

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

---

Кафедра авиационных радиоэлектронных систем.  
В.Г.Бабаев

Пособие  
к выполнению курсовой работы по дисциплине  
«Схемотехника, ч. 2»,  
« Основы цифровой схемотехники»  
для студентов специальности 201.300  
« Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования ».

Москва-2003 год

Данные методические указания издаются в соответствии с учебным планом специальности 201.300 по дисциплине «Схемотехника, ч. 2» - «Основы цифровой схемотехники» для студентов дневного и заочного обучения.

Рецензент – доктор технических наук, профессор А. И. Логвин.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 10.12.2002 г. и редакционно-издательского совета ФАСК 14.01.2003 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

С.

Ведение.....	4
1. Задача № 1. Устройство дешифрации кодов.....	5
2. Задача № 2. Коммутатор параллельных кодов.....	5
3. Задача № 3. Устройство параллельного ввода слов в регистры.....	6
4. Задача № 4. Запоминающее устройство на ИМС оперативных ОЗУ.....	7
5. Задача № 5. Автогенератор прямоугольных импульсов – делитель частоты - - формирователь пусковых импульсов – ждущий генератор прямоугольных импульсов.....	8
6. Методические указания по выполнению задач курсовой работы.....	9
6.1. Методические указания по выполнению задачи № 1.....	9
6.2. Методические указания по выполнению задачи № 2.....	10
6.3. Методические указания по выполнению задачи № 3.....	11
6.4. Методические указания по выполнению задачи № 4.....	12
6.5. Методические указания по выполнению задачи № 5.....	14
7. Электрические параметры ИМС разных серий (приложение П1) .....	23
8. Ряд номиналов резисторов и конденсаторов E24 (приложение П2) .....	23
Литература.....	23

## ВВЕДЕНИЕ

Целью курсовой работы является освоение методик синтеза законченных цифровых устройств, выполняющих набор заданных функций, на основе стандартных ИМС средней степени интеграции. В процессе выполнения курсовой работы происходит изучение и освоение методов разработки и оформления принципиальных электрических либо структурно-логических схем устройств, а также освоение методик расчета элементов электрических схем импульсного типа, построенных на интегральных логических элементах, оформления расчетов и перечня элементов с использованием ряда номиналов E24 .

Для выполнения каждой задачи вначале следует изучить теорию стандартных ИМС, на которых строится цифровое устройство: назначение и принцип работы, таблицы истинности, уравнения каналов, структурно-логические схемы, особенности применения, электрические параметры и т.д. Этот материал подробно изложен в рекомендуемой литературе. Затем на этой основе синтезируется заданное устройство, используя методические указания, приведенные в данной работе. Результаты выполнения задач курсовой работы указаны в тексте каждой задачи.

Теоретический материал по импульсной части курсовой работы изучается по работе /3/ списка литературы и по «Пособию по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы цифровой схемотехники», часть 2».

Варианты каждой задачи для студентов дневного обучения определяет преподаватель, руководящий курсовой работой. Варианты студентов-заочников определяются как сумма последних двух цифр номера зачетной книжки студента. Так, если последние две цифры составляют сочетание 00, выполняется вариант № 10, а если последние две цифры составляют сочетание 99, выполняется вариант № 18.

Соответствие трудоемкости курсовой работы и ее потенциальной оценки следующее:

на оценку «удовлетворительно» - выполняются задачи №№ 1, 2 и 5,

на оценку «хорошо» - задачи №№ 1, 2, 3 и 5,

на оценку «отлично» - задачи №№ 1 – 5

## 1. Задача №1. Устройство дешифрации кодов.

### 1.1. Таблица заданий

Варианты	1	2	3	4	5	6	7
Число входов устройства	4	5	6	7	5	6	5
Число выходов устройства	16	30	64	80	30	40	32
Марка ИМС дешифратора	К531 ИД14	К531 ИД14	К155 ИД3	К155 ИД3	К555 ИД4	К555 ИД4	К555 ИД7

8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	4	6	6	7	5	5	6	6
50	14	50	40	70	25	29	45	60
К555 ИД7	К531 ИД14	К155 ИД3	К531 ИД14	К155 ИД3	К555 ИД4	К555 ИД7	К555 ИД4	К555 ИД7

17	18	19	20	21	22	23	24	25
8	7	8	6	7	7	8	7	8
100	70	125	50	75	75	130	80	137
К155 ИД3	К555 ИД4	К555 ИД4	К555 ИД6	К555 ИД6	К555 ИД4	К555 ИД4	К555 ИД6	К555 ИД6

### 1.2. Содержание задания

1. Принципиальная электрическая схема устройства дешифрации и перечень ИМС. (см. таблицу п.6.5.5.)
2. Таблица дешифрации: входной код - соответствующий ему выход.
3. Расчет энергопотребления всего устройства и времени задержки по одному каналу.

### 1.3. Методические указания

Задание выполняется по литературе: /1/, стр. 53-67, справочные данные-/4/, расчет энергопотребления и времени задержки – см. раздел 6 данных указаний и справочные данные приложения П 1

## 2. Задача №2. Коммутатор параллельных кодов.

### 2.1 Таблица заданий

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8
Число источников сигналов (слов)	4	6	7	6	4	7	6	4
Число разрядов в слове	8	8	8	7	7	7	5	9

9	10	11	12	13	14	15	16	17
8	9	8	10	9	10	8	9	9
8	5	6	5	6	4	5	4	7

18	19	20	21	22	23	24	25
10	10	10	11	12	11	11	12
7	5	6	7	5	5	6	6

### 2.2 Содержание задания

1. Принципиальная электрическая схема устройства и перечень элементов. (см. таблицу п.6.5.5.)
2. Таблица коммутации: адресный сигнал - соответствующий источник слов.
3. Расчет энергопотребления всего устройства и времени задержки - для одного слова относительно адресных сигналов.

### 2.3 Методические указания

Задание выполняется по литературе: /2/, стр. 23-26, справочные данные-/4/, расчет энергопотребления и времени задержки - см. раздел 6 данных указаний и справочные материалы приложения П1.

## 3. Задача №3. Устройство параллельного ввода слов в регистры.

### 3.1. Таблица заданий

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число слов	4	6	5	7	4	8	5	7	6
Число разрядов в слове	8	6	8	4	6	6	7	6	7
Частота ввода слов, кГц	200	120	80	125	550	600	140	430	900

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	6	5	7	8	5	6	4	8	7	4
7	8	6	7	4	10	9	10	7	8	12
810	180	750	340	200	310	390	500	250	650	285

21	22	23	24	25
5	6	7	7	8
9	10	9	10	10
300	800	350	1000	2000

### 3.2. Содержание задания

1. Принципиальная электрическая схема устройства и перечень элементов. (см. таблицу п.6.5.5.)
2. Диаграмма напряжений: импульсы ввода – счетчик – дешифратор.
3. Время ввода всех слов в регистры.

