



## АННОТАЦИЯ

Объем 52 с., 17 рис., 3 табл., 25 источников.

В бакалаврской работе на основе проведенного аналитического обзора рассмотрены методы и средства преобразования значения емкости конденсаторов в цифровой код и составлена их классификация.

На основе электронного базиса цифровых интегральных микросхем ИМС 155 серии и аналоговых ИМС серий 521 и 590 составлена функциональная, а также разработана с учетом технического задания и принципиальная схемы преобразователя.

Определены основные технические параметры (быстродействие, погрешность преобразования, динамический диапазон преобразования) разработанного преобразователя значения емкости конденсаторов в цифровой позиционный двоичный код.

Отличительной особенностью разработанного преобразования значения емкости конденсаторов в цифровой код является его малое энергопотребление и небольшие масса и габаритные размеры.

## **Abstract**

On the basis of the analytical review, in the graduation work, methods and means for converting the value of capacitor capacitance into a digital code are considered and their classification is made up.

Based on the electronic basis of the digital integrated circuits of the IC 155 series and analog IC series 521 and 590, a functional scheme has been compiled and also was developed the schematic diagram of the converter in view of the technical specification and.

The main technical parameters (speed, conversion error, dynamic range of conversion) of the developed converter of capacitor capacitance value in digital positional binary code are determined.

A distinctive feature of the developed conversion of capacitor capacitance into a digital code is its low power consumption, small mass and overall dimensions.

The converter of the capacitor capacitance value into the digital code, considered in this bachelor's work, is used for the purpose of converting the values of the capacity of capacitors and capacitor sensors into a positional binary code (MAC) with high conversion speed.

Such means of digital transformations (measurements) of various physical electrical quantities have recently been practically presented in any system, for example, the automation of research processes, the management of various technological processes in various sectors of the economy.

## Содержание

Введение.....	9
1. Аналитический обзор и классификация методов и средств преобразования значений емкости конденсаторов в цифровой код.....	10
2. Расчет функциональной схемы преобразователя значения емкости конденсаторов в цифровой код.....	15
2.1. Расчет элементов функциональной схемы .....	19
3. Расчет элементов электрической схемы .....	23
3.1 RC - цепь.....	23
3.2. Стабилизатор и делитель напряжения. постоянного тока.....	24
3.3. Аналоговый компаратор.....	25
3.4. Аналоговый ключ.....	27
3.5. Блок управления.....	27
3.6. Делитель частоты.....	29
3.7. D - триггер Т.....	30
3.8. Элемент И.....	31
3.9. Генератор тактирующих импульсов.....	32
3.10. Счетчик импульсов.....	33
3.11. Запоминающее логическое устройство.....	34
4. Моделирование стабилизатора и делителя напряжения.....	36
5. Анализ технических параметров преобразователя.....	38
6. Экономический раздел.....	40
6.1. Жизненный цикл инновации.....	40
7. Безопасность жизнедеятельности.....	45
7.1. Воздействие ионизирующих излучений на организм человека.....	45
Заключение.....	49
Список используемой литературы.....	50

## Введение

Преобразователь значения емкости конденсаторов в цифровой код, рассмотренный в настоящей бакалаврской работе, используется в целях преобразования значений емкости конденсаторов и конденсаторных датчиков в позиционный двоичный код (ПДК) с высоким быстродействием преобразования.

Такие средства цифровых преобразований (измерений) различных физических электрических величин в последнее время практически присутствуют в любых системах, например автоматизации процессов научных исследований, управления различными технологическими процессами в различных отраслях экономики.

При этом особое значение имеют цифровые преобразователи для оценки параметров первичных измерительных преобразователей. Так как они обеспечивают связи объекта измерения со средствами приема - передачи и последующей обработки полученных данных.

На практике частой потребностью является необходимость цифрового измерения значений емкости конденсаторов, так как она с течением времени имеет склонность к значительным изменениям.

В бакалаврской работе приводится техническая реализация преобразователя значения емкости конденсаторов в цифровой позиционный двоичный код. Разработаны функциональная и принципиальная схемы преобразователя, приведены его характеристики.

Значительная работа проведена по аналитическому обзору и классификации существующих в настоящее время методов и средств преобразования значений емкости конденсаторов в цифровой код

# 1. Аналитический обзор и классификация методов и средств преобразования значений емкости конденсаторов в цифровой код.

В результате проведенного аналитического обзора были установлены следующие устройства, выполняющие функцию преобразования значений емкости в различные виды цифровых кодов.

1. Цифровой преобразователь ЦП значений емкости на основе RC-генераторе [3, 9], частота колебания в котором определяется через значение емкости конденсатора  $C_x$  согласно выражения

$$f_{\text{вых}} = \frac{1}{k \times R \times C_x}, \quad (1)$$

где  $k$  – некая постоянная величина, определяющая масштаб зависимости.

Работа преобразователя иллюстрируется функциональной схемой, приведенной на рисунке 1.1 и временными диаграммами рисунок 1.2.

RC-генератор формирует гармонические синусоидальные колебания с частотой  $f_x$ . Далее данные колебания в формирователи прямоугольных импульсов приводятся к импульсам прямоугольной формы с этой же частотой следования и подаются на один из входов элемента И.

При этом на другой его вход заводится опорный импульс, значением длительности  $\Delta t_0$ , сформированный делителем частоты из колебаний опорного генератора с частотой  $f_0$ .

В результате на выходе элемента И вырабатывается последовательность импульсов, количество (число) которых фиксируется счетчиком импульсов в позиционном двоичном коде (ПДК) и отображает в цифровом коде значение емкости конденсатора.

Недостатком рассмотренного цифрового преобразования значения емкости в ПДК являются узкий динамический диапазон преобразования от  $10^3$  пФ до  $10^3$  мкФ, а также то, что погрешность преобразования определяется пределом преобразования и может достигать значения в 10% [28].

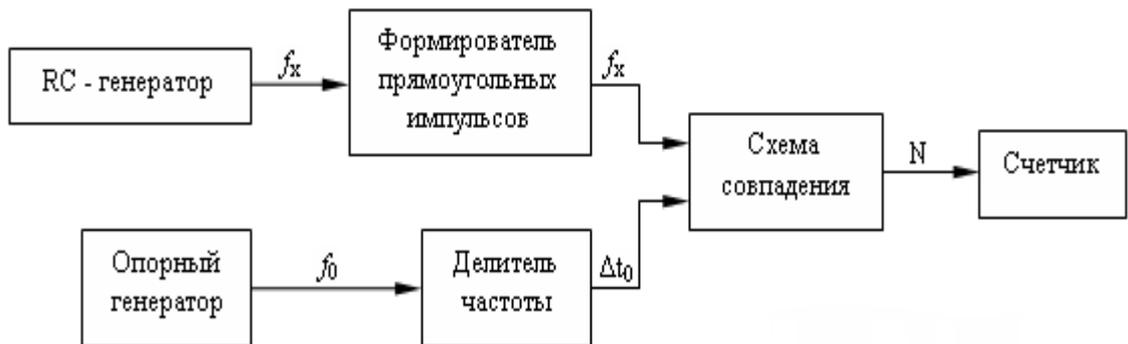


Рисунок 1.1– Функциональная схема ЦИ значения емкости, основанного на RC-генераторе

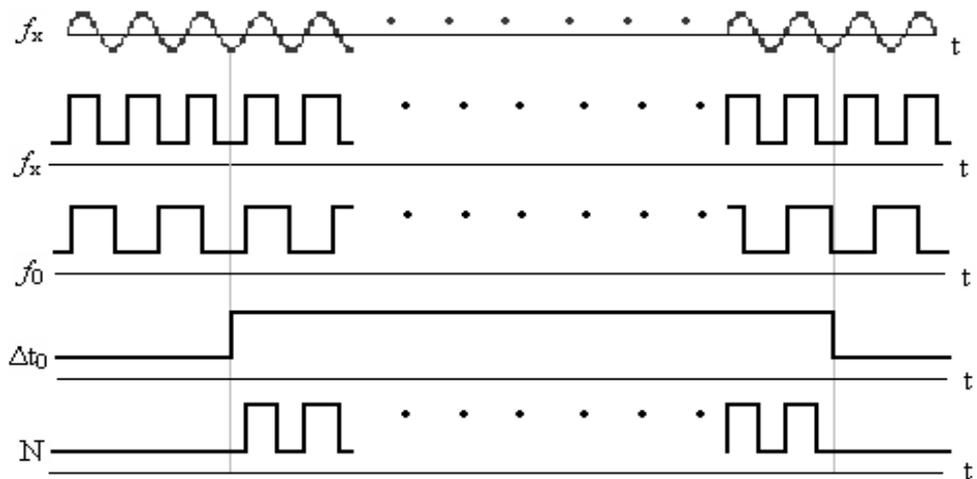


Рисунок 1.2 – Временные диаграммы, поясняющие работу ЦИ значения емкости, основанного на RC-генераторе

2. Цифровой преобразователь значения емкости [3] (функциональная схема показана на рисунке 1.3), в котором используются свойства затухающих процессов и последующего время - цифрового преобразования (ВЦП).

Основа работы данного ЦИ состоит в цифровом измерении времени, в течение которого напряжение на конденсаторе, значение емкости которого подвергается цифровому измерению, убывает в  $e$  раз ( $e = 2,718$ ).

