

УКРАИНА
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА
УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ
«КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Фесечко В.А., Худякова Л.А., Сташкевич В.Ф.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО КУРСУ
«ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА»

для студентов факультета электроники
всех форм обучения

УКРАИНА
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА
УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ
«КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Фесечко В.А., Худякова Л.А., Сташкевич В.Ф.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО КУРСУ
«ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА»

для студентов факультета электроники
всех форм обучения

Утверждено
на заседании кафедры
физической и биомедицинской
электроники
Протокол № 22 от 16.05.12

Фесечко В. А. методические указания к лабораторным работам по курсу «Цифровая схемотехника» для студентов факультета электроники всех форм обучения /В. А. Фесечко, Л. А. Худякова, В. Ф. Сташкевич.-К.:НТУУ «КПИ», 2012.- 71 с.

*Гриф предоставлен Ученым советом ФЭЛ НТУУ «КПИ»
(протокол № 05/12 от 29.05 2012г)*

*Утверждено на заседании
кафедры физической и биомедицинской электроники
(протокол № 22 от 16.05.12)*

Учебно-методическое издание

ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Цифровая схемотехника» для студентов факультета электроники всех форм обучения

Составители: Владимир Афанасьевич Фесечко, канд. техн. наук, проф.

Людмила Александровна Худякова, ст. преподаватель

Владимир Филиппович Сташкевич, зав. лаборатории

Ответственный

редактор В. И. Тимофеев, доктор техн. наук, проф.

Рецензент О. В. Борисов, канд. техн. наук, проф.

За редакцией составителей

Введение

Быстрое развитие современной микроэлектроники и, в частности. Цифровой схемотехники сопровождается вовлечением в эту область все более широкого круга разработчиков новых функциональных узлов, устройств и систем, а также пользователей компонентной базы и традиционных схемотехнических решений в новых прикладных областях. При этом специалист в области цифровой схемотехники должен обладать обширными знаниями в способах математического описания функционирования цифровых схем на логическом и электрическом уровнях, знать современную компонентную базу цифровой схемотехники и предпочтительные области ее применения, свободно ориентироваться в промышленных сериях интегральных микросхем и перспективах их дальнейшего совершенствования, овладеть методами построения структур цифровых устройств и систем.

Методические указания содержат описание лабораторных работ по курсу «Основы схемотехники» разделы «Цифровая схемотехника» и «Устройства цифровой электроники», читаемого студентам факультета электроники, а также студентам соответствующих специальностей заочного факультета. Основной целью данного цикла лабораторных работ является закрепление теоретических знаний, полученных студентами при изучении лекционного материала, принципов построения функциональных узлов цифровой схемотехники.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛЮЧИ

Электронный ключ — основной функциональный узел дискретной схемотехники для переключения токов или потенциалов в нагрузке. Комбинации электронных ключей позволяют реализовать всевозможные переключательные функции в устройствах автоматики и вычислительной техники.

В качестве переключательных элементов электронных ключей широко используются полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры и оптронные пары, работающие в режиме большого сигнала с ярко выраженными нелинейными свойствами.

Показатели качества электронного ключа — проводимость ключа в закрытом и открытом состоянии, чувствительность к управляющему сигналу и помехоустойчивость, температурная стабильность, мощность, отдаваемая в нагрузку, быстродействие.

Электронные ключи характеризуются следующими основными параметрами: U^0 , U^1 — граничные уровни нулевого и единичного входных сигналов; $U_{пор}$ — пороговое напряжение; $U^0_{2\max}$, $U^1_{2\min}$ — граничные уровни нулевого и единичного выходных сигналов; $P^{0,1}_{ном}$ — мощность, потребляемая от источника питающего напряжения при нулевом и единичном напряжении на выходе; $t^{01}_{з.р}$, $t^{10}_{з.р}$ — длительность задержки распространения сигнала через электронный ключ при переключении выходного потенциала соответственно из нулевого состояния в единичное и обратно; $t^{01}_ф$, $t^{10}_ф$ — длительность фронта нарастания и убывания выходного импульса.

В лабораторную работу № 1 «Ключи на транзисторах» входят:

- 1.1 Переключатель напряжения на биполярном транзисторе (рис.1.1)
- 1.2 Переключатель напряжения на МДП-транзисторе с индуцированным каналом (рис.1.1).

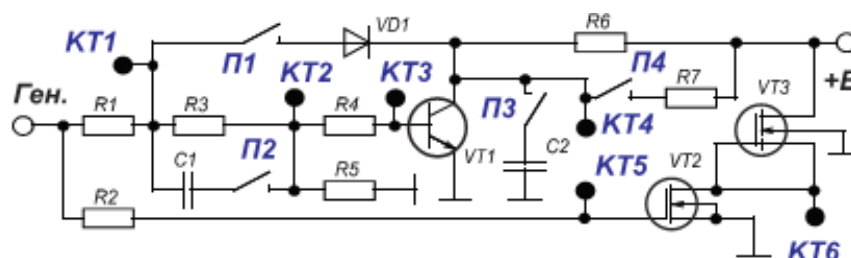


Рисунок 1.1

1.1. ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Цель работы — исследовать статические и динамические характеристики электронного ключа на биполярном транзисторе (БТ), включенном по схеме с общим эмиттером, и схемных методов улучшения его параметров.

Описание исследуемой схемы

В лабораторную установку входят: универсальный лабораторный стенд «ИМПУЛЬС - М», генератор импульсов Г5-54 и осциллограф С1-55.

Исследуемый электронный переключатель напряжения собран на транзисторе VT1 *n-p-n* типа BC 846B (рис. 1.2), включенном по схеме с общим эмиттером.

В отсутствие входного импульса от генератора Г1 ($U_1 = 0 В$) транзистор заперт, так как $U_{эб}$ меньше $U_{пор}$. На коллекторе транзистора

VT1 устанавливается высокий потенциал $U^1_2 = E_k \approx +5B$. При подаче на вход ключа от генератора Г1 положительного импульса, амплитуда которого превышает пороговое напряжение ключа, транзистор переходит в активный режим, а затем в режим насыщения. На его коллекторе (выходе ключа) устанавливается низкий потенциал $U^0_2 = U_{кн} \approx 0$. Переходные процессы отпирания и запираания транзистора зависят от параметров входного сигнала, параметров и схемной реализации электронного ключа. Исследуемая схема позволяет определить влияние коллекторного сопротивления $R_k = R_6$ или $R_k = R_6 || R_7$ на статические и динамические параметры электронного ключа, емкости нагрузки $C2$ на динамические параметры, емкости ускоряющего конденсатора $C1$ и нелинейной обратной связи через диод VD1 на характер переходных процессов в транзисторном ключе. В ходе исследования переходных процессов переключения транзистора VT1 возникает необходимость определения диаграммы изменения во времени тока базы транзистора. Для этой цели в базу транзистора VT1 включен низкоомный резистор R4, напряжение на котором может быть проконтролировано в контрольных точках КТ2 и КТ3 лабораторного стенда.

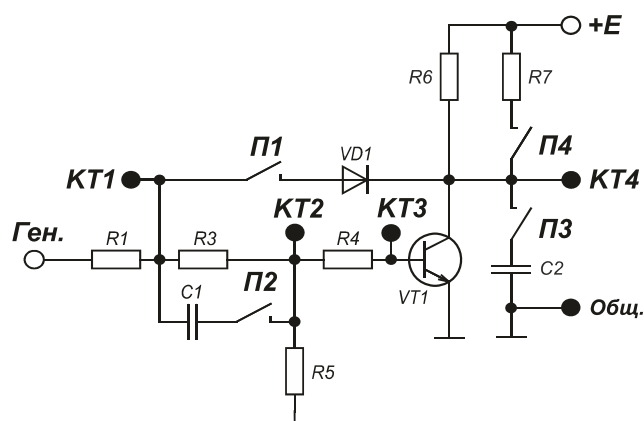


Рисунок 1.2

Домашнее задание

1. Изучить работу электронного ключа и его схемных вариантов (с ускоряющим конденсатором, нелинейной обратной связью) в статическом и динамическом режимах. Изучить назначение компонентов электронного ключа и их влияние на статические и динамические параметры (В.М. Рябенкий, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий «Цифровая схемотехника», 2009р, с.102-121; Ерофеев Ю.Н. Основы импульсной техники. 1979, с. 82-101, 125-142; Зубчук В.И., Сигорский В.П., Шкуро А.Н. «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990г.).
2. Проверить условие отсечки транзистора VT1 для температуры $T_{\text{окр}} = +80^{\circ}\text{C}$, $U_1^0 = 0$, если при $T_{\text{окр}} = +25^{\circ}\text{C}$ для транзистора BC 846B и $I_{\text{к0}} < 1\text{мкА}$. Определить U_2^1 при $T_{\text{окр}} = +80^{\circ}\text{C}$ и $R_{\text{к}} = R_6$.
3. Определить коэффициент насыщения транзистора VT1 при $T_{\text{окр}} = +25^{\circ}\text{C}$, $U_1^0 = +5\text{В}$ для двух значений коллекторного сопротивления ($R_{\text{к}} = R_6$ и $R_{\text{к}} = R_6 \parallel R_7$), если $\beta = 350-1000$.

Рабочее задание

1. Установить лабораторный стенд «ИМПУЛЬС - М» в режим «ЛАБ 1» с помощью переключателя лабораторных работ, который находится на задней панели стенда.
2. Включить кнопку СЕТЬ.
3. Снять и построить передаточную характеристику $U_2 = f(U_1)$ и по ней определить статические параметры ключа $U_{1\text{max}}^0$, $U_{1\text{min}}^1$, U_2^0 , U_2^1 при отключенных диоде VD1, конденсаторе C1 и сопротивлении R7.

Для этого на вход ключа необходимо подать положительный прямоугольный импульс длительностью $t_{\text{ex}} = 100\text{ мкс}$ и частотой 1 кГц и

изменяя его амплитуду U_1 определять амплитуду сигнала на выходе U_2 . Значение U_{lmax}^0 соответствует наибольшей амплитуде входного сигнала, при которой VT1 остается запертым, значение U_{lmin}^l — наименьшей амплитуде входного сигнала, обеспечивающего насыщение транзистора VT1.

4. Повторить п.1 при подключенном диоде VD1 (нажать П1)

5. Повторить п.1 при подключенном конденсаторе C1 (нажать П2).

6. Повторить п.1 при подключенном резисторе R7 (нажать П4). Результаты измерений по пп. 2–5 свести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

$U_{ex}, В$							
$U_{вых}, В$							
VD1, В (П1 вкл)							
C1, В (П2 вкл)							
R7, В (П4 вкл)							

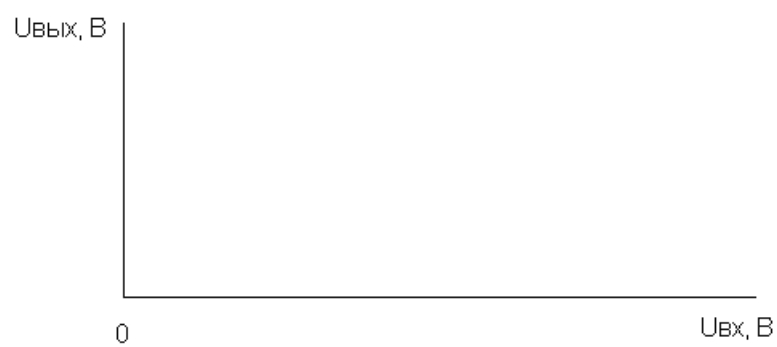
7. Определить переходную характеристику $U_2(t)$ транзисторного ключа при его включении и выключении. При этом VD1, C1, R7, C2 – отключены. На вход ключа подать прямоугольный положительный импульс с амплитудой $U_{l1}^l = 5 В$, длительностью $t_{вх} = 40 мкс$ и частотой 10 кГц. При этом использовать внешнюю синхронизацию осциллографа от генератора прямоугольных импульсов. Зарисовать с учетом масштабов диаграммы входного $U1(t)$ и выходного $U2(t)$ импульсов. С помощью осциллографа определить динамические параметры ключа $t^{0l}зд.р.$, $t^{l0}зд.р.$, $t^{0l}ф$, $t^{l0}ф$ (При этом использовать на осциллографе временной масштаб, при котором можно наиболее точно определить параметры).

8. Повторить п.5 при подключенном диоде VD1 (нажат П1).
9. Повторить п.5 при подключенном конденсаторе C1 (нажат П2).
10. Повторить п.5 при подключенном конденсаторе C2 (нажат П3).
11. Повторить п.5 при подключенном резисторе R7 (нажат П4).

