Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Методические указания

к практическим занятиям

по направлению 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»,

профиль «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»

Благовещенск
Издательство АмГУ
2014

ББК 31.27-05Я73
Э45

Печатается по решению редакционно-издательского совета Амурского государственного университета

Разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «Гидроэлектромонтаж»

Рецензенты:
Теличенко Денис Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры АППиЭ
Татьяна Юрьевна Ильченко, инженер ПТО ОАО «Гидроэлектромонтаж»

Бодруг Н.С.
Э45 Элементы автоматических устройств. Методические указания к практическим занятиям / сост.: Бодруг Н.С. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 58 с.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» для профиля «Релейная защита и автоматика энергетических систем» изучающих дисциплину: «Элементы автоматических устройств». Методические указания предусматривают помощь при подготовки студентов к практическим занятиям; при выполнение домашних расчетных заданий по основным темам дисциплины; при выполнение контрольной работы.

В авторской редакции.

ББК 31.27Я73

© Амурский государственный университет, 2014
© Бодруг Н.С. (составитель), 2014

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Элементы автоматических устройств» предназначена для студентов, обучающихся по направлению 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Релейная защита и автоматика энергетических систем».

Дисциплина преподается на четвертом курсе, в седьмом семестре. Запланировано 14 часов лекций, 28 часов практических занятий, 14 часов лабораторных занятий, 16 часов отведено на самостоятельную работу студента, 36 часов на курсовую работу, общая трудоемкость дисциплины 108 часов (3 зет).

Дисциплина «Элементы автоматических устройств» входит в профессиональный цикл, базовую часть. Целью преподавания дисциплины является изучение автоматических устройств, функционирующих на основе переработки и использования информации о состоянии электроэнергетических управляемых объектов, о возмущающих воздействиях на них и о состоянии процесса производства, передачи и распределения энергии. На базе этого рассматриваются принципы действия схем и характеристики функциональных элементов автоматических устройств сбора, передачи, отображения и ввода в цифровые управляющие ЭВМ информации и автоматических устройств управления и защиты электроэнергетических систем.

Необходимо знание студентов о функциональных элементах устройств автоматического и автоматизированного управления в электроэнергетике, их характеристиках: предъявляемые к ним требования; о пассивных и активных преобразователях параметров режима электроэнергетической системы; об элементах измерительной логической части устройств релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем. Этому должны способствовать практические работы по дисциплине «Элементы автоматических устройств»,

предусмотренные учебными планами для профиля «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

В результате проведения практических работ можно выделить компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.

Обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

Знать: структуры схем автоматики, современную и перспективную элементную базу устройств релейной защиты и автоматики (ПК-9, ПК-11).

Уметь: применять, эксплуатировать схемы автоматики; производить выбор элементной.

Владеть: методами анализа и синтеза систем автоматического и автоматизированного управления электроэнергетическими системами; методами построения и анализа численных и аналоговых моделей САУ и контроля (ПК-15, ПК-39).

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:

ПК-9 - способность разрабатывать простые конструкции электроэнергетических и электротехнических объектов.

ПК-11 – способность использовать методы анализа и моделирования линейных и нелинейных электрических цепей постоянного и переменного тока.

ПК-15 – способность рассчитывать схемы и элементы основного оборудования, вторичных цепей, устройств защиты и автоматики электроэнергетических объектов.

ПК-39 – с готовностью изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования.

Практические занятия предусматривают решение задач по темам дисциплины. Основные расчетные формулы, необходимые для решения задач, задачи (с ответами), примеры решения типовых задач и необходимый справочный материал приведены в литературе.

В начале практического занятия следует вспомнить необходимые для решения задач теоретические сведения (работа с аудиторией). Далее разбираются несколько (три, четыре – в зависимости от объема) типовых задач. Приводится (если это необходимо) алгоритм решения типовых задач. Разбираются примеры типовых ошибок. Далее для решения предлагаются более сложные задачи (одна, две), требующие креативного подхода.

Выдается домашнее расчетное задание (если оно предусмотрено по данной теме), анализируется выполнение предыдущего домашнего задания, разбираются типовые ошибки.

Перечень практических работ:

1. Расчет схемы элемента на операционном усилителе (4 часа);
2. Расчет проходной характеристики (4 часа);
3. Расчет элементов логической части (4 часа);
4. Расчет запоминающих элементов (4 часа);
5. Расчет параметров триггеров (4 часа);
6. Расчет параметров счетчиков (4 часа);
7. Расчет параметров регистров (4 часа).

Методические указания содержат: тему и цель практического занятия, теоретические сведения, расчетные формулы, примеры решения типовых задач, необходимый справочный материал.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Тема: Расчет схемы элемента на операционном усилителе

Цель работы – ознакомление с понятием «операционный усилитель» и его расчетными схемами, составление элементов уравнения.

Содержание теоретической части.

Современный *операционный усилитель (ОУ)* представляет собой микросхему, которая включает в себя несколько каскадов усиления сигнала, при этом между каскадами отсутствуют разделительные конденсаторы, т.е. существует непосредственная гальваническая связь между последовательной цепочкой каскадов усиления. Такие усилители с непосредственной гальванической связью между каскадами называют усилителями постоянного тока (с таким же основанием можно было бы также назвать их усилителями постоянного напряжения, однако это не является общепринятым). В таких усилителях приращение постоянного напряжения на входе ΔU_{BX} вызывает приращение постоянного напряжения на выходе $\Delta U_{ВЫХ}$, усиленное в некоторое количество раз, которое равно коэффициенту усиления A_y, т.е. $\Delta U_{BX} = A_У \cdot \Delta U_{BX}$

Операционный усилитель имеет очень большой коэффициент усиления порядка ($A_У = 10^4 - 10^6$). Такая величина усиления, как правило, слишком велика для обычного усилительного каскада. Для того чтобы построить схему усилителя с заданным коэффициентом усиления, *к операционному усилителю подключают цепь отрицательной обратной связи.* Сигнал по цепи *отрицательной обратной связи* поступает с выхода ОУ на его вход в противофазе с входным сигналом (со знаком минус) и, следовательно, вычитается из него. *Отрицательная обратная связь (ООС)* уменьшает коэффициент усиления схемы до необходимой заданной величины. Кроме того, как будет показано ниже, ООС стабилизирует коэффициент усиления, а также снижает нелинейные искажения сигнала, порожденные усилительными каскадами.

Пример решения задачи.

На рис. 1 приведена схема усилителя с внешней обратной связью, собранного на основе ОУ.

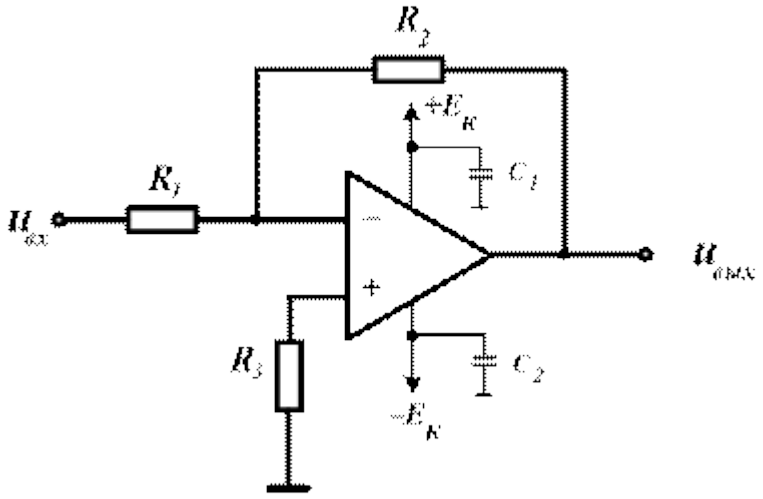


Рис. 1. Основная схема включения ОУ

Параметры ОУ:

Номинальное напряжение питания	± 15 В
Выходная мощность	300 мВт
Входной ток:	
– номинальный	200 нА
– максимальный	300 нА
Коэффициент усиления ОУ при разомкнутой ОС	1000
Размах выходного напряжения двойной амплитуды	23 В
Входное сопротивление	1 МОм
Выходное сопротивление	300 Ом

Расчет.

Предположим, что схема рис. 1 должна обеспечить коэффициент усиления 100 (40 дБ) при входном сигнале с действующим значением напряжения 80 мВ. Выходное сопротивление источника сигнала не оговаривается. Сопротивление нагрузки на выходе усилителя составляет 500

Ом, источник питания может иметь вариации выходного напряжения до 10 %.

Напряжение питания. Положительное и отрицательное напряжения питания $\pm E_к$ должны быть равны 15 В каждое, т. е. соответствовать номинальным значениям.

Конденсаторы развязки. Рекомендуемые значения конденсаторов C_1 и C_2 должны быть указаны в техническом паспорте ОУ. При их отсутствии до частоты 10 МГц емкости 0,1 мкФ обеспечивают требуемую форму частотной характеристики усилителя.

Сопротивления обратной связи. Чтобы получить требуемый коэффициент усиления K = 100, сопротивление R_2 должно быть в 100 раз больше сопротивления R_1. Значение R_1 следует выбирать таким, чтобы падение напряжения на нем (при номинальном входном токе) было сравнимо с величиной входного сигнала и не превышало его. При R_1 = 50 Ом номинальный входной ток 200 нА создает падение напряжения 10 мкВ. Такое падение напряжения составляет менее 10 % от входного сигнала 80 мВ. Таким образом, падение напряжения на R_1 не окажет заметного влияния на входной сигнал. При R_1 = 50 Ом в соответствии с формулой (1.8) сопротивление $R_2 = K \cdot R_1 = 100 \cdot 50$ = 5000 Ом = 5 кОм.

Сопротивление минимизации смещения. Значение резистора R_3 определяется из соотношения $R_3 = R_1R_2/(R_1 + R_2)$. При R_1 = 50 Ом и R_2 = 5 кОм значение R_3 составит приблизительно 49 Ом. Таким образом, предварительное значение R_3 всегда несколько меньше R_1, окончательное значение R_3 должно быть таким, чтобы в отсутствие сигнала на входе схемы усилителя напряжения на обоих входах ОУ должны быть одинаковыми.

Выходное напряжение. Полный размах выходного напряжения (при входном сигнале и выбранной величине усиления) не должен превышать его

максимально допустимого значения. В данном случае номинальное максимально допустимое значение двойной амплитуды выходного сигнала равно 23 В. Фактическое значение действующего значения выходного сигнала $u_{вх} \cdot K =$ 80 мВ · 100 = 8000 мВ = 8 В. Двойная амплитуда выходного напряжения составит: $2\sqrt{2} \cdot 8 =$ 22,4 В. Таким образом, ожидаемое значение выходного сигнала (22,4 < 23 В) будет лежать в допустимых пределах.

Выходная мощность. Выходная мощность ОУ может быть рассчитана исходя из действующего значения выходного напряжения $u_{вых}$ и сопротивления нагрузки $R_н$. В данном случае действующее значение выходного напряжения равно 8 В. При заданном сопротивлении нагрузки 500 Ом выходная мощность $u^2_{вых} / R_н =$ 0,128 Вт = 128 мВт. Эта величина намного меньше типового значения выходной мощности ОУ, равного 250 мВт.

Выходное сопротивление. Желательно, чтобы выходное сопротивление схемы $Z_{вых}$ было как можно ниже сопротивления нагрузки $R_н$. Выходное сопротивление можно рассчитать по приближенной формуле

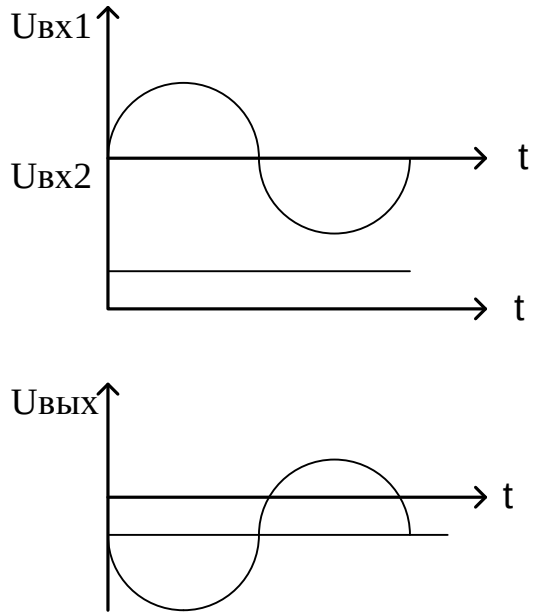
$$Z_{вых} = \frac{R_{вых}}{1 + K_{ОУ}\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)} = \frac{300}{1 + 1000\left(\frac{50}{50 + 5000}\right)} \approx 30 \text{ Ом},$$

где $R_{вых}$ и $K_{ОУ}$ – выходное сопротивление и коэффициент усиления ОУ при разомкнутой цепи обратной связи.

Выходное сопротивление $Z_{вых} =$ 30 Ом составляет менее 10 % от сопротивления нагрузки 500 Ом, поэтому при таком их соотношении обеспечивается передача без потерь выходного напряжения ОУ.

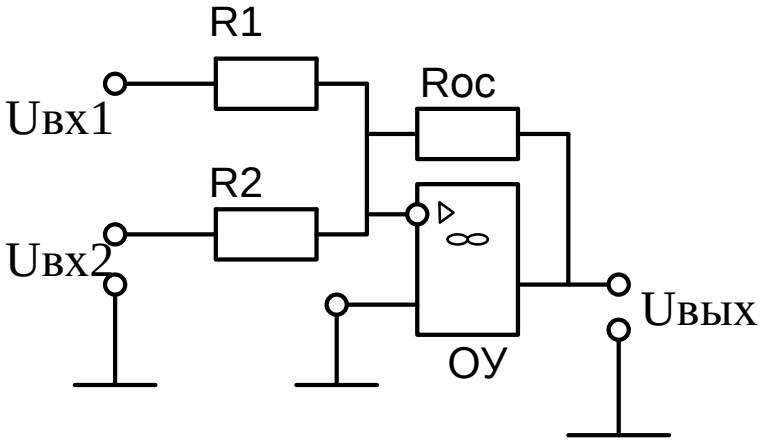
Задача 1.

1. Построить схему элемента на операционном усилителе по виду временной диаграммы вход – выход.



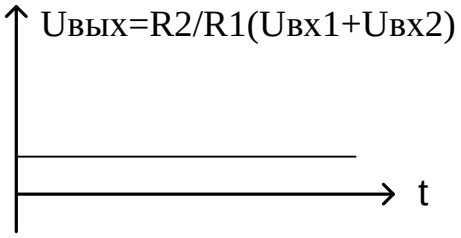
Задача 2.