Данное время равно  $\tau$  (постоянной времени цепи) и зависит от емкости конденсатора и сопротивления резистора RC-цепи

$$\tau = R \times C_x, \quad (2)$$

За время равное  $\tau$  счетчик ВЦП, состоящего из схемы совпадения и счетчика, фиксирует число, поступившие на его, что и является цифровым результатом преобразования.

Варьируя значением сопротивления  $R$ , добиваются требуемого динамического диапазона преобразуемого значения емкости.

Рассмотренный цифровой измеритель ЦИ значений емкости на затухающих процессах и последующем ВЦП обладает малыми погрешностью и временем преобразования [3,26].

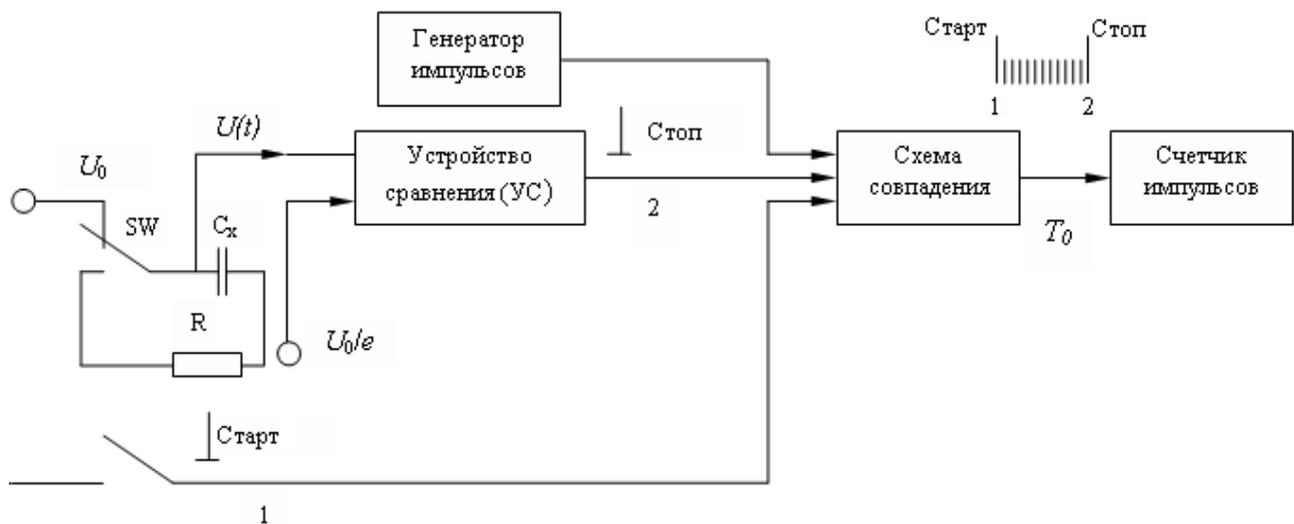


Рисунок 1.3 – Функциональная схема ЦИ значений емкости на затухающих процессах и последующем ВЦП.

**3.** Значение емкости температурных датчиков преобразовывать в цифровой код является возможным непосредственно при использовании сигма - дельта аналого-цифрового преобразователя (АЦП) – преобразователя напряжение - код (ПНК).

На рисунке 1.4 приводится функциональная схема такого цифрового преобразователя [1]. Здесь стоит отметить, что в первой его разновидности в сигма - дельта аналого-цифровом преобразователе (АЦП) сравнение напряжения источника опорного напряжения с напряжением на аналоговом входе обеспечивается путем переключения конденсаторов определенной емкости.

В то же время во второй его разновидности, представленной на рисунке 1.4, входное напряжение является постоянным и служит в качестве возбуждающего напряжения, но в тоже время значение емкости подвергается изменениям.

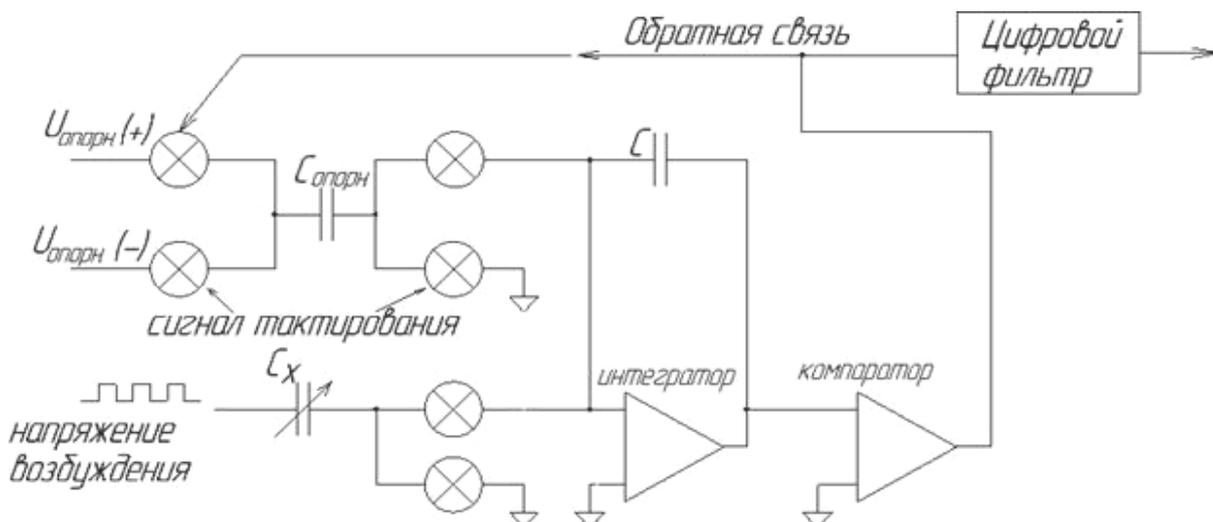


Рисунок 1.4 - Функциональная схема ЦИ значений емкости на затухающих процессах (разряде) и последующем ВЦП с использованием сигма-дельта АЦП

В цифровом измерителе (ЦИ), представленной на рисунке 1.4, входное напряжение является постоянным и служит в качестве возбуждающего напряжения, но в тоже время значение емкости подвергается изменениям.

В качестве изменяющейся емкости используется емкостной датчик.

В результате выходной цифровой код сигма – дельта АЦП соответствует отношению значения измеряемой емкости к значению опорной емкости.

В виду непосредственного соединения датчика с сигма – дельта АЦП, данный способ ЦИ обладает как высокой разрешающей способностью, так и высокими значениями точности и линейности [1].

Следует отметить, что электронной промышленностью производятся специальные емкостные сигма - дельта АЦП, сигнальные входы которых напрямую соединяются с емкостью, значение которой подлежит ЦИ.

Данная возможность позволяет обеспечить низкую себестоимость, высокую повторяемость, надежность и простоту технической реализации ЦИ значений емкости на затухающих процессах и последующем время – цифровом преобразовании ВЦП с использованием сигма-дельта АЦП[29].

## **2. Расчет функциональной схемы преобразователя значения емкости конденсаторов в цифровой код**

В качестве основы данной бакалаврской работы цифровой преобразователь, представленный на рисунке 1.3.

С целью удовлетворения требованиям техническому заданию в данное устройство дополнительно введены запоминающее логическое устройство ЗЛУ и блок управления, осуществляющий процесс коммутации (размыкания и замыкания) ключа, а также обнуления состояния счетчика импульсов.

Для обеспечения диапазона емкостей, предложенного в техническом задании, проведем соответствующие расчеты.

Функциональная схема разработанного преобразователя значения емкости в цифровой код представлена на рисунке 2.1, в то время как временные диаграммы его работы на рисунке 2.2.

Схема преобразователя значения емкости конденсаторов в цифровой код на рисунке 2.1 содержит в своем составе:

- 1- аналоговый компаратор;
- 2 - блок управления;

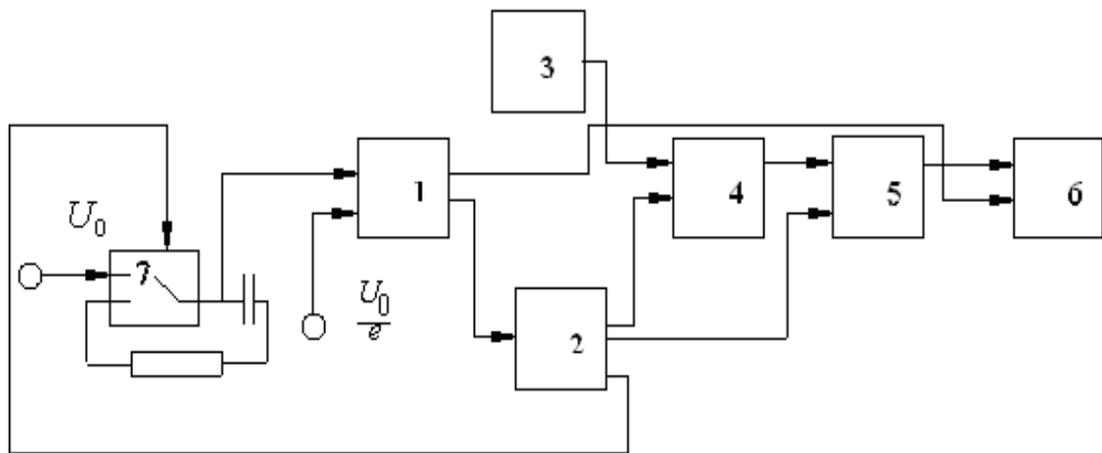


Рисунок 2.1 – Функциональная схема разработанного преобразователя значения емкости конденсаторов в цифровой код.

