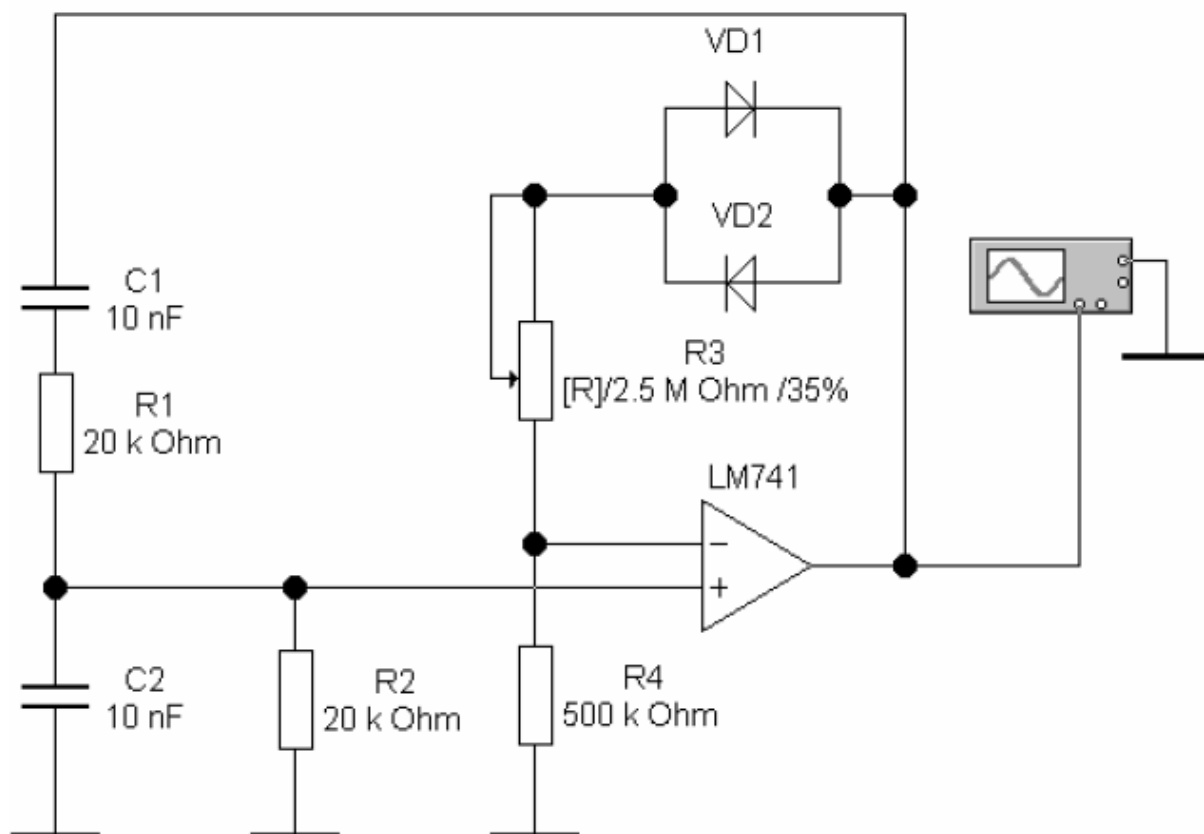


Рисунок 3 Схема для исследования автогенератора на ОУ с мостом Вина

14. Установить параметры элементов в соответствии со схемой.
15. Включить схему.
16. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.
17. Настроить генератор, изменяя сопротивление переменного резистора с помощью клавиши [R] (уменьшение сопротивления) и комбинации [Shift]+[R] (увеличение сопротивления)
18. Остановить процесс.
19. Нажать на осциллографе кнопку Expand.
20. Установить маркеры 1 и 2 (синий и красный) так, как показано на рисунке 4, добиваясь, чтобы разность $VA2-VA1$ была как можно ближе к нулю.

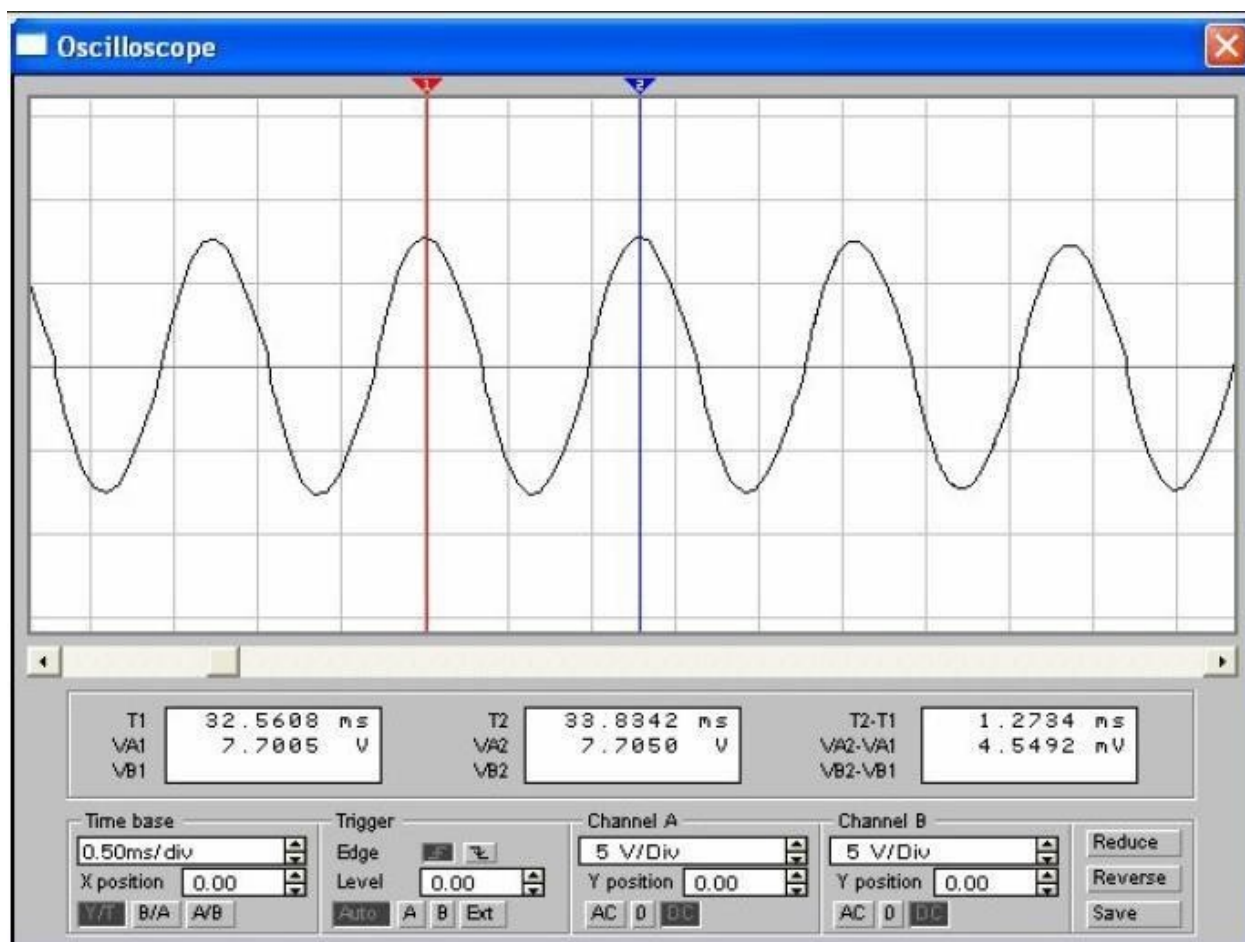


Рисунок 4 – Показания осциллографа

21. Определив период колебаний из строки T2-T1, рассчитать частоту генерации.
22. Рассчитать частоту генерации, используя параметры элементов схемы. Сравнить результаты с полученными опытным путем.
23. Сделать вывод.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: построение схемы и изучения принципа работы генератора гармонических колебаний

Вопросы для самоподготовки:

13. Что такое генератор гармонических колебаний? Каково его

основное назначение?

14. Нарисуйте структурную схему автогенератора. Поясните назначение элементов схемы.
15. Назовите условия самовозбуждения генератора. Расскажите подробно о каждом из них.
16. Поясните понятия «мягкий» и «жесткий» режимы самовозбуждения.
17. Как получить на выходе синусоидальный сигнал определённой частоты?
18. Назовите причины, вызывающие нарушения стабильности частоты автогенератора.
19. Что такое кварцевый резонатор?
20. Нарисуйте схему и поясните работу LC-автогенератора с индуктивной связью.
21. Нарисуйте схему и поясните работу трехточечных схем автогенератора. По каким формулам определяется частота генерации?
22. В каких случаях применяются RC-генераторы.
23. Нарисуйте и поясните схему RC-генератора с мостом Вина.
24. Нарисуйте и поясните схему RC-генератора с двойным T-образным мостом.

Порядок выполнения работы

2. Собрать схему автогенератора, изображенного на рисунке

12.1

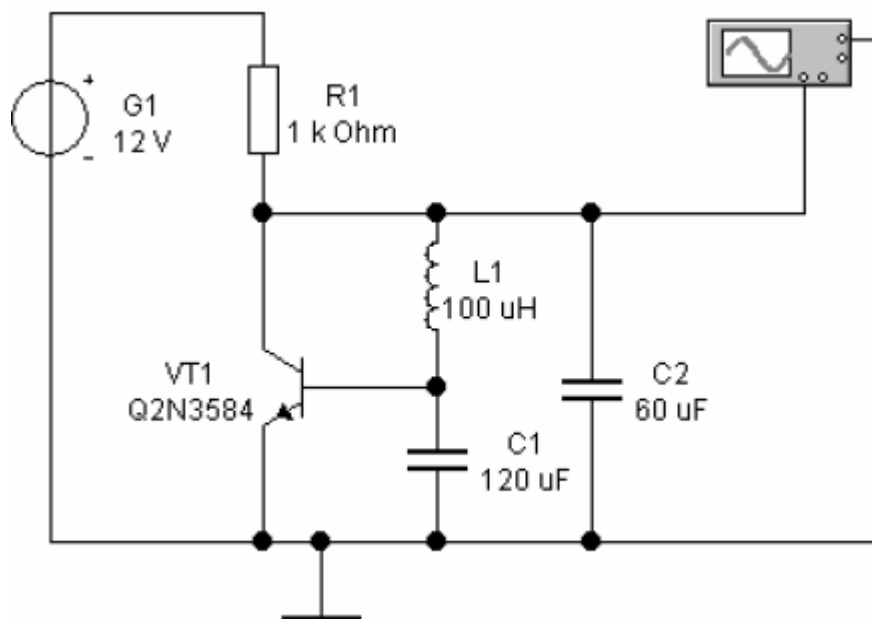


Рисунок 1 Схема для исследования автогенератора, собранного по схеме емкостной трехточки.