### 3.3 Методические указания

Задание выполняется на основе структуры: счетчик импульсов ввода (частота которых указана в таблице заданий) - дешифратор - управляющие входы регистров. Импульсы ввода формируются вне данного устройства и приходят на него в готовом виде. ИМС регистров выбираются по литературе: /4/, стр. 27-37.

Обратите внимание на то, какие управляющие сигналы требуются для параллельного ввода слов в выбранные регистры.

## 4. Задача №4. Запоминающее устройство (ЗУ) на ИМС оперативных ЗУ (ОЗУ).

### 4.1 Таблица заданий

3.1.1 Варианты	1	2	3	4	5	6	7
Число слов ЗУ	64	25	48	20	32	48	80
Число разрядов в слове	4	8	4	12	8	8	4

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
20	40	32	40	35	60	40	70	75	65
12	4	12	8	8	4	12	4	8	4

18	19	20	21	22	23	24	25
75	90	50	60	95	65	100	75
4	8	12	12	8	12	8	12

### 4.2 Содержание задания

4. Принципиальная электрическая схема модуля, монтажная схема устройства и перечень элементов. (см. таблицу п.6.5.5.)
5. Таблица работы ЗУ: адресные сигналы – номера модулей ЗУ – номера ячеек ЗУ.

### 4.3 Методические указания

Запоминающее устройство (ЗУ) выполняется на промышленной ИМС К531 РУ8 - см. /4/, стр. 61.

При числе разрядов в слове, большем четырех, сначала следует образовать модуль ЗУ на 8 или 12 разрядов, взяв соответственно для модуля две или три ИМС К531 РУ8. Ясно, что в модуле все управляющие сигналы – адресные, выбора режима «Чтение» или «Запись», исполнительный CS – для всех ИМС модуля одинаковые. Далее, определив общее число адресных сигналов всего ЗУ, нужно найти «свободные» адресные сигналы (т.е. не занятые в модуле) и с помощью ИМС управляющего дешифратора организовать выбор нужного модуля в соответствии с номером слова, записанного в ЗУ или читаемого из ЗУ. Это осуществляется соединением выходов управляющего дешифратора со строби-

рующим исполнительным входом (вход «выбор кристалла» CS) соответствующего модуля.

### 5. Задача №5.

**Автогенератор прямоугольных импульсов (ПИ) – делитель частоты (ДЧ) – формирователь пусковых импульсов - ждущий генератор ПИ**

#### 5.1 Таблица заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
Частота автогенератора, кГц	400	320	600	240	900	500	256
Период повторения пусковых импульсов, мс	1	1,5	1,6	2	0,8	1,2	2,5
Длительность импульса ждущего ГПИ, мкс	5	7,5	6	10	12	8,5	11,5

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1024	128	250	100	800	75	300	80	150	200
1,5	2,0	1,6	3,0	5	4	3,2	4,8	6,4	4,8
4	3,5	12,5	4,5	11	3,0	4,8	6,4	5,5	3,8

18	19	20	21	22	23	24	25
160	40	120	192	450	360	350	700
6,0	4,8	5	10	20	2,5	3,0	20
7	20	6,5	18	15	7,7	14	16,5

#### 5.2 Содержание задания

1. Расчет автогенератора ПИ.
2. Расчет делителя частоты (ДЧ) и диаграммы его выходного сигнала.
3. Расчет формирователя пусковых импульсов.
4. Расчет ждущего генератора ПИ.
5. Принципиальная электрическая схема устройства: автогенератор – ДЧ - формирователь импульсов пуска - ждущий генератор ПИ и перечень элементов. (см. п.6.5.5.)
6. Диаграммы напряжений всего устройства.

## 6. Методические указания по выполнению задач курсовой работы.

Вначале отметим, что в задачах №№ 1-5 составляются принципиальные электрические схемы устройств: с указанием номеров «ножек» (входов и выходов) ИМС и номеров корпусов ИМС: DD1, DD2 и т.д.

### 6.1. Задача № 1. Устройство дешифрации кодов.

Целью задачи является синтез устройства дешифрации кодов двоичных чисел, имеющего « $k$ » входов и « $l$ » выходов, используя стандартные промышленные ИМС, у которых  $m < k$  входов и  $n < l$  выходов. Например, на основе стандартных ИМС с  $m=3$  входов и  $n=8$  выходов синтезировать устройство на  $k=6$  входов (для дешифрации шестиразрядных двоичных чисел) и  $l=64$  выхода.

Вначале следует изучить свойства ИМС дешифратора, марка которого указана в задании и который описан в справочнике /4/: определить число входов и выходов ИМС, написать уравнение каналов дешифратора, нарисовать его структурно-логическую схему. Это нужно для закрепления теоретического материала по теме «Дешифраторы кодов», для дальнейшего синтеза устройства дешифрации и для расчета энергопотребления всего устройства и временной задержки передачи сигнала по одному каналу.

Методика синтеза устройства дешифрации приведена на с.59-60 работы /1/. Ясно, что синтезируется двухступенчатое устройство, пример которого в виде структурно-логической схемы приведен на рис.2.8, с.50 работы /1/. Первая ступень – управляющий дешифратор № 5, вторая ступень – дешифраторы №№ 1-4. На вторую ступень подаются младшие разряды входного кода (двоичного числа), на первую ступень – остальные старшие разряды кода. Суть работы устройства дешифрации проста – старшие разряды, подаваемые на управляющий дешифратор, определяют, где на его входе появляется выходной сигнал, который разрешает работу одного из дешифраторов второй ступени. Этот же дешифратор, работающий с младшими разрядами кода, определяет, на каком его выходе (а значит, на каком выходе устройства дешифрации) появляется результирующий выходной сигнал, который есть распознавание входного двоичного числа.

Расчет энергопотребления устройства дешифрации состоит в следующем:

1. По структурно-логической схеме (или уравнениям каналов) стандартного дешифратора, марка которого указана в задании, определяется число логических элементов (НЕ, И-НЕ, и т.д.), входящих в состав стандартного дешифратора – обозначим его символом  $N$ . Затем по приложению П1 (раздел 7) определяем среднюю потребляемую мощность одним элементом  $P_{\text{потср}}$ , считая, что она одинакова для логических элементов, выполняющих разные логические дейст-

вия (НЕ, И-НЕ, и т.д.). Следовательно, энергопотребление (т.е. энергетическая мощность постоянного тока) одного дешифратора равно:

$$P_1 = N \cdot P_{\text{пот ср}},$$

оно зависит от числа элементов  $N$  и средней потребляемой мощности логического элемента заданной серии (марки). Так, если  $N=20$ , серия стандартного дешифратора К531, для элементов которой  $P_{\text{пот ср}} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} = 20 \text{ мВт}$  (согласно таблице электрических параметров приложения П1), то  $P_1 = 400 \text{ мВт}$ .