- 3 - генератор тактирующих импульсов;
- 4 - элемент И;
- 5 - счетчик импульсов;
- 6 – запоминающее логическое устройство на основе регистра памяти;
- 7 – аналоговый ключ АК.

Кратко остановимся на назначении каждого из узлов данной схемы.

**Аналоговым компаратором** (или устройством сравнения) называют устройство сравнения двух аналоговых непрерывных сигналов, который на своем выходе формирует результат сравнения в виде «логическая единица» или «логический ноль».

В рассматриваемой схеме аналоговый компаратор сравнивает напряжение, которое подается на его первый вход с конденсатора, с напряжением

постоянного тока, которое строго равно начальному значению конденсатора, уменьшенному в  $e$  раз.

**Блок управления** – это блок, предназначенный для управления аналоговым ключом и обнуления состояния счетчика импульсов перед каждым преобразованием.

**Генератор тактирующих импульсов** осуществляет формирование периодической последовательности импульсов.

**Элемент И.** Представляет собой логическую схему, предназначенную для осуществления логической операций «конъюнкция» цифровых сигналов.

То есть в данной схеме элемент И пропускает импульсы, поступающие на его вход, только в том случае если выходное значение аналогового компаратора равно «логической единице».

**Счетчик импульсов** – устройство, выходные сигналы которого в позиционном двоичном коде (ПДК), фиксируют количество импульсов, поступивших на его счетный вход.

**Запоминающее логическое устройство** на основе регистра памяти применено с целью промежуточного хранения и последующего считывания результатов цифрового преобразования.

**Аналоговый ключ (АК)** является простейшей аналого-цифровой схемой, которая переключает непрерывные напряжения постоянного тока посредством цифровых сигналов управления.

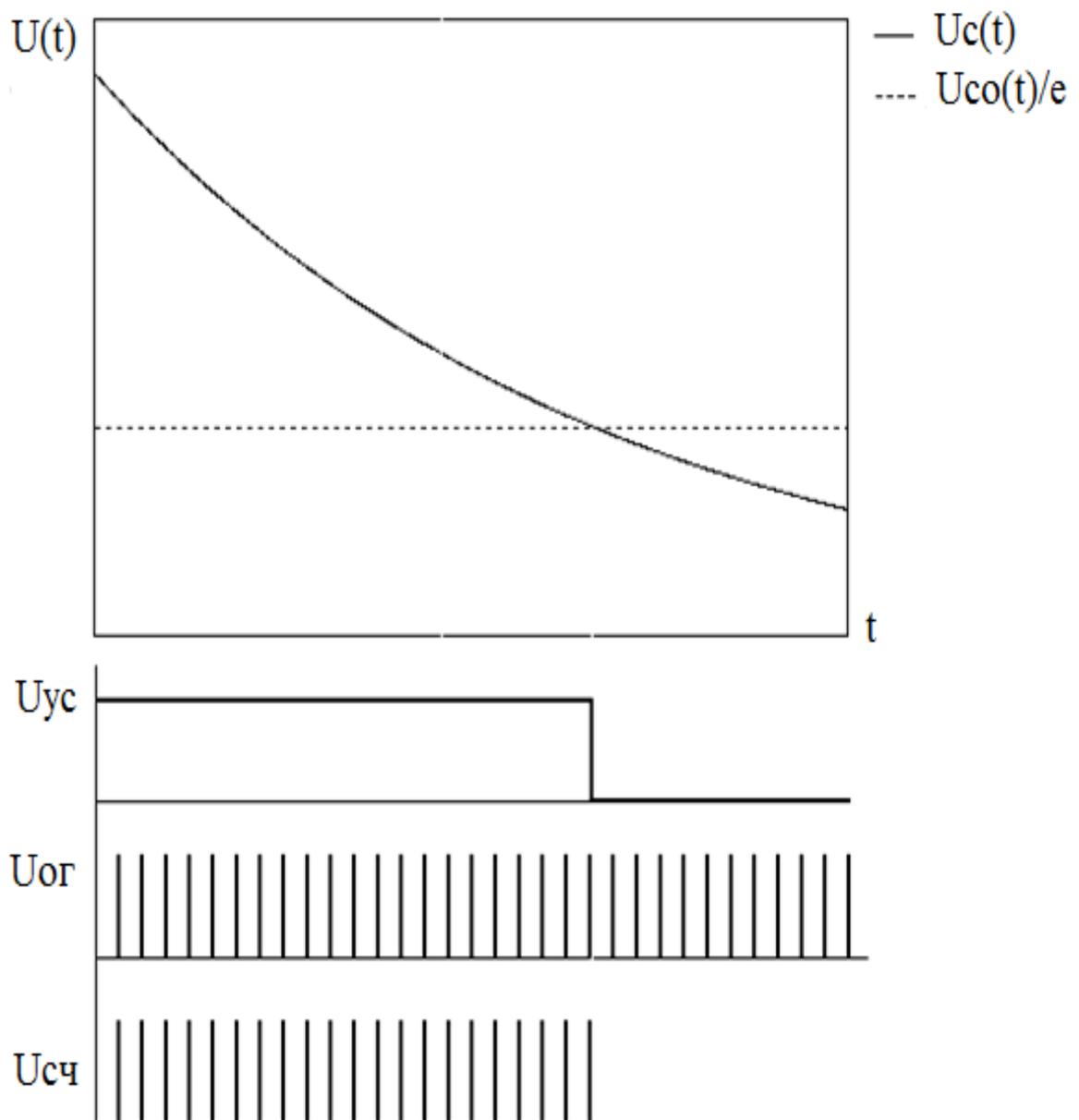


Рисунок 2.2 – Временные диаграммы, поясняющие работу разработанного преобразователя значения емкости конденсаторов в цифровой код.

## 2.1. Расчет элементов функциональной схемы

Для определения значения  $U_0$  опорного напряжения постоянного тока используем закон изменения напряжения затухающих колебаний

$$U_t = U_0 \times e^{-\beta \times t}, \quad (3)$$

Здесь:

$U_t$  – значение напряжения соответствующее моменту времени  $t$ , в нашем случае  $t = \tau$ ,

то есть равно постоянной времени цепи, которое вычисляется по выражению (2);

$\beta$  – коэффициент затухания колебаний, описываемый в виде

$$\beta = \frac{1}{\tau}, \quad (4)$$

Так как за время  $\tau$  напряжение на конденсаторе уменьшается в  $e$  раз, то

$$\frac{U_0}{e} = U_0 \times e^{-1}. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что опорное напряжение постоянного тока и значением равным  $U_0$  не оказывает влияние на промежуточный результат преобразования.

В нашей бакалаврской работе время  $\tau$  для обоих случаев равно 1с, а  $U_0 = 10\text{В}$ .

Определим требования, которые необходимо предъявлять к блокам преобразователя (см. рисунок 2.1) согласно требованиям технического задания на его разработку.

Вначале установим требуемое количество уровней квантования  $N_{x \max}$ , а также количество разрядов  $n$  счетчика импульсов:

$$N_{x \max} = X_m / \Delta_k, \quad (6)$$

Здесь:

$X_m = U_0 = 10\text{В}$  – наибольшее значение входного сигнала;

$\Delta_k$  – значение шага.

Количество разрядов  $n$  счетчика импульсов вычисляется из выражения

$$n = \log_a \times N_{x \max}, \quad (7)$$

где

$a = 2$ , то есть равно значению основания системы счисления счетчика импульсов. Тогда количество разрядов, округленное до ближайшего целого значения будет определяться как

$$n \geq \log_a \times N_{x \max}.$$

В тоже время емкость счетчика

$$N_0 = a^n, \quad (8)$$

Где, как отмечалось выше,  $n$  – количество разрядов счетчика импульсов. Результирующая погрешность преобразования описывается выражением

$$\delta = \delta_{\text{инст}} + \delta_{\text{метод}}, \quad (9)$$

где  $\delta_{\text{инст}}$  - инструментальная погрешность преобразования, свойственная блокам самого преобразователя;

$\delta_{\text{метод}}$  - методическая погрешность, является присущей способу преобразования.

По техническому заданию  $\delta = 3\%$ .

Установим  $\delta_{\text{инст}} = 2,5\%$ , а

$$\delta_{\text{метод}} = 0,5\%.$$

Полагая  $X_m = U_o = 10\text{В}$  вычисляем шаг квантования

$$\Delta_k = \delta_{\text{метод}} \times X_m = 0,005 \times 10000 \text{ мВ} = 50 \text{ мВ}. \quad (10)$$

В тоже время наибольшее количество уровней квантования

$$N_{X \max} = X_m / \Delta_k = 10000 \text{ мВ} / 50 \text{ мВ} = 200. \quad (11)$$

Тогда потребное количество разрядов счётчика импульсов

$$N \geq \log_2 N_{X \max}, \quad (12)$$

Учитывая выражение (11)

$$N \geq \log_2 200,$$

$$N \geq 7.644,$$

После округления до целого числа определяем  $n = 8$ .