2. Установить значение параметров элементов в соответствии со схемой (рекомендуется использовать полученные при расчете).
3. Включить схему.
4. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.
5. Остановить процесс.
6. Нажать на осциллографе кнопку Expand.
7. На экране можно просмотреть запись осциллограммы, начиная от момента включения схемы (рисунок 12.2)

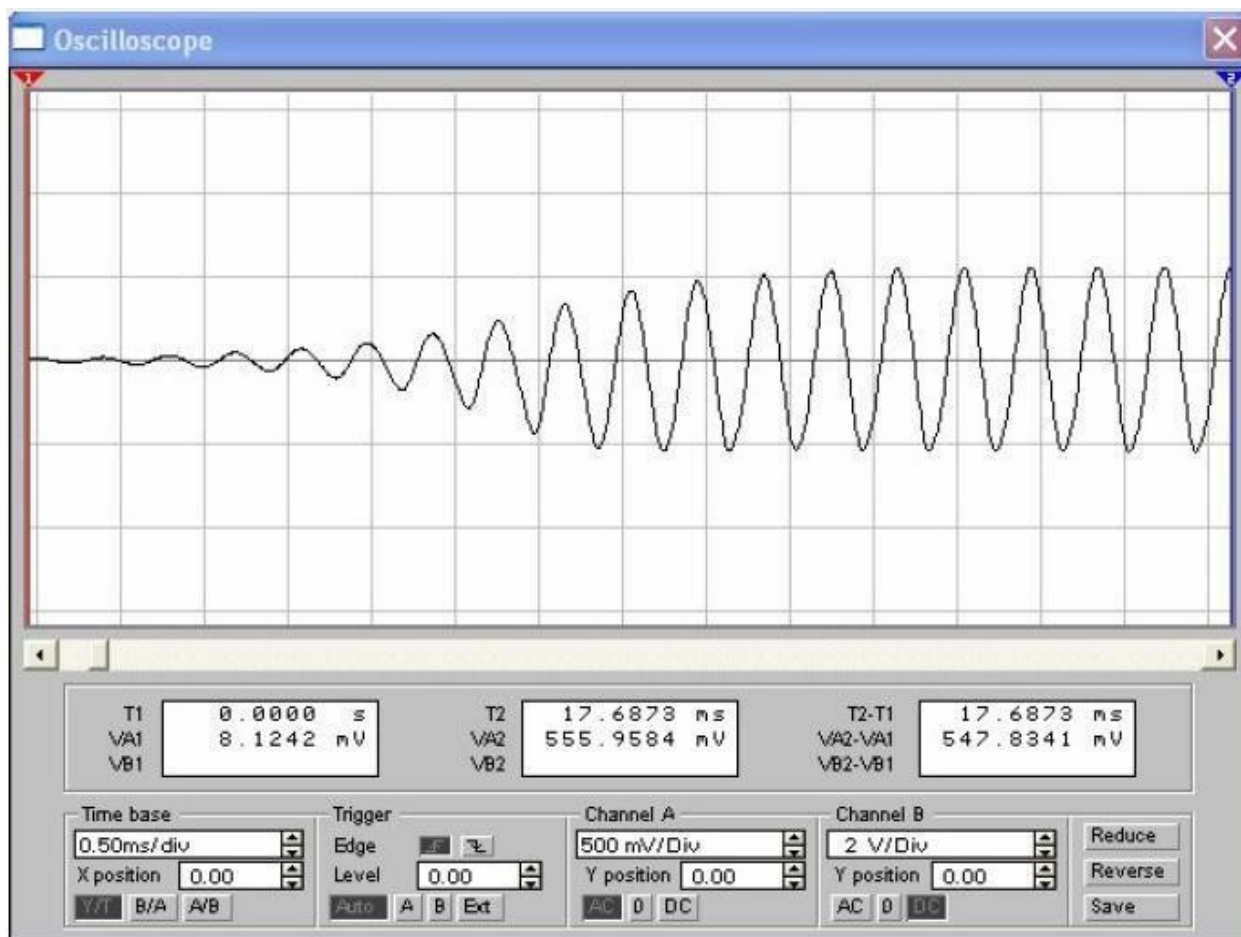


Рисунок 2 – Наблюдение самовозбуждения генератора

8. Произвести расчет схемы для заданной частоты (Предлагается преподавателем или рассчитывается по формуле $f = [\text{Ваш номер по журналу}] \times 1000 \text{ Гц}$)
9. Подставить в схему полученные значения.
10. Повторить пункты 3-6.
11. Установить маркеры 1 и 2 (синий и красный) так, как показано на рисунке 12.4, добиваясь, чтобы разность $VA2-VA1$ была как можно ближе к нулю.
12. Определив период колебаний из строки $T2-T1$, рассчитать частоту генерации и сравнить результаты с расчетными.
13. Собрать схему автогенератора, изображенную на рисунке 12.3

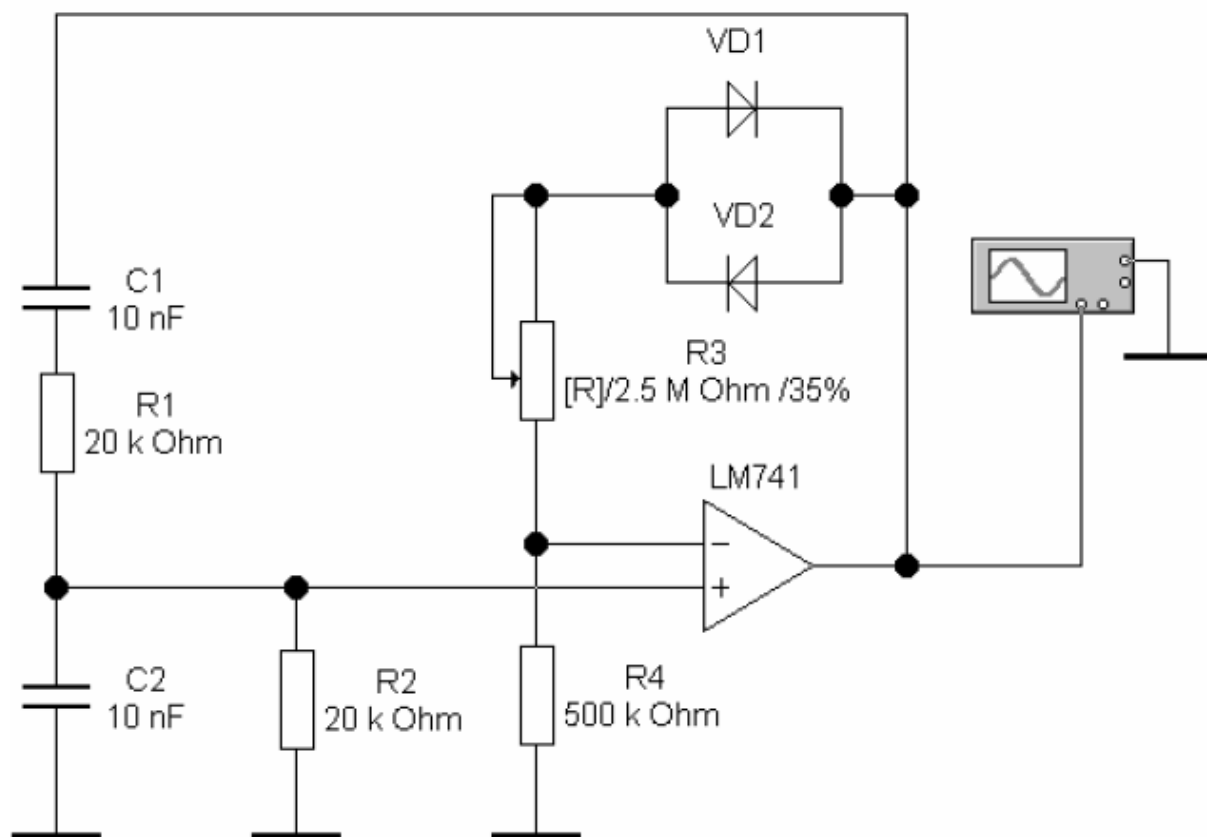


Рисунок 3 Схема для исследования автогенератора на ОУ с мостом Вина

24. Установить параметры элементов в соответствии со схемой.
25. Включить схему.
26. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.
27. Настроить генератор, изменяя сопротивление переменного резистора с помощью клавиши [R] (уменьшение сопротивления) и комбинации [Shift]+[R] (увеличение сопротивления)
28. Остановить процесс.
29. Нажать на осциллографе кнопку Expand.
30. Установить маркеры 1 и 2 (синий и красный) так, как показано на рисунке 4, добиваясь, чтобы разность $VA2-VA1$ была как можно ближе к нулю.