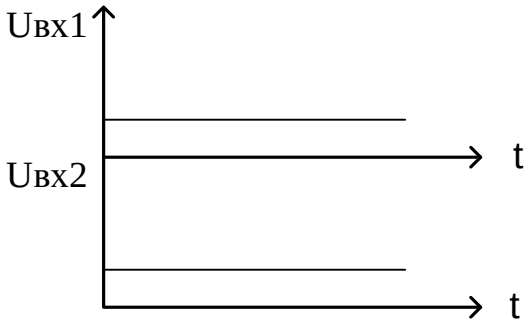
1. Написать уравнение элемента, изображенного ниже. Как называется данный элемент? $U_{ВЫХ}=f(U_{ВХ})$ – ?, при R_1=7 кОм, R_2=9 кОм, $R_{ОС}$=30 кОм.



Задача 3.

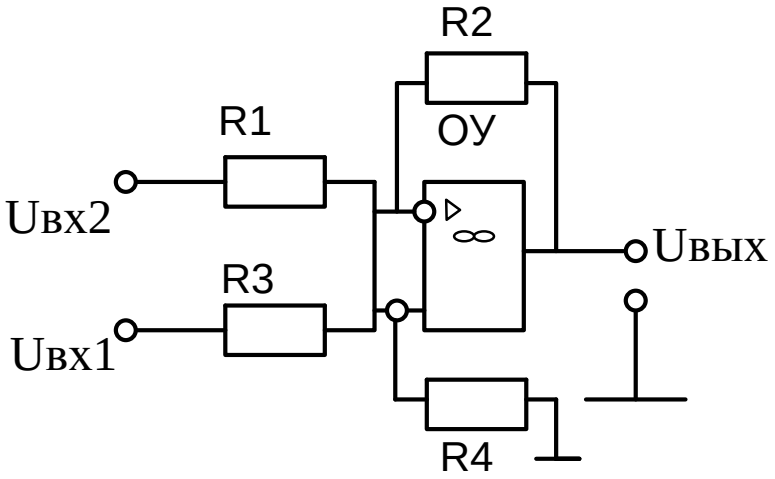
1. Построить схему элемента на ОУ по виду временной диаграммы и уравнению. Как называются элементы?





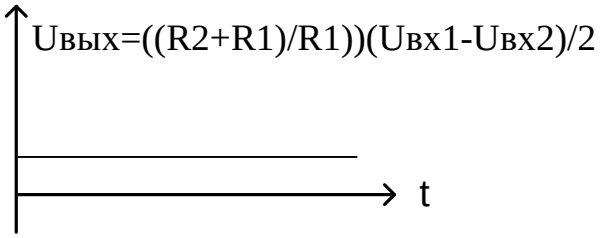
Задача 4.

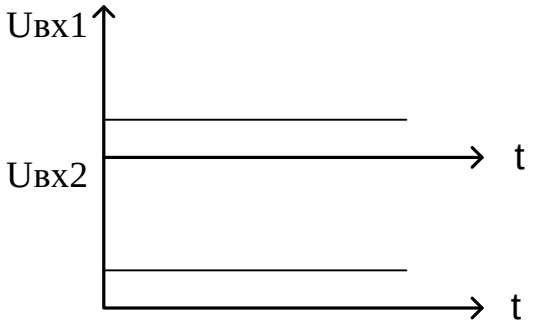
1. Написать уравнение элемента. Как называется данный элемент? $U_{ВЫХ}=f(U_{ВХ})$ – ?, при $R_1= R_3=8$ кОм, $R_2= R_4=20$ кОм.



Задача 5.

3. Построить схему элемента на ОУ в соответствии с временной диаграммой и уравнением.





ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Тема: Расчет проходной характеристики.

Цель работы – ознакомление с понятием «проходной характеристики» и его расчет.

Содержание теоретической части.

Проходной характеристикой или характеристикой вход - выход элемента называется функциональная зависимость $X_{ВЫХ} = f(X_{ВХ})$ между информационными параметрами выходного и входного процессов в установившемся режиме работы.

Проходная характеристика экспериментально может быть получена при относительно медленном изменении информационного параметра входного процесса. Например, если информационными параметрами являются частота входного и амплитуда или фаза выходного синусоидальных токов, то проходной характеристикой соответствующего элемента может служить зависимость абсолютного значения или фазы комплексного коэффициента $K(jw)$ передачи от со, т.е. амплитудная или фазочастотная характеристика.

Указанная зависимость $X_{ВЫХ} = f(X_{ВХ})$ может быть непрерывной или разрывной функцией. Соответственно различаются *непрерывная* и *релейная* проходные характеристики.

Непрерывная проходная характеристика в общем случае представляет собой непрерывную функцию $X_{ВЫХ} = f(X_{ВХ})$, не проходящую через начало координат и имеющую точки перегиба (рис. 2, а). Предел отношения приращений $\mathrm{D}X_{ВЫХ}$ и $\mathrm{D}X_{ВХ}$ называется *дифференциальным коэффициентом преобразования* (передачи) элемента:

$$k_{ДИФ} = \lim_{\mathrm{D}X \to 0} \frac{\mathrm{D}X_{ВЫХ}}{\mathrm{D}X_{ВХ}} = \frac{dX_{ВЫХ}}{dX_{ВЫХ}}.$$

Отношение дискретного изменения $X_{ВЫП\max} - X_{ВЫХ0}$ к вызывавшему его изменению $X_{ВХ\max}$ (рис. 2, *а*) называется *статическим коэффициентом преобразования* (передачи):

$$k_{СТ} = \frac{X_{ВЫП\max} - X_{ВЫХ0}}{X_{ВХ\max}}.$$

Если характеристика имеет точки прогиба, то возможны два различных режима работы элемента. На рис. 2, *а* характеристика делится на три участка точками перегиба, в которых $k_{ДИФ} = \frac{dX_{ВЫХ}}{dX_{ВЫХ}} = 1$. В пределах участка между точками перегиба $k_{ДИФ}$ i 1, а за его пределами $k_{ДИФ}$ J 1.

Средний участок *АЎАЎ* принято называть активным или динамическим диапазоном характеристики и определять отношением:

$$D = \frac{X_{ВХ\max}}{X_{ВХ\min}}.$$

В пределах динамического диапазона $k_{ДИФ}$ обычно принимается постоянным. В зависимости от функционального назначения элемента он имеет свой физический смысл и наименование.

Режим работы элемента, при котором значения входного и выходного информационных параметров не выходят за пределы динамического диапазона, ниже называется *непрерывным.* Режим работы элемента, при котором параметры могут принимать значения только за пределами динамического диапазона, ниже называется режимом *переключения.* Режим переключения предполагает дискретное изменение входного параметра в пределах, превышающих:

$$DX_{ВХ} = X_{ВХ\max} - X_{ВХ\min}.$$

Проходная характеристика реального элемента, как правило, неоднозначна. На рис. 2, *б* показаны две ветви характеристики, соответствующие нарастанию *(1)* и снижению *(2)* входного информационного параметра. Наличие двух ветвей *(1* и *2)* характеристик объясняется потерями

энергии внутри элемента, обусловливающими погрешности преобразования. На рис. 2, *б* пунктиром показана усредненная характеристика *3*.

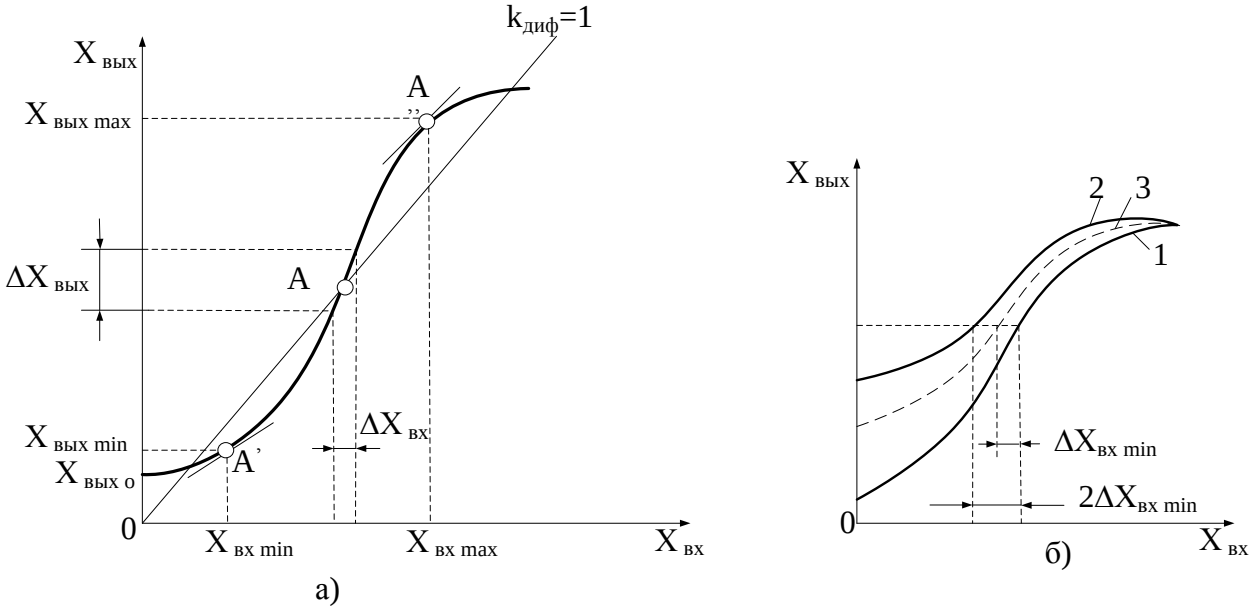


Рис. 2. Непрерывные проходные характеристики функционального элемента

Релейная проходная характеристика представляет собой функцию $X_{ВЫХ} = f_p(X_{ВХ,О,С})$ имеющую при некотором значении $X_{ВХ,Д}$ (параметре действия) разрыв или изменение знака производной. Элемент с релейной характеристикой имеет только два устойчивых состояния (рис. 3): одно – при $X_{ВХ,О,С}$ J $X_{ВХ,Д}$, а второе - при $X_{ВХ,О,С}>X_{ВХ,Д}$. Поэтому, при непрерывном изменении входного параметра выходной изменяется скачкообразно. Релейную проходную характеристику могут иметь только нелинейные элементы с внутренней или внешней жесткой *положительной обратной связью* [1].

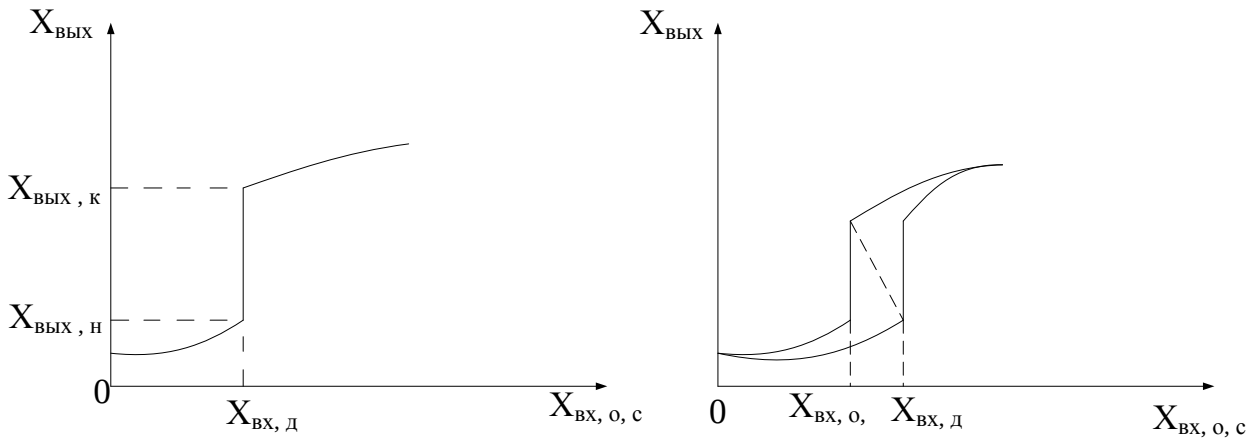


Рис. 3. Релейные проходные характеристики

Пример решения задачи.

Рассчитать частоту повторения импульсов на выходе мультивибратора, если $R_1 = R_2 = 10$ кОм, $R_3 = 4.54$ кОм, $C = 10$ нФ.

Расчет.

Поскольку $R_1 = R_2$, частота повторения импульсов

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{2.2 R_3 C} = \frac{1}{2.2 \cdot 4.54 \cdot 10^3 \cdot 10^{-8}} = 10^4 \text{ Гц } (10 \text{ кГц}).$$

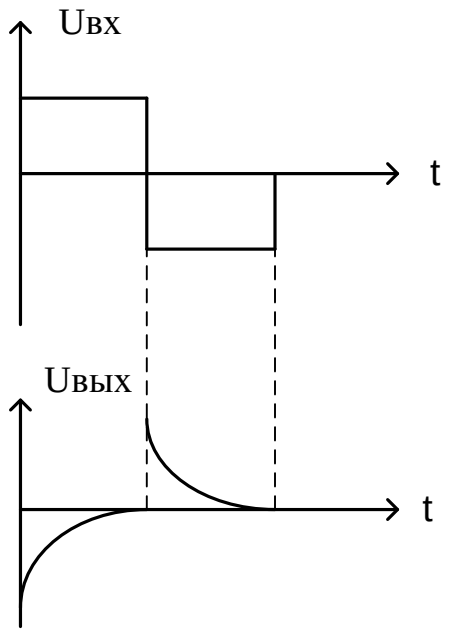
Задача 1.

1. Задано уравнение $U_{ВЫХ}=50 \cdot U_{ВХ} \cdot L$. Построить схему элемента на ОУ по данному уравнению, рассчитать величины резисторов и емкостей.

2. Построить зависимость $U_{ВЫХ}=f(t)$, $U_{ВХ}=40$ мВ. Примечание: ОУ входит в насыщенный режим при $U_{ВЫХ}=10$ В.