Примечание: Диаграммы выходного напряжения по пп. 6-11 построить на общем графике, динамические параметры ключа по пп. 6-11 свести в таблицу 1. 2.

Таблица 1.2

	$t_{зд.р.}^{01}$, МКС	$t_{зд.р.}^{10}$, МКС	$t_{ф.}^{01}$, МКС	$t_{ф.}^{10}$, МКС
R6 (П1- П4 откл)				
VD1 (П1 вкл)				
C1 (П2 вкл)				
R7 (П4 вкл)				
C2 (П3 вкл)				



Выводы

Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент насыщения и как он зависит от параметров компонентов исследуемой схемы?
2. Объясните влияние нелинейной обратной связи на переходные процессы в ключе.
3. Объясните влияние ускоряющего конденсатора на переходные процессы в ключе.
4. Из каких соображений выбирается оптимальное значение емкости ускоряющего конденсатора?
5. Объясните влияние температуры окружающей среды на пороговое напряжение ключа и коэффициент насыщения транзистора.
6. Объясните влияние емкости нагрузки на динамические параметры ключа.

1.2 ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ НА МДП – ТРАНЗИСТОРЕ С ИНДУЦИРОВАННЫМ КАНАЛОМ

Цель работы – исследовать статические и динамические параметры переключателя напряжения на МДП – транзисторе с индуцированным каналом.

Описание исследуемой схемы

Исследуемый переключатель напряжения построен на n –канальном МДП-транзисторе VT2 (рис. 1.3) типа 2N700. В качестве его стоковой нагрузки используется нелинейное сопротивление транзистора VT3. Резистор R2 ограничивает напряжение на затворе транзистора VT2.

В исходном состоянии при $U_1^0 = 0$ канал транзистора VT2 не

индуцирован, что соответствует режиму отсечки. На выходе ключа (контрольная точка КТ6) формируется единичный уровень сигнала $U^1_2 = E_c \approx +5В$. Для переключения транзистора VT2 в активный (триодный) режим на вход ключа необходимо подать от генератора Г1 положительный импульс, амплитуда которого превышает значение порогового напряжения $U_{пор}$ транзистора VT2.

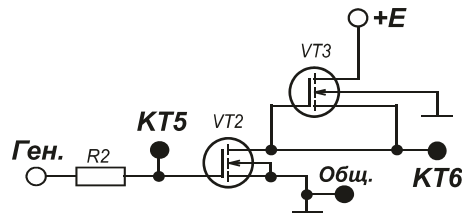


Рисунок 1.3

Домашнее задание

1. Изучить работу переключателя напряжения на МДП-транзисторе с индуцированным каналом. (В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990, с. 68 – 72; В.М. Рябенкий, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий «Цифровая схемотехника», 2009, с. 102 -121) .
2. Рассчитать статические параметры ключа на МДП-транзисторе U^0_{1max} , U^1_{1min} , U^0_2 , U^1_2 , $U_{пор}$.

Рабочее задание

1. Снять и построить передаточную характеристику $U_2 = f(U_1)$ и по ней определить статические параметры ключа U^0_{1max} , U^1_{1min} , U^0_2 , U^1_2 .

Для этого на вход ключа необходимо подать положительный прямоугольный импульс длительностью $t_{ex} = 100$ мкс и частотой 1 кГц и изменяя его амплитуду U_1 определять амплитуду сигнала на выходе U_2 . Результаты свести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

$U_{вх}, В$							
$U_{вых}, В$							

2. Снять переходные характеристики ключа при подаче на его вход импульсов положительной полярности с амплитудой $U^1_1 = 5 В$ и длительностью $t_{ex} = 40$ мкс и частотой 10 кГц. Зарисовать временные диаграммы входного импульса $U1(t)$ и выходного $U2(t)$.

Примечание: Диаграммы переходных характеристик по пп. 1-2 построить на общем графике.

3. С помощью осциллографа определить динамические параметры ключа $t^{01.10}_{зд.р.}$, $t^{10.01}_{ф.}$. Результаты свести в таблицу 1.4.





Таблица 1.4

$t_{\text{зд.р.}}^{01}$, мкс	$t_{\text{зд.р.}}^{10}$, мкс	$t_{\text{ф.}}^{01}$, мкс	$t_{\text{ф.}}^{10}$, мкс

Выводы

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы переключателя напряжения на МДП-транзисторе.

2. Объясните зависимость статических параметров ключа от температуры.
3. Объясните принцип работы нелинейного сопротивления VTЗ (генератор тока)
4. Объясните зависимость параметров генератора тока на МДП-транзисторе от температуры.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОДНОВИБРАТОРЫ

Одновибраторами называют спусковые релаксационные устройства с одним устойчивым и одним квазиустойчивым состоянием, которые в ответ на внешний запускающий импульс генерируют выходной импульс с требуемыми параметрами (полярность, амплитуда U_{2m} , длительностью t_u). Одновибраторы широко применяются в устройствах автоматики как времязадающие функциональные узлы, формирователи сигналов с фиксированными параметрами, делители частоты и т.д.

Одновибраторы строятся на основе активных компонентов (транзисторы, операционные усилители, логические интегральные схемы), включенных так, что в схеме образуется положительная обратная связь (ПОС). Переход из устойчивого состояния в квазиустойчивое и обратно происходит лавинообразно под действием ПОС (регенеративный режим). На этапе релаксации в квазиустойчивом состоянии и на этапе восстановления после возврата схемы в устойчивое состояние ПОС выключается вследствие перехода активных компонентов схемы в граничные режимы, и переходные процессы протекают медленнее.

Работа активных компонентов в граничных режимах определяет уровни выходных сигналов U_2^0 , U_2^1 одновибратора, которые близки к потенциалам источников питания схемы. Длительность генерируемого

одновибратором импульса t_u обычно задается с помощью RC цепочек, включаемых в цепи обратных связей. В работе исследуются одновибраторы на операционном усилителе, на логических элементах и на основе специализированной интегральной схемы (рис. 2.1).

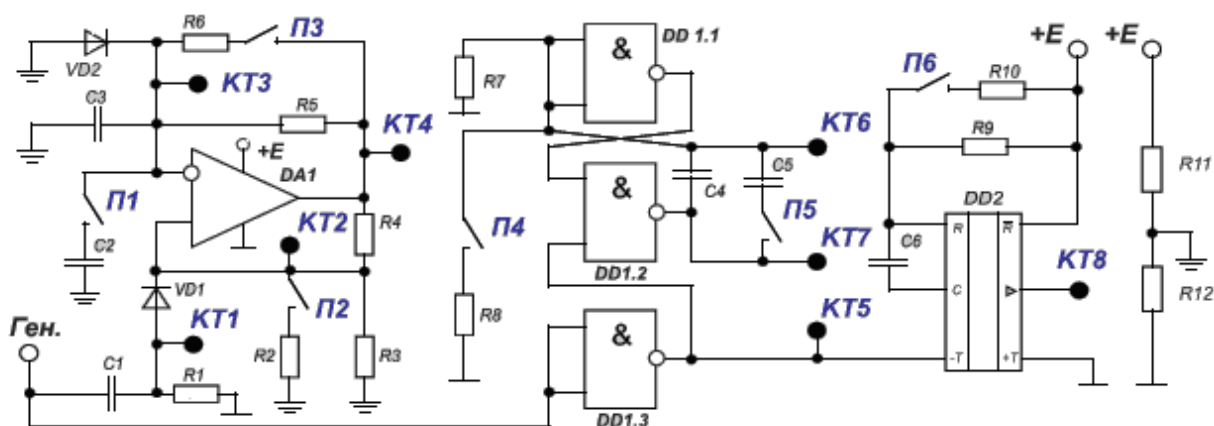


Рисунок 2.1

2.1 ОДНОВИБРАТОР НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ

Цель работы – исследовать принцип работы и свойства одновибратора на основе операционного усилителя (ОУ), определить влияние параметров компонентов схемы на параметры одновибратора.

Описание исследуемой схемы

В лабораторную установку входят: универсальный лабораторный стенд «ИМПУЛЬС - М», генератор импульсов Г5-54, осциллограф С1-55.

Исследуемый одновибратор построен на основе операционного усилителя DA1 типа LM 224 (рис.2.2). Операционный усилитель охвачен резистивной ПОС (R4, R3, R2) и резистивно-емкостной ООС (R5, R6, C2, C3). Запаздывающая ООС является времязадающей цепью одновибратора. Диод VD2 обеспечивает заторможенное состояние схемы, в котором ОУ

находится в режиме отрицательного ограничения. Входные импульсы поступают на ОУ через дифференцирующую цепь R1, C1 и диод VD1. В схеме используется ОУ с однополярным питанием 5В. Для правильной его работы нужна виртуальная земля, которая получается применением делителя напряжения на резисторах R11, R12.

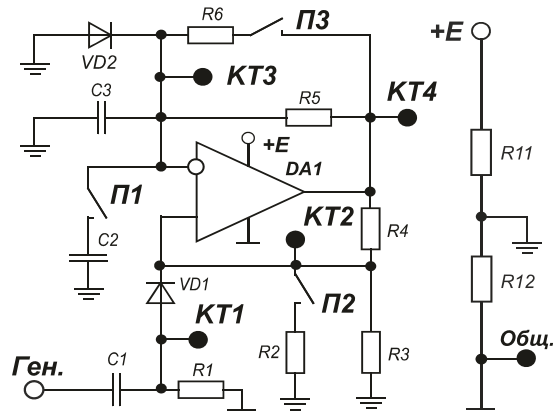


Рисунок 2.2

Домашнее задание

1. Изучить работу одновибратора на основе ОУ (В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990; В.М. Рябенкий, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий «Цифровая схемотехника», 2009).
2. Определить длительность выходного импульса одновибратора для четырех значений постоянной времени (переключатели П1 и П3) цепи запаздывающей ООС.
3. Определить наибольшее время восстановления одновибратора.

Рабочее задание

1. Установить лабораторный стенд «ИМПУЛЬС - М» в режим «ЛАБ2» с помощью переключателя лабораторных работ, который находится на задней панели стенда.
2. Включить кнопку «СЕТЬ»
3. Определить амплитуду U_{1m} и длительность $t_{вх}$ входного импульса положительной полярности, обеспечивающего устойчивый запуск одновибратора с частотой 1 кГц. Результаты свести в таблицу 2.1.
4. Снять и построить временные диаграммы работы одновибратора (гнезда КТ1, КТ2, КТ3, КТ4) для входного импульса минимальной длительности.

Таблица 2.1

$U_{1m}, В$				
$t_{вх}, мкс$				



Примечание: при работе необходимо использовать внешнюю синхронизацию осциллографа.

5. По временным диаграммам определить параметры выходного импульса $U_2^0, U_2^1, t_{\phi}^{10}, t_{\phi}^{01}, t_{и}$.
6. Определить длительности выходного импульса одновибратора для возможных комбинаций времязадающей цепи. Полученные результаты сравнить с расчетными.
7. Исследовать влияние коэффициента передачи цепи ПОС (переключатель

П2) на длительность выходного импульса при максимальной $\tau = RC$ цепи ООС.