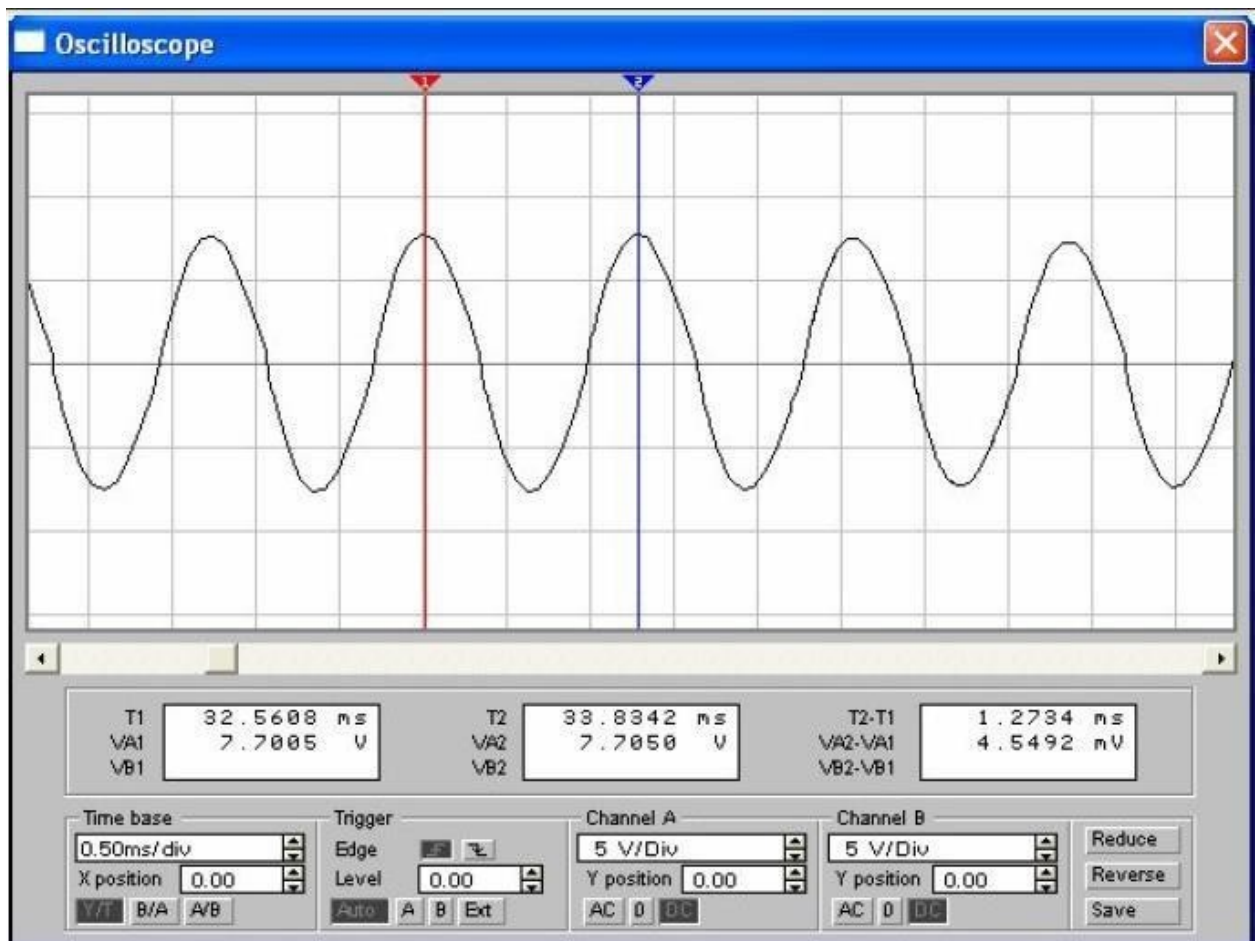


Рисунок 4 – Показания осциллографа

31. Определив период колебаний из строки T2-T1, рассчитать частоту генерации.
32. Рассчитать частоту генерации, используя параметры элементов схемы. Сравнить результаты с полученными опытным путем.
33. Сделать вывод.

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ШИФРАТОРОВ И ДЕШИФРАТОРОВ

Цель работы

1. Изучить принципы построения и функционирования базовых логических элементов «И», «НЕ», «двойное инвертирование».
2. Освоить практически правила составления таблиц истинности,

булевых выражений и других способов описания функционирования указанных базовых логических элементов.

3. Изучить принципы построения и функционирования базовых логических элементов «И-НЕ», «ИЛИ».

4. Освоить практически правила составления таблиц истинности, булевых выражений и других способов описания функционирования указанных базовых логических элементов.

5. Изучить принципы построения и функционирования базовых логических элементов «ИЛИ-НЕ», «исключающее ИЛИ».

6. Освоить практически правила составления таблиц истинности, булевых выражений и других способов описания функционирования указанных базовых логических элементов.

7. Изучить принципы построения и функционирования преобразователей кодов (шифраторов и дешифраторов).

8. Освоить практически правила построения и функционирования схем шифраторов и дешифраторов.

Подготовка к выполнения лабораторной работы

На представленных схемах изображены: источники питания, логические схемы; ключи управления входными уровнями для логических схем и сигнализация, отображающая состояние уровней на входах и выходах логических схем. Обозначения (сигнализация): незакрашенный кружок соответствует низкому уровню (логическому нулю), закрашенный кружок – высокому уровню (логической единице). Управление ключами (сигналами) осуществляется с клавиатуры в соответствии с обозначениями ключей: [A], [B], [C] и т.д. или цифрами [0], [1], [2] и т.д. (для шифраторов и дешифраторов). Во всех лабораторных работах принята положительная логика - высокому уровню (+5 В) соответствует логическая единица, низкому уровню (0 В, «земля») – логический ноль.

Исследование базового логического элемента «И»

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать

схему логического элемента «И»:

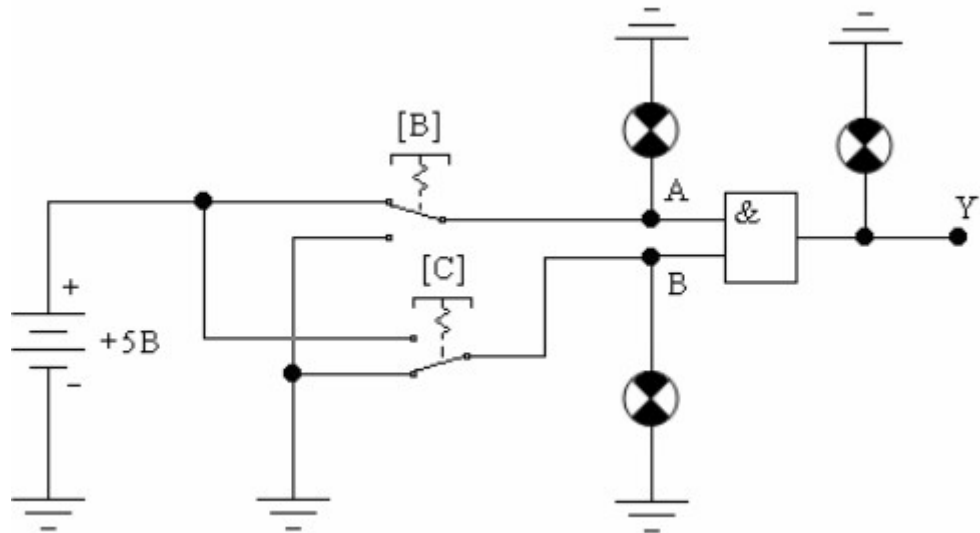


Рисунок 1 – логический элемент «И»

2. Установить ключами [B] и [C] (с клавиатуры) на обоих входах A и B логического элемента «И» логические нули (низкие уровни, земля «0»). Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента (ноль или единица). Указанные состояния занести в таблицу 1.

3. Установить ключами [B] и [C] на входе A уровень логической единицы, а на входе B – логического нуля. Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента. Занести в таблицу 1.

4. Установить ключами [B] и [C] на входе A уровень логического нуля, а на входе B – логической единицы. Зафиксировать состояния выхода Y логического элемента. Занести данные в таблицу 1.

5. Установить ключами [B] и [C] на входе A и B уровни логической единицы. Зафиксировать состояние выхода Y и занести данные в таблицу 1.

6. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 1

Номер процедуры	Входы				Выход	
	B		A		Y	
	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал
6.2.						
6.3.						
6.4.						
6.5.						

Примечание: уровень напряжения: высокий - +5В; низкий – «0» (земля); двоичный сигнал: 1 - логическая единица (высокий уровень); 0 – логический нуль (низкий уровень). В графы таблицы заносить слова «высокий», «низкий», 0, 1.

7. Дать словесное описание результатов исследования функционирования логического элемента «И».

8. Написать булево выражение, отображающее функционирование двоичного логического элемента «И».

9. Привести условные графические обозначения двоичного логического элемента «И».

10. Привести таблицу истинности для двоичного логического элемента «И» (по результатам эксперимента).

Исследование базового логического элемента «НЕ» (инвертор)

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему логического элемента «НЕ»:

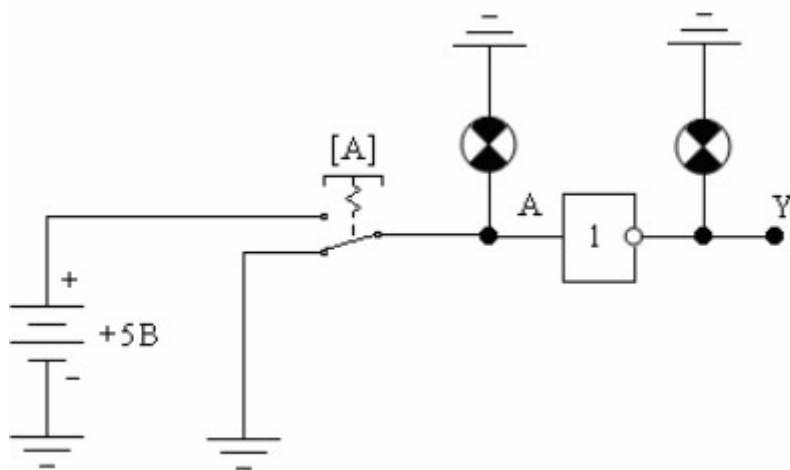


Рисунок 2 – логический элемент «НЕ»

2. Установить ключом [A] (с клавиатуры) на входе логического элемента низкий уровень (логический нуль). Зафиксировать состояние выхода логического элемента Y. Результаты занести в таблицу 2.