2. По электрической принципиальной (либо структурно-логической) схеме устройства дешифрации определяем общее число стандартных дешифраторов, входящих в его состав – обозначим его символом  $M$ . Следовательно, общее энергопотребление всего устройства дешифрации равно:

$$P_{\text{общ}} = M \cdot P_1 \text{ (Вт)}.$$

Расчет времени задержки передачи сигнала по одному каналу (выходу) определяется следующим образом:

1. По структурно-логической схеме стандартного дешифратора определяются, какие логические элементы участвуют в распознавании одного (любого) слова (т.е. одного двоичного числа): слова 0000, либо 1000, либо 1010 и т.д. Так, например, в схеме рис.2.2, с.44 работы /1/, участвуют следующие элементы: инверторы НЕ (одновременно), затем элемент 2И (его выход – провод 9) и, наконец, один из элементов 4И-НЕ: всего  $K=3$  элемента. Если это число равно  $K$ , то задержка передачи сигнала стандартным дешифраторам равна:

$$t_{\text{зад1}} = K \cdot t_{\text{зад ср}},$$

где средняя величина временной задержки элемента равна:

$$t_{\text{зад ср}} = 0,5(t_{\text{зад р}}^{0.1} + t_{\text{зад р}}^{1.0}).$$

Заметим, что данные, указанные в скобках правой части формулы, определяются по таблице приложения П1.

2. Так как устройство дешифрации двухступенчатое (о чем говорилось выше), то общее время задержки передачи сигнала по одному каналу (т.е. в случае распознавания одного входного слова устройства дешифрации) приближенно равно:

$$t_{\text{зад кан}} = 2 \cdot t_{\text{зад1}}$$

## 6.2. Задача № 2. Коммутатор параллельных кодов.

По заданию коммутатор получает на вход заданное число слов - двоичных чисел (например, 4 слова), каждое из которых состоит из заданного числа разрядов (например, 8 разрядов). Следовательно, на вход коммутатора подается четыре восьмиразрядных двоичных числа. Общее число входных бит (входных проводов) равно произведению этих чисел (в нашем примере оно равно  $4 \cdot 8 = 32$ ). Для выбора одного из четырех слов и передачи его на выход коммутатора также требуется использовать:

$$K = \log_2 4 = 2$$

адресных сигнала  $A_2A_1$  (наборы адресных сигналов: 00, 01, 10 и 11).

Правило синтеза коммутатора параллельных слов на стандартных промышленных ИМС мультиплексоров приведено на с.23-26 работы /2/. Суть его проста:

1. Определяется число адресных сигналов коммутатора и, следовательно, стандартного мультиплексора:

$$K = \lceil \log_2 n \rceil,$$

где  $n$  – число входных слов коммутатора по заданию, квадратные скобки означают – взять ближайшее большее целое число.

2. Выбирается из справочника /4/ ИМС мультиплексора, имеющего  $K$  адресных входов (сигналов) и число информационных входов, не меньшее заданного числа слов  $n$ .

3. Для коммутатора следует использовать столько стандартных ИМС мультиплексоров, сколько разрядов в слове по заданию.

4. Оформляется принципиальная электрическая схема коммутатора, как на рис. 1.11, с. 25 работы /2/, но с указанием номеров «ножек» (входов и выходов) ИМС и номеров корпусов самих ИМС: DD1, DD2 и т.д., что требуется для составления таблицы перечня элементов (см. окончание раздела 6).

Для расчета энергопотребления устройства следует вначале внимательно изучить свойства выбранной ИМС мультиплексора: принцип работы, таблицу истинности, логическое уравнение, составить структурно-логическую схему мультиплексора, что нужно для закрепления теоретического материала. После этого расчет энергопотребления нужно выполнить как в задаче № 1.

Расчет времени задержки – для передачи одного слова со входа коммутатора на выход – производится аналогично тому, как изложено в задаче № 1, но только для одной ИМС мультиплексора с помощью его структурно-логической схемы, так как все ИМС работают во времени одновременно (параллельно). Считается, что входные слова и стробирующие сигналы поданы на устройства заранее, а искомая задержка определяется относительно момента подачи адресных сигналов.

### **6.3. Задача № 3. Устройство параллельного ввода слов в регистры.**

Вначале следует по справочнику /4/ выбрать ИМС регистра, который способен принять одно слово с заданным числом разрядов. По справочным данным внимательно изучите правила параллельной записи слова в регистр: какой требуется потенциальный управляющий сигнал (0 или 1), на какой вход регистра он подается (и такой сигнал затем следует подать на управляющие входы всех регистров) и какой импульсный исполнительный синхросигнал требуется подать на вход регистра, чтобы окончательно осуществить параллельную запись разрядов слова в регистр.

Очевидно, что устройство в данной задаче использует столько регистров, сколько слов указано в задании задачи.

После определения марки ИМС регистра и их числа следует подать первое слово – на информационные входы первого регистра для его параллельной записи, второе слово – на информационные входы второго регистра и т.д. – т.е. распределить заданное число слов по всем регистрам.

Принцип работы устройства параллельной записи (ввода) слов в регистры простой: на вход устройства подаются импульсы ввода слов, частота которых задана и, следовательно, легко определить период повторения этих импульсов. Импульсы ввода получают управляющий счетчик, который обнулен внешним сигналом и производит счет (нумерацию) импульсов ввода, формируя коды чисел  $1=001$ ,  $2=010$  и т.д. Эти коды управляющего счетчика подаются на управляющий дешифратор, выходные сигналы которого поступают на исполнительный синхровход регистров. Поэтому получается следующее: первый импульс ввода формирует код числа (номера регистра)  $1=001$ , этот код распознает дешифратор, и сигнал с выхода 1 дешифратора обеспечивает запись первого слова в первый регистр, так как сигнал поступает на исполнительный синхровход именно первого регистра. Далее: второй импульс ввода формирует код числа (номер регистра)  $2=010$ , и управляющий дешифратор сигналом с выхода 2 обеспечивает запись второго слова во второй регистр. Эта процедура повторяется, пока все заданные слова не будут введены в регистры.