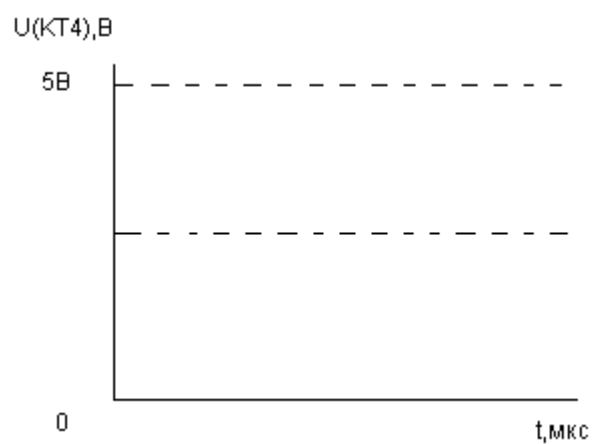
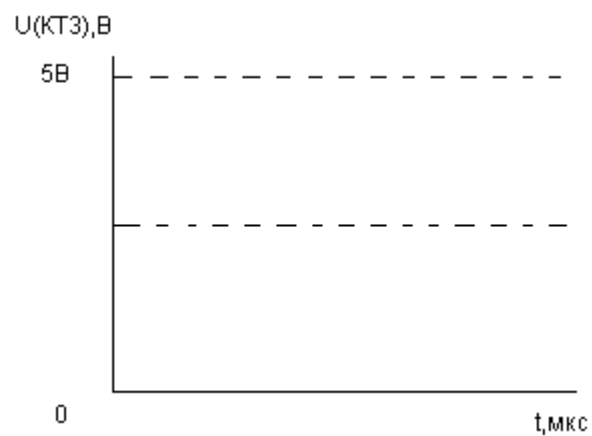
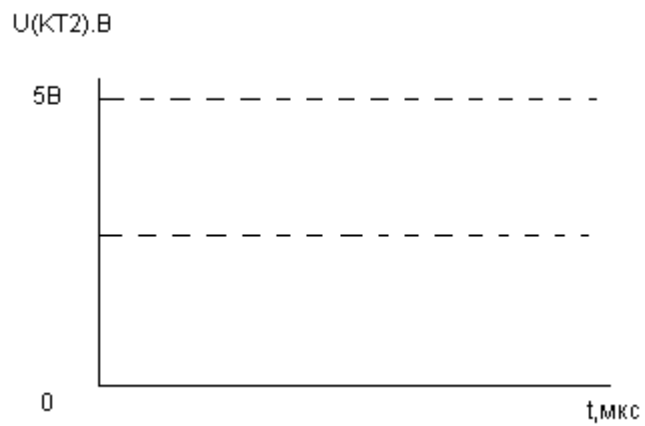


Таблица 2.2

П1	П2	П3	tи, мкс
ОТК.	ОТК.	ОТК.	
ОТК.	ОТК.	ВКЛ.	
ОТК.	ВКЛ.	ОТК.	
ОТК.	ВКЛ.	ВКЛ.	
ВКЛ.	ОТК.	ОТК.	
ВКЛ.	ОТК.	ВКЛ.	
ВКЛ.	ВКЛ.	ОТК.	
ВКЛ.	ВКЛ.	ВКЛ.	

Выводы

Контрольные вопросы

1. Объясните зависимость длительности импульса от сопротивления и емкости в цепи ООС.
2. Как можно схематически уменьшить время восстановления одновибратора?
3. Объясните влияние коэффициента передачи цепи ПОС на длительность выходного импульса.
4. От чего зависят длительности фронтов t_{ϕ}^{10} , t_{ϕ}^{01} выходного импульса?

2.2 ОДНОВИБРАТОР НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Цель работы – исследовать принцип работы и свойства одновибратора на основе логических схем (ИС) типа И-НЕ, определить зависимость параметров одновибратора от компонентов схемы.

Описание исследуемой схемы

Исследуемый одновибратор построен на основе логических ИС DD1 (рис.2.3) типа CD4011, реализующих логическую функцию И-НЕ. Для запуска на схему следует подать короткий положительный импульс. После вентиля DD1.3, выполняющего функцию инвертора, импульс поступает на запуск одновибратора, построенного на вентилях DD1.1, DD1.2. Вентили DD1.1, DD1.2 замкнуты емкостной (C4, C5) и непосредственной связями в контур, в котором действует ПОС. Временные параметры одновибратора определяются RC цепью из R7, R8, C4, C5, коммутируемых переключателями П4 и П5.

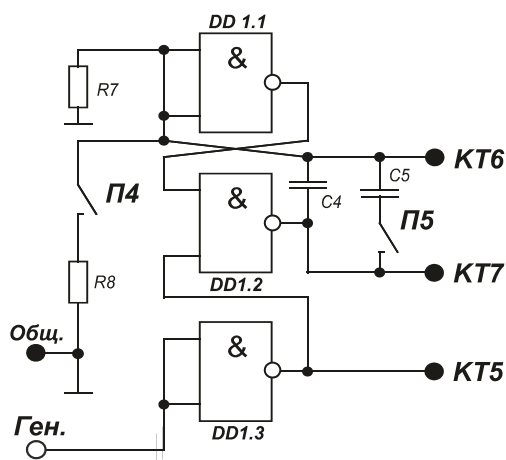


Рисунок 2.3

Домашнее задание

1. Изучить работу одновибратора на основе логических ИС (В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990; В.М. Рябенский, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий «Цифровая схемотехника», 2009).

2. Определить длительность выходного импульса одновибратора для четырех значений постоянной времени (переключатели П4 и П5) цепи ПОС. При этом подать

$$U_{\text{вх}} = 5 \text{ В.}$$

Рабочее задание

1. Снять и построить временные диаграммы работы (гнезда КТ5, КТ6, КТ7). Для этого на вход необходимо подать положительный импульс с амплитудой $U_{1m} = 2,8 \dots 4 \text{ В}$, длительностью $t_{\text{вх}} = 1 \text{ мкс}$ и частотой 1 кГц . Использовать внешнюю синхронизацию.





2. По временным диаграммам выходных импульсов определить параметры U_2^0 , U_2^1 , t_{ϕ}^{10} , t_{ϕ}^{01} , $t_{и}$ (таблица 2.3).

3. Определить длительности выходных импульсов одновибратора для возможных комбинаций вреязадающей цепи (таблица 2.4). Полученные результаты сравнить с расчетными.

Таблица 2.3

U_2^0	U_2^1	t_{ϕ}^{10}	t_{ϕ}^{01}	$t_{и}$

Таблица 2.4

П4	П5	tи, мкс

Выводы

Контрольные вопросы

1. Чем ограничено сопротивление R7?
2. Объясните процессы регенеративного переключения состояний одновибратора.
3. Чем объясняется скол вершины импульса на выходе вентиля DD1.2?
4. Как длительность выходного импульса зависит от температуры окружающей среды?

2.3 ОДНОВИБРАТОР НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Цель работы – исследовать принцип работы и свойства одновибратора на основе специализированной ИС типа CD4098, определить зависимость параметров одновибратора от компонентов схемы.

Описание исследуемой схемы

Исследуемый одновибратор построен на основе специализированной ИС DD2 типа CD4098 (рис.2.4). Для запуска на схему следует подать короткий положительный импульс. Временные параметры одновибратора определяются RC цепью из R9, R10, C6, коммутируемых переключателем П6.

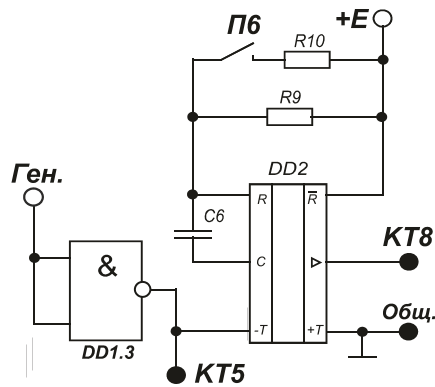


Рисунок 2.4

Рабочее задание

1. Снять и построить временные диаграммы работы (точки КТ5, КТ8). Для этого на вход необходимо подать положительный импульс с амплитудой $U_{1m} = 5 \text{ В}$, длительностью $t_{\text{вх}} = 1 \text{ мкс}$ и частотой 1 кГц. Использовать внешнюю синхронизацию осциллографа.



2. По временным диаграммам выходных импульсов определить параметры $U_2^0, U_2^1, t_{\phi}^{10}, t_{\phi}^{01}, t_{и}$. Результаты свести в таблицу 2.5.

3. Определить длительности выходных импульсов одновибратора для возможных комбинаций времязадающей цепи (таблица 2.6).

Таблица 2.5

U_2^0	U_2^1	t_{ϕ}^{10}	t_{ϕ}^{01}	$t_{и}$

Таблица 2.6

П6	$t_{и}$
ВКЛ.	
ОТК.	

Выводы

Контрольные вопросы

1. Какая максимальная и минимальная длительность выходного импульса?
2. Как длительность выходного импульса зависит от температуры окружающей среды?
- 3.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ГЕНЕРАТОРЫ

Генераторы – автоколебательные устройства, генерирующие последовательность импульсов, амплитуда U_{2m} , частота f_T и скважность Q которых задаются параметрами входящих в схему электронных компонентов.

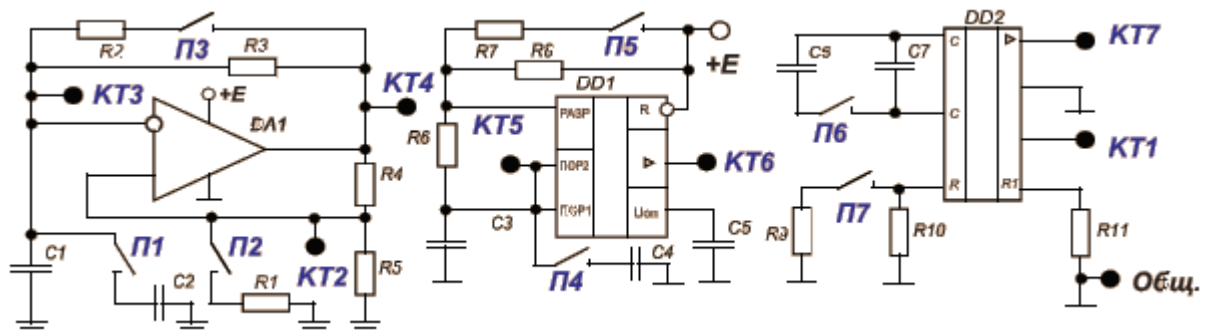


Рисунок 3.1

3.1 Генератор на операционном усилителе

Цель работы – исследовать принцип работы и свойства генератора на основе ОУ, определить влияние параметров компонентов схемы на параметры генератора.

Описание исследуемой схемы

Исследуемый генератор (рис.3.2) построен на основе операционного усилителя DA1 типа LM224. Операционный усилитель (ОУ) охвачен резистивной ПОС (резисторы R4, R5, R1) и резистивно-емкостной ООС (R2, R3, C1, C2). Под действием ПОС схема регенеративно переключается в одно из двух возможных квазиустойчивых состояний, в которых ОУ находится в режиме ограничения. Скорость перезаряда конденсаторов цепи ООС зависит от переключателей П1 и П3, а уровень перезаряда – переключателя П2.

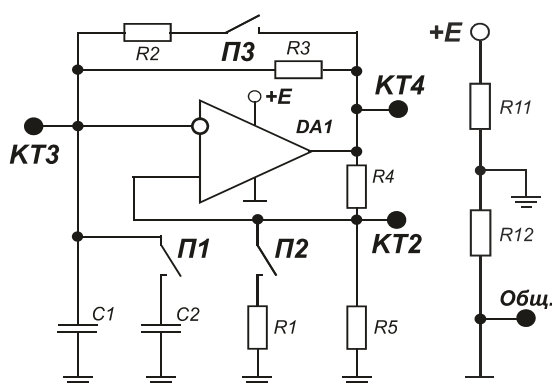


Рисунок 3.2

Домашнее задание

1. Изучить работу генератора на основе ОУ (Захаров В.К., Лыпарь Ю.И. «Электронные устройства автоматики и телемеханики», 1984, с. 314-317).
2. Определить частоту и скважность выходных импульсов генератора для четырех вариантов частотозадающей цепи R2, R3, C1, C2 (переключатели ПЗ, П1) при двух значениях коэффициента передачи ПОС (П2).

Рабочее задание

1. Установить лабораторный стенд «Импульс-М» в режим «ЛАБЗ» с помощью переключателя лабораторных работ, который находится на задней панели стенда.
2. Включить кнопку «СЕТЬ».
3. Снять и построить временные диаграммы работы генератора (контрольные точки КТ2, КТ3, КТ4) для максимальной частоты генерации.





Примечание: при работе необходимо использовать внешнюю синхронизацию осциллографа выходным импульсом генератора (КТ4)

4. По временным диаграммам определить параметры генератора: U_2^0 , U_2^1 , t_{ϕ}^{01} , t_{ϕ}^{10} , T_1 , T_2 , скважность $Q = T_1 / (T_1 + T_2)$, где T_1 - длительность положительного полупериода и частоту $f_r = 1 / (T_1 + T_2)$. Результаты свести в таблицу 3.1.

5. Определить частоту генерации и скважность выходных импульсов генератора для четырех вариантов частотозадающей цепи (П1, и П3)

при двух значениях коэффициентов передачи в цепи ПОС (П2).
 Результаты свести в таблицы 3.2 и 3.3 соответственно. Сравнить
 полученные результаты с расчетными.

Таблица 3.1

U_2^0	U_2^1	t_{ϕ}^{01}	t_{ϕ}^{10}	T_1	T_2

Таблица 3.2

П1	П3	T_1	T_2	Q	f
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

Таблица 3.3

П2	T_1	T_2
0		
1		

Примечание. Положению переключателей П1 – П3 в отжатом
 состоянии соответствует «0», а в нажатом – «1».