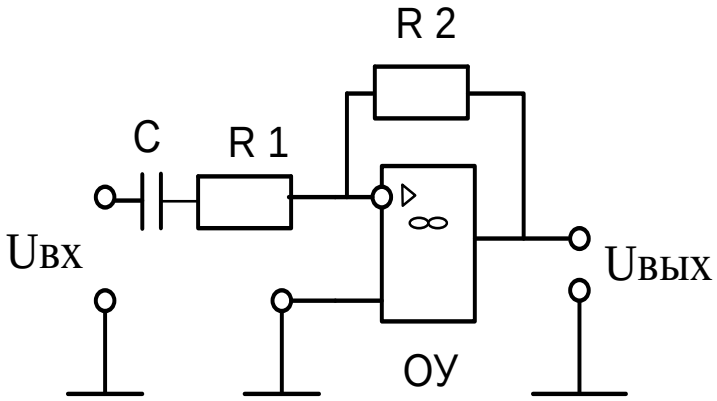
Задача 2.

1. Построить схему элемента на ОУ по временной диаграмме.



Задача 3.

1. Записать уравнение, связывающее входное напряжение элемента с выходным, при R_2=10 кОм, C=0,1 мкФ.



2. Входное напряжение изменяется по закону $U_{ВХ}$=1-exp(-x), x O0,1 Построить зависимость $U_{ВЫХ}$=f(t), $U_{ВХ1}$=10 мВ.

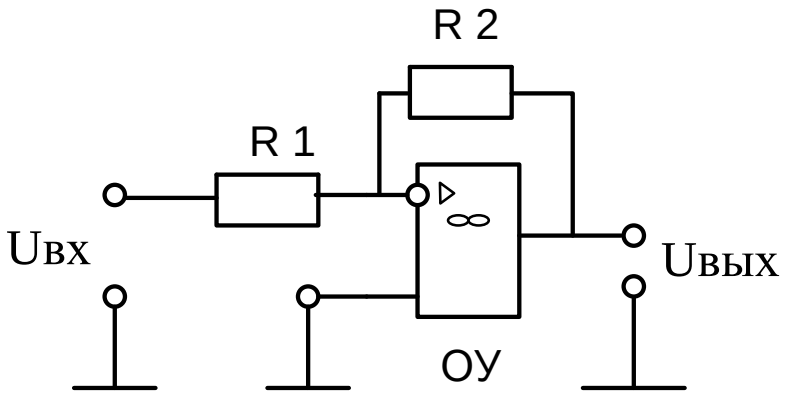
Задача 4.

1. Задано уравнение элемента на ОУ $U_{ВЫХ}=-0{,}01 Ч \frac{dU_{ВХ}}{dt}$. Построить схему элемента.

2. Построить схему элемента на ОУ, если изменить знак (-) в правой части на (+).

Задача 5.

1. Записать уравнение, связывающее выходное напряжение элемента с входным, при R_1=2 кОм, R_2=50 кОм.



2. Построить зависимость $U_{ВЫХ}=f(U_{ВХ})$.

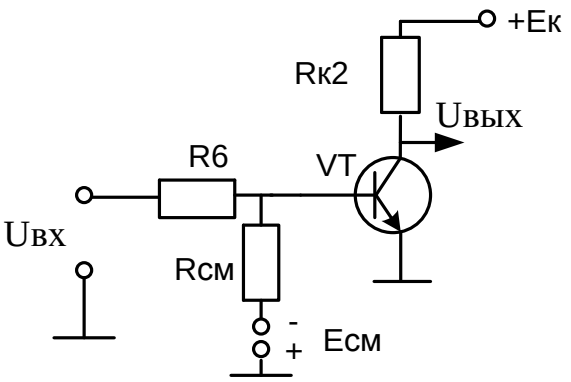
Задача 6.

1. Заданы уравнения элементов $U_{ВЫХ}=-40ЧU_{ВХ}$, $U_{ВЫХ}=20ЧU_{ВХ}$, $U_{ВЫХ}=-U_{ВХ}$, $U_{ВЫХ}=U_{ВХ}$. Построить схемы элементов на ОУ и рассчитать значения резисторов.

2. Как называются данные элементы?

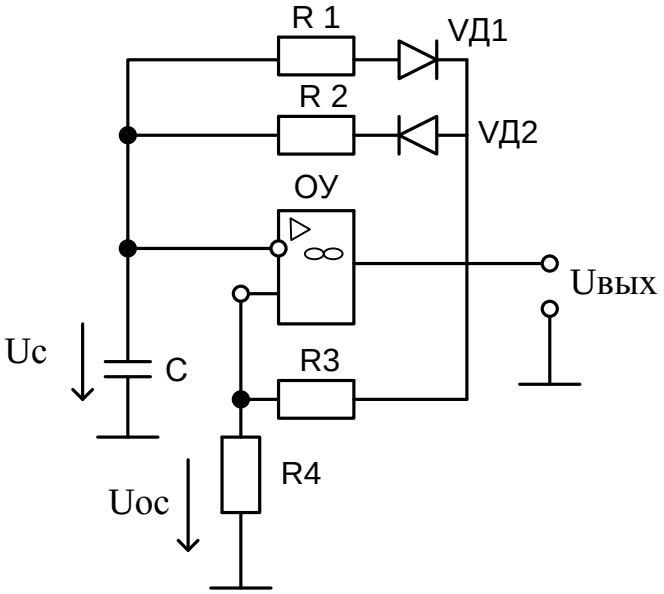
Задача 7.

1. Рассчитать транзисторный ключ, исходя из условий обеспечения режимов отсечки и насыщения, при $E_К$=10 В, $E_{СМ}$=5 В, $I_К$ = 8 А, $I_{К0}$ = 10 мкА



Задача 8.

1. Рассчитать схему мультивибратора на ОУ на частоту выходных импульсов f = 100 Гц при скважности 4, C=0,01 мкФ, R_4 / R_3=1, причем R_4+ R3? 2 кОм.



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Тема: Расчет элементов логической части.

Цель работы – научиться рассчитывать элементы логической части, составлять таблицу истинности.

Содержание теоретической части.

Логические функции и их аргументы принимают значение логический 0 и логическую 1. При этом следует иметь в виду, что в устройствах лог.0 и лог.1 соответствует напряжению определенного уровня (либо формы). Наиболее часто используется два способа физического представления лог.0 и лог.1: *потенциальный и имульсный*.

При потенциальной форме (рис. 4,а и 4,б) для представления лог.0 и лог.1 используется напряжение двух уровней: высокий уровень соответствует лог.1 (*уровень лог.1*) и низкий уровень соответствует лог.0 (*уровень лог.0*). Такой способ представления значений логических величин называется положительной логикой. Относительно редко используют так называемую отрицательную логику, при которой лог.1 ставят в соответствии низкий уровень напряжения, а лог.0 - высокий уровень. При импульсной форме лог.1 соответствует наличие импульса, логическому 0 - отсутствие импульса (рис.4, в).

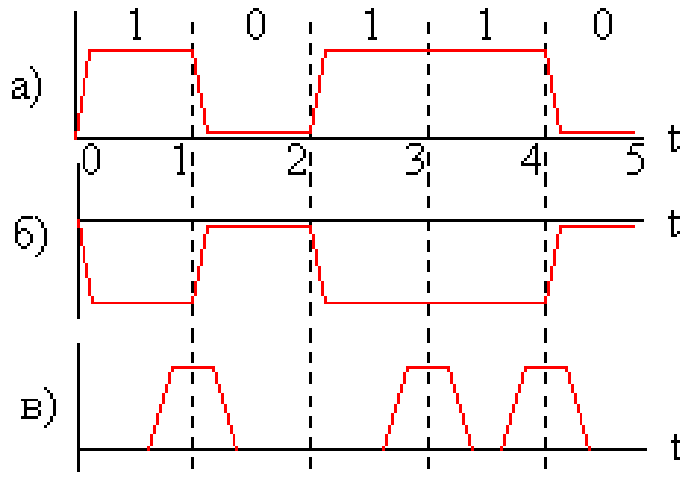
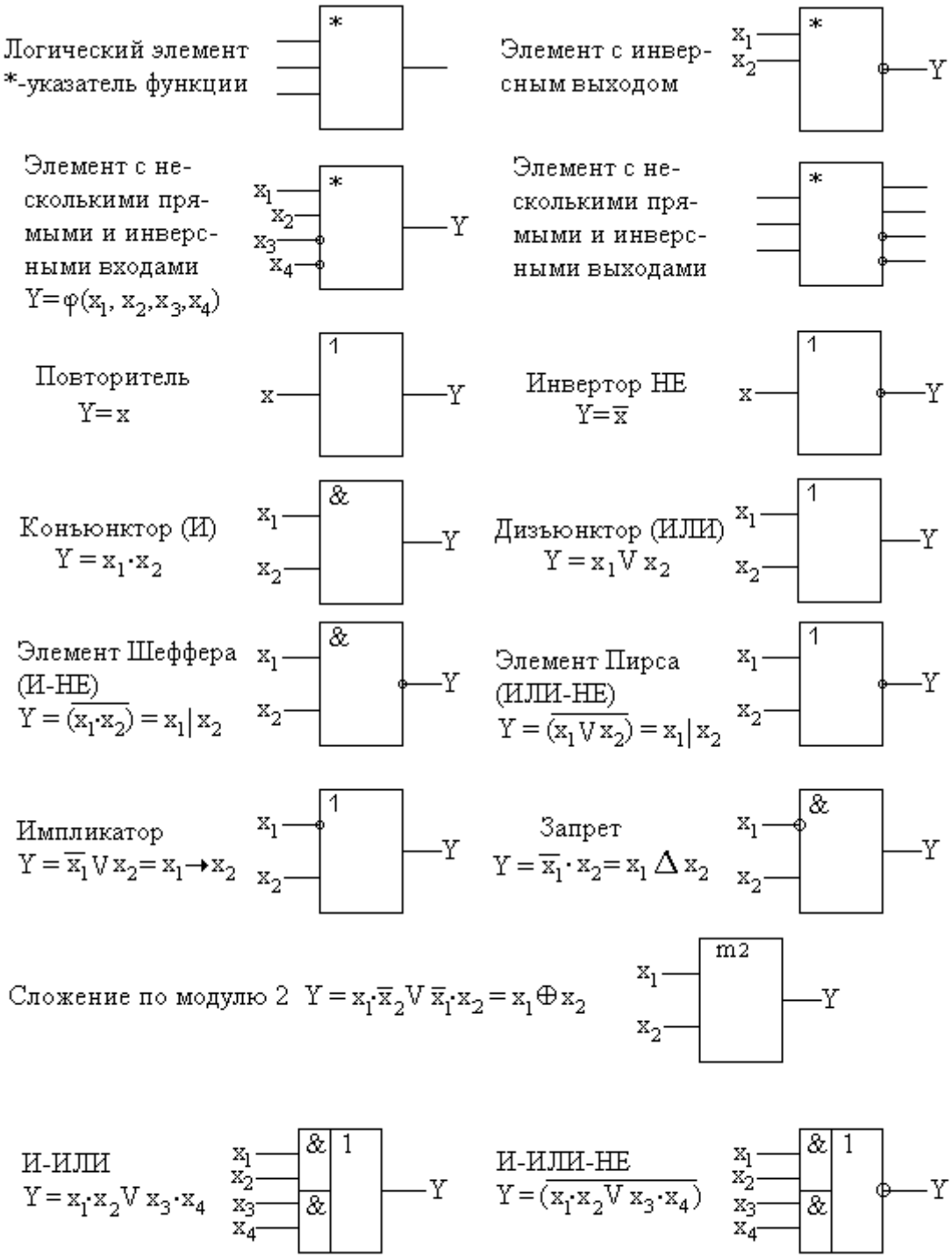


Рис. 4. Представление логического 0 и логической 1

Заметим, что, если при потенциальной форме соответствующая сигналу информация (лог.1 либо лог.0) может быть определена практически в любой момент времени, то при импульсной форме соответствие между уровнем напряжения и значением логической величины устанавливается в определенные дискретные моменты времени (так называемые тактовые моменты времени), обозначенные на рис. 4, в целыми числами t = 0, 1, 2,...

Общие обозначения логических элементов.



Пример решения задачи.

Задана логическая функция f (x_1, x_2, x_3, x_4)

1. Построить логическую схему для заданного логического выражения с использованием элементов И, ИЛИ, НЕ.

2. Выполнить преобразование заданной логической функции так, чтобы она была представлена через операцию И-НЕ.

Расчет.

Задана логическая функция:

$$\bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_2 x_3 x_4 \vee x_1 x_2$$

1. Построим логическую схему с использованием элементов И, ИЛИ, НЕ.

Для построения схемы по приведенному выражению потребуется:

- четыре инвертора (все четыре аргумента входят в запись в инверсном значении);

- один элемент 2И (для реализации выражений $x_1 x_2$,);

- два элемента 3И (для реализации выражения $\bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_2 x_3 x_4$);

- один элемент 4ИЛИ для объединения предварительных результатов преобразования на одну общую шину.

Схема имеет вид – рис.5.

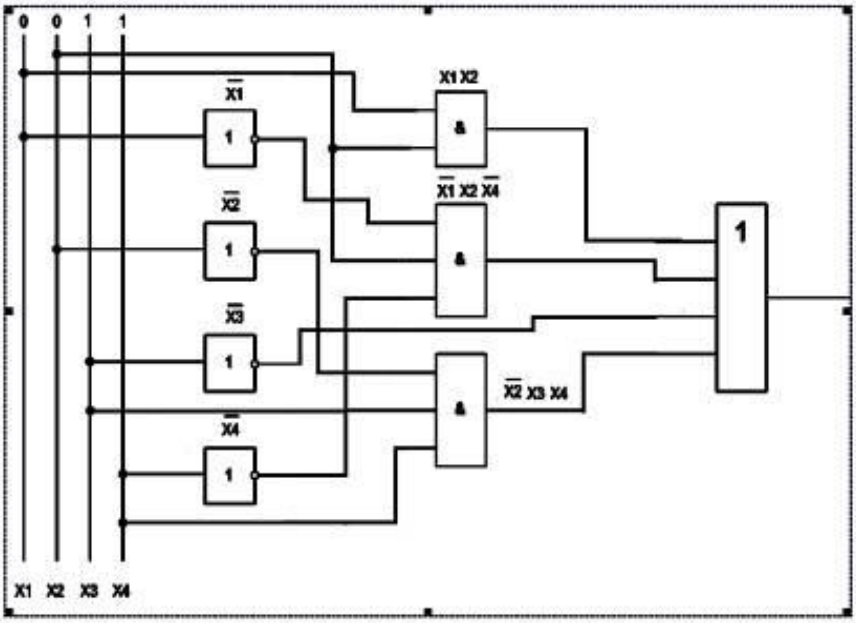


Рис.5. Логическая схема с использованием элементов И, ИЛИ, НЕ.