Так как емкость счетчика импульсов равна числу уровней квантования

$$N_0 = N_{x \max} = 200. \quad (13)$$

В тоже время порог срабатывания аналогового компаратора

$$U_k < \frac{\Delta_k}{2\sqrt{3}}, \quad (14)$$

а

$$U_k < 0.0144 \text{ В},$$

Частота генератора

$$f_0 = N_0/t_0, \quad (15)$$

где

$$t_0 = 1 \text{ с} - t_{\text{п}},$$

здесь:

$t_{\text{п}}$  - время подготовки;

1 с – время цикла преобразования по техническому заданию.

Наибольшее время задержка распространения микросхем серий К521, КР590, К155, КР1533 не более  $10^{-7}$  с. Следует заметить, что в среднем она располагается в диапазоне  $10 \times 10^{-9}$  с ÷  $30 \times 10^{-9}$  с.

Допуская, что временные задержки каждого из элементов преобразователя, а это аналоговый компаратор, ключ, триггер, счётчик импульсов и запоминающее логическое устройство будут равны  $10^{-7}$ , то суммарно-результатирующая временная задержка будет не превышать значения  $10^{-6}$ .

Время преобразования установим с некоторым временным запасом, то есть

$$1 - 10^{-4} \text{ с} = 1 - 0,0001 = 0,9999 \text{ с}.$$

$$\text{Тогда } f_0 = N_{x \max} / t_0 = 200 / 0,9999 = 200,02 \text{ Гц}. \quad (16)$$

С учетом округления полученного значения установим

$$f_0 = 200 \text{ Гц.}$$

Тогда погрешность преобразования, обусловленная вариацией частоты, составит значение равное

$$(200,02-200) \times 100/200,02 = 0,01 \text{ \%}.$$

Следовательно, данной погрешностью можно смело пренебречь.

Ниже в таблице 1 представлены технические требования к блокам разработанного преобразователя.

Таблица 1

Тип параметров	Параметр	Ед. измерения	Значения параметров блока				
			Компаратор	ГТИ	Счетчик импульсов	Ключ	Регистр
Входные	$U_{\text{вх max}}$	В	10			10	
Выходные	$U_{\text{вых max}}$	В					
Временные и частотные	Частота	Гц		200			
	Длительность импульсов	с					
Прочие	Число разрядов				Не менее 8		Не менее 8
	Основание системы счисления				2		
	Емкость				200		
	Ширина зоны неопределенности	В	не более 0.0144				

### 3. Расчет элементов принципиальной электрической схемы.

#### 3.1. RC - цепь.

RC - цепь является первичным преобразователем значения емкости конденсатора во временной интервал.

Конденсатор подвергается заряду до значения напряжения  $U_0$  постоянного тока, далее аналоговый ключ АК закрывается и напряжение из-за действия сопротивления RC - цепи понижается.

На входы аналогового компаратора, подаются два сигнала: уменьшающееся напряжение RC – цепи, а также и напряжение, равное  $\frac{U_0}{e}$ .

В апериодическом затухающем процессе, временной интервал между началом процесса затухания, когда напряжение равно  $U_0$ , и моментом времени, когда напряжение уменьшается до  $U = \frac{U_0}{e}$ , равен постоянной времени цепи  $\tau$ .

Постоянная времени RC - цепь описывается как

$$\tau = R \times C, \quad (17)$$

Следовательно подставляя в выражения, описывающее значения  $\tau$  и  $C$ , их значения из технического задания, определяем

$$10^9 \leq R \leq 10^{10}.$$

С целью достижения времени  $\tau \leq 1\text{с}$  и емкости конденсатора 100пФ – 1000пФ следует остановиться на значение  $R = 10^9$  Ом.

### 3.2. Стабилизатор и делитель напряжения постоянного тока.

В данной бакалаврской работе конденсатор заряжается напряжением постоянного тока, поэтому целесообразно устранить возможные пульсации от источника питания.

С этой целью применен стабилизатор напряжения, который поддерживает с необходимой точностью требуемое постоянное напряжения на нагрузке в условиях случайных колебаний как сетевого электропитания, так и тока нагрузки.

Известны два типа стабилизаторов напряжения постоянного тока

- параметрические и компенсационные.

Первый тип стабилизаторов основан на постоянстве напряжения некоторых видов электронных приборов, в случае изменении протекающего через них электрического тока.

Одним из полупроводниковых приборов, имеющим такое свойство является стабилитрон.

Во втором типе стабилизаторов стабилизации напряжения обеспечивается за счет компенсационного воздействия, основанном на автоматическом регулировании напряжения на нагрузке [7,30].

В бакалаврской работе в качестве стабилизатора напряжения использован стабилитрон, представленный на рисунок 3.1.1.

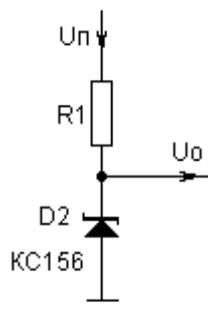


Рисунок 3.1.1 – Стабилизатор напряжения параметрического типа.

Так как на другом входе аналогового компаратора значение напряжения должно быть в  $e$  раз меньше  $U_0$ , то это достигается посредством обычного резистивного делителя напряжения, показанного на рисунке 3.2.2 [8].

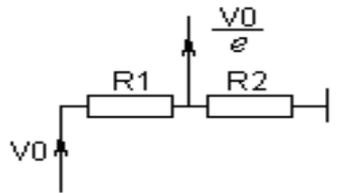


Рисунок 3.1.2 – Делитель напряжения

Резисторы  $R_1$  и  $R_2$ , в данном делителе напряжения, взаимосвязаны выражением [8]

$$R_2 \times e = R_1 + R_2 \text{ .я} \tag{18}$$

Следовательно, полагая  $R_2 = 100$  кОм, нетрудно определить значение  $R_1 = 172$  кОм.

### 3.3. Аналоговый компаратор

Аналоговый компаратор АК выбирается исходя из необходимого по техническому заданию быстродействия и погрешности преобразования.

Для нашего преобразователя АК выполнен на интегральной микросхеме (ИМС) типа К521СА3, условно – графическое обозначение которого приведено на рисунке 3.3.1. И осуществляет сравнение входного сигнала с убывающим напряжением.

В момент времени сравнения напряжений, на выходе АК вырабатывается напряжение, соответствующее «логическому нулю».

Технические параметры ИМС К521СА3 сведены в таблицу 2

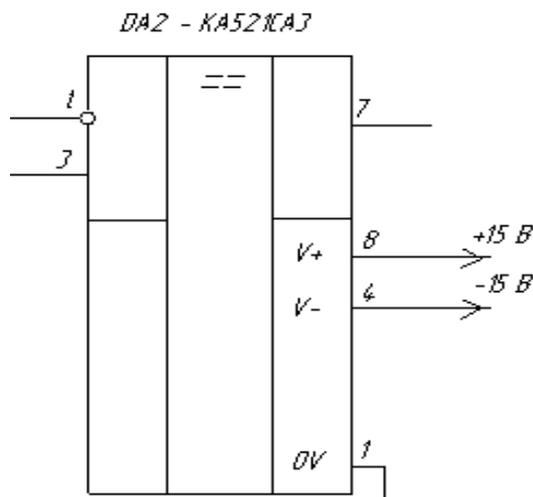


Рисунок 3.3.1 – ИМС аналогового компаратора К521СА3

Таблица 2

Время задержки распространения $\Delta t_3$ , нс	200
Напряжение питания $U_{п}$ , В	$\pm 15$
Смещение нуля $U_{см}$ , мВ	не более 3
Потребляемый ток $I_{пот}$ , мА	5

Согласно [6] при напряжении смещения 3мВ ширина зоны неопределенности данного АК не превышает 5мВ, а это соответствует техническому заданию (таблица 1). Зона неопределенности является частной составляющей погрешности и имеет аддитивный характер, при этом ее значение  $\leq 0,03\%$ .

### 3.4. Аналоговый ключ

В качестве аналогового ключа в бакалаврской работе применена ИМС типа КР590КН2.

Технические параметры аналогового характеристики ключа приводятся в таблице 3 [5].

Таблица 3

Максимально допустимое напряжение $U_{\text{ком}}$ , В	$\pm 10$
Время переключения ключа $t_{\text{вкл}}$ , нс	500
Сопротивление ключа в открытом состоянии $R_{\text{отк}}$ , Ом	100

### 3.5. Блок управления

Блок управления разработанного преобразователя состоит из генератора тактирующих импульсов G1, ждущего мультивибратор ЖМ и D - триггер Т. Функциональная электрическая схема блока управления приведена на рисунке 3.5.1.