Выводы

Контрольные вопросы

1. Условие генерации электрических колебаний.
4. Объясните принцип работы генератора.
5. Объясните зависимость частоты генерации от сопротивления и емкости цепи ООС.
6. Объясните влияние коэффициента передачи в цепи ПОС на частоту генерации.
7. Как можно схематически задать произвольную скважность выходных импульсов?
8. От чего зависит длительность фронтов $t_{\text{ф}}^{01}$, $t_{\text{ф}}^{10}$ выходных импульсов?

3.2 Генератор на основе таймера

Цель работы – исследовать принцип работы и свойства генератора на основе таймера, определить влияние параметров компонентов схемы на параметры генератора.

Описание исследуемой схемы

Исследуемый генератор построен на основе интегрального таймера DD1 типа TS555 (рис. 3.3).

При включении конденсатор С3 заряжается через резисторы R6 и R7

до уровня $2/3 U_{\text{п}}$. При этом на выходе таймера (КТ6) установится напряжение логической «1». При превышении этого напряжения срабатывает внутренняя схема управления таймера, которая соединяет вывод «РАЗР» с землей и устанавливается на выходе (КТ6) уровень логического нуля. При этом конденсатор С3 будет разряжаться через резистор R6. При достижении напряжения на конденсаторе С3 уровня $1/3 U_{\text{п}}$ срабатывает внутренняя схема управления таймера, которая устанавливает выход таймера (КТ6) в состояние логической единицы и отсоединяет вывод «РАЗР» от земли. Конденсатор С3 снова заряжается через резисторы R6 и R7 до уровня $2/3 U_{\text{п}}$. Переключатель П5 подключает R8, что позволяет увеличить скорость заряда С3, а переключатель П4 подключает С4 параллельно С3.

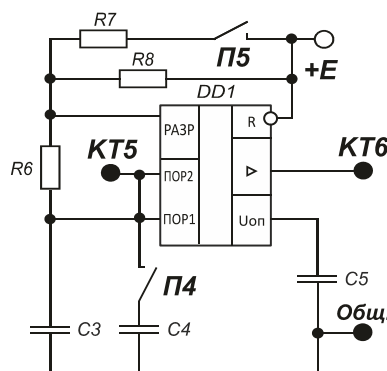


Рисунок 3.3

Домашнее задание

1. Изучить работу генератора на основе интегрального таймера (Г.И. Волович, Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых устройств. М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2005, с. 210-213); (В.М. Рябенский, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий «Цифровая схемотехника», 2009, с. 703-705).
2. Определить частоту и скважность выходных импульсов таймера для

четырёх вариантов частото задающей цепи R7, R8, C3, C4
(переключатели П4, П5)

Рабочее задание

1. Снять и построить временные диаграммы работы генератора (гнезда КТ5, КТ6).

Примечание: при работе необходимо использовать внешнюю синхронизацию осциллографа выходным импульсом генератора (КТ6)

2. По временным диаграммам определить параметры генератора: U_2^0 , U_2^1 , t_{ϕ}^{01} , t_{ϕ}^{10} , T_1 , T_2 , скважность $Q = T_1 / (T_1 + T_2)$, где T_1 - длительность положительного полупериода и частоту $f_T = 1 / (T_1 + T_2)$.
3. Определить частоту генерации и скважность выходных импульсов генератора для четырех вариантов частото задающей цепи (П4 и П5).

Таблица 3.4

U_2^0	U_2^1	t_{ϕ}^{01}	t_{ϕ}^{10}	T_1	T_2

Таблица 3.5

П4	П5	T_1	T_2	Q	f
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

Примечание. Положению переключателей П4 и П5 в отжатом состоянии соответствует «0». в нажатом – «1».

Выводы

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы генератора.
2. Объясните зависимость частоты генерации от сопротивления и емкости.
3. От чего зависит длительность фронтов t_{ϕ}^{01} , t_{ϕ}^{10} выходных импульсов.

3.3 Генератор на основе специализированной интегральной схемы

Цель работы – исследовать принцип работы и свойства генератора на основе специализированной интегральной схеме, определить влияние параметров компонентов схемы на параметры генератора.

Описание исследуемой схемы

Исследуемый генератор построен на основе интегральной схемы DD2 типа CD4046, которая представляет собой генератор, управляемый напряжением (ГУН). Частота генерации определяется элементами R9, R10, C5, C7.

Переключатель П6 изменяет частоту генерации, а П7 – диапазон перестройки частоты.

Управляющее напряжение ГУН задается регулятором U_{ex} и контролируется вольтметром в контрольной точке КТ1. Контрольная точка КТ7 подключена к выходу генератора.

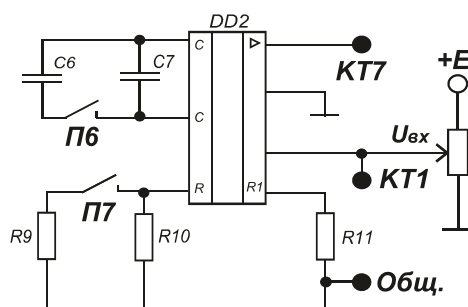


Рисунок 3.4

Домашнее задание

1. Изучить принцип работы генератора на основе специализированной интегральной схемы (В.Л. Шило «Популярные цифровые микросхемы», М.1987г., стр. 278 – 283; Integrated Circuits catalog. – Texas Instruments, 2003, т. 3 стр.124 - 129).
2. Определить частоту выходных импульсов для различных вариантов частото задающей цепи.

Рабочее задание

1. Снять и построить временную диаграмму работы генератора (КТ7). При этом установить регулятором $U_{вх}$ управляющее напряжение равное 2,5 В.
2. По временной диаграмме определить параметры генератора: U^0_2 , U^1_2 , $t^{01}_ф$, $t^{10}_ф$, $f_Г$. Результаты измерений свести в таблицу.
3. Определить зависимость частоты генерации $f_Г$ от управляющего напряжения $U_{вх}$ и коэффициент перестройки частоты $K = f_{max} / f_{min}$ для трех вариантов времязадающей цепи (П6, П7). Результаты измерений свести в таблицу. Диаграммы зависимости частоты генерации от управляющего напряжения построить на общем графике в логарифмическом масштабе.



Таблица 3.6

$U^0_{2, \text{В}}$	$U^1_{2, \text{В}}$	$t^{01}_{\phi, \text{мкс}}$	$t^{10}_{\phi, \text{мкс}}$	$f_{\Gamma, \text{Гц}}$

Таблица 3.7

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	К
f, Гц, П6,П7 отк.								
П6 вкл.								
П7 вкл.								
П6, П7 вкл.								

Выводы

Контрольные вопросы

1. Как повлияет на выходной сигнал подключение емкости C_6 , резистора R_9 ?
2. Какова максимальная длительность импульса данного генератора? Чем она достигается?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЙ И АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Цифро-аналоговые и аналогово-цифровые преобразователи (ЦАП и АЦП) являются основными элементами, осуществляющими переход от цифровой формы информационного сигнала к аналоговой и, наоборот, от аналоговой к цифровой. Физическая информация всегда имеет аналоговую форму существования, а цифровая обработка этой информации современными средствами всегда требует цифровой формы представления этой информации.

Принцип работы цифроаналоговых преобразователей основан на следующем алгоритме:

$$U_{\text{вых}} = U_0 \left(\frac{a_1}{2^1} + \frac{a_2}{2^2} + \frac{a_3}{2^3} + \dots + \frac{a_n}{2^n} \right) \quad (1),$$

где U_0 – величина опорного источника напряжения, a_1, a_2, \dots, a_n – значения разрядов n -разрядного двоичного числа, причем a_1 – старший разряд, a_n – младший разряд.

Например, при $U_0 = 12,8$ В двоичному числу 1000000 соответствует выходное напряжение ЦАП, равное

$$U_{\text{вых}} = 12,8 \left(\frac{1}{2} + \frac{0}{4} + \frac{0}{8} + \frac{0}{16} + \frac{0}{32} + \frac{0}{64} \right) = 6,4 \text{ В},$$

т.е. единице старшего разряда соответствует $U_{\text{вых}} = 6,4 \text{ В}$. Числу 000001, соответствует напряжение $U_{\text{вых}} = 12,8 \cdot \frac{1}{64} = 0,2 \text{ В}$. Это напряжение является величиной младшего разряда $U_{\text{м.р.}}$, т.е. шагом изменения выходного напряжения.

Коду 111111 соответствует $U_{\text{вых.маx}} = 12,6 \text{ В}$.

Общая графическая зависимость $U_{\text{вых}}(N)$ имеет вид ступенчатого нарастающего напряжения.

Если во времени изменять код двоичного числа, то соответственно будет изменяться напряжение на выходе ЦАП.

Структурная организация ЦАП обычно соответствует формуле 1. Она состоит из трех основных блоков: 1 – весовой матрицы $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ и т.д., осуществляющей деление напряжения U_0 , которое является эталонным для преобразования; ключевых схем, управляющих разрядными значениями $a_1 \div a_n$ цифрового кода и сумматора, осуществляющего общее суммирование разрядных составляющих.

Аналого-цифровые преобразователи предназначены для преобразования аналогового напряжения – постоянного или изменяющегося во времени в цифровой код. Существует много схем построения АЦП, которые отличаются принципом работы, точностью, быстродействием. В лабораторной работе исследуется одна из простых схем развертывающего типа на основе цифро-аналогового преобразователя и компаратора.

Принцип действия схемы заключается в формировании ступенчато-изменяющегося напряжения, которое сравнивается с входным измеряемым напряжением.

Код, который устанавливается в ЦАП при равенстве входного измеряемого напряжения и выходного напряжения ЦАП, является результатом работы всего АЦП. Преобразователи данного типа имеют малое

быстродействие и неустойчивы при резких изменениях входного аналогового напряжения.

Цель работы – ознакомиться с принципом построения и логикой работы ЦАП и АЦП, определить основные параметры.

Описание исследуемой схемы

Исследуемая схема (рис. 4.1) состоит из двоичного счетчика СТ2, ключей, $R-2R$ матрицы, компаратора DA1, схемы управления (DD1, VD1-VD3, электронный ключ ЕК), источника опорного напряжения (ИОН) и индикаторов для визуализации двоичного кода $2^0 - 2^5$.

Переключатель П1 переключает режимы ЦАП, АЦП, а П2 устанавливает счетчик СТ2 в нулевое состояние.

При выключенном П1 схема находится в режиме ЦАП. Импульсы с генератора

Г5-54 через замкнутый электронный ключ ЕК поступают на вход двоичного счетчика СТ2. Выходной код счетчика отображается индикаторами $2^0 - 2^5$ и управляет ключами, которые подключают резисторы матрицы $R-2R$ к ИОН. Выходной сигнал ЦАП (контрольная точка КТ4) наблюдаем с помощью осциллографа (циклический режим) или замеряем вольтметром (пошаговый режим). Обнуление счетчика производится переключателем П2.

Для перевода схемы в режим АЦП необходимо включить П1. При этом электронный ключ ЕК управляется компаратором DA1.

На вход АЦП (неинвертирующий вход DA1) подается входной сигнал, на инвертирующий вход – выходное напряжение $R-2R$ матрицы (контрольная точка КТ4 – выход ЦАП). Если напряжение на инвертирующем входе DA1 превысит входное (неинвертирующий вход) произойдет переключение компаратора и размыкание ключа ЕК. При этом

АЦП перейдет в режим хранения. Выходной код АЦП отображается индикаторами $2^0 - 2^5$.

Схема управления формирует импульс сброса АЦП (контрольная точка КТ2), который получается из входных импульсов путем деления на 2^{15} . Импульс сброса устанавливает в нулевое состояние счетчик СТ2. При этом компаратор переключается в исходное состояние, замыкается ключ ЕК и начинается цикл преобразования.

Выход компаратора подключен к контрольной точке КТ3. Входное напряжение АЦП контролируется вольтметром в контрольной точке КТ1 и задается регулятором $U_{вх}$.