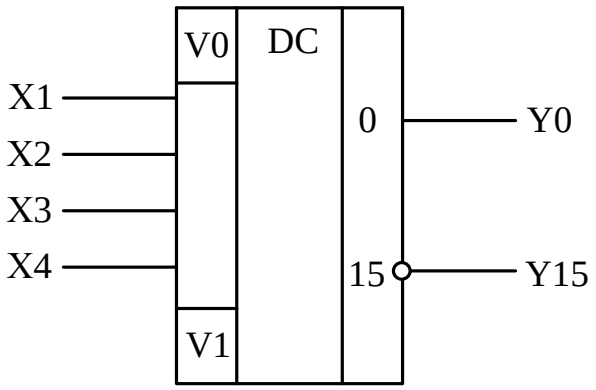
2. Выполнить преобразование заданной логической функции так, чтобы она была представлена через операцию И-НЕ.

Для построения схемы с использованием элементов И-НЕ необходимо выполнить преобразование исходного выражения так, чтобы оно было записано через операцию Штрих Шеффера. Для этого к исходному выражению применяем закон двойного отрицания и правило де Моргана.

$$f = \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_2 x_3 x_4 \vee x_1 x_2 = \overline{\overline{\bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_2 x_3 x_4 \vee x_1 x_2}} = \overline{\overline{(\bar{x}_3)(\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_4)(\bar{x}_2 x_3 x_4)(x_1 x_2)}} =$$
$$= \overline{(\bar{x}_3)(\bar{x}_1 \mid x_2 \mid \bar{x}_4)(\bar{x}_2 \mid x_3 \mid x_4)(x_1 \mid x_2)} = (\bar{x}_3)(\bar{x}_1 \mid x_2 \mid \bar{x}_4)(\bar{x}_2 \mid x_3 \mid x_4)(x_1 \mid x_2)$$

Задача 1.

1. Составить таблицу истинности устройства и построить его логическую структуру в базисе И-НЕ.



Задача 2.

1. Задано логическое уравнение Y = X1ЧX2ЧX4+$\bar{X}$1Ч$\bar{X}$2Ч$\bar{X}$4+$\bar{X}$1ЧX3Ч$\bar{X}$4

2. Преобразовать данное уравнение в СДНФ.

3. Составить таблицу истинности устройства.

Задача 3.

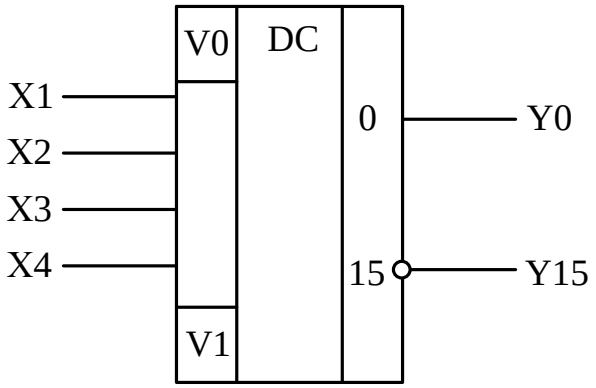
1. Задано 4-х разрядное двоичное число.

2. Построить регистр хранения для данного числа с последовательной записью и считыванием.

3. Построить регистр хранения с последовательной записью и параллельным считыванием.

Задача 4.

1. Построить схему матричного дешифратора, используя приведенную ниже микросхему.



Задача 5.

1. Составить таблицу истинности одноразрядного сумматора.

2. Минимизировать логические уравнения для S и P.

3. Построить функциональную схему сумматора в базисе И-НЕ.

Задача 6.

1. Заданы два числа $A = 99$ и $B = 125$.

2. Построить сумматор для указанных чисел.

Задача 7.

1. Задано 4-х разрядный двоичный нормальный код с защитой по паритету (на четность).

2. Построить кодирующее и декодирующее устройство для указанного кода.

Задача 8.

1. Задано 5-ти разрядный двоичный нормальный код с защитой по паритету (на четность).

2. Построить кодирующее и декодирующее устройство для указанного кода.

Задача 9.

1. Задан 4-х разрядный двоичный нормальный код с двойным повторением.

2. Построить кодирующее и декодирующее устройство для указанного кода.

Задача 10.

1. Задан 4-х разрядный двоичный нормальный код с повторением и инверсией.

2. Построить кодирующее и декодирующее устройство для указанного кода.

Задача 11.

1. Задано 4-х разрядное двоичное число.

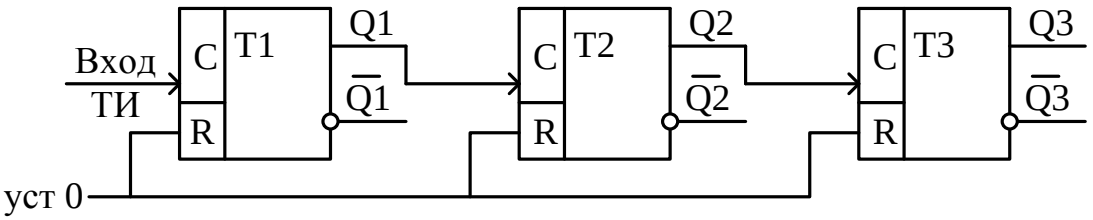
2. Построить регистр хранения для данного числа на R-S – триггерах с возможностью параллельной записи и считывания.

3. Построить такой же регистр на D – триггерах.

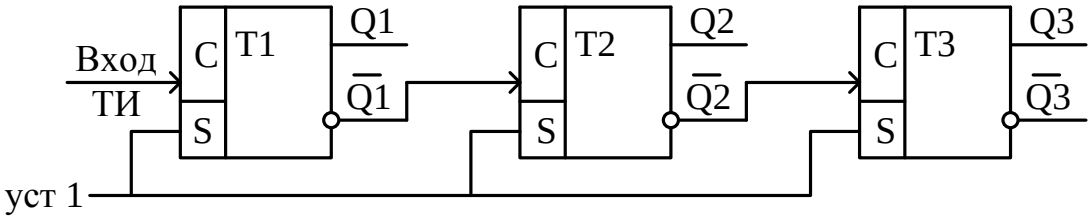
Задача 12.

1. Построить таблицы переключений для устройств 1) и 2).

2. Как называют данные устройства.



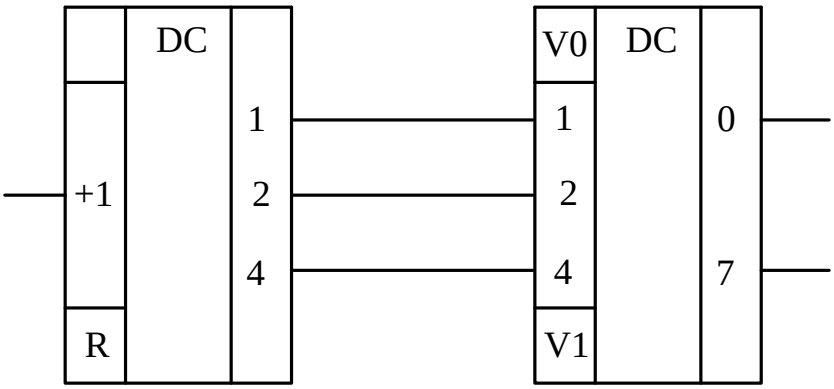
1)



2)

Задача 13.

1. Составить таблицу переключений устройства.
2. Построить временные диаграммы работы устройства.



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Тема: Расчет запоминающих элементов.

Цель работы – научиться рассчитывать схемы запоминающих элементов, построение временных диаграмм.

Содержание теоретической части.

Мультивибратор (одновибратор). Функцией одновибратора является получение выходного импульса при воздействии на схему запускающего сигнала. Название схемы объясняется тем, что каждому входному сигналу соответствует один выходной.
На рис. 2.9 приведены основные схемы одновибраторов, где в качестве активного элемента используется ОУ. На рис. 2.10 показаны временные диаграммы, поясняющие работу схем.

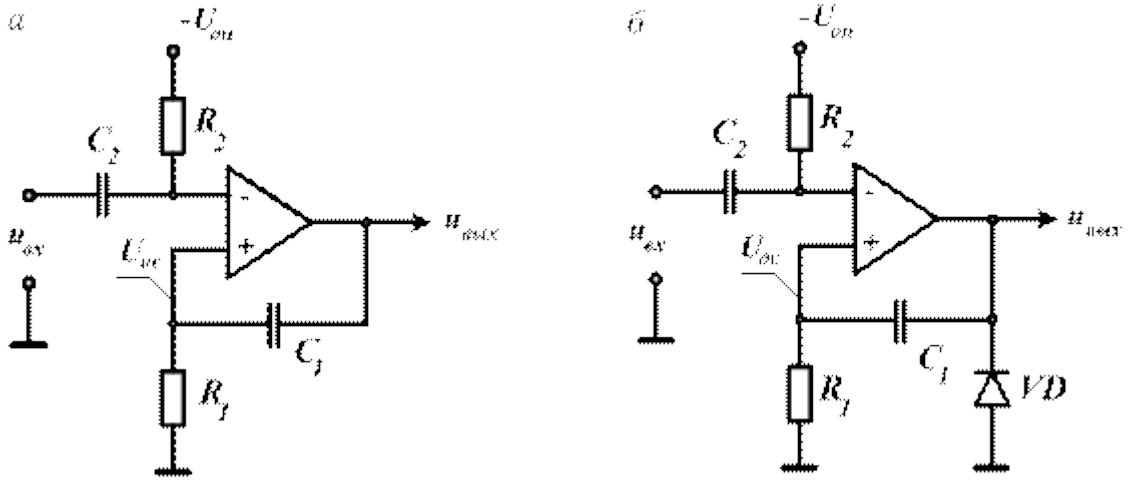


Рис. 6. Схема одновибратора: *а* – без стабилизации напряжения; *б* – со стабилизацией напряжения

Длительность выходного импульса зависит от параметров элементов схемы одновибратора, а не от сигнала на входе. Таким образом, в одновибраторе можно сформировать выходной сигнал или задать его длительность путем выбора величин параметров элементов схемы. Операционный усилитель в схеме одновибратора работает в компараторном режиме, т. е. выходной сигнал может принимать значение, близкое либо к положительному $+E_к$, либо к отрицательному напряжению $-E_к$ источника питания ОУ.

При отсутствии входного запускающего импульса величина напряжения на неинвертирующем входе U_{oc} близка к нулю, если не учитывать небольшое падение напряжения на резисторе R_1, а напряжение на инвертирующем входе определять уровнем опорного напряжения $-U_{on}$ отрицательной полярности. Оба эти напряжения прикладываются к дифференциальным входам ОУ, поэтому $u_{диф} = U_{oc} - U_{on} > 0$, а значение выходного напряжения ОУ равно $u_{вых} = K \cdot u_{диф} = U^{+}_{нас}$, т. е. максимальному значению напряжения положительной полярности на выходе.

Если подать на инвертирующий вход положительный перепад напряжения $u_{вх}$ (рис. 7, *а*) через конденсатор C_2, то положительное напряжение $u^{-}_{вх}$ на инвертирующем входе ОУ возрастает (рис. 7, *б*). Это напряжение при $t = t_1$ станет по амплитуде больше, чем напряжение U_{oc} на неинвертирующем входе, поэтому соотношение $u_{вх} = U_{oc} - u^{-}_{вх}$ на входе ОУ изменится на противоположное и на выходе ОУ появится отрицательное напряжение $u_{вых} = U^{-}_{нас}$, т. е. минимальное напряжение отрицательной полярности на выходе для схемы рис. 6, *а* или $u_{вых} = -\Delta U_V$ – для схемы рис. 6, *б*.

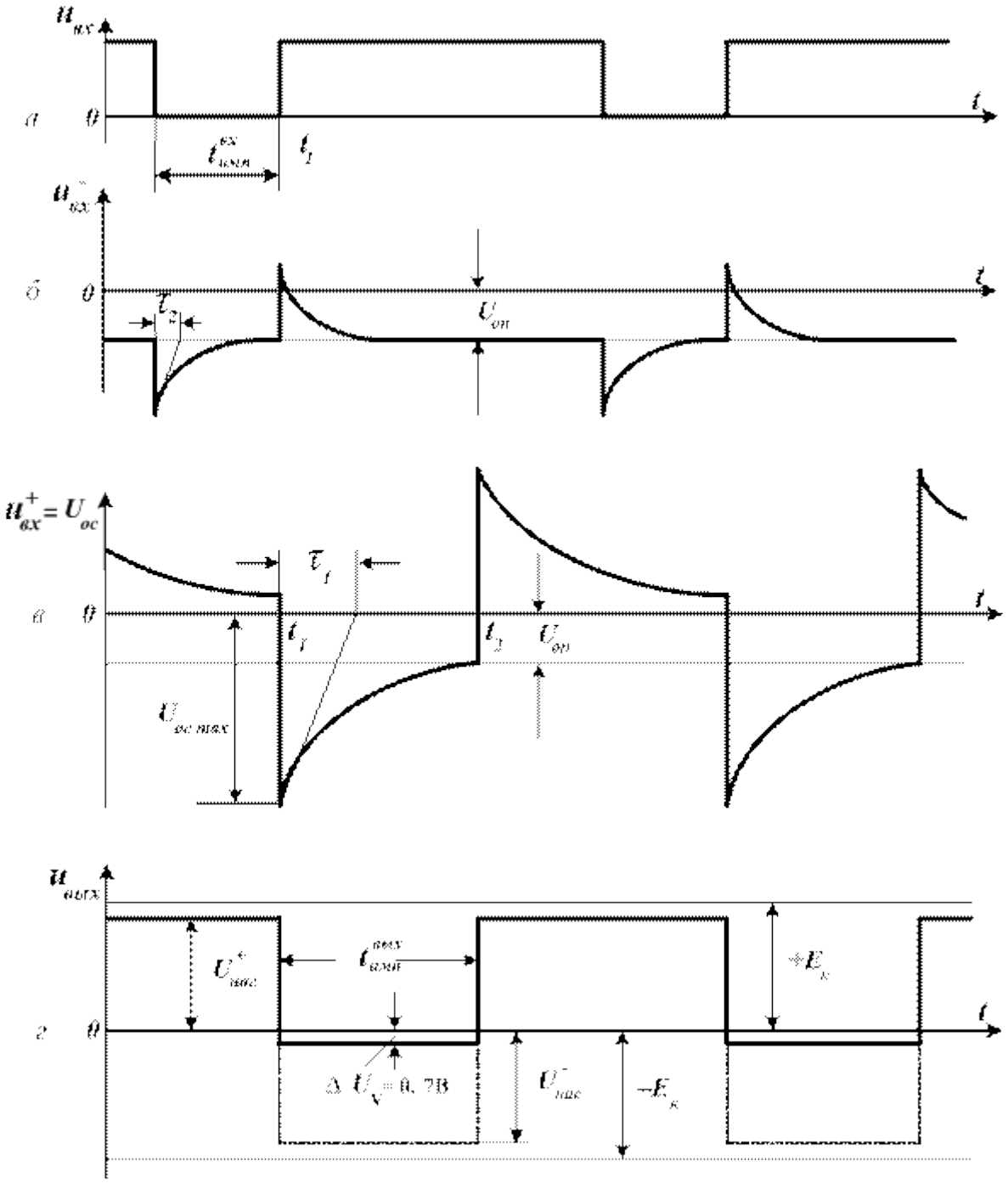


Рис. 7. Диаграммы работы одновибратора

Выходное напряжение $u_{вых}$ через времязадающий конденсатор C_1 поступает на неинвертирующий вход (рис. 7, *в*) в виде отрицательного перепада напряжения. Поскольку на интервале $t_1 - t_2$ $U_{ос} < U_{оп}$, то напряжение на входе ОУ $u_{вх} = U_{ос} - U_{оп} < 0$, поэтому ОУ принудительно удерживается в

существующем состоянии, соответствующем напряжению $U^{-}_{нас}$ или $-\Delta U_V$ на выходе. Затем времязадающий конденсатор C_1 перезаряжается через резистор R_1, причем потенциал его обкладки, соединенный с эти резистором, изменяется на интервале $t_1 - t_2$ в сторону потенциала «земли», как показано на временной диаграмме рис. 7, *в*.