3. Установить ключом [A] (с клавиатуры) на входе логического элемента высокий уровень (логическую единицу, +5В); зафиксировать

состояние выхода Y. Результаты занести в таблицу 2.

4. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 2

Номер процедуры	Вход		Выход	
	А		Y	
	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал
7.2.				
7.3.				

Примечание: уровень напряжения: высокий - +5В; низкий – «0» (земля); двоичный сигнал: 1 - логическая единица (высокий уровень); 0 – логический нуль (низкий уровень).

5. Дать словесное описание результатов исследования функционирования двоичного логического элемента «НЕ».

6. Написать булево выражение, отображающее функционирование двоичного логического элемента «НЕ».

7. Привести условные графические обозначения двоичного логического элемента «НЕ».

8. Привести таблицу истинности для двоичного логического элемента «НЕ» (по результатам эксперимента).

Исследование базового логического элемента «двойное инвертирование»

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему логического элемента «двойное инвертирование»:

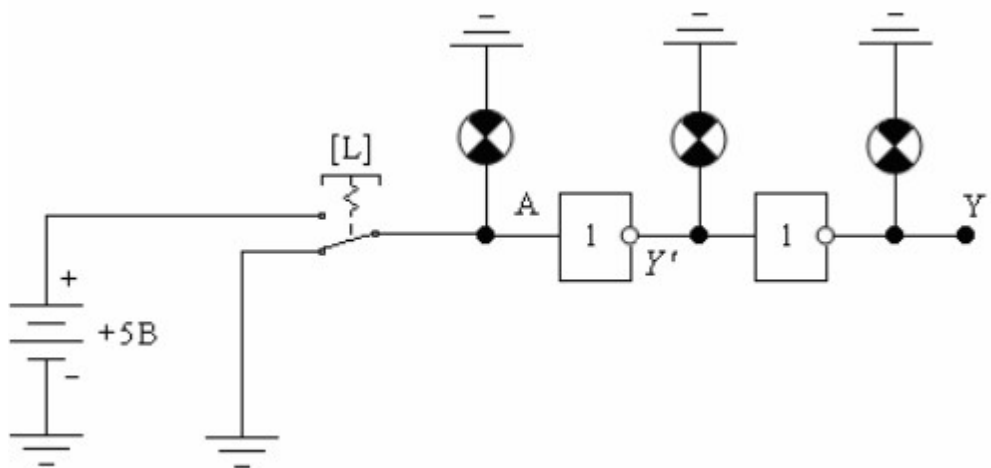


Рисунок 3 – схема логического элемента «двойное отрицание»

2. Установить ключом [L] (с клавиатуры) на входе А первого логического элемента «НЕ» низкий уровень (логический нуль). Зафиксировать состояние выходов первого Y' и второго Y элементов «НЕ». Результаты занести в таблицу 3.

3. Установить ключом [L] (с клавиатуры) на входе первого логического элемента «НЕ» высокий уровень (логическую единицу, +5В). Зафиксировать состояние выходов первого Y' и второго Y элементов «НЕ». Результаты занести в таблицу 3.

4. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 3

Номер процедуры	Вход		Выход		Выход	
	А		Y'		Y	
	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал
8.2.						
8.3.						

Примечание: уровень напряжения: высокий - +5В; низкий – «0» (земля); двоичный сигнал: 1 - логическая единица (высокий уровень); 0 – логический нуль (низкий уровень).

5. Дать словесное описание результатов исследования функционирования двоичного логического элемента «двойное инвертирование».

6. Написать булево выражение, отображающее функционирование двоичного логического элемента «двойное инвертирование».

7. Привести условные графические обозначения двоичного логического элемента «двойное инвертирование».

8. Привести таблицу истинности для двоичного логического элемента «двойное инвертирование» (по результатам эксперимента).

Исследование базового логического элемента «И-НЕ»

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему логического элемента «И-НЕ»:

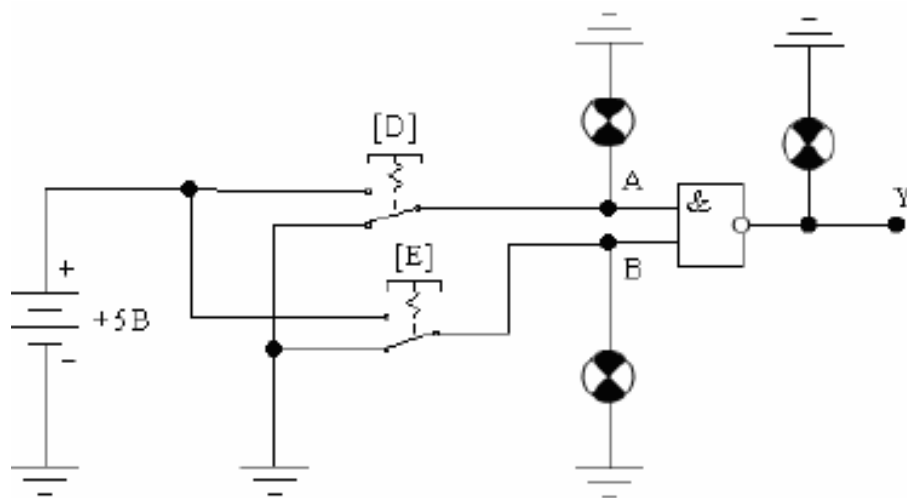


Рисунок 4 – схема логического элемента «И-НЕ»

2. Установить ключами [D] и [E] (с клавиатуры) на обоих входах A и B логического элемента «И-НЕ» низкие уровни (логические нули). Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента и занести результаты в таблицу 4.

3. Установить ключами [D] и [E] на входе A - высокий логический уровень, а на входе B – низкий логический уровень.

Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента. Занести в таблицу 4.

4. Установить ключами [D] и [E] на входе A - низкий логический уровень, а на входе B – высокий логический уровень. Зафиксировать состояния выхода Y логического элемента. Занести данные в таблицу 4.

5. Установить ключами [D] и [E] на входах A и B высокий логический уровень. Зафиксировать состояние выхода Y и занести данные в таблицу 4.

6. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 4

Номер процедуры	Входы				Выход	
	В		А		У	
	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал
6.2.						
6.3.						
6.4.						
6.5.						

Примечание: уровень напряжения: высокий - +5В; низкий – «0» (земля); двоичный сигнал: 1 - логическая единица (высокий уровень); 0 – логический нуль (низкий уровень). В графы таблицы заносить слова «высокий», «низкий», 0, 1.

7. Дать словесное описание результатов исследования функционирования логического элемента «И-НЕ».

8. Написать булево выражение, отображающее функционирование двоичного логического элемента «И-НЕ».

9. Привести условные графические обозначения двоичного логического элемента «И-НЕ».

10. Привести условное графическое обозначение элемента «И-НЕ» как обозначение двух отдельно соединенных элементов «И» и «НЕ».

11. Привести таблицу истинности для двоичного логического элемента «И-НЕ» с учетом (показом) требований пункта 10. (по результатам эксперимента).

Исследование базового логического элемента «ИЛИ»

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему логического элемента «ИЛИ»:

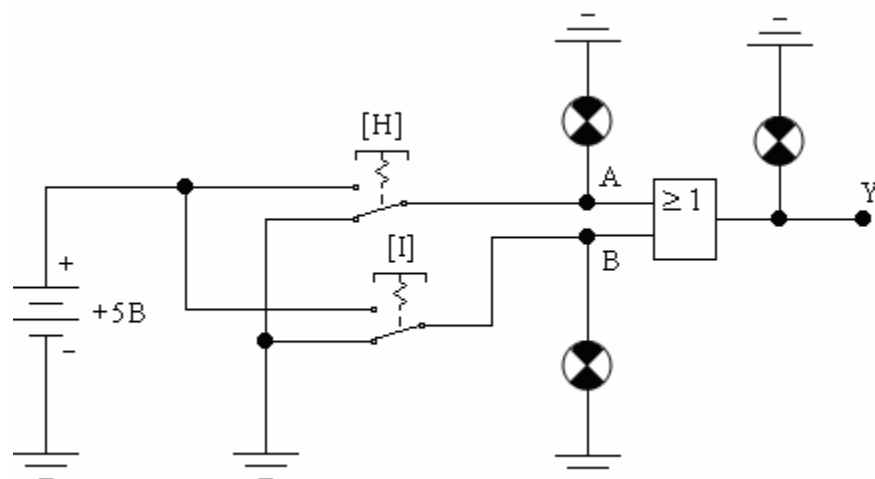


Рисунок 5 – схема логического элемента «ИЛИ»

2. Установить ключами [H] и [I] (с клавиатуры) на обоих входах A и B логического элемента «ИЛИ» логические нули (низкие уровни). Зафиксировать состояние выхода логического элемента Y. Результаты занести в таблицу 5.

3. Установить ключами [H] и [I] на входе A – уровень логической единицы (высокий уровень, +5В), а на входе B – уровень логического нуля. Зафиксировать состояние выхода Y. Результаты занести в таблицу 5.

4. Установить ключами [H] и [I] на входе A – уровень логического нуля, а на входе B – уровень логической единицы. Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента. Результаты занести в таблицу 5.

5. Установить ключами [H] и [I] на входах A и B уровни логической единицы. Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента. Результаты занести в таблицу 5.

6. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 5

Номер процедуры	Вход		Выход	
	A		Y	
	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал
7.2.				
7.3.				
7.4.				
7.5.				

Примечание: уровень напряжения: высокий - +5В; низкий – «0» (земля); двоичный сигнал: 1 - логическая единица (высокий уровень); 0 – логический нуль (низкий уровень).