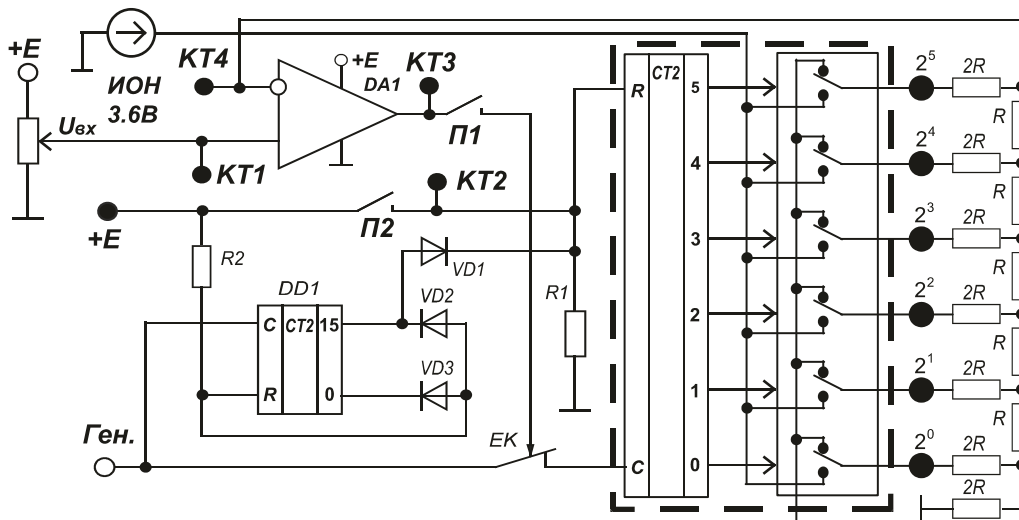


Рисунок 4.1

Домашнее задание

1. Изучить принцип действия, логику работы и параметры ЦАП, АЦП (Г.И. Волович «Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств», 2007; В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990; О.М. Лебедев, О.И. Ладик «Цифровая схемотехника», 2004, с.281-309)
2. Начертить временные диаграммы ЦАП и АЦП, поясняющих их работу.

Рабочее задание

1. Включить питание стенда кнопкой «СЕТЬ».
2. Переключателем лабораторных работ, который находится на задней панели стенда «Импульс-М», включить работу «ЛАБ 4». Выход генератора подключить к входу «Ген» на задней панели стенда. Установить частоту генерации $f = 22$ кГц, длительность импульса $t_{и} = 20$ мкс. Вольтметр подключить к точке КТ4 параллельно осциллографу.
3. Исследование цифроаналогового преобразователя.
 - 3.1. Установить генератор в режим «Ручная синхронизация», вольтметр подключить к контрольной точке КТ4.
 - 3.2. Переключатели П1 и П2 стенда установить в отжатое состояние (выключенное).
 - 3.3. Установить нулевое состояние счетчика путем кратковременного нажатия переключателя П2.
 - 3.4. Осуществить последовательный запуск генератора кнопкой ручной синхронизации. При этом после каждого нажатия необходимо измерять выходное напряжение (КТ4) с помощью цифрового вольтметра. Результаты измерений свести в таблицу 4.1.
 - 3.5. По результатам измерений выполнить расчеты дифференциальной и интегральной нелинейности преобразователя.
 - 3.6. Перевести схему ЦАП в циклический режим путем переключения генератора Г5-54 в режим автоматической синхронизации. Подключить вместо вольтметра осциллограф к контрольной точке КТ4 (синхронизация осциллографа контрольной точкой КТ2). Зарисовать выходной сигнал ЦАП в контрольной точке КТ4. С помощью осциллографа определить:
 - а) время установки первой ступени выходного сигнала ЦАП;
 - б) времени сброса ЦАП.

4. Исследование аналого-цифрового преобразователя.

4.1. Переключить стенд в режим АЦП. Для этого:

П1 – включить в положение нажатое «вкл.»;

П2 – в положение отжатое «выкл.»;

4.2. Установить частоту генератора 22 КГц и длительность импульса $t_{и} = 20\text{мкс}$.

4.3. Подключить вольтметр к контрольной точке КТ1.

4.4. С помощью регулировки « $U_{вх}В$ » на стенде последовательно устанавливать напряжение от 0 до 3,5 В с шагом 0,5 В. При этом необходимо измерять напряжение вольтметром на каждом шаге и фиксировать выходной код по цифровым разрядным индикаторам (на стенде нижний индикатор – младший разряд, верхний - старший). Двоичный код необходимо переводить в десятичный.

4.5. Результаты измерений свести в таблицу 4.2 и построить график выходного численного значения кода от входного напряжения.

4.6. Определить интегральную и максимальную дифференциальную нелинейность преобразования.

4.7. Установить $U_{вх} = 3.6В$. Синхронизировать осциллограф контрольной точкой КТ2. Снять и построить временные диаграммы работы АЦП (контрольные точки КТ2, КТ3, КТ4). Произвести измерение времени установки выходного кода.

Таблица 4.1

К-во имп.							
U,В							

Таблица 4.2

U _{вх} , В	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
Код АЦП								





Выводы

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены ЦАП, АЦП.
2. Параметры ЦАП (статические и динамические).
3. Параметры АЦП (статические и динамические).
4. В каких устройствах применяются ЦАП и АЦП.

Лабораторная работа № 5

КОМБИНАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Комбинационными логическими элементами называют функциональные узлы электронной техники, реализующие функции алгебры логики так, что состояние их выходов однозначно определяется

комбинацией входных сигналов и не зависит от предыдущего состояния данного элемента.

Комбинационные логические элементы (ЛЭ) являются составной частью современной цифровой схемотехники. Сочетания комбинационных ЛЭ используется для построения последовательных функциональных узлов, т.е. узлов с памятью, состояние выходов которых зависит не только от комбинации входных сигналов на данном такте функционирования, но и от состояния устройства на предыдущем такте.

С точки зрения схемотехники ЛЭ описываются двумя множествами параметров и характеристик: логическими и электрическими, между которыми нет четкой границы. К логическим элементам относят реализуемую ЛЭ функцию алгебры логики, уровни нуля U^0 и единицы U^1 на входе U^0_1, U^1_1 и выходе U^0_2, U^1_2 ЛЭ, длительность задержки распространения сигнала $t_{здр}$, длительность фронта нарастания $t^{01}_ф$ и спада $t^{10}_ф$ выходного сигнала. К электрическим характеристикам ЛЭ относят семейства входных, передаточных и выходных характеристик с учетом влияния напряжения источника питания, температуры окружающей среды, а также энергетические параметры ЛЭ: потребляемую энергию в состоянии логического 0 и 1 на выходе.

Цель работы – ознакомиться с логикой работы логических элементов типа И-НЕ, ИЛИ-НЕ, ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ-ИЛИ, И-ИЛИ-НЕ и измерить динамические параметры.

Описание исследуемой схемы

На рисунке 5.1 представлены исследуемые схемы комбинационных элементов. Элемент DD1.1 реализует функцию И-НЕ, элемент DD2.1 – функцию ИЛИ-НЕ, элемент DD3.1 - ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ-ИЛИ, элемент DD4.1 – функцию 2И-ИЛИ-НЕ. Переключатели П1 – П5 задают входные сигналы логических элементов. В контрольных точках КТ2 –

КТ5 наблюдаем выходные сигналы.

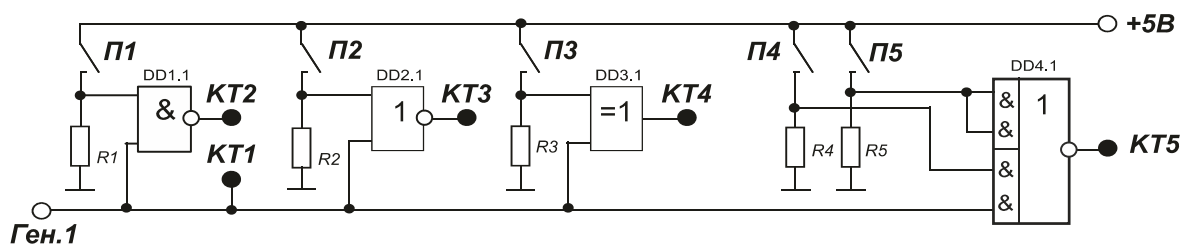


Рисунок 5.1

Домашнее задание

1. Изучить принцип работы комбинационных ЛЭ типа И-НЕ, ИЛИ-НЕ, ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ-ИЛИ, И-ИЛИ-НЕ (В.М. Рябенский, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий «Цифровая схемотехника», 2009; В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990; Ерофеев Ю.Н. «Основы импульсной техники», 1979; Преснухин Л.В., Воробьева Н.В., Шишкевич Д.А. «Расчет элементов цифровых устройств», 1982)
2. Составить таблицы истинности для ЛЭ DD1.1, DD2.1, DD3.1, DD4.1 для приведенных на рисунке 5.1 входных переменных.
3. Привести основные статические и динамические справочные параметры исследуемых ЛЭ.

Рабочее задание

1. Включить питание стенда кнопкой «Сеть».
2. Переключателем лабораторных работ, который находится на задней панели стенда «Дискрет-М», включить лабораторную работу «ЛАБ 5».
3. Установить на генераторе Г5-54 частоту следования импульсов $f = 1$ кГц, основной импульс (ОИ) положительной полярности амплитудой 5В,

длительностью $t_{и} = 100$ мкс и задержкой $t_{зд} = 0$ мкс относительно синхроимпульса (СИ) положительной полярности амплитудой 5В подать на разъем Ген.1. Использовать внешнюю синхронизацию осциллографа от генератора Г5-54.

4. Исследовать ЛЭ И-НЕ (DD1.1). Снять и построить временные диаграммы. Определить длительность фронта нарастания t_{ϕ}^{01} и спада t_{ϕ}^{10} .

5. Исследовать ЛЭ ИЛИ-НЕ (DD2.1). Снять и построить временные диаграммы. Определить длительность фронта нарастания t_{ϕ}^{01} и спада t_{ϕ}^{10} .

6. Исследовать ЛЭ ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (DD3.1). Снять и построить временные диаграммы. Определить длительность фронта нарастания t_{ϕ}^{01} и спада t_{ϕ}^{10} .

7. Исследовать ЛЭ И-ИЛИ-НЕ (DD4.1). Снять и построить временные диаграммы. Определить длительность фронта нарастания t_{ϕ}^{01} и спада t_{ϕ}^{10} .

Выводы

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы ЛЭ и приведите его принципиальную схему.
2. От чего зависит быстродействие комбинационных ЛЭ.
3. Как влияет на параметры ЛЭ температура окружающей среды?
4. Объясните, при каких положениях переключателей П1-П5 прямоугольный входной импульс появляется на выходах ЛЭ.

Лабораторная работа № 6

КОМБИНАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Комбинационные интегральные микросхемы (ЦИМ) – устройства, у которых отсутствуют элементы памяти, а выходные сигналы определяются только комбинацией входных сигналов в данный момент времени. К комбинационным устройствам относятся: логические схемы И-НЕ (ЛА), ИЛИ-НЕ (ЛЕ), И (ЛИ), ИЛИ (ЛЛ), НЕ (ЛН), И-ИЛИ-НЕ (ЛР); дешифраторы (ИД); преобразователи кодов (ПР); сумматоры (ИМ); мультиплексоры (КП); схемы сравнения (СА) и др.

Дешифраторы – устройства, предназначенные для преобразования двоичного n -разрядного кода в комбинацию управляющих сигналов. В зависимости от разрядности дешифруемого кода и функциональных возможностей логических интегральных схем дешифратор можно выполнить на основе одноступенчатой (линейной) и многоступенчатой схемы дешифрации. Среди многоступенчатых схем можно выделить прямоугольные (матричные) и пирамидальные схемы построения дешифраторов. Дешифраторы широко используются в устройствах вывода информации и управления.

Преобразователи кодов – устройства, осуществляющие преобразование числовой информации из одной двоичной формы в другую.

Мультиплексор – коммутатор логических сигналов, обеспечивающий передачу информации, поступающей по нескольким входным линиям связи на одну выходную линию. Входную линию выбирают в соответствии с поступающим адресным кодом. При наличии m адресных входов можно реализовать $M = 2^m$ комбинаций адресных сигналов, каждая из которых обеспечивает выбор одной из M входных линий.

Демультимплексор – коммутатор логических сигналов, обеспечивающий передачу информации, поступающей по одному входу, и направляющий в

одну из выходных линий в соответствии с адресом.

Цель работы – исследовать принцип работы дешифраторов, преобразователей кодов, мультиплексоров и демультиплексоров.