Таким образом, рассматриваемое устройство состоит из информационной части – системы регистров и управляющей части: счетчика импульсов ввода и дешифратора, формирующего исполнительные синхросигналы для регистров. Ясно, что если число слов согласно заданию неравно числам 4 или 8, а числам 5, 6 или 7, управляющий счетчик работает с исключением комбинаций. Например, при числе слов равном 5 формула счетчика такова:

$$b=0, 1, 2, 3, 4, 5,$$

т.е. после перехода счетчика в состояние (число) 6 происходит сброс счетчика в нулевую комбинацию с помощью одноканального дешифратора (он использует простые логические элементы), распознающего код (число) 6.

Диаграмма напряжений включает сигнал разрешения работы устройства, импульсы ввода с заданным периодом повторения – число импульсов равно числу слов, выходные сигналы управляющего счетчика и дешифратора.

Время ввода слов в регистры определяется просто – это есть произведение периода повторения импульсов ввода на число регистров в устройстве.

#### **6.4. Задача № 4. Запоминающее устройство на ИМС оперативных ОЗУ.**

Запоминающее устройство (ЗУ) выполняется на промышленной ИМС ОЗУ K531PY8, рассмотренной в работе /4/, с.61. Эта ИМС ОЗУ имеет 4 информационных входа  $D10, \dots, D13$  и столько же информационных выходов  $D00, \dots, D03$ , следовательно, ОЗУ запоминает четырехразрядные двоичные числа (слова): от  $0000=0$  до  $1111=15$ . Следует обратить внимание, что информационные выходы ОЗУ – инверсные, следовательно, записав в ОЗУ, например, число  $5=0101$ , при

чтении (выводе из ОЗУ) получим инверсию записанных разрядов, т.е. число  $10=1010$ . Этот факт (инверсия записанных слов) в данной задаче не имеет значения и игнорируется.

Микросхема ОЗУ K531PY8 получает 4 адресных сигнала, которые определяют местоположение (внутри ОЗУ) ячейки памяти, куда записывается или откуда читается слово (число). Так как набор адресных комбинаций: от  $0=0000$  до  $15=1111$ , а их число 16, ясно, что в ОЗУ можно записать 16 слов, каждое из которых, как говорилось выше, состоит из 4 разрядов. Таким образом, информационная часть данной ИМС состоит из 16 ячеек памяти, каждая из которых имеет 4 элемента памяти (триггера).

Управляющая часть ОЗУ получает сигнал выбора режима работы, а именно – при записи слов в ОЗУ сигнал  $WR/RD=0$ , при чтении слов из ОЗУ - сигнал  $WR/RD=1$ . Видим, что это потенциальный сигнал (т.е. сигнал большей длительности 0 либо 1), он подается заранее для выполнения процедуры записи или чтения слов.

Исполнительный сигнал ИМС K531PY8 – сигнал CS, он подается в виде логического 0 последним – при записи или чтении каждого слова.

Изучив свойства ИМС ОЗУ K531PY8, следует приступить к синтезу модуля ЗУ (т.е. одной части всего ЗУ). Это делается по правилу, рассмотренному в подразделе 4.3 данной работы. Очевидно, что модуль 8-разрядных или 12-разрядных слов способен хранить только 16 таких слов. Результатом синтеза модуля является его принципиальная электрическая схема, которая включает две или три ИМС K531PY8. Ясно, что на этой схеме указываются номера выводов ИМС и номера их корпусов DD1, DD2, ... . Обратите внимание, что модуль получает 8 или 12 информационных сигналов, 4 адресных сигнала, один сигнал выбора режима работы  $WR/RD$  и один исполнительный сигнал CS. Следовательно, модуль имеет 14 или 18 входов, которые следует пронумеровать – это будут номера входов модуля. Ясно, что модуль имеет 8 или 12 информационных выходов, их нумерация продолжает нумерацию входов модуля.

Общее число модулей ЗУ определяется делением заданного числа слов ЗУ на число 16 (ёмкость модуля), после деления следует взять ближайшее большее целое число. Так, например, при числе слов, равном 100, получаем:  $100:16=6,25$ , следовательно, ЗУ использует 7 модулей.

Заключительная часть синтеза ЗУ – организация его работы, которая состоит в том, чтобы адресный сигнал всего ЗУ выбрал именно ту ячейку памяти в одном из модулей, номер которой определяется адресным числом ЗУ. Ясно, что при числе модулей, равном 7, номера модулей есть числа от 0 до 6. Очевидно, что в каждом модуле имеется 16 ячеек памяти с номерами от 0 до 15. Следовательно, общая нумерация ячеек памяти – это числа от 0 до 99. Поэтому, например, для работы с ячейкой № 60 (для записи или чтения слова) необходимо подать адресный сигнал ЗУ, являющийся числом  $60=0111100$ . Это число делится на две части – последние четыре бита – число  $12=1100$  определяют номер

ячейки в модуле, а первые три бита – число  $Z=011$  определяют номер модуля ЗУ.

Следовательно, синтез ЗУ, составленного из модулей, заключается в следующем:

1. По заданному числу слов  $n$  определяем общее число  $m$  адресных сигналов ЗУ по формуле:

$$m = \lceil \log_2 n \rceil,$$

квадратные скобки означают – взять ближайшее большее целое число.

2. Четыре младших разряда адресного сигнала ЗУ подаются на адресные входы всех модулей (в виде параллельного электрического соединения).

3. Остальные (старшие) разряды адресного сигнала ЗУ подаются на специально выбранный управляющий дешифратор (как в задаче № 1), выходные сигналы которого подаются на соответствующие исполнительные входы CS модулей. Так, например, если три старших разряда есть число  $Z=011$ , с выхода 3 управляющего дешифратора подается исполнительный сигнал на CS – вход модуля № 3, так как нумерация модулей начинается с числа 0.

Результатом выполнения задачи № 4 является следующее:

1. Принципиальная электрическая схема модуля.

2. Монтажная схема ЗУ на основе модулей и управляющего дешифратора, в ней модули изображаются в виде квадратов с указанием номеров входов и выходов (без расшифровки содержания модулей). Монтажная схема использует заданное число информационных разрядов записываемых слов, которые в параллельном виде подаются на все модули ЗУ, расчетное число адресных сигналов, распределение которых разобрано выше, и сигнал WR/RD, подаваемый на все модули.

Выходные сигналы модуля в принципе можно подать на коммутатор параллельных кодов (как в задаче № 2), управляемый старшими разрядами адресного сигнала ЗУ, в задачу № 4 его синтез не входит. По желанию студента выходные сигналы модуля можно обработать по логике И-НЕ, при этом число элементов И-НЕ равно числу разрядов в слове (т.е. числу выходов модуля), а число входов элементов равно числу модулей ЗУ. Заметим, что при этом будет происходить инверсия выходных слов модулей.