7. Дать словесное описание результатов исследования функционирования двоичного логического элемента «ИЛИ».

8. Написать булево выражение, отображающее функционирование двоичного логического элемента «ИЛИ».

9. Привести условные графические обозначения двоичного логического элемента «ИЛИ».

10. Привести таблицу истинности для двоичного логического элемента «ИЛИ» (по результатам эксперимента).

Исследование базового логического элемента «ИЛИ-НЕ»

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему логического элемента «ИЛИ-НЕ»:

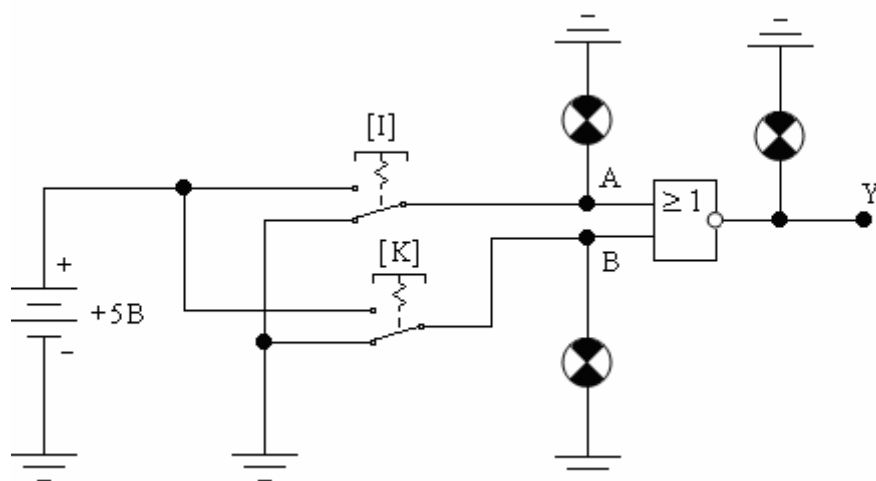


Рисунок 6 – схема логического элемента «ИЛИ-НЕ»

2. Установить ключами [J] и [K] (с клавиатуры) на обоих входах A и B логического элемента «ИЛИ-НЕ» логические нули (низкие уровни, земля «0»). Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента (нуль или единица). Указанные состояния занести в таблицу 6.

3. Установить ключами [J] и [K] на входе A уровень логической единицы (высокий уровень, +5В), а на входе B – логический нуль.

Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента. Занести в

таблицу 6.

4. Установить ключами [J] и [K] на входе А уровень логического нуля, а на входе В – логической единицы. Зафиксировать состояния выхода Y логического элемента. Занести данные в таблицу 6.

5. Установить ключами [J] и [K] на входе А и В уровни логической единицы. Зафиксировать состояние выхода Y и занести данные в таблицу 6.

6. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 6

Номер процедуры	Входы				Выход	
	В		А		Y	
	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал
6.2.						
6.3.						
6.4.						
6.5.						

Примечание: уровень напряжения: высокий - +5В; низкий – «0» (земля); двоичный сигнал: 1 - логическая единица (высокий уровень); 0 – логический нуль (низкий уровень). В графы таблицы заносить слова «высокий», «низкий», 0, 1.

7. Дать словесное описание результатов исследования функционирования логического элемента «ИЛИ-НЕ».

8. Написать булево выражение, отображающее функционирование двоичного логического элемента «ИЛИ-НЕ».

9. Привести условные графические обозначения двоичного логического элемента «ИЛИ-НЕ».

10. Привести условное графическое обозначение элемента «ИЛИ-НЕ» как соединение двух отдельно взятых элементов «ИЛИ» и «НЕ».

11. Привести таблицу истинности для двоичного логического элемента «ИЛИ-НЕ» с учетом (показом) требований пункта 10. (по результатам эксперимента).

Исследование базового логического элемента «исключающее ИЛИ»

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему логического элемента «исключающее ИЛИ»:

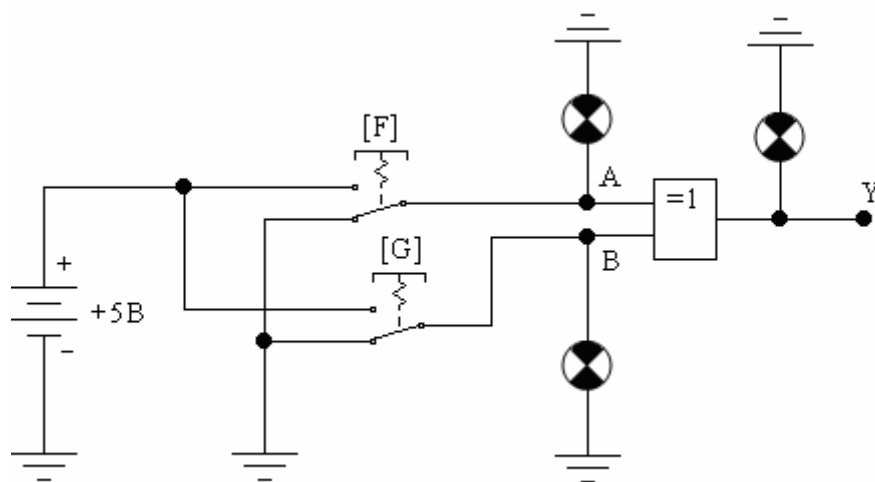


Рисунок 7 – схема логического элемента «исключающее «ИЛИ»

2. Установить ключами [F] и [G] (с клавиатуры) на обоих входах А и В логического элемента «исключающее ИЛИ» логические нули (низкие уровни). Зафиксировать состояние выхода логического элемента Y. Результаты занести в таблицу 7.

3. Установить ключами [F] и [G] на входе А – уровень логической единицы (высокий уровень, +5В), а на входе В – уровень логического нуля. Зафиксировать состояние выхода Y. Результаты занести в таблицу 7.

4. Установить ключами [F] и [G] на входе А – уровень логического нуля, а на входе В – уровень логической единицы. Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента. Результаты занести в таблицу 7.

5. Установить ключами [F] и [G] на входах А и В уровни логической единицы. Зафиксировать состояние выхода Y логического элемента. Результаты занести в таблицу 7.

7.6. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 7

Номер процедуры	Вход		Выход	
	А		Y	
	Уровень напряжения	Двоичный сигнал	Уровень напряжения	Двоичный сигнал
7.2.				
7.3.				
7.4.				
7.5.				

Примечание: уровень напряжения: высокий - +5В; низкий – «0» (земля); двоичный сигнал: 1 - логическая единица (высокий уровень); 0 – логический нуль (низкий уровень).

7. Дать словесное описание результатов исследования функционирования двоичного логического элемента «исключающее ИЛИ».

8. Написать булево выражение, отображающее функционирование двоичного логического элемента «исключающее ИЛИ».

9. Привести условные графические обозначения двоичного логического элемента «исключающее ИЛИ».

10. Привести таблицу истинности для двоичного логического элемента

«исключающее ИЛИ» (по результатам эксперимента).

Исследования принципов построения и функционирования шифраторов

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему шифратора 8×3 :

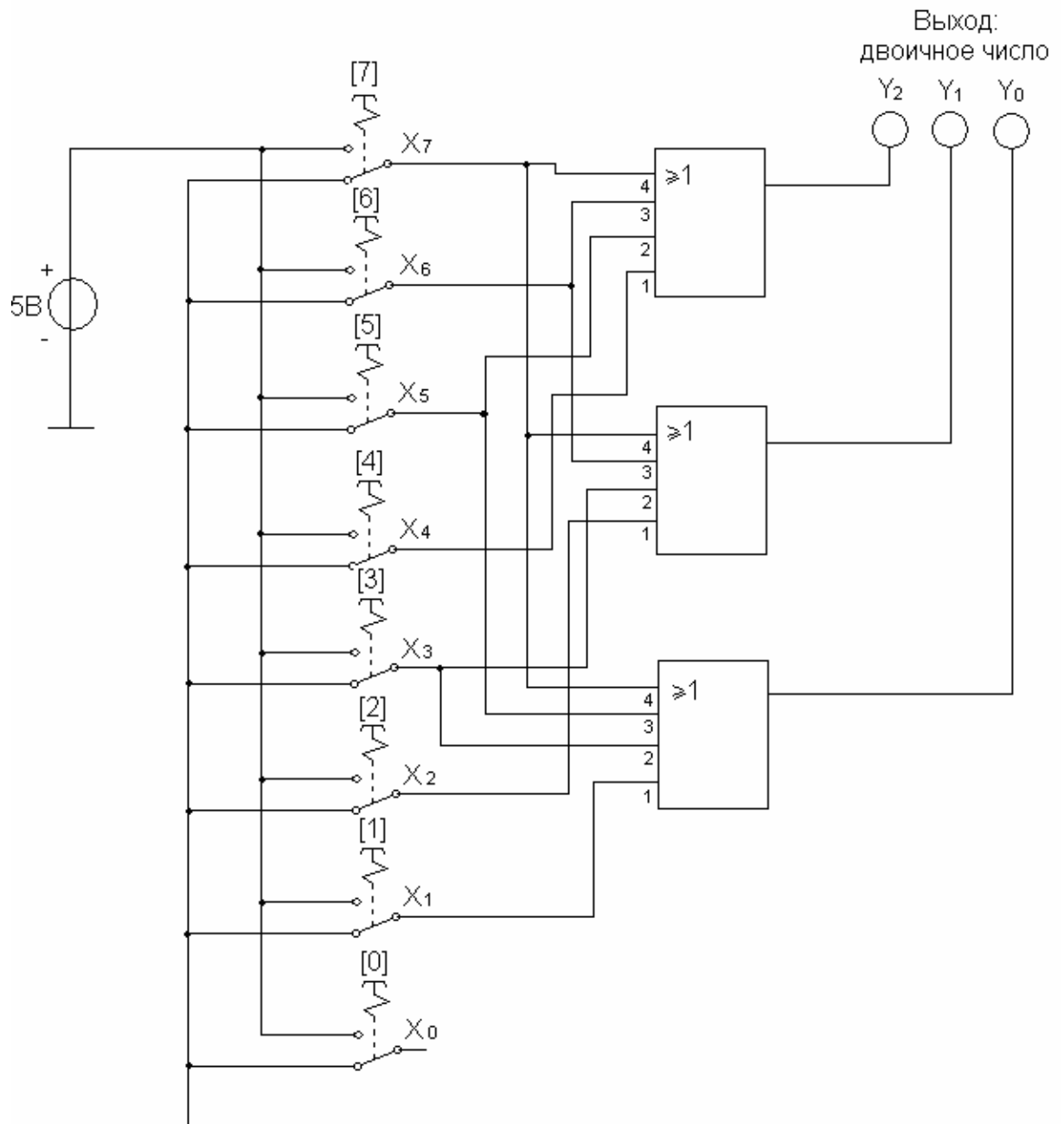


Рисунок 8 – схема шифратора 8×3

Примечания к схеме:

1. Нулевой провод в данной схеме является «вырожденным» (не влияет на работу схемы).
 2. Одновременное нажатие более чем на один ключ не допускается.
 3. Перед выбором другого какого-либо ключа необходимо ранее выбранный ключ вернуть в исходное положение.
2. Составить предварительно таблицу истинности для данной схемы (табл. 8).