Описание исследуемой схемы

На рисунке 6.1 представлены исследуемые схемы комбинационных устройств: дешифратор – на микросхеме DD2; преобразователь кода 1-2-4-8 - в семисегментный код – DD3, DD5; мультиплексор – DD2, DD4; демультиплексор – DD2, DD6. Двоично-десятичный счетчик на микросхеме DD1 формирует двоично –десятичный параллельный код на выходах КТ3, КТ4, КТ5, КТ6. Переключателями П1...П3 задается код, подаваемый на информационные входы мультиплексора, переключатель 4 используется для активизации выходов дешифратора DD3.

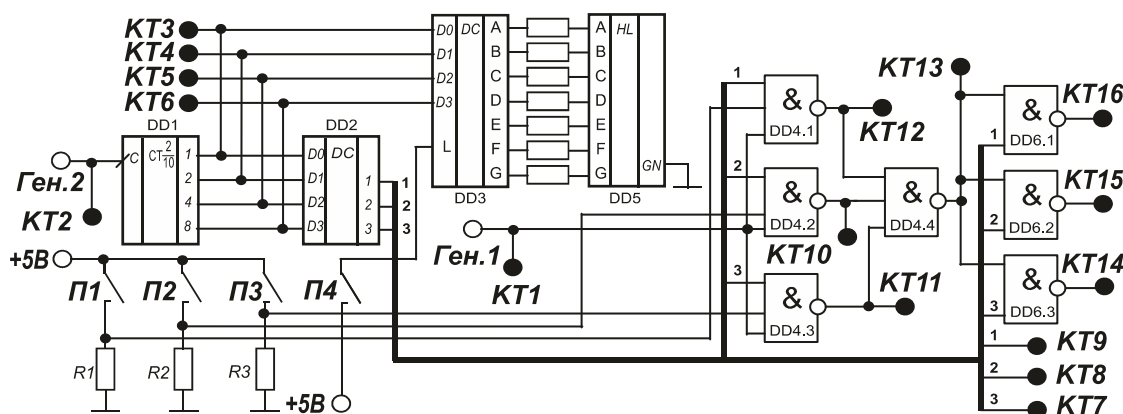


Рисунок 6.1

Домашнее задание

1. Изучить принцип действия дешифраторов, преобразователей кодов, мультиплексоров и демультиплексоров:
 - В.М. Рябенкий, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий «Цифровая схемотехника»,

2009. с. 192- 199, 208-216;

-П. Хоровиц, У. Хилл «Искусство схемотехники», 2003, с. 519-522;

-Ю.Н. Ерофеев «Импульсные устройства», 1989. с. 480-485.

2. Начертить временные диаграммы работы счетчика (КТ2, КТ3, КТ4, КТ5, КТ6), дешифратора (КТ9, КТ8, КТ7), мультиплексора (КТ1, КТ12, КТ11, КТ10, КТ13) и демультимплексора (КТ16, КТ15, КТ14).

Рабочее задание

1. Установить лабораторный стенд «Дискрет - М» в режим «ЛАБ 6» с помощью переключателя лабораторных работ, который находится на задней панели стенда.

2. Включить кнопку СЕТЬ.

3. Установить на генераторе Г5-54 частоту следования импульсов

$f = 100$ кГц. Основной импульс (ОИ) положительной полярности амплитудой 5В, длительностью $t_{и} = 3$ мкс с задержкой $t_{зд} = 3,5$ мкс относительно синхроимпульса (СИ) подать на разъем Ген.1. Синхроимпульс положительной полярности амплитудой 5В подать на разъем Г2. Использовать внешнюю синхронизацию осциллографа сигналом КТ6.

4. Исследовать дешифратор.

Снять и построить временные диаграммы (КТ2, КТ3, КТ4, КТ5, КТ6, КТ9, КТ8, КТ7) работы дешифратора.

5. Исследовать мультиплексор и демультимплексор.

Снять и построить временные диаграммы (КТ2, КТ3, КТ4, КТ5, КТ6, КТ9, КТ8, КТ7, КТ1, КТ12, КТ11, КТ10, КТ13, КТ16, КТ15, КТ14) работы мультиплексора и демультимплексора для кода, равного номеру бригады, подаваемого на входы элементов DD4.1 – DD4.3 переключателями П1 – 2^0 , П2 – 2^1 , П3 – 2^2 .

6. Исследовать преобразователь кодов 1-2-4-8 в семисегментный код (П4 –

нажать). Установить генератор Г5-54 в режим разового пуска. Нажимая кнопку разового пуска, проследить изменение цифр индикатора DD5.

Выводы

Контрольные вопросы

1. Назначение комбинационных устройств.
2. Классификация комбинационных устройств.
3. Объяснить работу дешифратора, преобразователя кодов, мультиплексора и демультимплексора.
4. Начертить схему линейного дешифратора на два входа.
5. Начертить схему мультиплексора на четыре информационных входа.

Лабораторная работа № 7

ТРИГГЕРЫ

Триггер – это последовательное устройство (ПУ) с двумя устойчивыми состояниями, содержащее запоминающий элемент (собственно триггер) и схему управления, у которого выходные сигналы зависят не только от входных сигналов, приложенных в данный момент времени, но и от предыдущего его состояния. Триггерное устройство имеет управляющие (информационные) и тактовые (синхронные) входы и два информационных выхода Q и \bar{Q} , состояния которых могут иметь

значения «1» или «0». При поступлении управляющего сигнала на вход S (Set – устанавливать) триггер устанавливается в состояние «1» (т.е. $Q = 1$, $\bar{Q} = 0$). При поступлении управляющего сигнала на вход R (Reset – восстанавливать) триггер устанавливается в состояние «0» (т.е. $Q = 0$, $\bar{Q} = 1$).

По способу функционирования различают следующие типы триггеров: RS, S, R, D, E, JK.

По способу записи информации триггеры подразделяются на асинхронные и синхронные (тактируемые). В асинхронных триггерах запись информации осуществляется непосредственно с поступлением информационного сигнала на вход, в синхронных – при подаче разрешающего, тактирующего (синхронизирующего) импульса T (C) по уровню или по фронту 1/0 или 0/1. Триггеры, синхронизируемые уровнем, могут изменять свое состояние в течение длительности синхроимпульса (длительности синхросигнала) при поступлении соответствующих управляющих сигналов, т.е. могут переключаться несколько раз за время действия одного синхроимпульса. Во время паузы между синхроимпульсами состояние такого триггера сохраняется при любых изменениях управляющих сигналов. Триггеры, синхронизируемые фронтом, изменяют свое состояние при поступлении на синхронизирующий вход соответствующего фронта 1/0 или 0/1 синхроимпульса, а при последующем действии уровня синхроимпульса это состояние сохраняется при любых изменениях управляющих сигналов. За время действия одного синхроимпульса триггер, синхронизируемый фронтом, может переключаться только один раз.

Цель работы – ознакомиться с принципом построения и логикой работы триггеров на интегральных логических схемах, определить основные параметры.

Описание исследуемой схемы

На рисунке 7.1 представлены исследуемые схемы триггеров: RS-, S-, и D-триггеры на логических элементах И-НЕ DD1.1 – DD1.4; D-триггер на микросхеме - DD5.1; JK-триггер на логических элементах DD2 – DD4. На выходе D-триггера DD5.2 формируются управляющие сигналы из импульсов, которые поступают на разъем Ген.2 от генератора Г5-54.

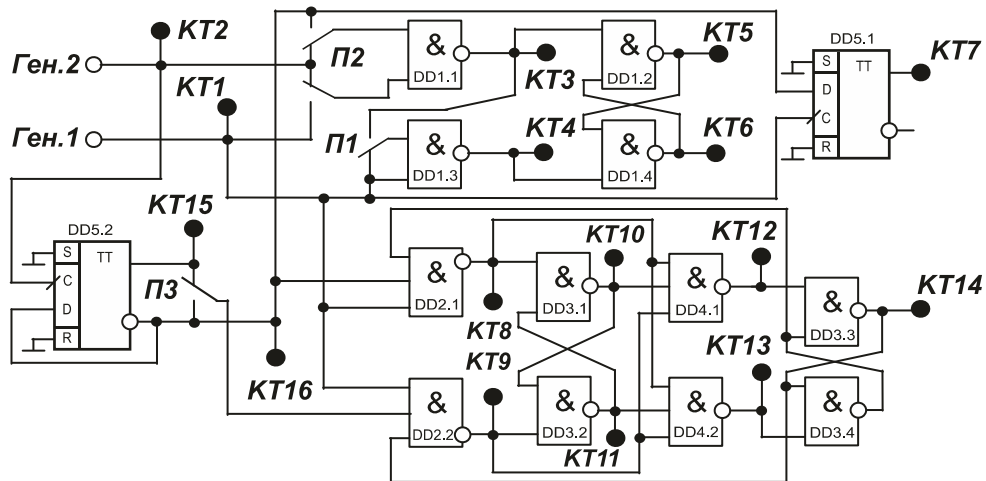


Рисунок 7.1

Домашнее задание

1. Изучить принцип действия, логику работы и параметры триггеров (В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990; О.М. Лебедев, О.И. Ладик «Цифровая схемотехника», 2004 ; В.М. Рябенский, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий «Цифровая схемотехника», 2009)
2. Начертить временные диаграммы переключения RS-, S-, D-, JK-триггеров, поясняющих их работу.
3. Составить блок-схему исследования и методику определения временных параметров триггеров.

Рабочее задание

1. Переключателем лабораторных работ, который находится на задней панели стенда «Дискрет-М», включить работу «ЛАБ 7» «Триггеры».
2. Включить питание стенда кнопкой СЕТЬ.
3. Установить на генераторе Г5-54 частоту следования импульсов $f = 10$ кГц. Основной импульс (ОИ) положительной полярности с амплитудой 5В, длительностью $t_{и} = 10$ мкс и задержкой $t_{зд} = 50$ мкс относительно синхроимпульса (СИ) подать на разъем Ген.1. Синхроимпульс положительной полярности с амплитудой 5В подать на разъем Ген.2. Использовать внешнюю синхронизацию осциллографа сигналом КТ15.
4. Исследовать RS-триггер:
 - снять и построить временные диаграммы (гнезда КТ1 – КТ6) работы RS-триггера при $R (КТ1) \cdot S (КТ2) \neq 1$ и $R \cdot S = 1$ (для этого задержку основного импульса нужно уменьшить так, чтобы сигнал R (КТ1) вошел в зону сигнала S (КТ2). Определить время задержки переключения триггера из состояния «1» в «0» - $t_{зд}^{10}$ и из состояния «0» в «1» - $t_{зд}^{01}$.
5. Исследовать S-триггер (П1 – нажать) при $R(КТ1) \cdot S(КТ2) = 1$.
 - снять и построить временные диаграммы (гнезда КТ1 – КТ6).
6. Исследовать D-триггер (П1, П2 – нажать), собранный на логических элементах DD1 и на микросхеме DD5.1.
 - снять и построить временные диаграммы (гнезда КТ16 – сигнал D; КТ1 – сигнал С, КТ2 – КТ6). Определить $t_{зд}^{10}$ и $t_{зд}^{01}$.
7. Исследовать JK-триггер:
 - снять и построить временные диаграммы (гнезда КТ1, КТ2, КТ10 – КТ15, причем гнезда КТ1 – сигнал С, КТ16 – сигнал J, КТ15 – сигнал К) для $J \cdot K \neq 1$ и $J \cdot K = 1$. Определить $t_{зд}^{10}$ и $t_{зд}^{01}$.

Выводы

Контрольные вопросы

1. Дать определение триггера, назначение входов и выходов
2. Классификация логических структур триггерных схем
3. Объяснить работу асинхронного RS-триггера на логических схемах И-НЕ.
4. Отличие RS-триггера с прямыми входами от RS-триггера с инверсными входами.
5. Объяснить работу S-триггера и его отличие от RS-триггера.
6. Объяснить работу D-триггера на логических схемах И-НЕ.
7. Объяснить работу асинхронного JK-триггера и его отличие от RS-триггера.
8. Объяснить работу синхронного двухступенчатого JK-триггера.

Лабораторная работа №8

СЧЕТЧИКИ

Счетчики – устройства, предназначенные для подсчета и хранения количества импульсов, поданных на вход. По целевому назначению счетчики подразделяют на суммирующие, вычитающие и реверсивные; по структурной организации – на последовательные (асинхронные), параллельные (синхронные) и комбинированные; по коэффициенту счета

– на двоичные и с произвольным коэффициентом счета. Счетчики применяются для подсчета количества циклов, выполнения операции преобразования информации, для формирования адреса в устройствах управления и т.д.