Когда уровень напряжения на неинвертирующем входе $u^{+}_{вх} = U_{ос}$ при $t = t_2$ становится больше опорного напряжения $U_{оп}$ на инвертирующем входе, то $u_{вх} = U_{ос} - U_{оп} > 0$, поэтому ОУ вновь изменяет свое состояние под действием положительного дифференциального входного напряжения $u_{вх}$ и напряжение на выходе ОУ вновь возвращается к исходному значению $u_{вых} = U^{+}_{нас}$. На этом завершается рабочий цикл одновибратора.

Начало рабочего цикла обусловлено воздействием положительного перепада входного напряжения ($t = t_1$). При поступлении на инвертирующий вход фронта запускающего импульса входное напряжение смещается в сторону отрицательных напряжений и выходное напряжение ОУ на интервале $t_1 - t_2$ остается неизменным и равным $U^{+}_{нас}$.

Схему рис. 6, *б* характеризуют следующие уравнения:

$$U^{+}_{нас} \approx 0{,}95(+E_к); \quad U^{-}_{нас} \approx 0{,}95(-E_к);$$

$$t^{вых}_{имп} = R_1 C_1 \ln[U_{ОП} / (U^{-}_{нас} + \Delta U_V + U_{СМ})];$$

$$R_2 C_2 \approx 0{,}2 t^{вх}_{имп}.$$

Как следует из этих уравнений, амплитуда выходного напряжения $U^{+}_{нас}$, $U^{-}_{нас}$ одновибратора составляет примерно 95 % от величины питающих

напряжений $\pm E_к$. Так, если значение $\pm E_к$ равны 10 В, то выходное напряжения одновибратора составят +9,5 В и –9,5 В. Если одновибратор предназначен для работы с цифровыми логическими схемами, для которых уровень лог. 1 составляет 5 В, напряжения питания $\pm E_к$ ОУ должны быть равны ± 5,3 В.

В начале рабочего цикла при $t = t_1$ выходное напряжение $u_{вых}$ (рис. 7, *г*) становится отрицательным, на неинвертирующий вход схемы через цепь обратной связи подается отрицательный перепад напряжения. Например, если напряжения $U^+_{нас}, U^-_{нас}$ составляют ± 9,5 В, то напряжение на неинвертирующем входе в начале рабочего цикла окажется равным – 19,0 В. Если эта величина превысит допустимую величину входного напряжения ОУ, следует подключить дополнительную защитную цепочку, состоящую из диода *VD* (рис. 6, *б*). При наличии в схеме диода *VD* наеинвертирующем входе ОУ действует сумма напряжений $U^-_{нас}$ и прямого падения напряжения на диоде, обычно не превышающего 0,7 В. Таким образом, при $U^-_{нас}$ = – 9,5 В максимальное напряжение на входе ОУ будет примерно – 9,5 + 0,7 = –8,8 В.

Помимо перепада напряжения отрицательной полярности на неинвертирующем входе ОУ, происходит падение напряжения $U_{см}$ на резисторе R_1, обусловленное, главным образом, протеканием через него входного тока. Это напряжение необходимо прибавить к сумме выходных напряжений ОУ для того, чтобы в соответствии с формулой найти действительную величину напряжения на неинвертирующем входе (рис. 7, *в*). Это напряжение обозначено на рис. 2.9 как $U_{ОСmax}$.

Резистор R_2 подключен не к «земле», а к источнику опорного напряжения $-U_{оп}$ отрицательной полярности. Это напряжение гарантирует

полную отсечку ОУ в исходном состоянии, т. е. перед появлением перепада напряжения положительной полярности на инвертирующем входе.

Опорное напряжение $-U_{оп}$ управляет также длительностью выходного импульса. Как видно из временной диаграммы (см. рис.7 *в, г*), длительность импульса $t_{имп}^{вых}$ увеличивается при уменьшении опорного напряжения $U_{ОП}$ и наоборот. Операционный усилитель вновь переключается в исходное состояние (конец выходного импульса), когда конденсатор C_1 при $t = t_2$ разряжается до уровня опорного напряжения $U_{оп}$

Предельные значения опорного напряжения $U_{оп}$ определяются, главным образом, напряжением $u_{вх}$ запускающего импульса длительностью $t_{имп}^{вх}$ и падением напряжения на резисторе R_1. Опорное напряжение $U_{оп}$ отрицательной полярности должно быть больше, чем это падение напряжения для того, чтобы обеспечить режим отсечки, но меньше, чем напряжение запускающего импульса $u_{вх}$. Это необходимо для того, чтобы обеспечить переключение ОУ запускающим импульсом. Кроме того, следует учесть, что значение опорного напряжения $U_{оп}$ должно быть меньше напряжения $U_{ос}$. На практике соотношение этих напряжений составляет: $U_{оп} \approx 0{,}3U_{ос}$.

Длительность выходного импульса $t_{имп}^{вых}$ определяется постоянной времени цепочки $\tau_1 = R_1C_1$ и отношением напряжений. Время перезаряда входной цепочки $\tau_2 = R_2C_2$ (рис. 7, *б*) должно быть меньше, чем длительность входного импульса $t_{имп}^{вх}$. Если это условие не выполнено, то замедленный или неполный разряд конденсатора C_2 может повлиять на работу схемы. В качестве первого приближения можно считать, что

длительность запускающего импульса $t_{имп}^{вх}$ отрицательной полярности должна быть в 5 раз больше постоянной времени $\tau_2 = R_2C_2$.

Пример решения задачи.

Допустим, что схема (рис. 6, *а*) должна формировать выходной импульс, который изменяется в пределах от +8 до –8 В с последующим возвращением к уровню +8 В. Требуемая длительность выходного импульса равна $t_{имп}^{вых}$ = 300 мс. Амплитуда импульса на входе составляет –5 В при длительности $t_{имп}^{вх}$ = 30 мс и сопротивлении источника питания 50 Ом. Допустимое напряжение ОУ по входу равно 10 В, а максимальные допустимые значения напряжения питания $+E_к$ и $-E_к$ равны ± 12 В. Сопротивление резистора R_2 должно быть равно 50 Ом для согласования с выходным сопротивлением 50 Ом входного источника импульсного сигнала.

Постоянная времени входной цепи $\tau_2 = R_2C_2$ должна быть в 5 раз меньше длительности входного запускающего импульса, т. е. 30 : 5 = 6 мс. При сопротивлении резистора R_2 = 50 Ом и постоянной времени τ_2 = 6 мс емкость конденсатора C_2 составит: 6 мс : 50 Ом = 120 мкФ.

При требуемом размахе выходного напряжения ±8 В значения обоих напряжений питания ОУ $+E_к$ и $-E_к$ должны быть примерно равны 8/0,95 = 8,4 В, а максимальное напряжение обратной связи $U_{осmax}$ – около 16,8 В. Это значение больше максимального допустимого входного напряжения ОУ, равного 10 В. Напряжение обратной связи можно уменьшить при неизменном входном сигнале, используя усовершенствованную схему с диодной защитой, показанной на рис. 6, *б*. В этом случае величина полного напряжения обратной связи $U_{ос}$ равна –6,8 В, если допустить, что напряжение $U_{нас}^{-}$ = –8 В, а прямое падение напряжения на диоде ΔU_V равно

0,7 В и падение напряжения $U_{см}$ на резисторе R_1 не превысит 0,5 В, т. е. $U_{ос} = U^{-}_{нас} + \Delta U_V + U_{см}$ = –8 + 0,7 + 0,5 = –6,8 В. Таким образом, напряжение обратной связи получается меньше допустимого для ОУ значения 10 В, а выходное напряжение продолжает изменяться в пределах от $U^{+}_{нас}$ до $-\Delta U_V$.

Значения сопротивления резистора R_1 и емкости конденсатора C_1, а также напряжения $U_{оп}$ должны быть выбраны таким образом, чтобы получить требуемую длительность выходного импульса $t^{вых}_{имп}$ = 300 мс. Напряжение $U_{оп}$ должно быть больше, чем напряжение смещения, равное $U_{см}$ = 0,5 В, но меньше, чем амплитуда запускающего импульса, равная – 5 В. Примем для $U_{оп}$ значение –1,0 В. Практически падение напряжения на резисторе R_1 обычно оказывается значительно меньше, чем 0,5 В.

Длительность выходного импульса $t^{вых}_{имп}$ определяется параметрами времязадающей цепи R_1, C_1, а также напряжениями $U_{оп}$, ΔU_V и $U_{см}$. Амплитуда $t^{вых}_{имп}$ зависит от напряжений $U^{+}_{нас}$ и $U^{-}_{нас}$ в схеме рис. 2.9, *а* или $U^{+}_{нас}$ и $-\Delta U_V$ для схемы рис. 6, *б*. В последнем случае для расчета длительности выходного импульса справедливо соотношение

$$t^{вых}_{имп} = -R_1 C_1 \ln\left|\frac{U_{оп}}{U^{-}_{нас} + \Delta U_V + U_{см}}\right|.$$

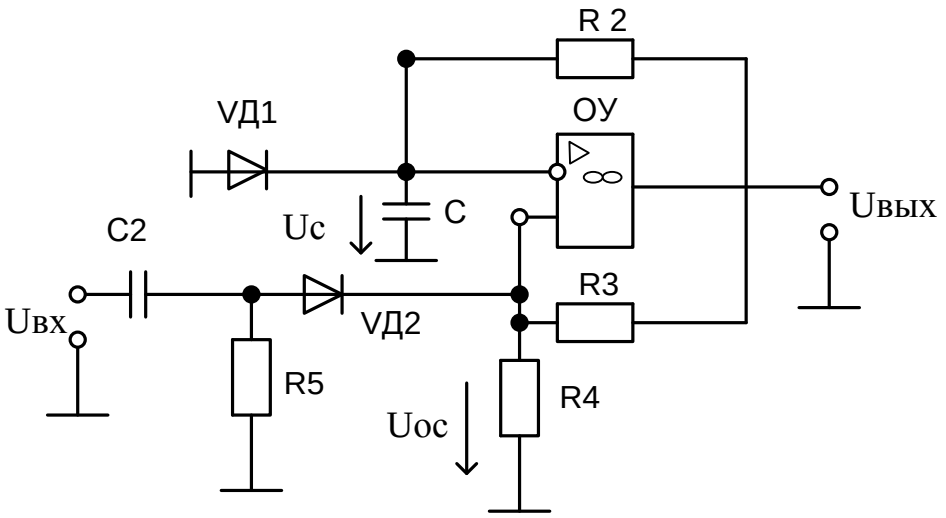
Из уравнения следует, что логарифм отношения $U_{оп}$ = –1,0 В к суммарной величине $U^{-}_{вых} + \Delta U_V + U_{см}$ составляет ~1,9. Таким образом,

цепочка R_1C_1 должна иметь постоянную времени τ_1, равную 300 мс : 1,9 = 160 мс. Можно использовать различные сочетания значений R_1 и C_1 при условии, что их произведение останется равным 160 мс.

С практической точки зрения увеличение сопротивления резистора R_1 при соответствующем уменьшении емкости конденсатора C_1 приводит к уменьшению габаритов RC -цепочки. В свою очередь, увеличение падения напряжения на резисторе R_1 может оказать влияние на длительность выходного импульса $t_{имп}^{вых}$. В первом приближении можно использовать такое сопротивление R_1, которое будет соответствовать падению напряжения на нем, не превышающему 10 % от падения напряжения, связанного с зарядом конденсатора C_1. Например, задавшись величиной последнего 0,5 В, следует выбрать значение падения напряжения, обусловленного протеканием входного тока, не более 0,05 В. Допустим, что входной ток ОУ составляет 200 нА. Тогда сопротивление резистора R_1 должно быть 0,05 : 200 нА = 250 кОм. При таком сопротивлении резистора R_1 и постоянной времени τ_1 = 160 мс емкость конденсатора C_1 должна быть 160 мс : 250 кОм = 0,64 мкФ.

Задача 1.

1. Выбрать элементы и рассчитать значения резисторов схемы одновибратора при следующих исходных данных: $U_{ВЫХ}$ = 10 В, длительность импульса одновибратора не менее 3 мс, C=0,01 мкФ, R_4 / R_3=2 при выполнении условия R_4+ R3? 2 кОм.