Таблица 8

№ ключей	Входные сигналы								Выход (двоичный код)		
	X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1	X_0	Y_2	Y_1	Y_0
0											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

Примечание к таблице: в графах $X_0...X_7$ и $Y_0Y_1Y_2$ и заполнять значения: 1-логическая единица (высокий уровень); 0-логический ноль (низкий уровень).

3. Подавая (и снимая) ключами [1]...[7] (с клавиатуры) поочерёдно логические единицы на вход шифратора, записать состояния выходов $Y_0Y_1Y_2$ шифратора, соответствующие нажатым ключом. Заполнить данными таблицу 9

4. Кнопкой «0-1» выключить схему.
5. Сравнить данные эксперимента по табл. 9 с предварительными данными из табл.8. Объяснить результаты сравнения.

Примечание: при заполнении табл. 9 руководствоваться примечанием к табл. 8.

Таблица 9

№ ключей	Входные сигналы								Выход (двоичный код)		
	X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1	X_0	Y_2	Y_1	Y_0
0											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

6. 6. «Совместить» результаты таблицы 9 (или табл.8) со структурой построения шифратора.

Привести пояснения принципа построения соединений в схеме шифратора.

Исследования принципов построения и функционирования дешифраторов

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему дешифратора 3×8 :

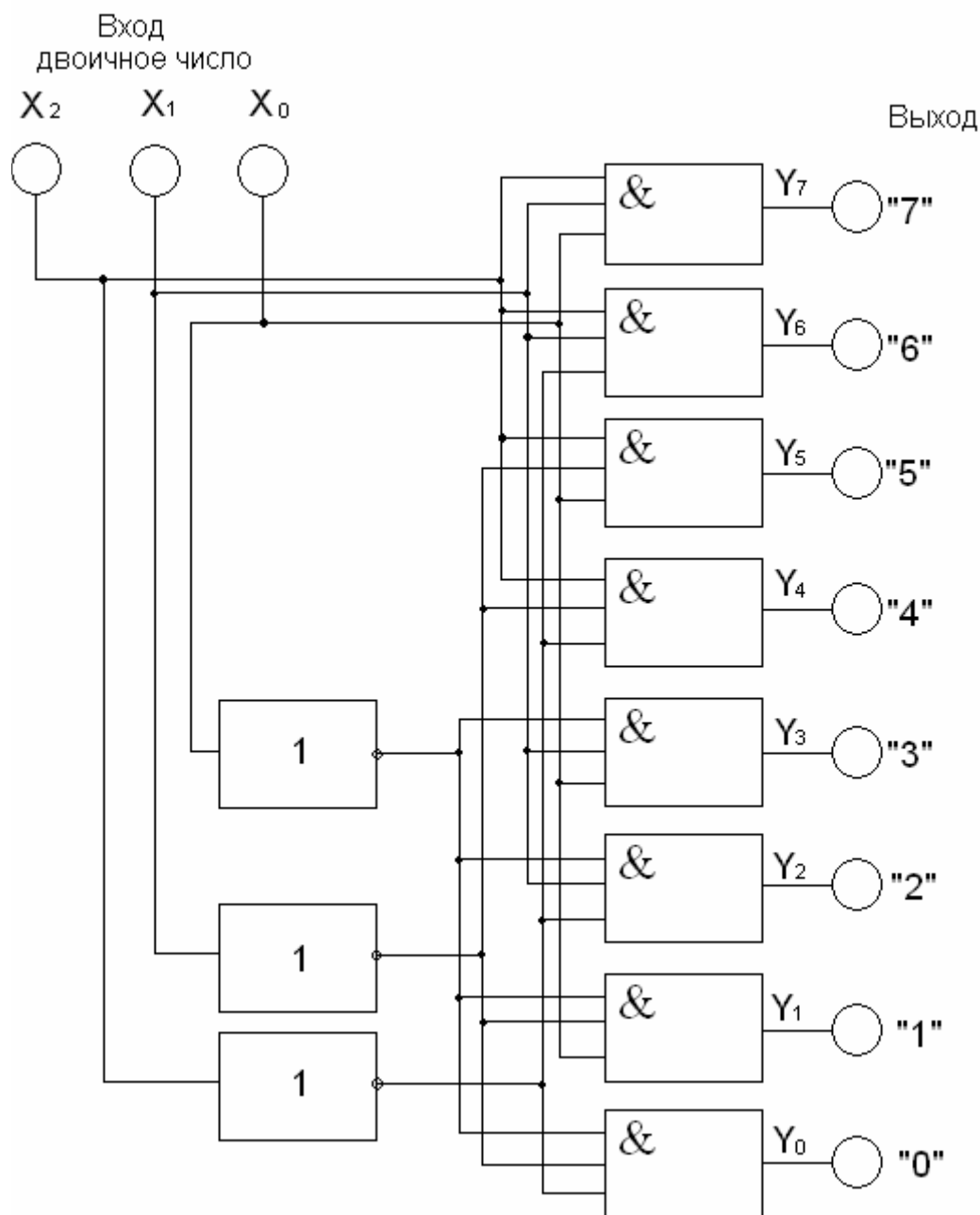


Рисунок 9 – схема дешифратора 3×8

Примечания к схеме:

1. Нулевой провод в данной схеме является «вырожденным» (не влияет на работу схемы).
2. Одновременное нажатие более чем на один ключ не допускается.
3. Перед выбором другого какого-либо ключа необходимо ранее выбранный ключ вернуть в исходное положение.

2. Составить предварительно таблицу истинности для данной схемы (табл. 10).

Таблица 10

[illegible]

Примечание к таблице: в графах $X_0...X_7$ и $Y_0Y_1Y_2$ заполнять значения:
1-логическая единица (высокий уровень); 0-логический нуль (низкий уровень).

3. Подавая (и снимая) ключами [1]...[7] (с клавиатуры) поочерёдно логические единицы на вход шифратора, записать состояния выходов $Y_0Y_1Y_2$ шифратора, соответствующие нажатым ключом. Заполнить данными таблицу

4. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 11

[illegible]

5. Сравнить данные эксперимента по табл. 11 с предварительными данными из табл. 10. Объяснить результаты сравнения.

Примечание: при заполнении табл. 11 руководствоваться примечанием к табл. 10.

6. «Совместить» результаты таблицы 11 (или табл. 10) со структурой построения шифратора.

Привести пояснения принципа построения соединений в схеме шифратора.

Исследования принципов построения и функционирования дешифраторов

1. Кнопкой «0-1» в правом верхнем углу монитора активизировать схему дешифратора 3×8 :