В таблице работы ЗУ, следует указать все наборы адресных сигналов ЗУ, а по каждому набору номер модуля ЗУ и номер ячеек ЗУ – в соответствующем модуле и в общей нумерации ячеек ЗУ. Например, при адресном сигнале  $Z=0111100$  используется модуль № 3, в этом модуле ячейка № 12, в общей нумерации ячейка № 60 (можно записать в виде 12/60).

## 6.5. Задача № 5. Автогенератор прямоугольных импульсов (ПИ) - делитель частоты – формирователь пусковых импульсов – ждущий генератор ПИ.

### 6.5.1. Расчет автогенератора ПИ с одним конденсатором.

Структурная схема автогенератора показана на рис.1.

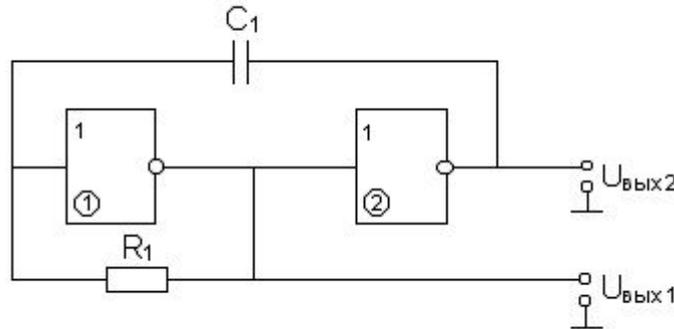


Рис.1. Структурная схема автогенератора ПИ с одним конденсатором.

Оба логических элемента – инверторы (выполняют логическую функцию НЕ, например, К555ЛН1). Известными способами инверторы получают из логических элементов И-НЕ либо ИЛИ-НЕ.

Вначале по заданной частоте автогенератора нужно определить период колебаний, затем записать «Исходные данные для расчета».

1. Период автоколебаний:  $T$ , в секундах.
2. Длительность импульса на первом выходе автогенератора:

$$t_{и1} = 0.3 \dots 0.4T, \text{ в секундах.}$$

3. Длительность фронта первого импульса:

$$t_{ф1} \leq 0.1t_{и1}, \text{ в секундах.}$$

4. Длительность импульса на втором выходе автогенератора:

$$t_{и2} = T - t_{и1}, \text{ в секундах.}$$

5. Амплитуда импульсов на обоих выходах автогенератора:

$$U_{\text{вых}}, \text{ В} \geq 2,4\text{В}$$

6. Монтажная нагрузочная емкость:

$$C_H = 15 \dots 50 \text{ пФ}$$

#### Порядок расчета

1. По значению длительности фронта первого импульса  $t_{ф1}$  ( в наносекундах - нс) выбираем серию ИМС логических элементов НЕ, И-НЕ, либо ИЛИ-НЕ.

При  $t_{ф1} = 10 \dots 20$  нс – серии 530, К555,

При  $t_{ф1} = 20 \dots 40$  нс – серии 130, К131 и ранее названные,

При  $t_{ф1} = 40 \dots 100$  нс – серии 133, К155 и ранее названные,

При  $t_{ф1} = 100 \dots 500$  нс – серии 134, К158 и ранее названные.

Затем выписываем электрические параметры ИМС по приложению П1

2. Определяем значение средней временной задержки логического элемента:

$$t_{\text{задр}} = 0,5(t_{\text{зад}}^{0.1} + t_{\text{зад}}^{1.0})$$

и длительности фронта импульсов автогенератора:  $t_{\phi} = \sqrt{t_{\text{задср}}^2 + (3 \cdot R_{\text{вх}}^1 \cdot C_H)^2}$

Сравниваем полученное и заданное значения так, чтобы выполнялось условие:  $t_{\phi} < t_{\phi 1}$ . Если условие не выполняется, следует выбрать другую серию ИМС (с меньшими задержками) либо уменьшить значение монтажной нагрузочной емкости.

3. Определяем величину входного сопротивления логического нуля выбранных ИМС:

$$R_{\text{вх}}^0 = \frac{E}{I_{\text{вх}}^0}$$

где  $E=5\text{В}$  - напряжение питания ИМС,  $I_{\text{вх}}^0$  - справочное значение входного тока логического нуля. Затем определяем сопротивление навесного резистора автогенератора:

$$R_1 \leq \frac{R_{\text{вх}}^0}{\frac{E}{U_{\text{пор}}} - 1}$$

где  $U_{\text{пор}}=1.5\text{В}$ .

Далее из ряда номиналов резисторов и конденсаторов Е24, приведенного в приложении П2, выбираем номинал резистора  $R_1$  с учетом полученной расчетной величины. Следует помнить, что минимальное значение номинала этого резистора, определяемого из условия самовозбуждения автогенератора, равно 200 Ом.

4. Определяем величины скачков по фронтам импульсов:

$$U_{\text{вф1}} = \frac{E \cdot (R_1 + r_d)}{R_{\text{вх}}^1 + R_1 + r_d}$$

- первого импульса,

$$U_{\text{вф2}} = (E \cdot R_1 - U_{\text{пор}} \cdot R_{\text{вх}}^1) \cdot \frac{1}{(R_{\text{вх}}^1 + R_1)}$$

- второго импульса.

Здесь  $r_d=100$  Ом – сопротивление открытого диода, встроенного в ИМС. Проверяем выполнение условия: обе величины должны быть больше заданной амплитуды  $U_{\text{вх}}=2,4\text{В}$ , в противном случае выбираем больший номинал резистора  $R$ .

5. Находим промежуточную расчетную величину:

$$B = (E + U_{\text{пор}}) \cdot R_1 \cdot \frac{1}{(R_{\text{вх}}^1 + R_1) \cdot U_{\text{пор}}}$$

А затем емкость конденсатора:

$$C_1 = t_{и2} \cdot \frac{1}{(R_{\text{ВЫХ}}^1 + R_1) \cdot \ln(B)}$$

Далее выбираем емкость из ряда номиналов, о котором говорилось в 3-м пункте.