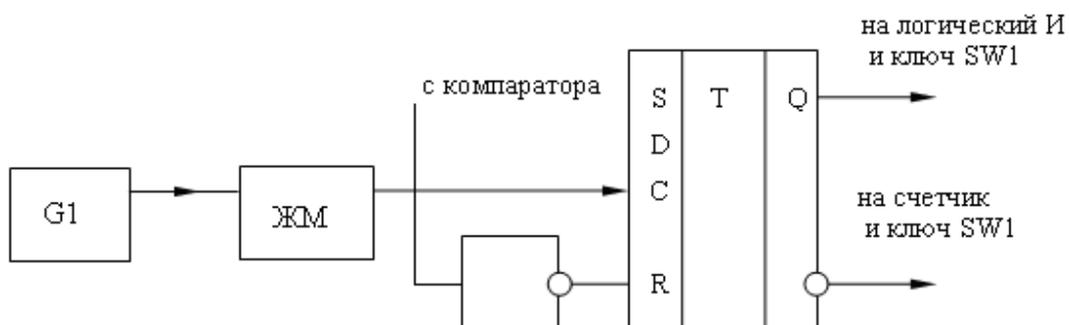


Рисунок 3.5.1. – Функциональная электрическая схема блока управления преобразователя

Так как время готовности к преобразованию в самом цикле преобразования имеет небольшое значение (не более  $10^{-4}$  с), то для его формирования применены ИМС ТТЛ - логики среднего быстродействия.

Для фиксации результатов преобразования время выберем таким же образом. В то время как все время преобразования выбирается равным, согласно требованию технического задания  $t_{пр} = 1$ с.

С целью обеспечения автоматического режима преобразования используется несимметричный ждущий мультивибратор. ЖМ воспроизводит импульс длительностью 1с и с паузой между циклами преобразования равной  $10^{-4}$ с.

Импульсы на ждущий мультивибратор поступают от генератора импульсов G1. Длительность формируемого импульса ЖМ не зависит от питающего напряжения и температуры, а устанавливается значениями параметров внешних навесных элементов. В то же время период следования импульсов устанавливается периодом следования запускающих импульсов на вход ЖМ. Длительность формируемого импульса ЖМ согласно [5]

$$\tau_u = C \times R \times \ln 2. \quad (19)$$

В качестве ждущего мультивибратора ЖМ выберем ИМС типа К155АГ1, условно-графическое обозначение которой рассмотрено на рисунке 3.5.2.

В нашем случае длительность импульса равна 1с. Пусть значение  $C$  равно 1 мкФ, тогда по формуле (19) имеем  $R \approx 1.44$  МОм. По приходу импульса на вход ST3, на выходе формируется импульс заданной длительности.

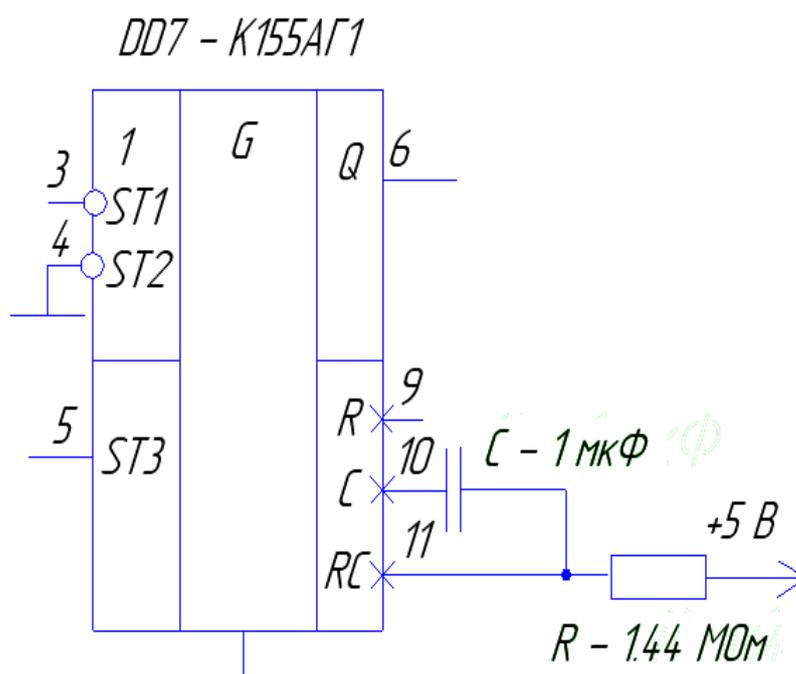


Рисунок 3.5.2 – Ждущий мультивибратор на ИМС К155АГ1

Обычно относительная нестабильность частоты ждущего мультивибратора [6] не имеющего дополнительных мер стабилизации не превышает  $10^{-3}$ .

### 3.6. Делитель частоты

Делитель частоты импульсов, поступающих на вход ST3 ждущего мультивибратора от ГТИ, выполнен на основе двух ИМС счетчиков импульсов типа К155ИЕ2 с коэффициентом счета 10, а также с целью деления частоты на два применен D - триггер К155ТМ2.

ИМС К155ИЕ2 содержит четыре D - триггера внутренне связанных, так что образуются два счётчика-делителя с коэффициентами деления соответственно 2 и 5. При этом для работы в качестве делителя на 10 следует соединить выход Q3

со входом С1, а в качестве входа тактовых импульсов использовать вход С2. В то время как выходом делителя служит выход Q0 [27].

Электрическая схема делителя частоты приводится ниже на рисунке рисунке 3.6.1.

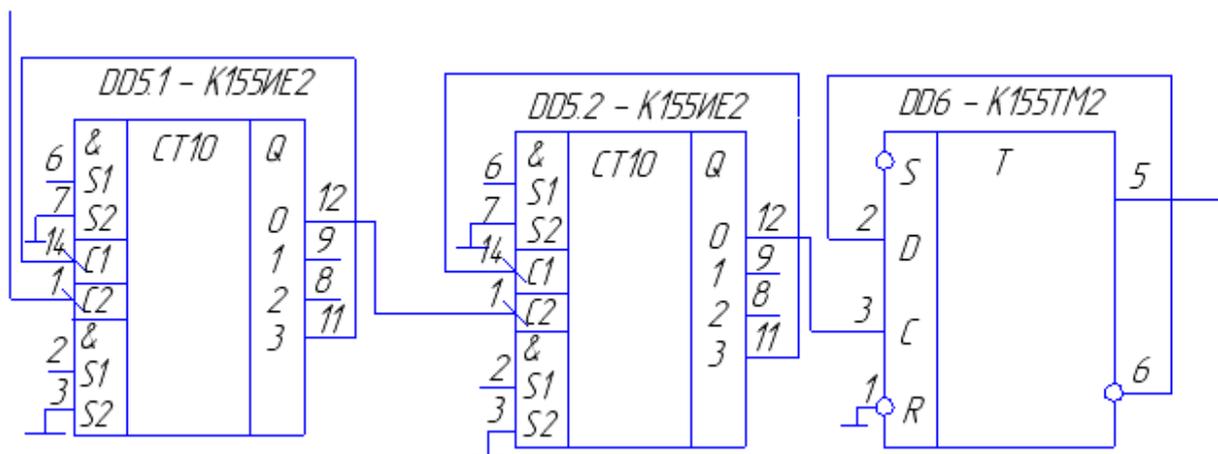


Рисунок 3.6.1 – Делитель частоты импульсов

### 3.7. D - триггер Т.

Импульсный сигнал снимаемый с выхода ждущего мультивибратора далее поступает на D - триггер Т, который выполнен на основе ИМС типа К155ТМ2. (см. рисунок 3.7.1).

На рисунке 3.7.1 вход С является управляющим входом, разрешающим прием информации.

D - триггер Т переводится в состояние «логический ноль» сигналом, подаваемом на R-вход, а в состояние «логическая единица» сигналом, подаваемом на D-вход при присутствии импульсного сигнала на входе С. Выход Q (выход 5) управляет элементом И, а инверсный выход  $\bar{Q}$  (выход 6) управляет

обнулением счетчика импульсов. Состояние D - триггер Т определяет состояние аналогового ключ (см.рисунок 2.1), который или открыт, или закрыт.

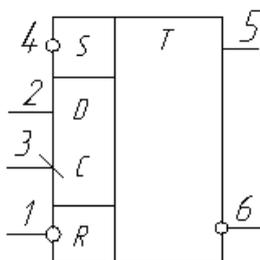


Рисунок 3.7.1 – Микросхема К155ТМ2

В качестве инвертора на R входе D - триггер Т использована ИМС типа К155ЛН1.

### 3.8. Элемент И

В качестве элемента И выбрана ИМС К155ЛИЗ, имеющая следующие технические характеристики

- среднее время задержки распространения 23 нс;
- потребляемая статическая мощность не более 36 мВт.

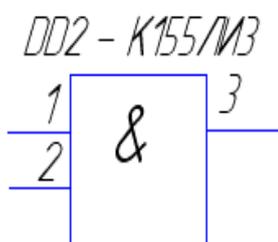


Рисунок 3.8.1 – Элемент И на ИМС К155ЛИЗ

### 3.9. Генератор тактирующих импульсов

Генератор тактирующей импульсной последовательности выполнен по известной схеме [7] на основе кварцевого резонатора ZQ1 и цифровой ИМС типа К155ЛА3. Принципиальная электрическая схема генератора тактирующих импульсов приведена на рисунке 3.9.1.

Примененная ИМС К155ЛА3 обладает следующими техническими параметрами:

- средняя временная задержка распространения сигнала составляет 19 нс;
- статическая потребляемая мощность в пределах 36 мВт.