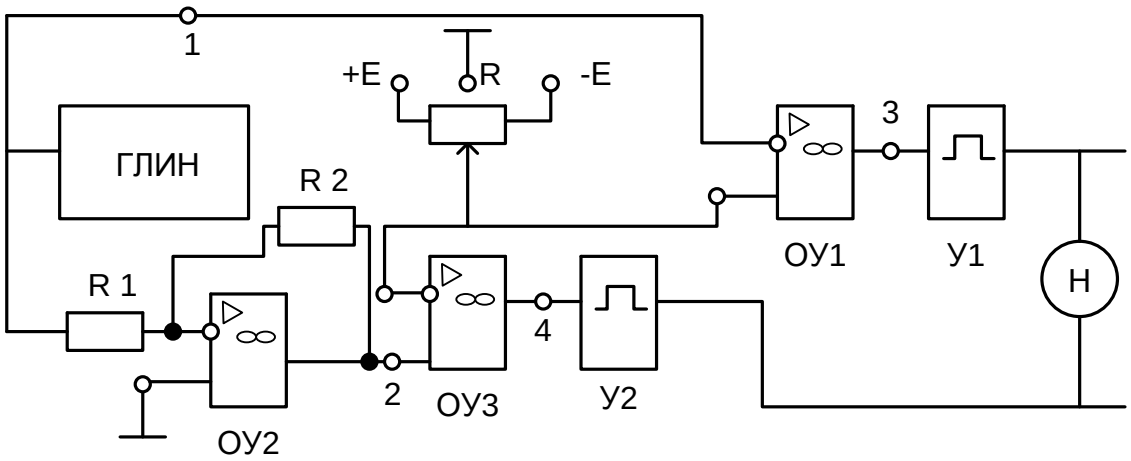


2. Определить максимальную частоту входных импульсов, их амплитуду и длительность при C2=100 пФ, R_5=10 кОм.

Задача 2.

1. Схема, какого устройства изображена ниже? Нарисуйте временные диаграммы сигналов в точках 1, 2, 3, 4.

2. Временные диаграммы следует построить для трех случаев: 1) движок потенциометра R находится строго в средней точке; 2) движок смещен влево; 3) движок смещен в право.



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Тема: Расчет параметров триггеров.

Цель работы – научиться рассчитывать параметры триггеров.

Содержание теоретической части.

Под триггером понимается электронный элемент, обладающий двумя устойчивыми состояниями, причем переход из одного в другое происходит каждый раз под воздействием сигналов. Один из сигналов записывает информацию в триггер, а второй считывает ее. Различаются потенциальные (статические) и импульсные (динамические) триггеры.

Потенциальный триггер. Различие состояний потенциального триггера определяется наличием или отсутствием на его выходе дискретного потенциального сигнала. Входной сигнал может быть как потенциальным, так и импульсным. Потенциальный триггер осуществляется на основе усилителя постоянного тока с сильной положительной обратной связью, обеспечивающей релейность его проходной характеристики. Отличительной особенностью характеристики триггера является ее симметричное положение относительно вертикальной оси. Поэтому в отличие от других релейных элементов, например от компаратора, для изменения состояний триггера необходимы два входных сигнала, в частности положительный $+u_И$ и отрицательный $-u_И$ импульсы.

Счетный интегральный триггер. В устройствах обработки цифровой информации широкое применение находят счетные Т-триггеры и комбинированные RST-триггеры. Триггер со счетным Т входом управляется последовательностью импульсов одной полярности. При этом часто используется динамический инверсный вход Т.

Универсальный интегральный триггер. Интегральные триггеры обычно выполняются так, чтобы имелась возможность осуществлять рассмотренные выше и некоторые другие функции. Обычно они синхронные,

двухступенчатые, но имеют и асинхронные установочные входы, а также по нескольку входов одного назначения, объединяемых элементами *DW* (ИЛИ) или *DX* (И).

RS триггер – триггер с раздельной установкой состояния логического нуля и логической единицы. Общее обозначение двух вариантов RS триггеров и варианты их реализации на элементах ИЛИ-НЕ (а) и И-НЕ (б) показаны на рисунке.

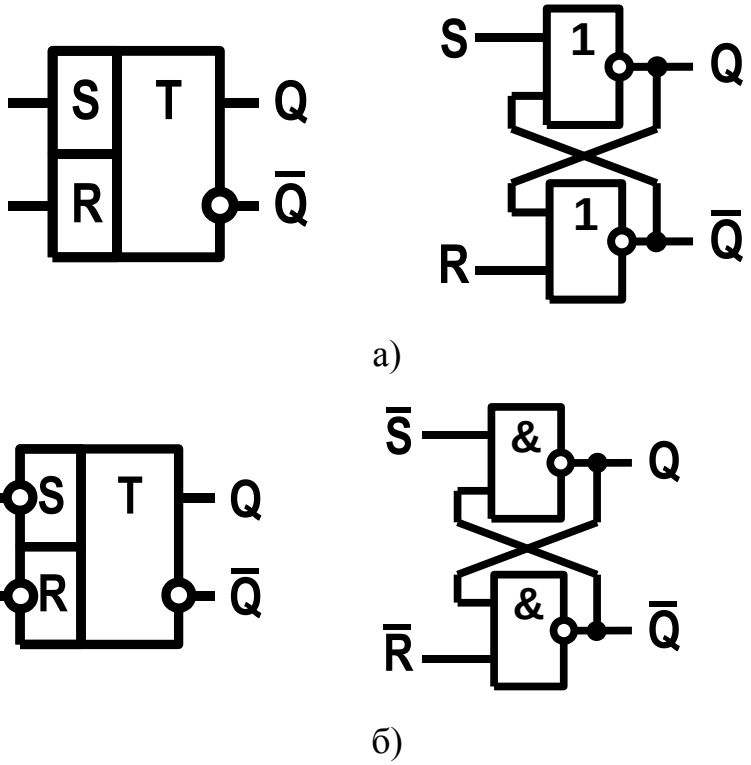


Рис. 8. Логические схемы триггера

На рисунке использованы следующие обозначения:

Q - прямой выход триггера.

$\overline{Q}$ - инверсный выход триггера. Состояние инверсного выхода всегда противоположно состоянию прямого выхода Q.

S - вход установки 1 на прямом выходе (Set). Для триггера (рис. 8 а) переключение происходит при $S = 1$ (прямой вход), а для триггера (рис. 8 б) – при $\overline{S} = 0$ (инверсный вход, обозначен окружностью).

R - вход установки 0 на прямом выходе (**R**eset). Для триггера (рис. а) переключение происходит при $R = 1$ (прямой вход), а для триггера (рис. б) – при $\overline{R} = 0$ (инверсный вход, обозначен окружностью).

Данные RS триггеры являются асинхронными одноступенчатыми триггерами, переключение которых происходит непосредственно в момент изменения входных сигналов.

Таблица 1 – Переходы RS триггера на элементах ИЛИ-НЕ (рис. 6 а)

R	S	Q_{n+1}
0	0	Q_n
1	0	0
0	1	1
1	1	Неопределенно

В таблице Q_n и Q_{n+1} обозначают, соответственно, текущее и последующее состояние триггера. Логическая функция переходов RS триггера на элементах ИЛИ-НЕ имеет вид:

$$Q_{n+1} = S \vee \overline{R} \cdot Q_n .$$

При $R = S = 1$ выходы триггера $Q = \overline{Q} = 0$. После одновременной установки $R = S = 0$ состояние триггера неопределенно, возможно как $Q_{n+1} = 0$, так и $Q_{n+1} = 1$.

Таблица 2 – Переходы RS триггера на элементах И-НЕ (рис. 6 б)

$\overline{R}$	$\overline{S}$	Q_{n+1}
0	0	Неопределенно
1	0	1
0	1	0
1	1	Q_n

Логическая функция переходов RS триггера на элементах ИЛИ-НЕ имеет вид:

$$Q_{n+1} = \overline{S} \vee R \cdot Q_n .$$

При $\overline{R} = \overline{S} = 0$ выходы триггера $Q = \overline{Q} = 1$. После одновременной установки $\overline{R} = \overline{S} = 1$ состояние триггера неопределенно, возможно как $Q_{n+1} = 0$, так и $Q_{n+1} = 1$.

D триггер – триггер задержки (**D**elay), передающий информацию со входа на выход в момент появления синхронизирующего (тактирующего) импульса. В комплект миниблоков включен синхронный D триггер, выполненный на микросхеме 1533ТМ2 (74ALS74). Графическое обозначение D триггера приведено на рисунке.

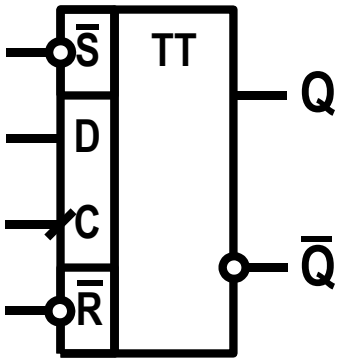


Рис. 9. D триггер

На рисунке использованы следующие обозначения:

Q, $\overline{Q}$- прямой и инверсный выходы триггера. Состояние инверсного выхода всегда противоположно состоянию прямого выхода Q.

D - информационный (Data) вход триггера.

C - вход синхронизации (Clock) триггера. Черточка на выводе входа С означает, что запись информации в триггер со входа D происходит при переходе сигнала синхронизации из 0 в 1, т. е. при нарастании сигнала, при его положительном перепаде.

$\overline{S}$ - асинхронный вход установки 1 на прямом выходе (**S**et) независимо от состояния сигналов D и C. Вход инверсный – изменение состояния триггера происходит при $\overline{S} = 0$.

$\overline{R}$ - асинхронный вход установки 0 на прямом выходе (Reset) независимо от состояния сигналов D и C. Вход инверсный – изменение состояния триггера происходит при $\overline{R}=0$. Как и в RS триггере, одновременная подача сигналов $\overline{S}=\overline{R}=0$ запрещена, поскольку состояние триггера после установки $\overline{S}=\overline{R}=1$ неопределенно.

Таблица переходов D триггера. Переход из состояния Q_n в Q_{n+1} происходит при положительном перепаде сигнала C.

Таблица 3 – Переход D триггера

D	Q_n	Q_{n+1}
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

Т триггер – триггер со счетным входом, изменяющий свое состояние на противоположное при приходе управляющего импульса (или фронта импульса). В работе тестируется Т триггер созданный на основе D триггера. Соединение инвертирующего выхода $\overline{Q}$ с информационным входом D приводит к тому, что триггер меняет свое состояние при каждом положительном перепаде сигнала на входе синхронизации C (см. рисунок).

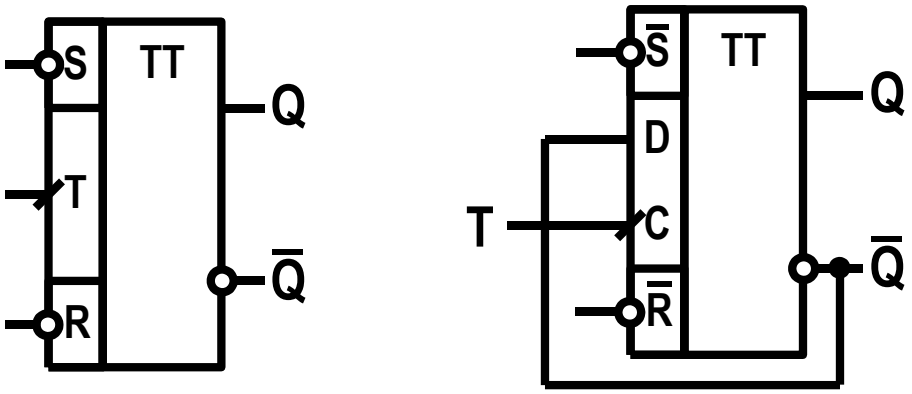


Рис. 10. Т триггер

На рисунке использованы следующие обозначения:

Q, $\overline{Q}$- прямой и инверсный выходы триггера. Состояние инверсного выхода всегда противоположно состоянию прямого выхода Q.

D - информационный (Data) вход триггера.

T - счетный вход (Toggle) триггера. Смена состояния триггера происходит при положительном перепаде сигнала на входе T.

$\overline{S}$ - асинхронный вход установки 1 на прямом выходе (**S**et) независимо от состояния триггера и сигнала T. Вход инверсный – изменение состояния триггера происходит при $\overline{S} = 0$.

$\overline{R}$ - асинхронный вход установки 0 на прямом выходе (**R**eset) независимо от состояния триггера и сигнала T. Вход инверсный – изменение состояния триггера происходит при $\overline{R} = 0$.

Как и в RS триггере, одновременная подача сигналов $\overline{S} = \overline{R} = 0$ запрещена, поскольку состояние триггера после установки $\overline{S} = \overline{R} = 1$ неопределенно.

JK триггер – универсальный синхронный двухступенчатый триггер (1533ТВ9, 74ALS112). Триггер имеет синхронные входы J (установка $Q = 1$) и K (установка $Q = 0$). Смена состояния триггера происходит по отрицательному перепаду сигнала (переход из 1 в 0) на входе синхронизации C. В отличие от RS триггера, при $J = K = 1$, триггер JK меняет свое состояние на противоположное ($Q_{n+1} = \overline{Q_n}$), т. е. работает как счетный T триггер. Обозначение JK триггера приведено на рисунке.

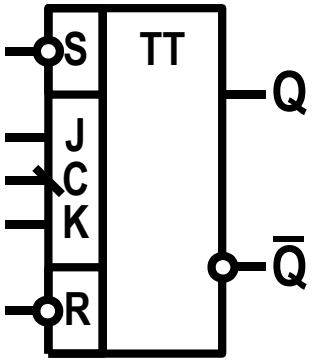


Рис. 11. JK триггер

На рисунке использованы следующие обозначения:

Q, $\overline{Q}$ - прямой и инверсный выходы триггера. Состояние инверсного выхода всегда противоположно состоянию прямого выхода Q.

J - вход установки триггера в состояние $Q = 1$.

K - вход установки триггера в состояние $Q = 0$.

C - вход синхронизации триггера. Черточка на выводе входа С обозначает, что смена состояния триггера происходит при переходе сигнала синхронизации из 1 в 0, т. е. при уменьшении сигнала, при его отрицательном перепаде.

$\overline{S}$ - асинхронный вход установки 1 на прямом выходе (**S**et) независимо от состояния триггера и сигналов J, K, C. Вход инверсный – изменение состояния триггера происходит при $\overline{S} = 0$.

$\overline{R}$ - асинхронный вход установки 0 на прямом выходе (**R**eset) независимо от состояния триггера и сигналов J, K, C. Вход инверсный – изменение состояния триггера происходит при $\overline{R} = 0$. Как и в RS триггере, одновременная подача сигналов $\overline{S} = \overline{R} = 0$ запрещена, поскольку состояние триггера после установки $\overline{S} = \overline{R} = 1$ неопределенно.

Таблица 4 – Переход JK триггера при $\overline{S} = \overline{R} = 1$.