6. Проверяем правильность выбора резистора  $R_1$  и конденсатора  $C_1$ :

- 1) Находим время разряда  $C_1$  через выходную цепь элемента в состоянии «0» ( $R_{\text{ВЫХ}}^0 = 30 \text{ Ом}$ ) и открытый встроенный диод ( $r_d = 100 \text{ Ом}$ ):

$$t_1 = 3.5 C_1 (R_{\text{ВЫХ}}^0 + r_d),$$

- 2) Определяем время, отводимое для перезаряда  $C_1$  входными и выходными токами первого логического элемента автогенератора:

$$z = t_{и1} - t_1$$

- 3) Находим реальное время, необходимое для перезаряда  $C_1$  указанными токами:

$$y = \tau_3 \cdot \ln \left[ (E + U_{\text{до}}) \cdot \frac{1}{(E - U_{\text{пор}})} \right]$$

где эквивалентная постоянная времени перезаряда равна:

$$\tau_3 = C_1 \cdot (R_{\text{ВЫХ}}^1 + R_1) \cdot R_{\text{ВХ}}^0 \cdot \frac{1}{(R_{\text{ВЫХ}}^1 + R_1 + R_{\text{ВХ}}^0)}$$

напряжение открывания диода  $U_{\text{до}} = 0,6 \text{ В}$

- 4) Сравниваем величины  $z$  и  $y$  – они должны отличаться в пределах 10%:

$$\frac{|z - y|}{z} \leq 0.1$$

В том случае, когда это различие больше указанного, возможны два пути оптимизации:

а) Изменение величины сопротивления  $R_1$ , номинал которого лежит в пределах: 200 Ом – рассчитанная в пункте 3 величина. При этом не изменяем значения длительностей импульсов, на выходах автогенератора.

б) Изменение величин длительностей импульсов  $t_{и1}$  и  $t_{и2}$  - при условии, что их сумма строго равна основной для генератора величине – периоду автоколебаний  $T$ .

Изменив величину сопротивления  $R_1$ , следует заново произвести расчеты по пунктам 4...6, а изменив длительности импульсов - по пунктам 5...6.

Так, если нужно, например, уменьшить величину  $z$  (по сравнению с величиной  $y$ ), можно увеличить время  $t_1$  (см. пункт 6.1) за счет роста емкости  $C_1$  (а это возможно только вначале при уменьшении сопротивления  $R_1$ ). Так же можно уменьшить  $z$  за счет уменьшения исходного значения длительности первого импульса  $t_{и1}$ .

В том случае, если нужно уменьшить величину  $y$  (по сравнению с величиной  $z$ ), следует уменьшить емкость конденсатора  $C_1$ , что достигается вначале выбором большего номинала сопротивления  $R_1$ .

### 6.5.2 Расчет делителя частоты

Вначале следует рассчитать коэффициент деления частоты:

$$\text{КДЧ} = f_{\text{аг}} \cdot T_{\text{пуск}},$$

где соответственно указаны частота автогенератора (в герцах) и период повторения пусковых импульсов (в секундах).

После этого нужно разбить КДЧ на простые сомножители:

$$\text{КДЧ} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n = \prod_{i=1}^n K_i$$

здесь  $K_1, K_2, \dots, K_n$  – коэффициенты деления частоты каскадов делителя частоты, в роли которых выступают нижеперечисленные ИМС счетчиков:

К555ИЕ2:  $K_i=10$ , либо  $K_i=5$ ,

К155ИЕ4:  $K_i=12$ , либо  $K_i=6$ ,

К555ИЕ5:  $K_i=16$ , либо  $K_i=8$ , либо  $K_i=4$ .

После этого составляется схема ДЧ, соединяя каскадно выбранные ИМС счетчиков. Следует обязательно управляющие входы ИМС счетчиков соединить на общий провод для совместного управления всеми ИМС делителя частоты.

Диаграмма выходного сигнала ДЧ представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, период повторения которых равен периоду пусковых импульсов. При этом следует учесть следующее:

- 1) после появления сигнала «Разрешение» вначале формируется пауза между импульсами определенной длительности, а затем импульс.
- 2) Длительность импульса есть часть периода повторения импульсов и зависит от ИМС последнего каскада ДЧ:

для К555ИЕ2 -  $0,2 T_{\text{пуск}}$ ,

для К155ИЕ4 -  $0,5 T_{\text{пуск}}$ ,

для К555ИЕ5 -  $0,5 T_{\text{пуск}}$ .

Вышесказанное приведено на рис.2.

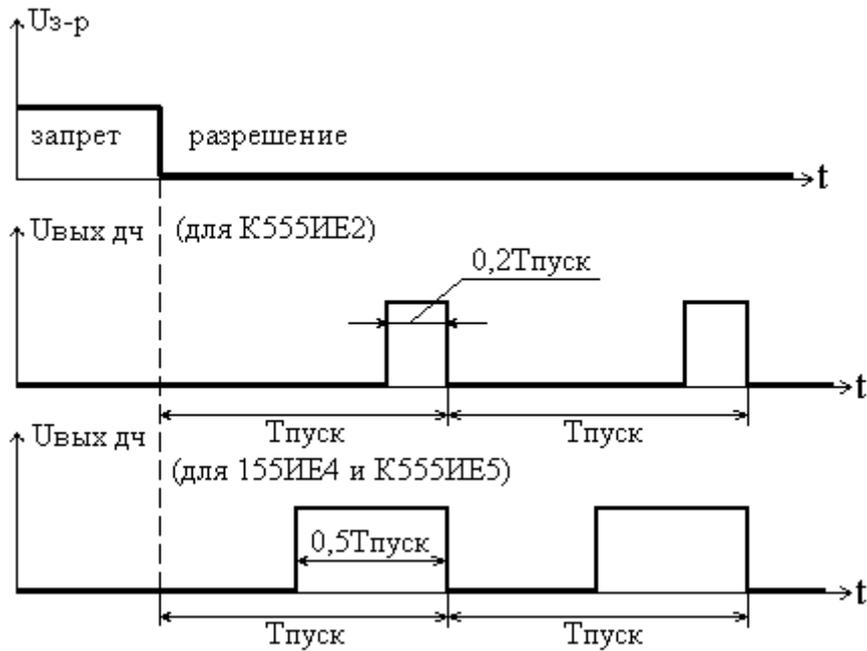


Рис.2. Диаграммы напряжений сигнала «запрет – разрешение» и выходных сигналов ДЧ, использующих в последнем каскаде указанные ИМС счетчиков.

### 6.5.3. Расчет формирователя коротких пусковых импульсов.

Структурная схема формирователя коротких пусковых импульсов показана на рис.3.

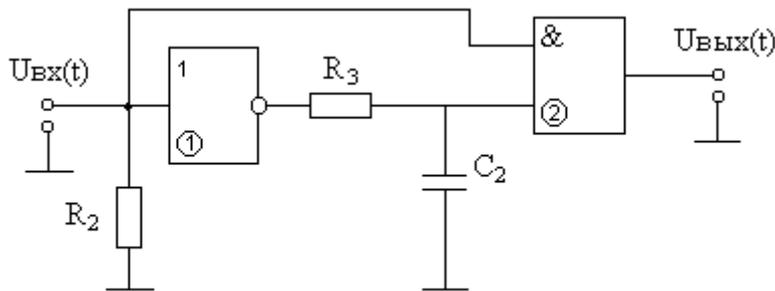


Рис.3. Структурная схема формирователя коротких пусковых импульсов.