Кварцевые генераторы тактирующих импульсных последовательностей обладают малой нестабильностью частоты, которая равна  $10^{-5} - 10^{-6}$ . То есть погрешность, обусловленная этой нестабильностью можно не учитывать в общей результирующей погрешности преобразования разработанного преобразователя.

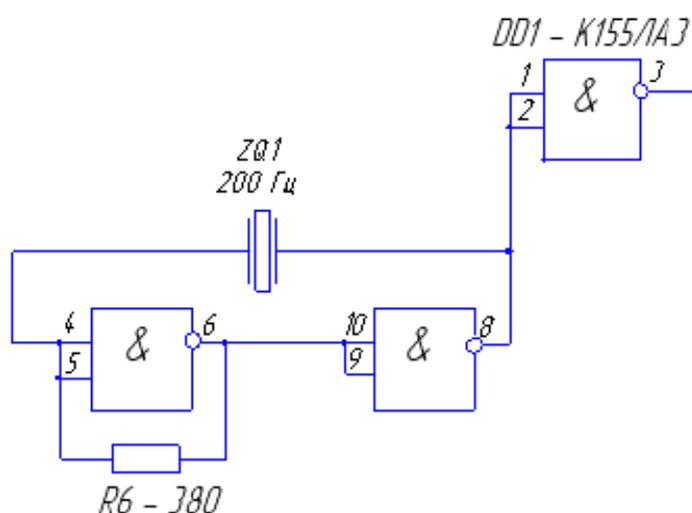


Рисунок 3.9.1 – Генератор тактирующих импульсов

### 3.10. Счетчик импульсов

Напомним, что счетчик импульсов предназначен для фиксации импульсных сигналов поступающих с элемента И.

Как было показано выше, счетчик импульсов должен быть 8-разрядным.

Его схемотехническое построение выполнено на основе ИМС К155ИЕ5 и представлено на рисунке 3.10.1.

Данная ИМС имеет в своем составе четыре триггера, причем все триггеры обладают одним общим входом установки в ноль (сбросом).

Посредством данного входа показания счётчика импульсов устанавливаются в состояние «логический ноль» в произвольный момент времени.

Это обеспечивается подачей импульсного сигнала («логической единицы») с блока управления на входы R1, R2.

Наш счетчик импульсов необходимым значением емкости получен путем соединения двух ИМС счетчиков импульсов К155ИЕ5.

Оба счетчика взаимосвязаны тем, что с вывода Q3 первого счётчика импульсов сигнал подаётся на вход С1 второго счётчика импульсов.

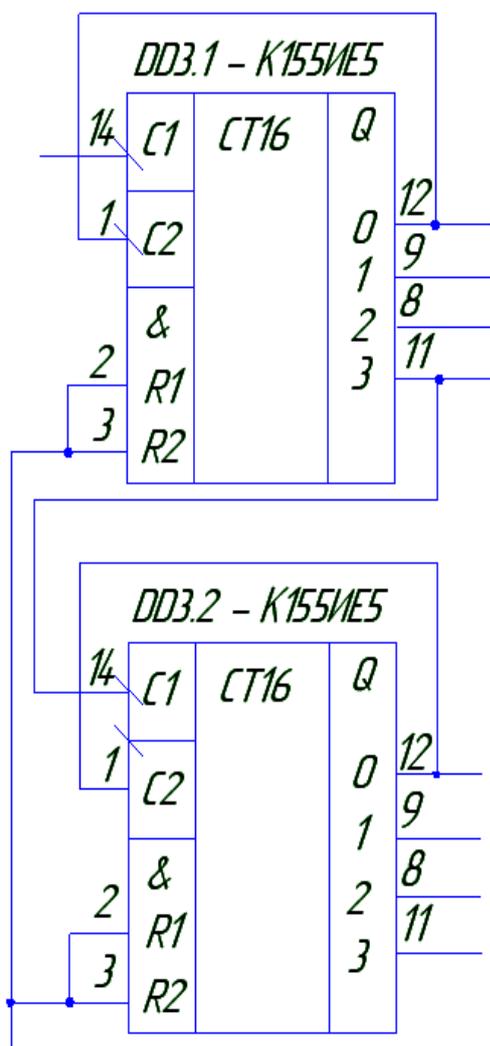


Рисунок 3.10.1 – Счетчик импульсов

### 3.11. Запоминающее логическое устройство

С целью хранения результата цифрового преобразования используется запоминающее логическое устройство, в качестве которого применен 8-разрядный регистр памяти на ИМС КР1533ИР33 (см. рисунок 3.11.1), то есть запоминается слово емкостью восемь разрядов.

Запись восьми разрядного слова в регистр памяти осуществляется сигналом, формируемым аналоговым компаратором.

Для последующей трансляции восьми разрядного слова, например в вычислительное устройство, на вход OE подается сигнал чтения слова.

Время задержки распространения сигнала данной ИМС не превышает 20 нс.

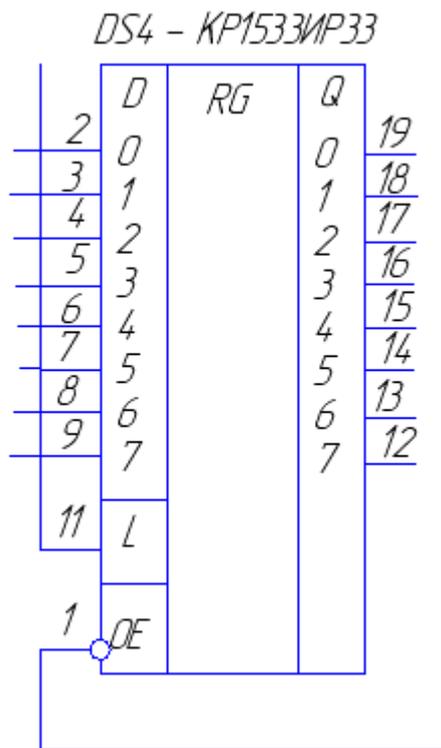


Рисунок 3.11 – Запоминающее логическое устройство на основе регистра.

## 4. Моделирование стабилизатора и делителя напряжения

На рисунке 4.1 приведена схема моделирования стабилизатора и делителя напряжения.

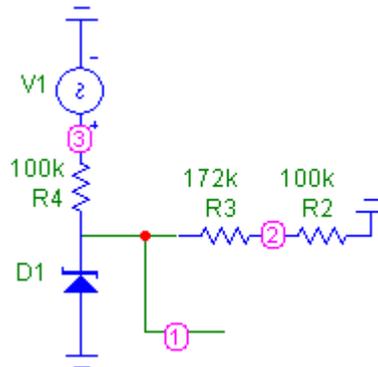


Рисунок 4.1. – Схема моделирования стабилизатора и делителя напряжения.

Средой моделирования выбран пакет прикладных программ ППП Micro - Cap 7 Evaluation Version.

Рисунок 4.2 иллюстрирует полученные результаты моделирования стабилизатора и делителя напряжения. Так на графике 1 отображает входное напряжение стабилизатора, графике 2 – напряжение на выходе стабилизатора, а . графике 3 приводится напряжение, формируемое на делителе напряжения.

Из рисунка 4.2 следует, что на вход аналогового компаратора подается напряжение 10В, а на другой его вход 3,677 В. Данное значение напряжения равно входному напряжению, пониженному в  $e$  раз.