J	K	Q_n	Q_{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

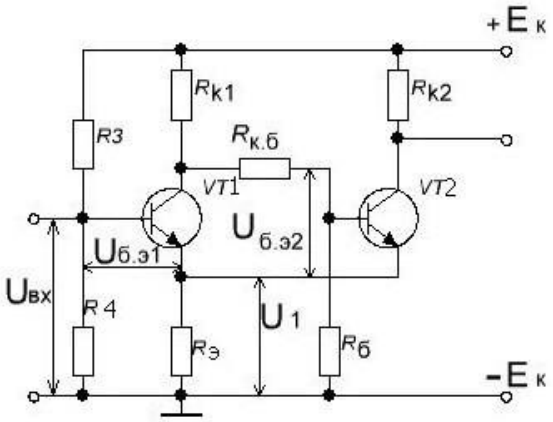
Переход из состояния Q_n в Q_{n+1} происходит при отрицательном перепаде сигнала на входе синхронизации C.

Пример решения задачи.

Расчет триггера Шмитта.

Амплитуда выходных импульсов Um /В/ - 12В. Первый пороговый уровень U1 /В/ - 1,5В. Максимальная частота входного напряжения F /кГц/:

10. Температура нагрева транзисторов /град./: 50.



1. Расчет и выбор источника питания E. E = 1.1 * (Um + U1) = 1,1(12+1,5) = 14,85 В. Выбрать стандартное значение напряжения источника и ввести его в дальнейший расчет. E = 15В

2. Выбор типа транзисторов. Выбор транзисторов производится по значению верхней граничной частоты Fоб и допустимому обратному напряжению Vкбдоп, которые рассчитываются по формулам: Fоб = F / 0.2 = 50; Uкбдоп > 2Eк Uкбдоп = 35 В.

Транзистор выбирают так, чтобы его значения Fоб и Uкбдоп были больше расчетных. Тип выбранного транзистора КТ315Г: Ввести его параметры - Iко = 50 мкА ток коллектора обратный H21э = 50 коэффициент усиления Iкдоп = 100 мА…... допустимый ток коллектора fa= = 250 мГц граничная частота усиления Vкбдоп = 40 В допустимое напряжения коллектор – база.

3. Расчет тока насыщения транзистора Iкнас. Iкнас = 0.7 · I кдоп Iкнас = 70 мА.

4. Расчет сопротивления резистора Rк2. Rк2 > (Eк-U1) / (Iкнас) Rк2 = 193Ом. Выбрать стандартное значение Rк2,пользуясь рядами номинальных значений. Rк2 =200 Ом.

5. Расчет сопротивления резистора Rэ.

Rэ = (Rк2 · U1 · amin) / (Eк — U1), где amin = H21эmin / 1+H21эmin ; H21эmin = 50; amin = 50/1+50 = 0.98 Rэ = (200 · 1,5 · 0,98) / (15 — 1.5) = Rэ = 22,15 Ом. Выбрать стандартное значение Rэ =22 Ом.

6. Расчет сопротивления резистора $R_{к1}$. $R_{к1} = 2R_{к2}$; $R_{к1} = 400$ Ом; Выбрать стандартное значение $R_{к1} = 430$ Ом.

7. Расчет второго порогового уровня U2. $U2 = (E \cdot R_э)/(R_{к1} + R_э) = (15 \cdot 22) / (430 + 22) = 0{,}73$ В.

8. Расчет сопротивления резистора Rб из условия надежного запирания транзистора VT2. $R_б < U2 / I_{кот}$; $I_{кот} = I_{ко} \cdot 2^{(T-20)/10} = 400$ мкА, где $I_{кот}$ – обратный ток транзистора при заданной температуре - T.

$R_б < 0{,}73/0{,}0000004 = 1825$ Ом.

Выбрать стандартное значение сопротивления резистора $R_б = 1{,}8$ кОм.

9. Расчет сопротивления резистора $R_{к.б.}$ из условия насыщения транзистора VT2.

$R_{к.б.} < \{[H21э_{min} \cdot (R_{к2} – I_{кот} \cdot R_{к1}/I_{кн})] / [1+H21э_{min} \cdot U1/(I_{кн} \cdot R_б)]\} – R_{к1} = \{[50 \cdot (200 – 0{,}0000004 \cdot 430/ 0{,}07)] / [1+50 \cdot 1{,}5/(0{,}07 \cdot 1800)]\} – 430 = 5839$ Ом. Выбрать стандартное значение $R_{к.б.} = 5{,}6$ кОм.

10. Расчет делителя R3 , R4.

10.1 Расчет начального напряжения смещения на базе VT1 (на резисторе R4).

$U_{нач} = U2 + dU / 2$; $dU = U1 – U2$, $dU = 1{,}5 – 0{,}73 = 0{,}77$, $U_{нач} = 1{,}89$ В.

10.2 Задаемся током делителя, который должен составлять 10…15% от тока коллектора транзистора VT1, выберем его 10мА. $I_{дел} = 1{,}0$ мА.

10.3 Расчет сопротивления резистора R4.

$R4 = U_{нач} / I_{дел}$; $R4 = 1890$ Ом;

Выбрать стандартное значение R4 = 1,8 кОм;

10.4 Расчет сопротивления резистора R3.

$R3 = E / I_{дел} - R4 = 15/0{,}001 - 1800 = 13200$ кОм;

Выбрать стандартное значение R3 = 13 кОм.

11. Проверяем условие насыщения транзистора VT1.

Iдел > Iбн1 т.е. E / (R3 + Rэ) > E /(Rк1 · H21эmin) Iдел - ток базового делителя VT1, Iбн - ток насыщения базы транзистора VT1; Iдел = 15/(1800+22) = 0,008; Iбн1 = 15/(400 · 50) = 0,00075; отсюда 0,008 > 0,00075.

Если условие насыщения не выполняется, пересчитать делитель R3, R4, увеличив ток делителя.

Задача.

1.1 Начертить электрическую функциональную схему асинхронного RS-триггера на логических элементах И-НЕ или ИЛИ-НЕ и временные диаграммы его работы.

1.2 На базе RS-триггера построить двухтактный RS-триггер, синхронный RS-триггер, однотактный D- и JK-триггеры и привести соответствующие им временные диаграммы и таблицы истинности.

1.3 Построить Т-триггер на базе двухступенчатых RS-, D- или JK-триггера в зависимости от номера варианта из таблицы а. Привести временные диаграммы и таблицы истинности, поясняющие его работу.

1.4 Разработать и начертить схему электрическую функциональную и временную диаграмму четырехразрядного параллельного регистра на базе D-триггеров синхронизируемых фронтом для четных вариантов или на базе RS-триггеров, синхронизируемых фронтом для нечетных вариантов.

1.5 Разработать и начертить схему электрическую функциональную и временную диаграмму четырех разрядного регистра сдвига на базе на RS-триггеров, синхронизируемых фронтом, для четных вариантов или на базе D-триггеров, синхронизируемых фронтом, для нечетных вариантов.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Тема: Расчет параметров счетчиков.

Цель работы – научиться рассчитывать параметры счетчиков.

Содержание теоретической части.

Двоичный суммирующий асинхронный счетчик собирается на *T* триггерах. *T* триггеры счетчика выполнены на основе *D* триггеров. Положительный перепад сигнала на входе счетчика *T* увеличивает содержимое счетчика на 1.

Переход любого триггера счетчика из состояния 1 в 0 приводит к появлению положительного перепада на инверсном выходе этого триггера и переключению триггера следующего разряда.

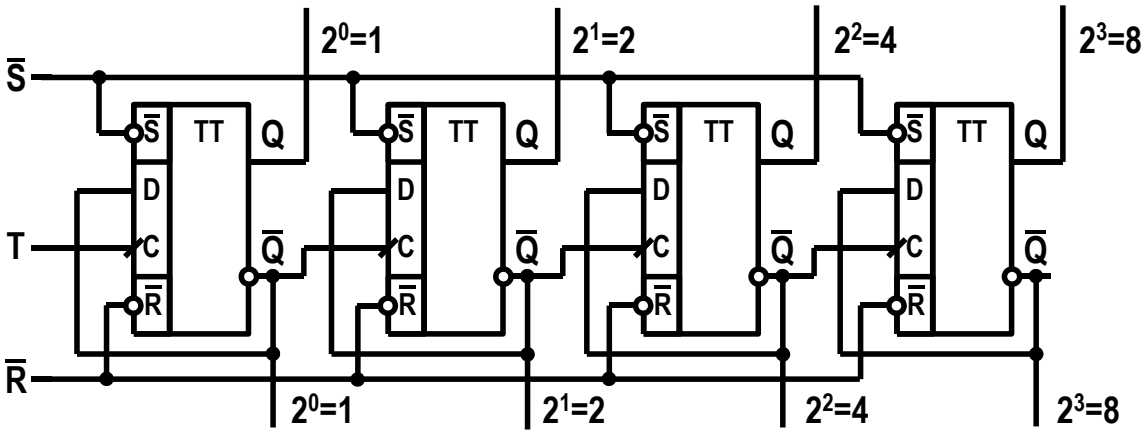


Рис. 12. Первый вариант двоичного суммирующего асинхронного счетчика

T триггеры счетчика выполнены на основе *D* триггеров из набора миниблоков. Положительный перепад сигнала на входе счетчика *T* увеличивает содержимое счетчика на 1.

Переход любого триггера счетчика из состояния 1 в 0 приводит к появлению положительного перепада на инверсном выходе этого триггера и переключению триггера следующего разряда.

При счете состояние триггеров счетчика меняется в соответствии с таблицей.

Таблица 5 – Состояние триггеров счетчика

Десятичное число	Выходы Q			
	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Для нормальной работы счетчика на входах $\overline{S}$ и $\overline{R}$ триггеров должна быть установлена логическая 1. Переход сигнала 0 на одной из этих шин немедленно переводит счетчик в состояние $0_{10}=0000_2$ (вход $\overline{R}$) или $15_{10}=1111_2$ (вход $\overline{S}$) и блокирует счет. Счет возобновиться после восстановления $\overline{S}=\overline{R}=1$.

Одновременно с увеличением числа на прямых выходах триггеров счетчика, двоичное число на инверсных выходах триггеров убывает от $15_{10}=1111_2$ до $0_{10}=0000_2$, т. е относительно инверсных выходов счетчик можно рассматривать как вычитающий.

Тогда, при счете, состояние триггеров счетчика меняется в соответствии с таблицей.

Таблица 6 – Состояние триггеров счетчика

Десятичное число	Выходы $\overline{Q}$			
	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$
15	1	1	1	1
14	1	1	1	0
13	1	1	0	1
12	1	1	0	0

Продолжение таблицы 6

11	1	0	1	1
10	1	0	1	0
9	1	0	0	1
8	1	0	0	0
7	0	1	1	1
6	0	1	1	0
5	0	1	0	1
4	0	1	0	0
3	0	0	1	1
2	0	0	1	0
1	0	0	0	1
0	0	0	0	0

Другой вариант вычитающего счетчика можно получить, если на вход следующего триггера подать сигнал с прямого выхода предыдущего триггера. При счете на прямых выходах триггеров будет формироваться убывающее двоичное число. Логическая схема такого счетчика приведена на рисунке.

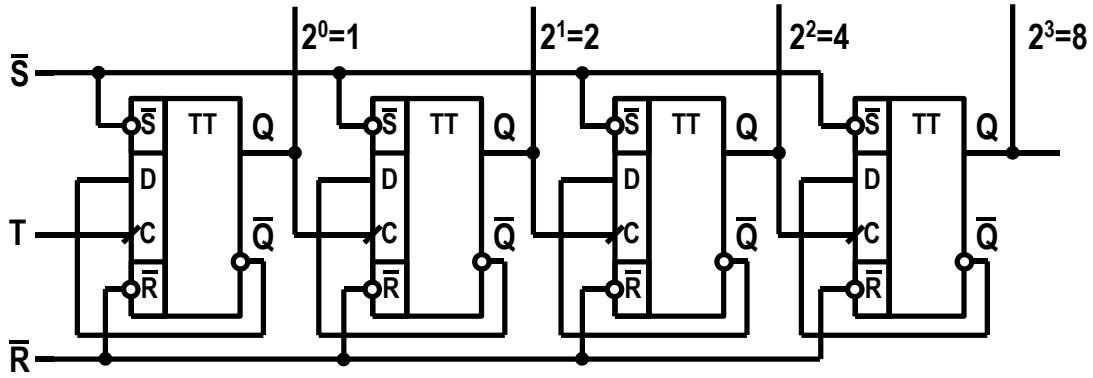


Рис. 13. Второй вариант двоичного суммирующего асинхронного счетчика

Если пред началом счета счетчик был установлен в состояние $0_{10}=0000_2$, то первый положительный перепад на входе *T* переведет его в состояние $15_{10}=1111_2$, и, в дальнейшем, двоичное число на прямых выходах триггеров будет убывать в соответствии с таблицей.

Таблица 7 – Двоичное число на прямых выходах триггеров

Десятичное число	Выходы $\overline{Q}$			
	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$
0	0	0	0	0
15	1	1	1	1
14	1	1	1	0
13	1	1	0	1
12	1	1	0	0
11	1	0	1	1
10	1	0	1	0
9	1	0	0	1
8	1	0	0	0
7	0	1	1	1
6	0	1	1	0
5	0	1	0	1
4	0	1	0	0
3	0	0	1	1
2	0	0	1	0
1	0	0	0	1

Для нормальной работы счетчика на входах $\overline{S}$ и $\overline{R}$ триггеров должна быть установлена логическая 1. Переход сигнала 0 на одной из этих шин немедленно переводит счетчик в состояние $0_{10}=0000_2$ (вход $\overline{R}$) или $15_{10}=1111_2$ (вход $\overline{S}$).

Двоично-десятичный счетчик создан на основе двоичного суммирующего счетчика. Дополнительная комбинационная логическая цепь выявляет появление в счетчике числа $10_{10}=1010_2$ и сбрасывает счетчик в состояние 0.