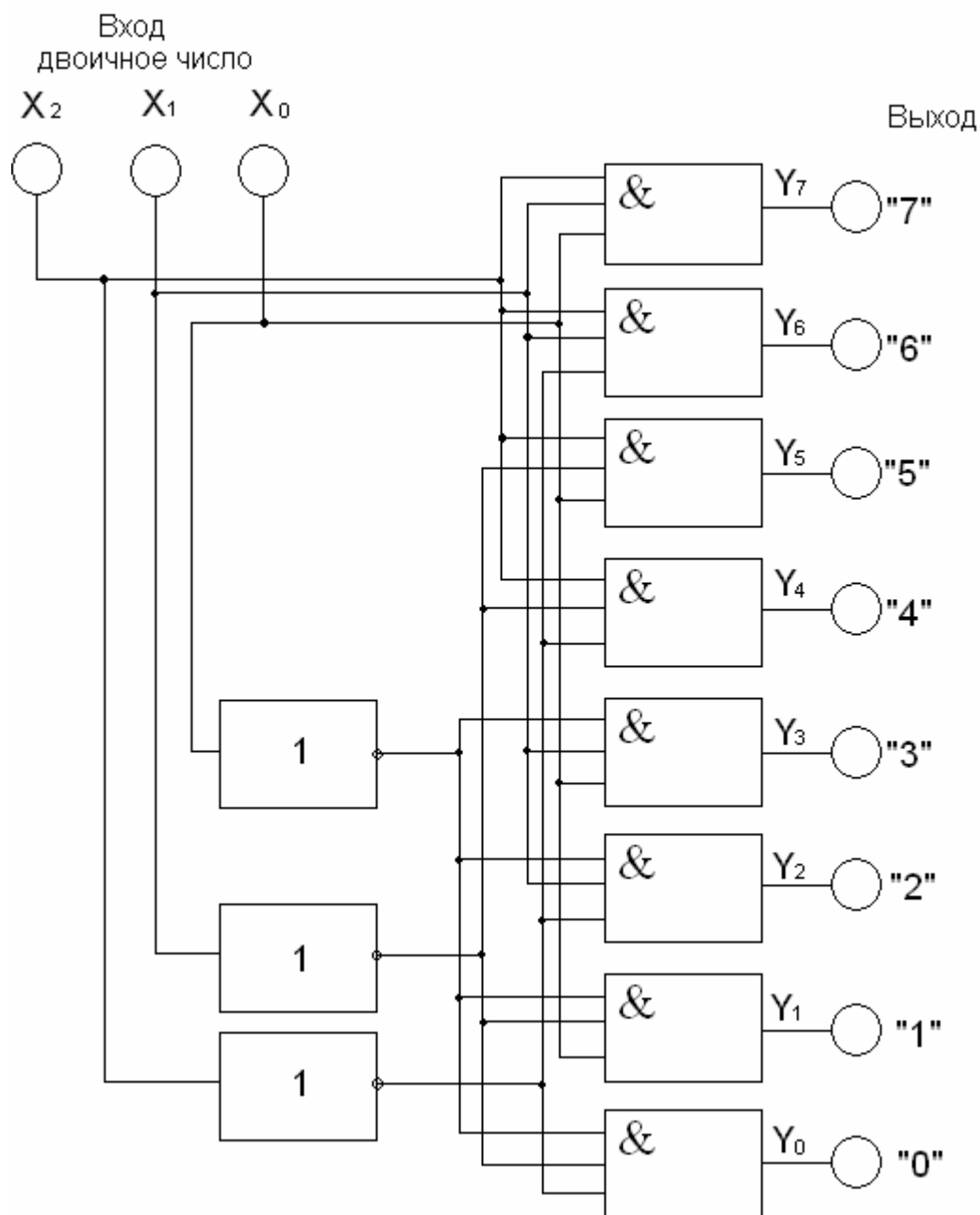


Рисунок 10 – схема дешифратора 3×8

Примечание к схеме изображённой на компьютере:

1. Одновременное нажатие более чем на один ключ не допускается.
2. Перед выбором другого какого-либо ключа необходимо ранее выбранный ключ вернуть в исходное положение.
2. Составить предварительно таблицу истинности для данной схемы дешифратора (табл. 12):

Таблица 12

№ ключей	Вход (двоичный код)			Выход (десятичное число)							
	X_2	X_1	X_0	Y_7	Y_6	Y_5	Y_4	Y_3	Y_2	Y_1	Y_0
0											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

Примечание: в графах X_2 X_1 X_0 и $Y_7... Y_0$ заполнять: 1-логическая единица (высокий уровень); 0-логический нуль (низкий уровень).

3. В соответствии со значениями двоичных чисел от (0) до (7) - значениями X_2 X_1 X_0 - задаваемыми на входе дешифратора ключами [0],[1], [2] (на клавиатуре), зафиксировать значения чисел, получаемых на выходе дешифратора $Y_7... Y_0$. Результаты занести в табл. 13.

4. Кнопкой «0-1» выключить схему.

Таблица 13

№ ключей	Вход (двоичный код)			Выход (десятичное число)							
	X_2	X_1	X_0	Y_7	Y_6	Y_5	Y_4	Y_3	Y_2	Y_1	Y_0
0											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

Примечание: в графах X_2 X_1 X_0 и $Y_7... Y_0$ заполнять: 1-логическая единица (высокий уровень); 0-логический нуль (низкий уровень).

5. Сравнить данные эксперимента по табл. 13 с предварительными данными из табл. 12. Объяснить результаты сравнения.

6. «Совместить» результаты таблицы 13 (или табл. 12) со структурой построения дешифратора.

Привести пояснения принципа построения соединений в схеме дешифратора.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист (с фамилиями исполнителей, номером группы) – см. приложение.

2. Цель работы.

3. В соответствии с порядком проведения лабораторной работы должны быть приведены:

- схема, условное графическое изображение устройства;;
- краткая теория работы схемы;
- булевы выражения, описывающие работу схем логических элементов;
- таблица истинности (для данной схемы);
- временные диаграммы, поясняющие работу устройства (для шифраторов и дешифратора)
- таблица экспериментальных данных;
- сравнения результатов эксперимента (экспериментальной таблицы истинности) с теоретическими данными.

4. Выводы.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИСТРОВ

Цель работы: Исследовать простейший сдвигающий регистр на D–триггерах, используя триггеры из контейнера **Se-quential**; исследовать универсальный регистр.

1.Краткая теория

Совокупность из нескольких триггеров, предназначенных для хранения двоичного кода, называется регистром. Введением дополнительной логики функциональные возможности регистров расширяются, обеспечивая возможность сдвига записанной информации в ту или иную сторону.

В соответствии с назначением различают регистры хранения, регистры сдвига и универсальные регистры.

По принципу хранения информации регистры делятся на статические и динамические. Статические регистры строят на потенциальных элементах памяти (триггерах), которые могут хранить записанную информацию сколько угодно долго (при наличии напряжения питания). Динамические регистры строят на элементах памяти такого типа, как конденсатор, которые могут хранить информацию лишь в течение некоторого промежутка времени. Поэтому в динамических регистрах необходима регенерация записанной информации.

Важнейшие характеристики регистров – разрядность и быстродействие. Разрядность определяется количеством триггеров. Быстродействие характеризуется максимальной тактовой частотой, с которой может производиться запись, чтение и сдвиг информации.

Наиболее широко распространены регистры сдвига, предназначенные для преобразования информации путём её сдвига под воздействием тактовых импульсов. Такие регистры представляют собой совокупность

последовательно соединённых триггеров, как правило, двухступенчатой структуры. По направлению сдвига информации различают регистры прямого сдвига (вправо, т.е. в сторону младшего разряда), обратного сдвига (влево, т. е. в сторону старшего разряда) и реверсивные, допускающие сдвиг в обоих направлениях.

В простейшем регистре триггеры соединены последовательно: выходы Q и $\bar{Q}$ предыдущего триггера передают бит данных на входы R и S последующего. Все тактовые входы C триггеров соединены параллельно. При таком включении единица, записанная в виде напряжений низкого и высокого уровней по входам R и S первого триггера, после подачи одного тактового импульса перейдёт во второй триггер, затем во время следующего тактового импульса она попадёт в третий триггер и так последует далее, до конца регистра.

Аналогично продвигается по регистру многоразрядное слово: оно поразрядно вводится на входы R и S первого триггера. Простейший регистр имеет один вход и один выход – последовательные. Вход управления также единственный – тактовый. Если ко входу каждого триггера добавить разрешающую логику, можно получить дополнительные, так называемые параллельные входы одновременной загрузки байта в регистр. Здесь, как правило, используют дополнительные защёлки, где фиксируются данные, поступившие на входы после прихода тактового импульса. В такую схему добавляется вход разрешения записи.

Можно предусмотреть также логическую схему параллельного отображения на выходе состояния каждого триггера. Тогда после заполнения регистра от последовательного или параллельного входов по команде разрешения выхода накопленное цифровое слово можно отобразить поразрядно сразу на всех параллельных выходах. Для удобства поочерёдной выдачи данных от таких регистров – буферных накопителей в шину данных обрабатывающего устройства – процессора – параллельные выходы регистров снабжаются выходными буферными усилителями, имеющими

третье, разомкнутое Z-состояние. По многопроводной шине данных процессор получает цифровое слово – байт от выходов того регистра, которому дана ко-манда разрешения выдачи.

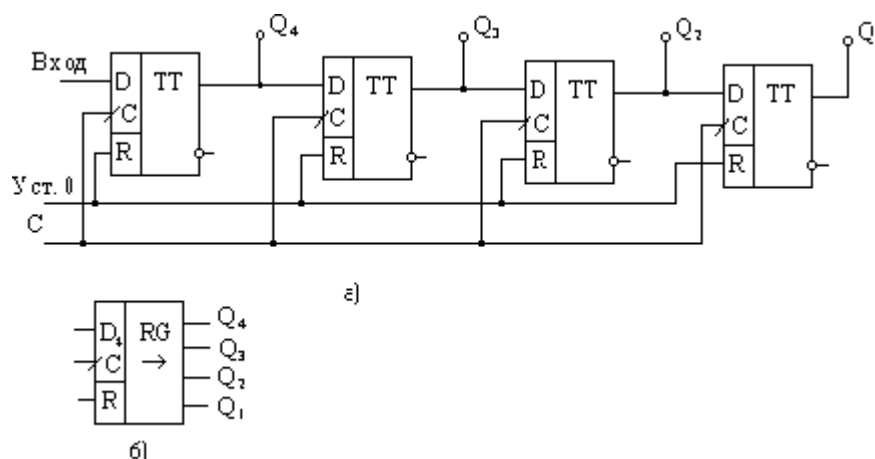


Рисунок 1 – регистр сдвига

- а) функциональная схема;
- б) условное обозначение.

Наиболее широко распространены регистры сдвига на D–триггерах (рис. 1). Такие регистры имеют один информационный вход, вход для импульсов синхронизации(импульсов сдвига) и установочный вход R. Выходы в регистре могут быть с каждого разряда для считывания информации в параллельном коде. Также имеется один выход с последнего (относительно входа) разряда для считывания информации последовательно во времени, т.е. последовательным кодом. Вход регистра для импульсов сдвига получается объединением C-входов всех триггеров, а установочный вход - R-входов.

Перед записью информации регистр устанавливается в нулевое состояние подачей положительного импульса по шине «Уст. 0». Записываемая информация должна быть представлена последовательным

кодом. Запись осуществляется поразрядно со стороны старшего (рис. 1) или младшего разряда (направление сдвига указывается стрелкой на условном обозначении регистра) путём продвижения кодовой комбинации с каждым тактовым импульсом от разряда к разряду. Следовательно, для записи N -разрядного слова необходимы N -импульсов сдвига.