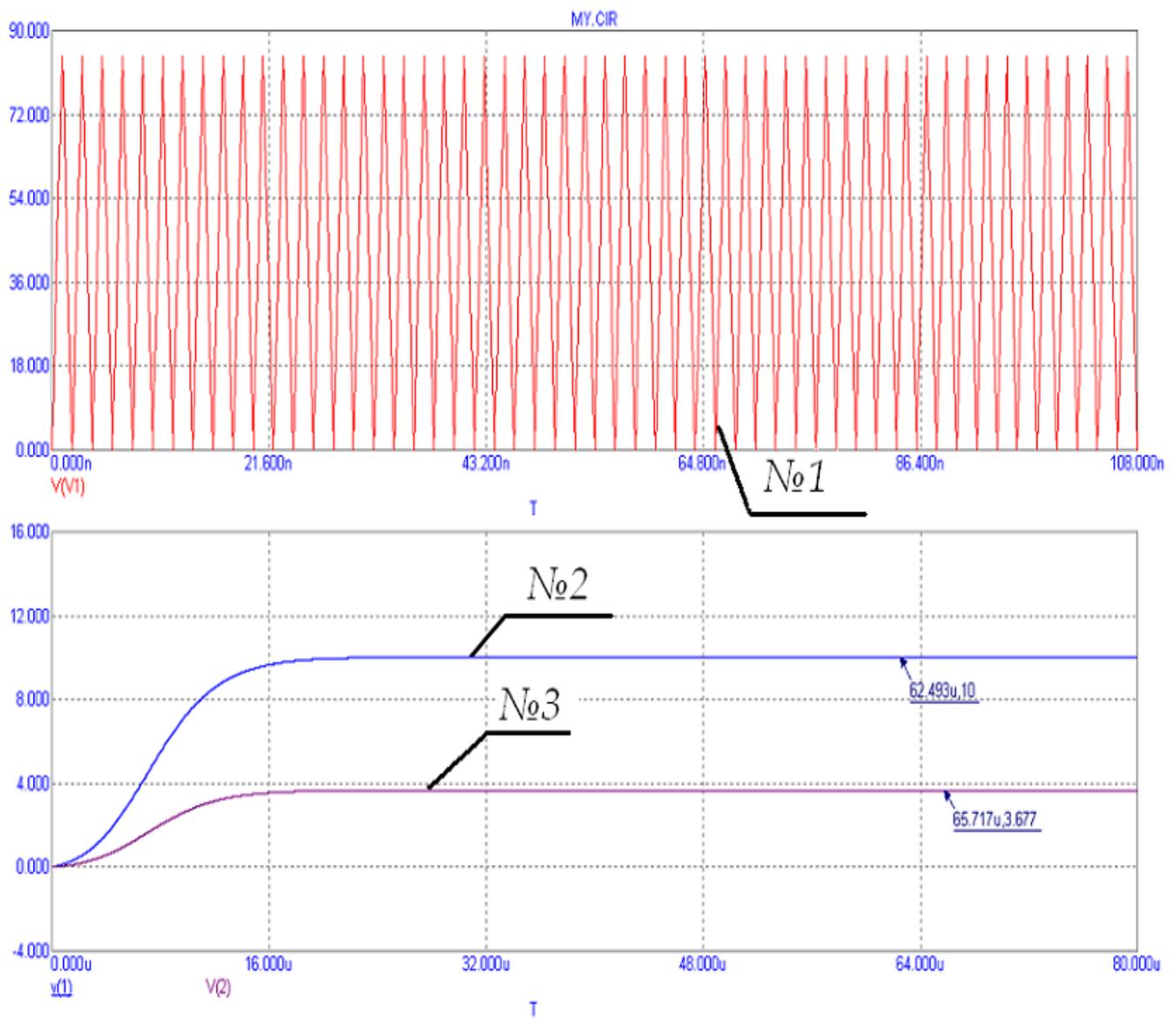


Рисунок 4.2 – Результаты моделирования стабилизатора и делителя напряжения.

## **5. Сводный анализ технических характеристик преобразователя**

### **Динамический диапазон преобразования**

Динамический диапазон значения емкости измеряемого конденсатора равен (100-1000) пФ и обеспечивается выбранным значением сопротивления RC – цепи, согласно математического выражения (17).

### **Время преобразования**

Время преобразования, равное по технического задания 1 с, обеспечивается блоком управления и кварцевым генератором тактируемой импульсной последовательности.

### **Циклический режим работы**

Данный режим работы достигается кварцевым генератором тактируемой импульсной последовательности и блоком управления, который формируют управляющий импульс длительностью  $t = 1$  с, который в свою очередь разрешает новый цикл преобразования.

### **Погрешность преобразования**

Погрешность преобразования разработанного преобразователя в основном определяется неточностью срабатывания аналогового компаратора и нестабильностью частоты генератора тактируемой импульсной последовательности [8].

Проведем качественную оценку результирующей погрешности преобразования, которая определяется следующими значениями

- наибольшее значение погрешности дискретизации (методической погрешность)  $\delta = 0.5 \%$ ;
- погрешность из-за неточности работы аналогового компаратора  $0.03 \%$ ;
- нестабильность частоты генератора тактируемой импульсной последовательности в пределах  $0.001 \%$ ;
- нестабильность частоты ждущего мультивибратора  $0,1\%$

Таким образом результирующая погрешность преобразования разработанного цифрового преобразователя значений емкости в код имеет значение не превышающее  $0,631 \%$ .

## 6. Экономический раздел

### 6.1 Жизненный цикл инновации

Экономические действия изменчивые во времени, имеют рождение, развитие зрелость и старость. Таким же образом товары, технологии и услуги имеют череду стадий, образуя собой жизненный цикл ЖЦ [18-20]. ЖЦ является суммой связанных явлений, процессов, работ, составляющих круг развития в течение определенного временного интервала.

**ЖЦ инновации** является временной интервал, в ходе которого инновация имеет активную силу и дает изготовителю и/или торговле доход в виде прибыли. Стратегия ЖЦ инновации является существенной при осуществлении планирования и организации производства инноваций. Данная стратегия состоит в:

- анализе хозяйственной деятельности в настоящем и будущем времени развития;
- установлении систематической работы по планированию выпуска или приобретения инноваций;
- служит фундаментом для анализа и планирования инновации.

В процессе анализа инновации (ИЦ) определяется стадия жизненного цикла инновация, ее перспектива, в смысле начала скачкообразного спад и окончания ее существования. Существующий стандарт ISO 9004-1 описывает ЖЦ продукции суммой процессов, происходящих с момента времени определения желания потребителя в какой либо продукции до времени удовлетворения данных желаний.

**Жизненный цикл инновации** – это деятельность, направленная на создание и применение новшества. В ЖЦ инновации выделяются такие этапы как: **исследования, производство и потребление**. Каждый из этапов имеет ряд подэтапов. Рассмотрим каждый из них.

### **1. Исследовательская стадия**

**Фундаментальные исследования ФИ** и создание теоретической поддержки решения проблемы – это как теоретические, так и экспериментальные поисковые исследования. Цель которых состоит в выявлении новых ранее неизвестных или малоизвестных знаний. Результаты ФИ имеют положительный практический выход не более 6%.

**Прикладные исследования ПИ и экспериментальные модели.** ПИ предназначены для определения возможностей практического использования уже известных физических, химических и других явлений или процессов.

При этом научно-исследовательская работа НИР ПИ направлена на решение технических задач, а также раскрытие неизвестных теоретических положений.

**Экспериментальные исследования, проектирование, изготовление, испытания, выявление технических параметров и окончательная доводка новшества - продукта.**

Разработка новшества – продукта, является элементом завершения НИР, которому свойствен переход непосредственно к производству в промышленных масштабах. Целью разработки является как создание или совершенствование в

виде модернизации различных моделей изделий, которые после испытаний направляются как для производства, так и напрямую потребителю.

На данном этапе осуществляется конечное уточнение ФИ, создается конструкторско-технологическая документация КТД и наконец, производится и подвергается испытанию технический или технологический прототип.

Под техническим прототипом следует понимать уже существующий и работающий образец изделия, имеющий технические характеристики удовлетворяющие требованиям производства.

## ***2. Стадия производства***

### **Начальное освоение и подготовка последующего производства.**

На данном временном отрезке осуществляется выявление всевозможных способов производства с обязательными пояснениями технологических процессов, а также их *эксплуатационную и экологическую* безопасность. Результатом данного мероприятия служит создание опытного образца ОО, то есть полномасштабного работающего изделия. Назначение опытного образца заключается в установлении требований к производству нового изделия - продукта.

**Опытный образец должен** полностью соответствовать стандартам конечного изделия - продукта, которое предстоит выпускать промышленности в массовом объеме.

**Запуск и управление освоенным производством**, представляет собой полномасштабное производство, где новое изделие - продукт приспособляется к производству в промышленных масштабах.

### ***3. Стадия потребления***

#### **Поставка изделия - продукта на рынок и его последующее потребление.**

На данном временном отрезке производят уточнение стратегических возможностей поставки изделия - продукта на рынок. Осуществляется потребление знания, вложенного в новое изделие – продукт и определяется экономическая эффективность проведенной инновационной деятельности.

**Послепродажное обслуживание** служит важнейшим условием современного инновационного производства, что объясняется сложностью изделия - продукта.

**Утилизация изделия - продукта по окончании его применения** представляет конечную стадию его ЖЦ.

#### **Старение изделия - продукта и ликвидация его производства.**

Данный отрезок времени начинается при физическом и моральном износе техники, которые объясняются быстротечностью разработки новых более эффективных ее образцов.

При переносе инновации - новшества в область живого использования, содержание ЖЦ нововведения отличается и содержит следующие этапы:

**зарождение новшества - нововведения**, то есть сознание потребности, а также возможностей его изменений;

**освоение нововведения** состоит в его внедрение в изделие, а следовательно и проведении изменений производства;

**диффузия новшества – нововведения** заключается в его тиражировании, распространении, а также неоднократного копирования. Распространение новшества – нововведения является информационным процессом, определяемого мощностью коммуникационных каналов.

В тоже время диффузия новшества – нововведения представляет явление возрастания количества имитаторов или последователей, которые внедряют новшество – нововведение вслед за новатором, надеясь на получение большей доходности;

**рутинизация новшества - нововведения осуществленные** в условиях стабильности функционирования соответствующих объектов.

ЖЦ инновации различны по типам инноваций. Различия в первую очередь касаются общей продолжительности цикла, а также продолжительность каждого этапа ЖЦ, особенности развития как самого ЖЦ, так и разное число этапов. Виды и число этапов стадий ЖЦ устанавливаются особенностями самой инновацией. При этом в любой инновации имеется некая базовая основа, ЖЦ с определенно выраженными этапами. Следует иметь в виду, что конфигурации ЖЦ инновационного продукта и инновационной технологии имеют существенные различия.

## **7. Безопасность жизнедеятельности**

### **7.1. Воздействие ионизирующих излучений на организм человека.**

Ионизирующие излучения ИИ представляют собой потоки частиц и квантов электромагнитного излучения. Прохождение данных потоков через вещество приводит к его ионизации, то есть возбуждению состояний его атомов или молекул.