Первый логический элемент – инвертор, второй – выполняет логическую функцию 2И.

Диаграмма напряжений формирователя приведена на рис.4.

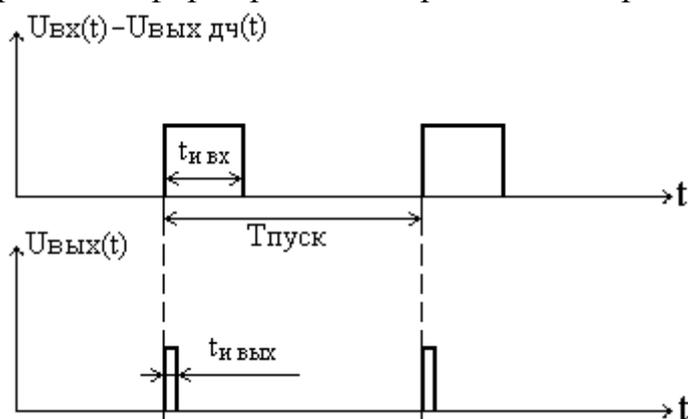


Рис.4. Диаграмма напряжений формирователя коротких импульсов.

Для запуска ждущего генератора импульсов требуются короткие пусковые импульсы, длительность которых не меньше, чем  $(3 \dots 5) t_{зад ср}$ , рассчитанной в пункте 6.5.1. Можно принять, что длительность выходных импульсов формирователя коротких импульсов, лежит в пределах  $0.5 \dots 1.0$  мкс.

### Исходные данные для расчета

1. Длительность выходного импульса:  $t_{и вых}$ , в секундах.
2. Длительность входного импульса:  $t_{и вх}$ , в секундах.
3. Период повторения выходных импульсов:  $T_{вх}$ , в секундах.

Примечание: данные по п.п. 2 и 3 дает расчет делителя частоты. (п.6.5.2), в частности  $T_{вх} = T_{пуск}$ , длительность входного импульса – см. рис.2.

### Порядок расчета:

1. Определяем требуемую длительность фронта выходных (пусковых) импульсов:

$$t_{ф. вых} \leq 0.1 t_{и вых},$$

после чего выбираем серию ИМС формирователя, как в п.1 расчета автогенератора, выписываем электрические параметры ИМС.

2. Определяем сопротивление резистора  $R_2$ , подключенного к входу первого элемента формирователя – как в п.3 расчета автогенератора. Выбираем номинал резистора из ряда E24.

3. Определяем сопротивление резистора  $R_3$ , подключенного к выходу первого элемента по формуле п.3 расчета автогенератора, заменив в ней  $U_{пор}$  на  $E_H^0 = 0,3 \dots 0,5V$

4. Определяем емкость конденсатора

$$C_2 = t_{и\ вых} \cdot \frac{1}{R_3 \cdot \ln(E^1 - E_n^0)} \cdot \frac{1}{(U_{пор} - E_n^0)}$$

где  $E^1 = 0,9E = 4,5В$ .

Выбираем номинал резистора из ряда E24.

5. Определяем время восстановления напряжения на конденсаторе:

$$t_{восст} = (R_{вых} + R_3) \cdot C_2 \cdot \ln \left[ 20 \cdot \left( 1 - \frac{E_n^0}{E^1} \right) \right].$$

Проверяем выполнение условия восстановления:

$$t_{восст} \leq T_{вх} - t_{и\ вых}.$$

#### 6.5.4. Расчет ждущего генератора ПИ

Структурная схема ждущего генератора ПИ приведена на рис.5.

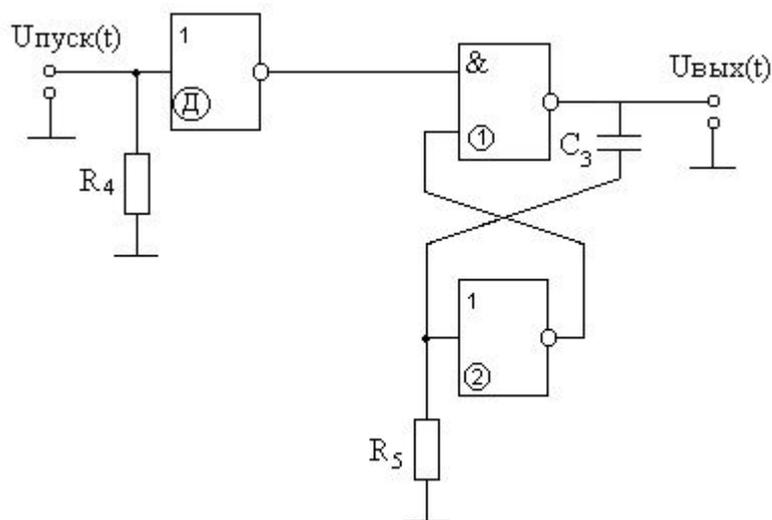


Рис.5. Структурная схема ждущего генератора ПИ.

Элементы: дополнительный (Д) и второй – инверторы, элемент 1 выполняет функцию 2И-НЕ.

Диаграмма напряжений ждущего генератора ПИ показана на рис.6.

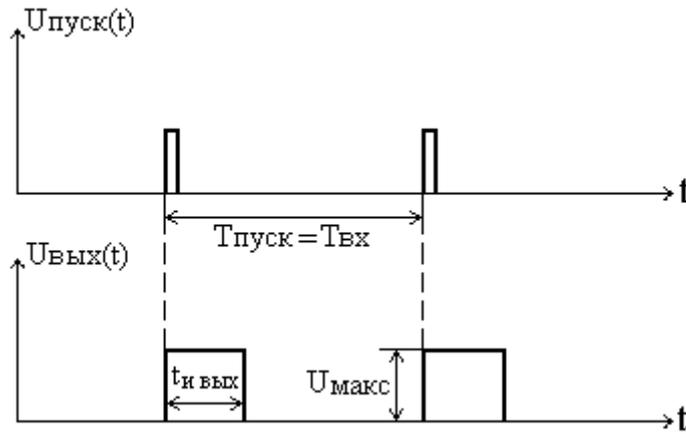


Рис.6. Диаграмма напряжений ждущего генератора ПИ.

Этот генератор под воздействием короткого пускового импульса формирует ПИ с длительностью, указанной в таблице заданий в соответствии с вариантом задания.