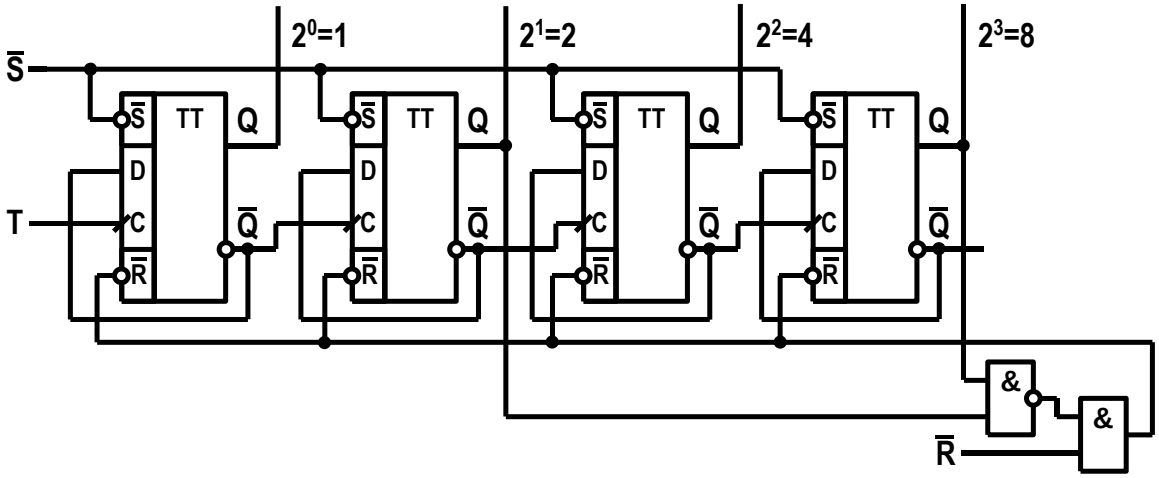


Рис. 14. Двоично-десятичный счетчик

При счете двоичное число на выходах счетчика меняется в соответствии с таблицей.

Таблица 8 – Двоичное число на выходах счетчика

Десятичное число	Выходы Q				Примечание
	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$	
0	0	0	0	0	
1	0	0	0	1	
2	0	0	1	0	
3	0	0	1	1	
4	0	1	0	0	
5	0	1	0	1	
6	0	1	1	0	
7	0	1	1	1	
8	1	0	0	0	
9	1	0	0	1	
10	1	0	1	0	Сброс в состояние $0_{10}=0000_2$

Для нормальной работы счетчика на входах $\overline{S}$ и $\overline{R}$ триггеров должна быть установлена логическая 1. Установка 0 на входе $\overline{R}$ приводит к сбросу счетчика, т. е. переводит его в состояние $0_{10}=0000_2$.

Попытка установки счетчика в состояние $15_{10}=1111_2$ сигналом $\overline{S}=0$ приводит к неопределенным результатам. Действительно, при $\overline{S}=0$ счетчик переходит в состояние $15_{10}=1111_2$. Установка в состояние 1 триггеров второго (2^1) и четвертого (2^3) разрядов приводит к появлению 0 на выходе элементов И-НЕ, И. Таким образом 0 устанавливается и на входах $\overline{R}$ всех триггеров. При $\overline{R}=\overline{S}=0$ триггеры переходят в состояние, когда сигналы на прямом и инверсном выходе одинаковы, и равны 1. При выходе из этого состояния ($\overline{S}=1$) состояние триггеров счетчика неопределенно.

Двухкаскадный двоично-десятичный реверсивный счетчик выполнен на микросхемах 1533ИЕ6 (74ALS192).

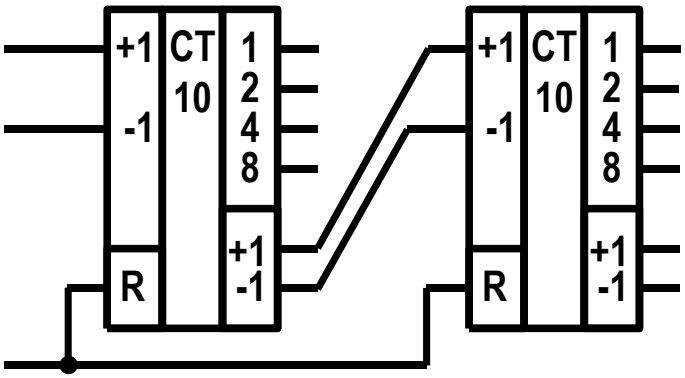


Рис. 15. Двухкаскадный двоично-десятичный реверсивный счетчик

Положительный перепад на входе «+1» (при сигнале 1 на входе «-1») увеличивает содержимое счетчика, а на входе «-1» - уменьшает (на входе «+1» сигнал 1). При подаче 1 на входы сброса R счетчики обнуляются. Если содержимое счетчика равно $9_{10}=1001_2$, то положительный перепад на входе «+1» переводит счетчик в состояние $0_{10}=0000_2$, и на выходе переноса «+1» появляется положительный перепад, добавляющий 1 в счетчик старшего разряда.

При уменьшении содержимого счетчика, находящегося в состоянии $0_{10}=0000_2$, счетчик переходит в состояние $9_{10}=1001_2$ и на выходе «-1» формируется сигнал вычитания 1 в счетчике старшего разряда.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

Тема: Расчет параметров регистров.

Цель работы – научиться рассчитывать параметры регистров.

Содержание теоретической части.

Регистром называется совокупность из нескольких D-триггеров, предназначенных для запоминания многоразрядного двоичного кода. Информация в регистр может записываться последовательно и параллельно и таким же образом извлекаться из регистра. Записываемая информация поступает на входы всех разрядов (ячеек), например 1-8-го регистра. Запись информации $u_{И,Ц}$ производится при наличии импульса $u_{И,У}$ на одном или нескольких управляющих входах во все ячейки регистра одновременно. Снимается информация также с выходов всех разрядов одновременно.

После полного заполнения регистра информацию можно извлечь или параллельно, или последовательно. Для последовательного извлечения информации необходимо еще восемь управляющих импульсов. Различные способы записи и извлечения информации в регистрах позволяют использовать их для преобразования параллельного двоичного кода в последовательный и наоборот, а также для выполнения операции сдвига.

В настоящее время выпускается большое количество регистровых интегральных схем, содержащих, как правило, четыре или восемь разрядов регистра в одном корпусе ИС. Например, интегральная микросхема 155ИР1 - это универсальный сдвигающий четырехразрядный регистр.

В *параллельных регистрах (регистрах хранения)* данные записываются и считываются одновременно во всех разрядах. Пример обозначения четырехразрядного параллельного регистра показан на рисунке.

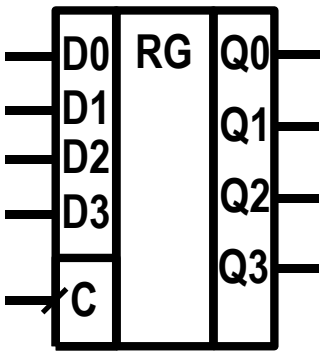


Рис. 16. Параллельный регистр

Логическая схема четырехразрядного параллельного регистра, выполненного на D триггерах, приведена на рисунке ниже.

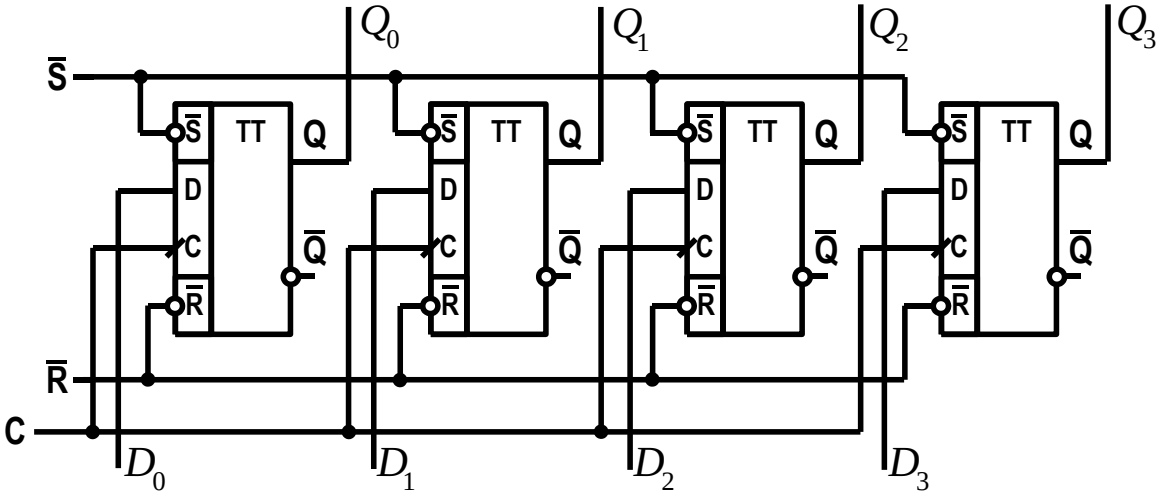


Рис. 17. Логическая схема четырехразрядного параллельного регистра.

Двоичный код, установленный на входах $D_0,...,D_3$, записывается в триггеры регистра при положительном перепаде на входе C, и сохраняется в регистре до следующей операции записи. Записанный в регистр код может быть считан с прямых выходов триггеров $Q_0,...,Q_3$. Для нормально работы триггеров регистра необходимо $\overline{S} = \overline{R} = 1$.

В *сдвиговом (последовательном) регистре* триггеры соединены последовательно, т. е. информация с выхода триггера передается на вход следующего триггера. Пример обозначения четырехразрядного сдвигового регистра приведен на рисунке.

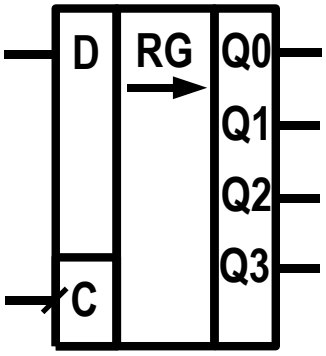


Рис. 18. Сдвиговой (последовательный) регистр

Логическая схема регистра на D триггерах показана на рисунке.

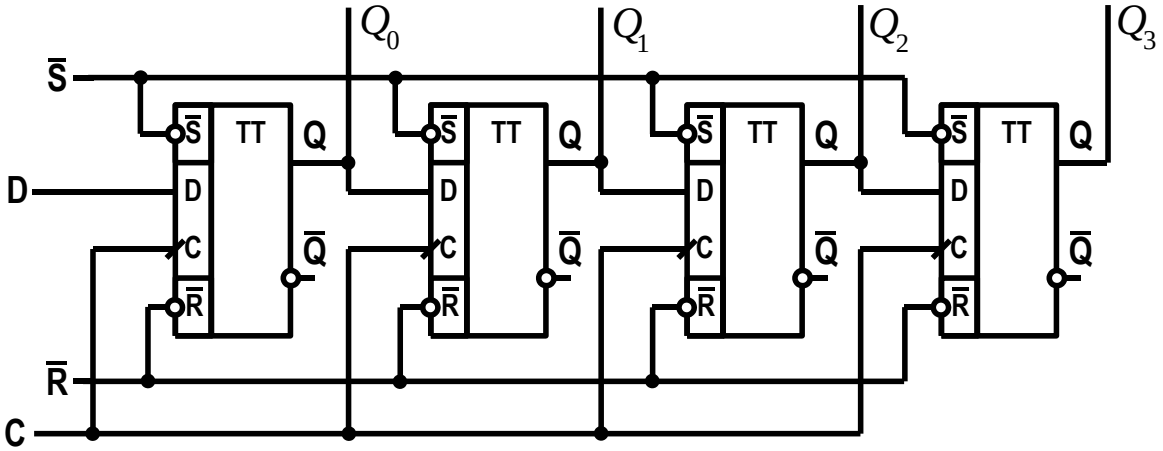


Рис. 19. Логическая схема регистра на D триггерах.

При отсутствии синхроимпульсов на входе C триггеры регистра сохраняют свое состояние, которое может быть считано с выходов регистра $Q_0,...,Q_3$. Данные с прямого выхода каждого триггера поступают на вход D следующего триггера регистра.

При положительном перепаде импульса синхронизации на входе C в каждый триггер записывается состояние предыдущего триггера регистра, т. е. данные сдвигаются на 1 разряд (на рисунке - вправо). В первый триггер регистра записываются данные с входа D регистра. Следующий синхроимпульс сдвигает данные еще на 1 разряд и т. д.

Для нормальной работы триггеров регистра необходимо $\overline{S} = \overline{R} = 1$.

Задача.

1. Построить четырехразрядный регистр сдвига:

Вариант 1 - RS-триггер, L1;

Вариант 2 - D-триггер,L2;

Вариант 3 - JK-триггер, L2;

Вариант 4 - RS-триггер,R1, реверсивный;

Вариант 5 - D-триггер,R1, реверсивный;

Вариант 6 - JK-триггер,R1, реверсивный;

2. Построить диаграмму работы регистра и определить состояние разряда в соответствии с заданием.

3. Задача должна содержать:

- Описание принципа работы регистра сдвига;
- Функциональную схему регистра на триггерах, согласно варианту;
- Временные диаграммы работы регистра сдвига;
- индивидуальные выводы, которые начинаются со слов: "Установлено, что…", "Показано, что…". .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем : учеб.: рек. Мин. обр. РФ/ Н. И. Овчаренко; под ред. А. Ф. Дьякова. - 3-е изд., испр. - М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2009. - 476 с.

2. Булкин А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок : учеб. пособие : рек. Мин. обр. РФ/ А. Е. Булкин. - М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2009. - 508 с.

3. Марголин В.И. Физические основы микроэлектроники: учеб: рек. УМО/ В. И. Марголин, В. А. Жабрев, В. А. Тупик. - М.: Академия, 2008. - 400 с.

4. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. - 2-е изд., стер. - М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2010. - 336 с

5. Браммер Ю.А. Импульсные и цифровые устройства: учеб. для сред. спец. завед.: Доп. Мин. обр. РФ / Ю.А. Браммер, И.Н. Пащук. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2003. – 352 с

6. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст] : учеб. пособие: рек. УМО / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2000. - 199 с.

7. Костиков В.Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: учебник: рек. Мин. обр. РФ / В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов, В.А. Шахнов. – 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 344 с.

8. Овчаренко Н.И. Элементы автоматических устройств энергосистем: в 2 кн.: учеб. для вузов / Н. И. Овчаренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995 – 254 с.

9. Овчаренко Н.И. Аппаратные и программные элементы автоматических устройств энергосистем: учеб. пособие / Н. И. Овчаренко. – М.: НЦ ЭНАС, 2004. – 508 с

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

1. Практическое занятие № 1. Расчет схемы элемента на операционном усилителе 6

2. Практическое занятие № 2. Расчет проходной характеристики 12

3. Практическое занятие № 3. Расчет элементов логической части 19

4. Практическое занятие № 4. Расчет запоминающих элементов 26

5. Практическое занятие № 5. Расчет параметров триггеров 36

6. Практическое занятие № 6. Расчет параметров счетчиков 46

7. Практическое занятие № 7. Расчет параметров регистров 52

Библиографический список 56

Учебное издание

Бодруг Наталья Сергеевна

Старший преподаватель кафедры энергетики АмГУ

Элементы автоматических устройств

Методические указания к практическим занятиям

Издательствово АмГУ. Формат 60 х 84/16. Усл. печ. л .3,49. Заказ 559.