**Ионизирующее излучение ИИ** связано с радиоактивностью, которая в свою очередь является самопроизвольным преобразованием ядер атомов одних элементов в другие и сопровождается испусканием ИИ [21,23].

**Рентгеновское излучение РИ** по своей природе является электромагнитным излучением высокой частоты, которое образуется в результате при облучении вещества направленным потоком электронов [24,25].

Отличительной особенностью РИ является его огромная проникающая способность.

В процессах физических и химических свойств, а также в сельском хозяйстве и промышленности применение ИИ имеет большое значение. Так ряд химических реакций под воздействием ИИ происходят гораздо быстрее или осуществляются при более простых условиях.

**ИИ используются** как инструмент стерилизации или пастеризации, а также сохранения пищевых продуктов, лекарственных препаратов и в других целях. Под воздействием ИИ добиваются мутаций микроорганизмов и различных растений.

В качестве источников ионизационного излучения выступают:

- как природные, так и искусственные радиоактивные вещества;
- различного ядерные установки, препараты медицинского назначения, многие контрольные и измерительные приборы, например дефектоскопы, контроллеры сварных соединений и так далее.

Источники ИИ применяются в сельском хозяйстве, в геологической разведке, при устранении статического электричества.

В теле человеческого индивидуума воздействие ИИ приводят к цепи как обратимых, так и необратимых изменений его состояния.

Спусковым механизмом воздействия ИИ на человека служат процессы ионизации и возбуждения атомов и молекул в тканях его организма, при этом не последнюю роль в формировании биоэффектов в нем выполняют свободные радикалы Н и ОН, возникающие при процессе радиолиза воды.

Имея высокой активностью, радикалы химически взаимодействуют с молекулами белка, ферментов и другими элементами ткани организма человека, что искажает его биохимический процесс.

Приводит к искажению процессов обмена в организме человека, замедляется, а в ряде случаев и рост тканей прекращается. Вместе с тем образуются абсолютно новые не свойственные организму человека химические соединения. Все это ведет к нарушению деятельности органов и систем человеческого организма.

Так под воздействием ИИ в организме человека нарушаются:

- работа кроветворных органов в виде увеличение проницаемости и хрупкости их сосудов;
- расстройство работы желудочно-кишечного тракта;
- понижается сопротивляемость человеческого организма, его истощение;

- происходит переустройство нормально функционирующих клеток в злокачественные опухоли.

Результаты воздействия ИИ проявляются в течение различных интервалов времени, причем от долей секунд до многих часов, суток и даже лет.

Процессы взаимодействия ИИ с веществом клетки, служат началом проявления лучевого поражения, так как ионизированные, а следовательно и возбужденные атомы и молекулы в течение порядка  $10^6$  секунд взаимодействуют активно и подавая сигнал для начала химически активным центрам.

Далее происходит ряд реакции химически активных веществ с различными биологическими структурами, в результате чего возникают деструкция, образование новых соединений, несвойственных организму человека.

На последующих стадиях протекания лучевого воздействия проявляются в виде нарушения обмена веществ в биологических системах организма человека. При этом следует отметить, что конечный эффект лучевого воздействия - облучения является результатом первичного облучения клеток и их последующей деградации.

Принимая в качестве оценки чувствительности организма человека к ИИ его морфологические изменения, то все клетки и ткани его организма по степени возрастания чувствительности располагаются следующим образом:

- нервная ткань;
- хрящевая, лимфатическая и костная ткани;
- мышечная и соединительная ткани;
- щитовидные, пищеварительные и половые железы;

- легкие;
- кожа;
- слизистые оболочки;
- .- костный мозг.

Результат действия источников ИИ на организм человека определяется рядом причин, основными из которых считаются: уровень поглощенных доз; продолжительность облучения и мощность дозы; объем тканей и органов и вид облучения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе проведен обзор методов и средства преобразования значения емкости конденсаторов в цифровой код и осуществлена их классификация. На основе электронного базиса цифровых интегральных микросхем ИМС 155 серии и аналоговых ИМС серий 521 и 590 составлена функциональная, а также разработана с учетом технического задания и принципиальная схемы преобразователя.

Определены основные технические параметры (быстродействие, погрешность преобразования, динамический диапазон преобразования).

Важным преимуществом разработанного преобразования значения емкости конденсаторов в цифровой код является его малое энергопотребление и небольшие масса и габаритные размеры.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров К.К., Кузьмина Е.Г. Электрические чертежи и схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.: ил.
2. Кончаловский В.Ю. Цифровые измерительные устройства: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.: ил.
3. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. – Киев: Высшая шк., 1980. – 560 с.
4. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap 6. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001.- 344с.: ил.
5. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/ С.В.Якубовский, Л.Н. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др./ под ред. С.В.Якубовского. – Радио и связь, 1989.—496 с.: ил.
6. Никонов А.В. Основные узлы цифровых измерительных устройств: Учеб. пособие.- Омск: Изд-во Ом ГТУ, 2001. – 52 с.
7. Электротехника и электроника [Электронный ресурс]– Электрон. дан. – 2000 – Режим доступа: // asoiusrv /Public/ Электротехника и электроника, кафедральный доступ. — Загл. с экрана.— Яз. рус.
8. Измерения в электронике: Справочник/ В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др./ под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.: ил.
9. Саволук А.М. Измеритель емкости конденсаторов с самокалибровкой. – Электрик, 2004, №5, с.23.
10. Ицкович Э. Современные датчики и тенденции их развития // Электронные компоненты. 2003. - №2. - С. 23-26.
11. Михаль Брихт. Преобразователи емкости в цифровой код на основе сигма-дельта модулятора // Компоненты и технологии. 2006. - №1 - С. 3436.
12. Эпштейн С.Л. Измерение характеристик конденсаторов. Л.: Энергия, 1971.-325 с.

13. Геращенко О.А. Температурные измерения. Справочник/О.А. Геращенко, А.Н. Гордов и др. – Киев: Наукова думка, 1989.
14. Пасынков, В.В. Материалы электронной техники: учебник для вузов / В.В. Пасынков, В.С. Сорокин — СПб.: Изд-во «Лань», 2003.
15. Хузягулова К. Л. Применение емкостного датчика для определения температуры тела [Текст] // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — С. 36-40.
16. Сайт компании Acam - Messelectronic GmbH Электронный ресурс. / Режим доступа: <http://www.acam.de>, <http://www.acam-usa.com>.
17. Мартяшин А.И., Шахов Э.К., Шляндин В.М. Преобразователи электрических параметров для систем контроля рi измерения. М.: Энергия, 1976. -392 с.
18. Управление инновационными проектами : учебное пособие / под ред. проф. В. Л. Попова. – М. : ИНФРА-М, 2007. – 336 с.
19. Хотяшева, О. М. Инновационный менеджмент : учебное пособие / О. М. Хотяшева. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 384 с.
20. Основы инновационного проектирования: учебное пособие / В. А. Сергеев, Е. В. Кипчарская, Д. К. Подымало; под редакцией д-ра техн. Наук В. А. Сергеева. – Ульяновск: УлГТУ., 2010, –246 с.
21. Белов С.В. «Безопасность жизнедеятельности»: М., Высшая школа, 001.
22. Кукин П.Л., Лапин В.Л. «Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда»: М., Высшая школа, 2003.
23. Муравей Л. А. «Экология и безопасность жизнедеятельности»: М., ЮНИТИ, 2000.
24. Пряхин В.Н., Соловьев С.С. «Безопасность жизнедеятельности человека в условиях мирного и военного времени»: М.: Экзамен, 2006
25. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» №3-ФЗ от 09.01.96 г.

26. Arkadiusz Szewczyk, Josef Sikula, Vlasta Sedlakova, Jiri Majzner, Petr Sedlak, Tomas Kupařowitz. Voltage Dependence of Supercapacitor Capacitance. Metrology and Measurement Systems The Journal of Committee on Metrology and Scientific Instrumentation of Polish Academy of Sciences. 2016, 22 275 symbols. <https://doaj.org/article/028fa5c3f276406db7cc7100bbd48fc4>.
- 27 . Alina NEAMŢ , Anca BĂRCUTEANU. Study of electric capacitors using Finite Element Method. Technical College Anghel Saligny Baia Mare, 2012, 26 904 symbols. <https://doaj.org/article/1e606226452049068bf831a1c1abf2b1>.
28. Mehdi Saberi, Reza Lotfi, Khalil Mafinezhad, Wouter A. Serdijn. Analysis of Power Consumption and Linearity in Capacitive Digital-to-Analog Converters Used in Successive Approximation ADCs. IEEE Transactions on Circuits and Systems I Regular Papers. 2011, 42 433 symbols. <http://duteela.et.tudelft.nl/~wout/documents/tcas20113.pdf>
39. Mostafa Chakir, Hicham Akhamal, and Hassan Qjidaa. A Design of a New Column-Parallel Analog-to-Digital Converter Flash for Monolithic Active Pixel Sensor. The Scientific World Journal Volume 2017. 2017, 30 612 symbols. <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2017/8418042/>.
30. Wanyeong Jung, Seokhyeon Jeong, Sechang Oh, Dennis Sylvester, and David Blaauw. Fully Digital Capacitance-to-Digital Converter Using Iterative Delay-Chain Discharge. Solid-State Circuits Conference-(ISSCC), 2015, 8 829 symbols. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4535190/>.