Считывание информации последовательным кодом осуществляется, как и запись, поразрядным сдвигом записанной кодовой комбинации к выходу с каждым тактовым импульсом. Следовательно, для считывания N -разрядного слова необходимы N импульсов сдвига. Считывание информации параллельным кодом происходит в паузе между последним импульсом сдвига одного цикла записи и первым импульсом сдвига другого цикла записи, т.е. в интервале времени, когда на C -входах триггеров нулевой уровень, и они находятся в режиме хранения.

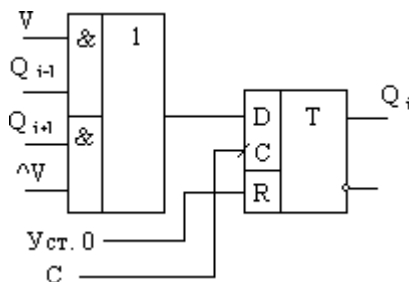


Рисунок 2 – Разряд реверсивного регистра

Таким образом, с помощью регистра сдвига можно осуществлять преобразование информации из последовательной формы представления в параллельную. Очевидно, если предусмотрена запись информации параллельным кодом, то можно преобразовывать информацию из параллельной формы представления в последовательную.

Регистры сдвига могут быть построены и на триггерах одноступенчатой структуры. В этом случае в каждом разряде регистра нужно использовать два триггера, которые управляются двумя сдвинутыми во времени тактовыми импульсами. Наличие двух триггеров в одном разряде позволяет поразрядно

продвигать информацию в регистре от входа к выходу. Если бы в регистре были применены одноступенчатые триггеры по одному на разряд, то правило работы регистра было бы нарушено: при первом же импульсе сдвига информация, записавшись в первый разряд, перешла бы во второй, затем в третий и т.д.

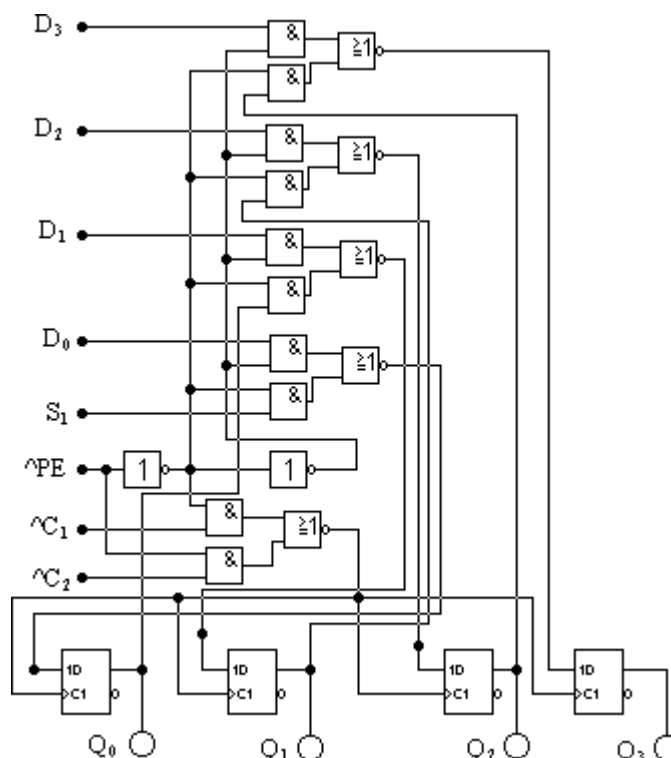


Рисунок 3 – Схема четырехразрядного сдвигового регистра К155ИР1

Реверсивные регистры сдвига объединяют в себе свойства регистров прямого и обратного сдвига. Строятся они по тем же схемотехническим принципам, что и рассмотренные регистры, но с использованием дополнительных логических элементов в междразрядных связях. Указанная особенность реверсивного регистра показана на примере i -разряда (рис. 2), состоящего из D-триггера и логической схемы, на входы которой поданы: Q_{i-1} -сигнал с выхода младшего разряда, Q_{i+1} -сигнал с выхода старшего разряда, V-сигнал управления направлением сдвига: V=1 –вправо, V=0 – влево.

Существуют многорежимные регистры. Их входные и выходные линии данных объединены и образуют так называемый порт данных. Это означает, что от шины данных процессора приходит один провод (а не два), который по команде служит или входным или выходным. Число сигнальных входов и выходов микросхемы за счёт портовой организации можно уменьшить в два раза.

Подробное рассмотрение регистров проведём на примере микросхемы K155ИР1 – четырёхразрядный сдвиговый регистр, принципиальная схема которого приведена на рис.3. Он имеет последовательный вход данных S_1 , четыре параллельных входа $D_0 - D_3$, а также четыре выхода $Q_0 - Q_3$ от каждого из триггеров. Регистр имеет два тактового входа $\wedge C_1$ и $\wedge C_2$. От любого из пяти входов данных код поступит на выходы синхронно с отрицательным перепадом, поданным на выбранный тактовый вход.

Вход разрешения параллельной загрузки $\wedge PE$ служит для выбора режима работы регистра. Если на вход $\wedge PE$ даётся напряжение высокого уровня, разрешается работа тактовому входу $\wedge C_2$. В момент прихода на этот вход отрицательного перепада тактового импульса в регистр загружаются данные от параллельных входов $D_0 - D_3$.

Если на вход $\wedge PE$ подано напряжение низкого уровня, разрешается работа тактовому входу $\wedge C_1$. Отрицательные фронты последовательности тактовых импульсов сдвигают данные от последовательного входа S_1 на выход Q_0 , затем на Q_1 , Q_2 и Q_3 , т.е. вправо. Сдвиг данных по регистру влево получится, если соединить выход Q_3 и вход D_2 , выход Q_2 и вход D_1 , Q_1 и D_0 по схеме рис. 2. Регистр можно перевести в параллельный режим, подав на вход $\wedge PE$ напряжение высокого уровня. Напряжение на входе $\wedge PE$ можно менять только, если на обоих тактовых входах уровни низкие. Однако если на входе $\wedge C_1$ напряжение низкого уровня, перемена сигнала на входе $\wedge PE$ от низкого уровня к высокому не меняет состояния выходов.

2.Методика выполнения

2.1. Включите необходимое программное обеспечение.

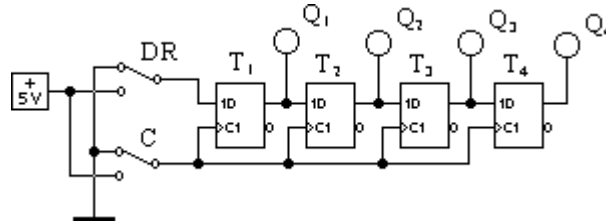


Рисунок 4 – Сдвигающий регистр на D-триггерах

2.2. Соберите схему простейшего сдвигающего регистра на D–триггерах по рис. 4, воспользуясь триггерами из контейнера **Se-quential**

Спланируйте эксперимент и постройте временные диаграммы $Q_i = f(D, R, C)$.

2.3. Соберите схему для исследования универсального регистра по рис. 5. Для этого используется интегральная микросхема 74198 – восьмибитовый регистр сдвига из контейнера **Sequential** в шаблоне SHIFT REGS.

На этом рисунке:

D_a, ..., D_h - входы для параллельной записи в регистр байта a b c d e f g h;

Q_a, ..., Q_h - выходы регистра;

C - вход синхронизации;

R - вход начальной установки всех разрядов в нуль;

DR , DL - входы для последовательного ввода информации слева и справа;

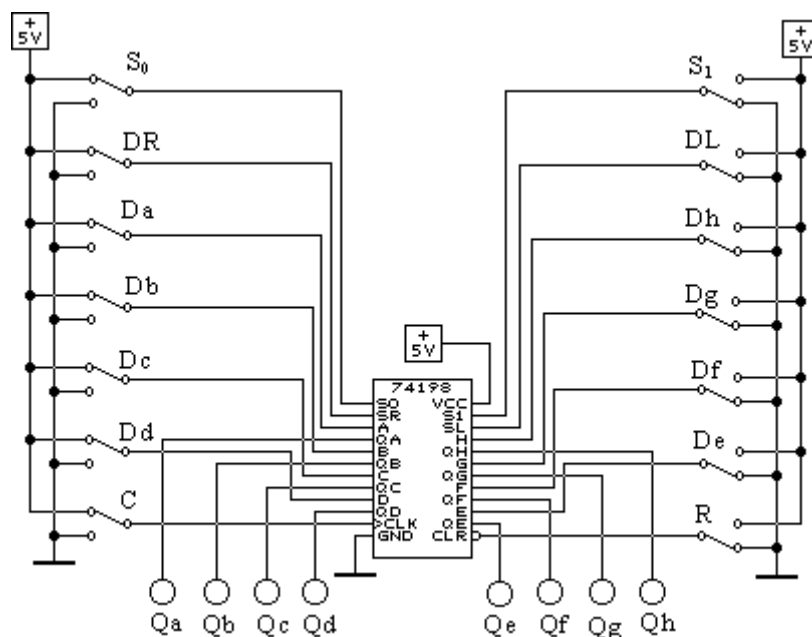


Рисунок 5 – Схема для исследования универсального регистра

S_1, S_0 - входы, задающие режим работы регистра: параллельная запись, хранение, сдвиги влево и вправо. Для данной схемы спланировать эксперимент и составить таблицу, описывающую поведение регистра при различных режимах (S_1 и S_0), различных значениях на входах регистра ($D_a, \dots, D_h, DR$ и DL). Определить в каких режимах на выполнение операции влияет C , какое действие оказывает R . Выясните необходимые состояния управляющих сигналов для реализации различных режимов работы регистра – запись, хранение, сдвиг влево, сдвиг вправо.

Для режимов сдвига вправо и влево построить временные диаграммы.

Содержание отчета

Отчет лабораторной работы должен содержать:

1. Титульный лист (с фамилиями исполнителей, номером группы)
 2. Цель работы.
 3. В соответствии с порядком проведения работы должны быть приведены:
- схема;

- расчетные формулы; результаты расчетов;
- таблица экспериментальных данных;
- результаты сравнения экспериментальных и расчетных данных;
- выводы по работе.