### Исходные данные для расчета:

1. Период повторения пусковых импульсов:  $T_{вх}$ , в секундах.
2. Длительность выходных импульсов:  $t_{ивых}$ , в секундах.
3. Амплитуда выходных импульсов:  $U_{вых} \geq 2,4В$ .

### Порядок расчета:

1. Как в п.1 расчета формирователя коротких импульсов.
2. Определяем сопротивления резисторов  $R_4$  и  $R_5$ , подключенных к входам логических элементов генератора – как в п.3 расчета автогенератора. Выбираем номинал этих резисторов ( $R_4 = R_5$ ).
3. Определяем постоянное смещение на входах логических элементов:

$$U_{co} = I_{вх}^0 \cdot (R_5 \cdot R_{вх}^0) \cdot \frac{1}{(R_5 + R_{вх}^0)}.$$

4. Рассчитываем амплитуду выходного импульса:

$$U_{вф} = \frac{E \cdot R_5 - U_{co} \cdot R_{вых}^1}{R_{вых}^1 + R_5},$$

Проверяем выполнение условия  $U_{вф} \geq 2,4В$

5. Находим значение промежуточной величины:

$$B = (E + U_{co}) \cdot R_5 \cdot \frac{1}{(R_5 + R_{вых}^1) \cdot U_{пор}}, \quad E = 5 В.$$

6. Находим емкость конденсатора:

$$C_3 = t_{и\ вых} \cdot \frac{1}{(R_5 + R_{вых}^1) \cdot \ln(B)}$$

выбираем емкость из ряда номиналов E24

7. Определяем время восстановления напряжения на конденсаторе:

$$t_{восст} = 3,5 \cdot (R_{вых}^0 + r_d) \cdot C_3 + \tau_э \cdot \ln \left[ 20 \cdot \left( 1 + \frac{U_{до}}{U_{co}} \right) \right],$$

$$\text{где } \tau_3 = C_3 \cdot (R_{\text{вх}}^0 \cdot R_5) \cdot \frac{1}{(R_{\text{вх}}^0 + R_5)},$$

$R_{\text{вх}}^0$ ,  $r_d$ ,  $U_{\text{до}}$  - как в расчете автогенератора.

Проверяем выполнение условия:  $t_{\text{восст}} \leq T_{\text{вх}} - t_{\text{и вх}}$ .

### 6.5.5. Оформление задачи №5

1. Вначале следует привести расчеты каскадов устройства: автогенератора, делителя частоты (с диаграммой напряжений), формирователя пусковых импульсов и ждущего генератора: название расчета, исходные данные и порядок расчета. Пример:

#### Расчет автогенератора.

##### Исходные данные:

1. Период автоколебаний:

$$T = 20 \cdot 10^{-6}$$

в секундах, и т.д.

##### Порядок расчета:

1. При  $t_{\text{ф1}} = 30 \text{ нс}$  выбираю ЛЭ марки К555ЛН1.

Электрические параметры ЛЭ: ...

Примечание: в каждом пункте расчета сначала приводится формула, затем после знака равенства записываются величины, используемые в расчете, в системе единиц СИ (в секундах, герцах, вольтах, Омах, фарадах и т.д.), а затем результат расчета:

$$C = \frac{t_{\text{и2}}}{(R + R_{\text{вх}}^1) \cdot \ln(B)} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{(0.3 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3) \cdot \ln(3.5)} = 6.14 \cdot 10^{-9} \text{ нФ.}$$

Выбираю номинал из ряда E24:  $C = 6.2 \cdot 10^{-9}$   $\Phi = 6.2$  нФ.

2. После расчетов приводится схема всего устройства: автогенератор – делитель частоты – формирователь пусковых импульсов – ждущий генератор ПИ и перечень элементов схемы. Таблица перечня элементов приведена ниже.

**Таблица перечня элементов**

Позиц. обознач	Наименование	Кол-во	Примечание
DD1	ИМС К555ЛН1	1	
	...		
R1	Резистор 1.0 кОм	1	

2. Затем приводится диаграмма напряжений всего устройства: сигнал «запрет – разрешение», выходной сигнал делителя частоты (рис.2), выходной сигнал формирователя выходных импульсов (рис.4) и выходной сигнал ждущего генератора ПИ (рис.6). Диаграмма выполняется в едином масштабе времени.

## 7. Электрические параметры ИМС разных серий (приложение П1).

Параметры приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1.

Параметр	134, К158	133, К155	130, К131	530, К531	533, К555
$I_{ВХ}^0$ , мА	0,18	1,6	2,5	1,8	0,175
$I_{ВХ}^1$ , мкА	12	40	70	50	60
$R_{ВЫХ}^1$ , кОм	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3
$R_{ВЫХ}^0$ , Ом	30	30	30	30	30
$P_{ПОТ\ СР}$ , мВт	2	22	40	20	10
$t_{зад\ p}^{0,1}$ , нс	100	22	10	10	7,5
$t_{зад\ p}^{1,0}$ , нс	100	15	10	10	7,5

## 8. Ряд номиналов резисторов и конденсаторов E24, выпускаемых промышленностью (приложение П2).

Ряд номиналов E24 промышленно – изготавливаемых элементов:

1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1.

Приведенные числа – сопротивления резисторов в Омах и ёмкостей конденсаторов в пикофарадах. В соответствии с рядом E24 промышленность выпускает резисторы и конденсаторы указанных номиналов и номиналов, больших указанных в 10, 100, 1000, ..., 1000000 раз. Так, например, промышленность выпускает резисторы сопротивлением от 1,5 Ома до 1,5 Мом, конденсаторы с ёмкостью 4,7 пФ до 4,7 мкФ. Точность изготовления элементов в пределах: номинал минус 10% номинала – номинал плюс 10% номинала (погрешность  $\pm 10\%$  номинала).

В электрических расчетах сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов получаются числа, отличающиеся от номиналов ряда E24. Далее следует выбрать промышленно – изготавливаемый элемент, взяв его номинал по принципу – ближайшее меньшее число или ближайшее большее число. Так, если расчет дал число 4,8, выбираем 4,7, а если дал число 5,0, выбираем 5,1. Помните, что именно выбранное число используется в дальнейших расчетах, а не число, полученное в расчете.

### Литература

1. Бабаев В.Г. Основы цифровой схемотехники, ч.2: РИО МГТУГА, 1996
2. Бабаев В.Г. Основы цифровой схемотехники, ч.3: РИО МГТУГА, 1997
3. Бабаев В.Г. Основы цифровой схемотехники, ч.4: РИО МГТУГА, 1998
4. Васильева Л.С. Методические указания по применению микросхем ТТЛ - типа: РИО МГТУГА, 1995