Основные параметры счетчиков – коэффициент пересчета и быстродействие. Коэффициент пересчета $K_{сч}$ характеризует число устойчивых состояний счета, т.е. предельное число импульсов, которое может быть сосчитано счетчиком. Быстродействие счетчика характеризуется параметрами $f_{сч}$ – максимальная частота поступления счетных импульсов (эта величина обратная минимально допустимому интервалу времени между двумя счетными импульсами, при которых не происходит потери счета импульсов) и $t_{уст}$ – время установления кода счетчика, определяемое как интервал времени между моментом поступления счетного импульса и моментом перехода счетчика в новое устойчивое состояние.

Последовательные счетчики характеризуются тем, что управляющими сигналами для старших разрядов служат сигналы, снимаемые с информационных выходов младших разрядов, а счетные импульсы поступают на вход первого разряда. Для таких двоичных счетчиков максимальная частота поступления счетных импульсов определяется из выражения $f_{сч} = 1/(t_{и} + t_{уст})$, где $t_{и}$ – длительность счетных импульсов; $t_{уст} = n t_{зд.ср}^Г$; n – число триггеров; $t_{зд.ср}^Г = 0.5(t_{зд}^{10} + t_{зд}^{01})$ – средняя задержка переключения триггера. Преимущество – простота; недостаток – малое быстродействие.

В параллельных счетчиках счетные импульсы подаются на счетные входы всех разрядов одновременно, а состояние n -го разряда изменяется только при определенном состоянии предыдущих разрядов. Для этого типа счетчиков максимальная частота следования $f_{сч} = 1/(t_{и} + t_{уст})$, где $t_{уст} = t_{зд.ср}^Г$. Преимущество – высокое быстродействие, так как $t_{уст}$ не зависит от числа разрядов; недостаток – требуются дополнительные схемы

совпадения, число входов которых равно n (где n – порядковый номер разряда счетчика), и неравномерная нагрузка на входы триггеров.

Вычитающие счетчики предназначены для получения разности между числом N , записанным в счетчике, и числом n импульсов, поступающих на его вход T . В отличие от суммирующих счетчиков в вычитающих счетчиках управляющими сигналами для старших разрядов служат сигналы, снимаемые с инверсных информационных выходов младших разрядов.

Реверсивные счетчики позволяют выполнять операции суммирования и вычитания импульсов. В зависимости от сигнала управления $\pm V$ счетные входы последующих триггеров соединяются или с прямыми, или с инверсными информационными выходами предыдущих.

Счетчики с произвольным коэффициентом пересчета $K_{сч} = 1 \dots 2^n$ строятся на основе двоичных счетчиков. Принцип работы таких счетчиков заключается в исключении «лишних» устойчивых M состояний у двоичного счетчика с коэффициентом пересчета 2^n , при этом число запрещенных состояний $M = 2^n - K_{сч}$. Счетчики с произвольным коэффициентом счета по способу построения делятся на счетчики с естественным и произвольным порядком счета. В счетчиках с естественным порядком счета порядок счета начинается с 0 и заканчивается числом $K_{сч} - 1$, требуемый коэффициент пересчета обеспечивается схемной блокировкой переноса.

Счетчики с произвольным коэффициентом счета в процессе счета принимают состояния, не соответствующие их эквивалентным представлениям в двоичном коде.

Цель работы – исследовать схемные особенности и принцип работы двоичных счетчиков последовательного и параллельного типов, двоично-десятичного счетчика и счетчика с произвольным коэффициентом

пересчета.

Описание исследуемой схемы

На рисунке 8.1 представлены исследуемые схемы счетчиков: последовательного типа на микросхемах DD2.2, DD3.1, DD3.2; параллельного типа – DD1.1, DD1.2, DD4.3, DD4.4, DD2.1; двоично-десятичного - DD5, DD7.2, DD8.1, DD8.2; с произвольным коэффициентом пересчета - DD2.2, DD3.1, DD3.2, DD6, DD7.1. Переключателями П1, П2, П3 устанавливается двоичный код N для задания требуемого коэффициента пересчета $K_{сч} = N+1$. Переключатель П4 разрешает начальную установку двоично-десятичного счетчика в состояние N, определяемое положением переключателей П1, П2, П3, для реализации счетчика с коэффициентом пересчета $K_{сч} = 10 - N$. Переключатель П5 включает счетчик с произвольным коэффициентом счета.

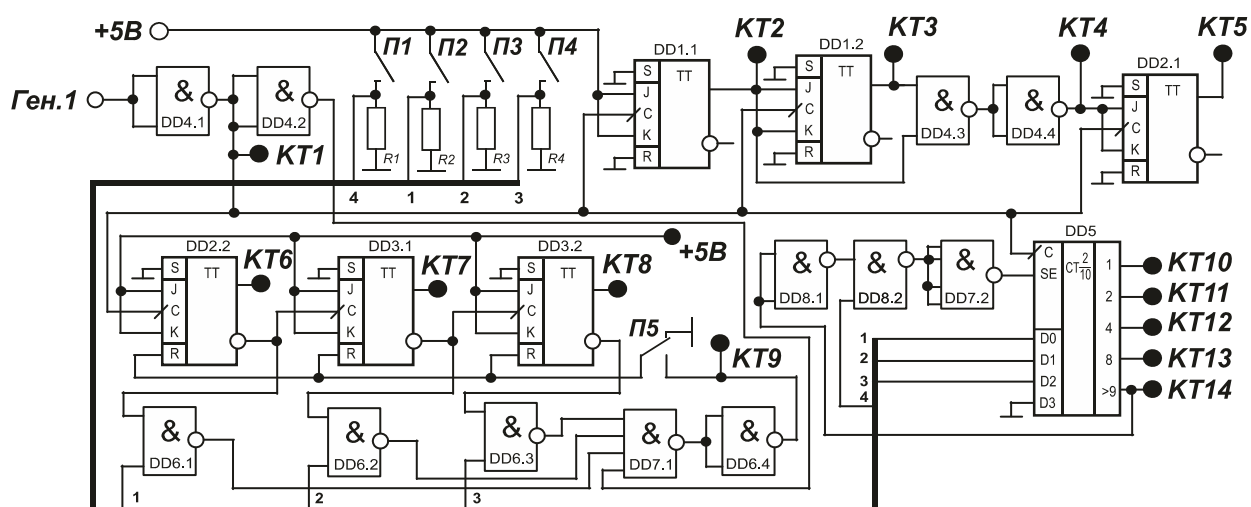


Рисунок 8.1

Домашнее задание

1. Изучить принцип действия счетчиков (1, с. 384 - 432; 2, с.216 – 230, ; 4, с. 189 -205; 8, с. 535 – 538, 548 – 550; 12, с. 201 - 222).
2. Начертить временные диаграммы работы счетчиков последовательного (гнезда КТ1, КТ6...КТ8) и параллельного (гнезда КТ1...КТ5) типов, двоично-десятичного счетчика (гнезда КТ1, КТ10...КТ14), счетчика с произвольным коэффициентом пересчета (гнезда КТ1, КТ6...КТ9).

Рабочее задание

1. Переключателем лабораторных работ, который находится на задней панели стенда «Дискрет-М», включить работу «ЛАБ 8» «Счетчики».
2. Включить питание стенда кнопкой СЕТЬ.
3. Установить на генераторе Г5-54 частоту следования импульсов $f = 100$ кГц, основной импульс ОИ положительной полярности с амплитудой 5В, длительностью 1 мкс, $t_{зд} = 0$ подать на разъем Ген.1. Использовать внешнюю синхронизацию осциллографа сигналами: КТ8 – для счетчика последовательного типа, КТ5 – параллельного типа, КТ9 – с произвольным коэффициентом пересчета, КТ14 – двоично-десятичного счетчика.
4. Исследовать двоичный счетчик последовательного типа:
 - снять и построить временные диаграммы (КТ1, КТ6...КТ8) работы счетчика.
 - определить время установки кода счетчика $t_{уст}$.
5. Исследовать двоичный счетчик параллельного типа:
 - снять и построить временные диаграммы (КТ1...КТ5) работы счетчика.

- определить время установки кода счетчика $t_{уст}$.
- 6. Исследовать счетчик с произвольным коэффициентом пересчета (нажать П5):
 - снять и построить временные диаграммы (КТ1, КТ6...КТ9) работы счетчика для $0 < N > 10$.
- 7. Исследовать двоично-десятичный счетчик:
 - снять и построить временные диаграммы (КТ1, КТ10...КТ14) для $N = 0$ и $0 < N > 10$.

Выводы

Контрольные вопросы

1. Назначение счетчиков.
2. Классификация счетчиков.
3. Назвать основные параметры счетчиков и дать их определение.
4. Объяснить работу двоичных суммирующих счетчиков последовательного типа.
5. Объяснить работу двоичных суммирующих счетчиков параллельного типа.
6. Объяснить работу двоичных вычитающих и реверсивных счетчиков.
7. Объяснить работу счетчиков с принудительным насчетом и начальной установкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М. Рябенский, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий. Цифровая схемотехника. – Л.:Новий світ, 2000. – 735 с.
2. О.М. Лебедєв, О.І. Ладик. Цифровая схемотехника. – К.: Політехніка, 2004.
3. Ерофеев Ю.Н. Основы импульсной техники. – М.: Высш.шк.,1979.
4. Зубчук В.И., Сигорский В.П., Шкуро А.Н. Справочник по цифровой схемотехнике. – К.: Тэхника, 1990. – 446 с.
3. Захаров В.К., Лыпарь Ю.И. Электронные устройства автоматики и телемеханики, 1984.
4. Г.И. Волович. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007.
5. Преснухин Л.Н., Воробьев Н.В., Шишкевич А.А. Расчет элементов цифровых устройств. – М.: Высш.шк., 1982, - 384 с.
6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – Т. 1,2. – М.: Мир, 1963.
7. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
8. Цифрова схемотехніка: Підручник у двох томах. – Т. 2. Жуйков В.Я., Бойко В.І., Зорін А.А.. Співак В.М. – К.: Аверс, 2002. – 408 с.
9. Гольденберг Л.М. Импульсные устройства. – М.: Радио и связь, 1981. - 224 с.
10. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 782 с.
11. В.С. Гутников. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.

Приложение А

Учебно-лабораторный стенд

«ИМПУЛЬС-М»

Учебно-лабораторный стенд «ИМПУЛЬС-М» предназначен для реализации следующих лабораторных работ учебного курса «Цифровая схемотехника»:

- «Электронные ключи»;
- «Одновибраторы»;
- «Генераторы»;
- «ЦАП, АЦП».

Технические характеристики.

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. Количество реализуемых лабораторных работ - | 4 |
| 2. Входной сигнал - | импульсы положительной полярности |
| 3. Минимальная амплитуда входного сигнала - | 0 В |
| 4. Максимальная амплитуда входного сигнала - | 5,0 В |
| 5. Минимальная длительность входного импульса - | 2,0 мкс |
| 6. Минимальная амплитуда выходного сигнала - | - 0,7 В |
| 7. Максимальная амплитуда выходного сигнала - | 5,0 В |
| 8. Пределы регулирования управляющего напряжения - | 0-3,6 В |
| 9. Лабораторная работа № 1 «Электронные ключи» | |
| 9.1. Длительность входного импульса - | 30-40 мкс |

10. Лабораторная работа № 2 “Одновибраторы”
- 10.1. Длительность входного импульса (ОУ), не менее- 30 мкс
- 10.2. Длительность входного импульса (ЛЕ) - 2,0-10,0 мкс
- 10.3. Длительность выходного импульса (ОУ) - 130-500 мкс
- 10.3. Длительность выходного импульса (ЛЕ) - 20-80 мкс
11. Лабораторная работа № 2 “Генераторы”
- 11.1. Выходная частота (ОУ) - 900-3500 Гц
- 11.2. Выходная частота (таймер) - 1500-5000 Гц
- 11.2. Выходная частота (ГУН) - 62-8000 Гц
12. Лабораторная работа № 2 “ЦАП, АЦП”
- 12.1. Время преобразования ЦАП, не более - 15 мкс
- 12.2. Нелинейность ЦАП, не более - 0,5%
- 12.3. Нелинейность АЦП, не более - 0,5%
13. Напряжение питания - сеть 220 В, 50 Гц
14. Потребляемая мощность, не более - 6,5 ВА
15. Наличие защиты от короткого замыкания на выходе - есть
16. Габаритные размеры, не более - 350*190*75 мм

Конструкция стенда.

Конструктивно стенд выполнен в виде законченной конструкции (рис. 1), которая находится в ударопрочном металлическом корпусе из анодированного алюминия.

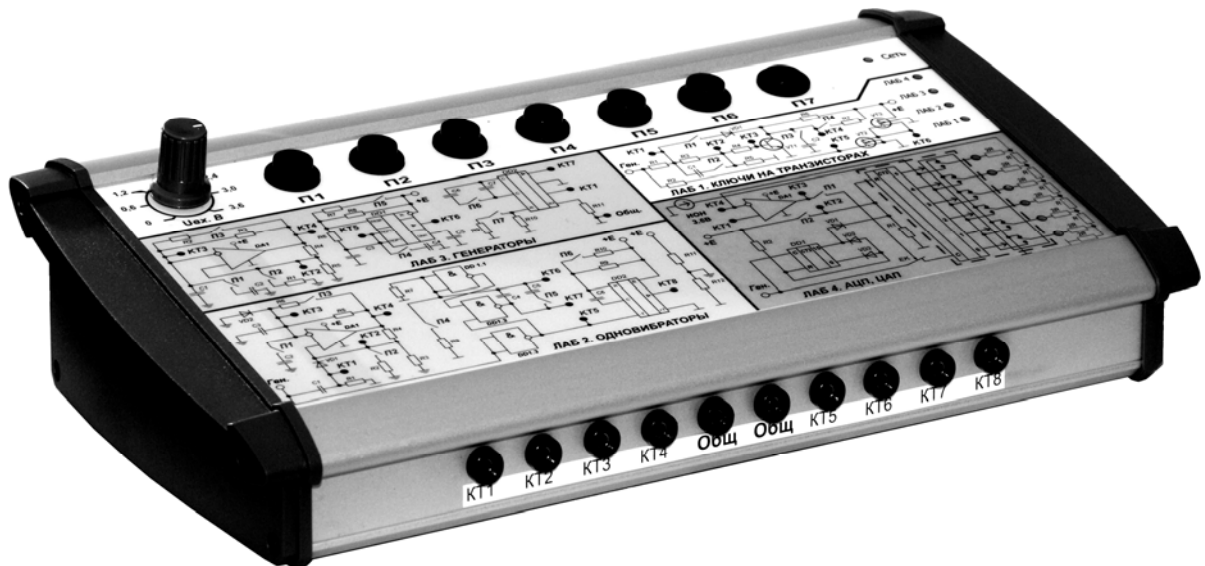


Рисунок 1

На лицевую панель стенда нанесен рисунок схем лабораторных работ, а так же расположены органы управления и индикации (рис. 2):

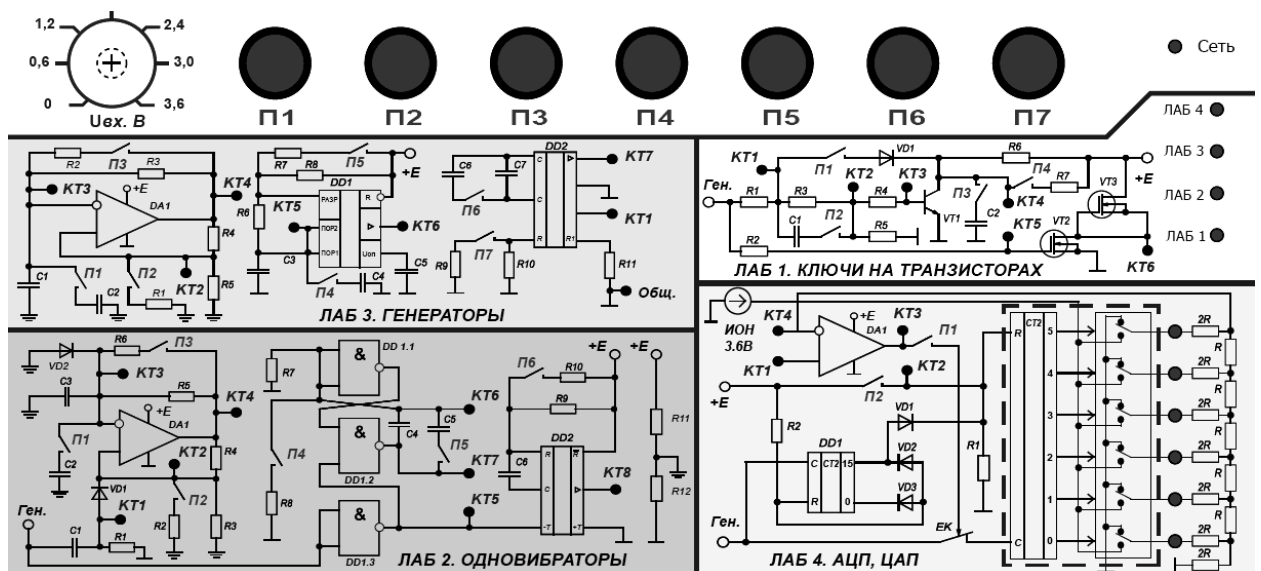


Рисунок 2

- переключатели П1 – П7 коммутируют режимы лабораторных работ;
- регулятор $U_{вх.}$ изменяет входное напряжение АЦП и управляющее напряжение ГУН в пределах 0 – 3,6 В;

- индикатор «Сеть» сигнализирует о подключении стенда к питающей сети;
- индикаторы ЛАБ1-ЛАБ4 индицируют активную лабораторную работу;
- индикаторы лабораторной работы № 4 «ЦАП, АЦП» отображают выходной двоичный код.

На передней панели стенда (рис. 1) расположены клеммы, которые подключены к контрольным точкам схемы. На задней панели (рис.3) находится переключатель лабораторных работ, разъемы для подключения внешнего генератора, питающей сети и выключатель питания.



Рисунок 3

Приложение Б

«ДИСКРЕТ-М»

Учебно-лабораторный стенд

Учебно-лабораторный стенд «ДИСКРЕТ-М» предназначен для реализации следующих лабораторных работ учебного курса «Цифровая схемотехника»:

- «Комбинационные элементы»;
- «Комбинационные устройства»;
- «Триггеры»;
- «Счетчики».

Технические характеристики

1. Количество реализуемых лабораторных работ - 4
2. Входной сигнал - импульсы положительной полярности
3. Минимальная амплитуда входного сигнала - 0 В
4. Максимальная амплитуда входного сигнала - 5,0 В
5. Минимальная длительность входного импульса - 0,5 мкс
6. Минимальная амплитуда выходного сигнала - 0 В
7. Максимальная амплитуда выходного сигнала - 5,0 В
8. Сопротивление нагрузки, не менее . 10 кОм
9. Напряжение питания - сеть 220 В, 50 Гц
10. Потребляемая мощность, не более - 6,5 ВА
11. Наличие защиты от короткого замыкания на выходе-есть
12. Габаритные размеры, не более - 350*190*75 мм

Конструкция стенда

Конструктивно стенд выполнен в виде законченной конструкции (рис. 1), которая находится в ударопрочном металлическом корпусе из анодированного алюминия.

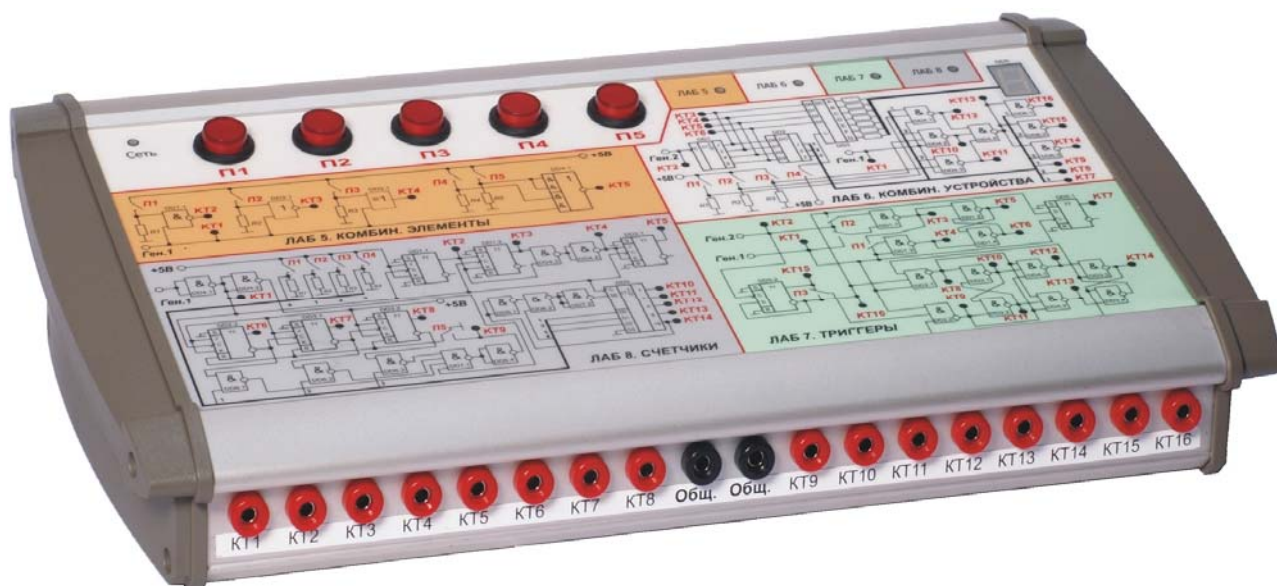


Рисунок 1

На лицевую панель стенда нанесен цветной рисунок схем лабораторных работ, а так же расположены органы управления и индикации (рис.2):

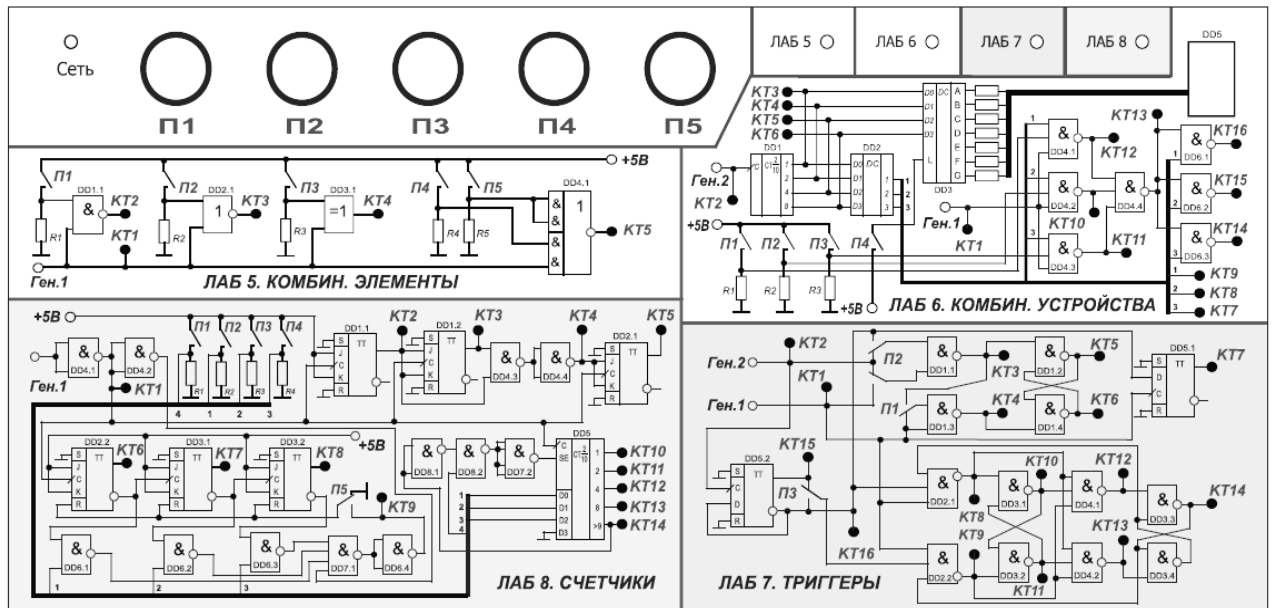


Рисунок 2

- переключатели П1 - П5 коммутируют режимы лабораторных работ;
- индикатор «Сеть» сигнализирует о подключении стенда к питающей сети;
- индикаторы ЛАБ5 - ЛАБ8 индицируют активную лабораторную работу;
- семисегментный индикатор DD5 лабораторной работы № 6 «Комбинационные устройства» отображает выходной код счетчика DD1.

На передней панели стенда (рис. 1) расположены клеммы, которые подключены к контрольным точкам схемы. На задней панели (рис.3) находится переключатель лабораторных работ, разъемы для подключения входных сигналов Ген. 1 и Ген. 2, розетка для подключения питающей сети и выключатель питания.



Рисунок 3