

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 03.06.2024 10:38:25

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d79c6f1c1eab971e945dffa151f6b5d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 10 » 02 2022 г.

## ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СХЕМОТЕХНИКА В МЕХАТРОНИКЕ

Методические указания по выполнению  
курсовой работы

для студентов направления  
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

УДК 621.38

Составители: П.А. Безмен, Е.С. Тарасова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Юго-Западного государственного университета *Е.Н. Политов*

**Электронные устройства и схемотехника в мехатронике:** методические указания по выполнению курсовой работы для студентов направления 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. П.А. Безмен, Е.С. Тарасова. Курск, 2022. 30 с.

Изложены задачи для решения на практических занятиях и задания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электронные устройства и схемотехника в мехатронике».

Методические указания соответствуют требованиям Федерального государственного образовательного стандарта.

Методические указания предназначены для студентов направления 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», а также других направлений технического профиля для всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 10.02.2022 . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. 1,7

Уч.-изд.л.13.Тираж 30 экз. Заказ.761, Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.  
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1.ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
2.ЭТАПЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	20
3.ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	23
4.ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ .....	26

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курсовая работа по схемотехнике электронных средств является заключительным этапом подготовки по этой дисциплине. Номенклатура электронных устройств очень широка, поэтому охватить при курсовом проектировании даже основные направления практически невозможно. Поэтому предлагаемая тематика должна рассматриваться как примерная. При ориентации на проблемное и индивидуальное обучение данные методические указания могут быть полезны в своей общей части, касающейся организации курсового проектирования.

В методических указаниях нет описания детальных методик расчета узлов и устройств. В противном случае задания не носили бы проблемного характера и сводились к формальной обработке исходных данных. Предлагаемые структурные схемы должны рассматриваться как демонстрационные примеры решений необязательные для использования. На этих примерах обсуждаются принципы работы устройств, и поясняется подход к оценке их основных параметров.

### **Цель и задачи курсовой работы**

Целью курсовой работы является углубление и закрепление полученных теоретических знаний, приобретение практических навыков построения электронных устройств из функциональных узлов и их расчета.

Для успешного проектирования студент должен:

- углубить знания о функциональных узлах электроники, таких как операционные усилители, компараторы, электронные ключи, генераторы тока, опорные источники напряжения, комбинационные схемы и триггеры, регистры, счетчики,
- детально изучить расчетные модели и нормируемые параметры функциональных узлов;
- изучить по справочной литературе номенклатуру базовых электронных компонентов их характеристики и параметры;
- освоить способы управления основными параметрами функциональных узлов и методы их расчета;

- научиться выделять ключевые параметры функциональных узлов, определяющие основные характеристики и параметры проектируемого устройства;
- научиться строить упрощенные математические модели для оценки основных параметров проектируемого устройства и приводить эти параметры в соответствие с требованиями задания;
- получить навыки построения схем устройств и изучить требования к оформлению конструкторской документации;
- получить навыки работы с технической литературой и нормативной документацией предметной области.

## 1. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В качестве задания для проектирования предлагаются устройства сопряжения первичных преобразователей неэлектрических и электрических величины с измерительными трактами цифровых приборов или микропроцессорных устройств. Это согласуется с существующей практикой построения систем, в соответствии с которой, обработку информации предпочитают производить в цифровой форме. Во многих случаях коррекция характеристик датчиков и преобразователей осуществляется в цифровой форме. При этом устраняют начальное смещение уровня, корректируют коэффициент преобразования или осуществляют линеаризацию шкалы преобразователя. При таком подходе наибольшее значение имеют стабильность параметров преобразователей и схем сопряжения и их хорошие динамические характеристики.

Наибольшее распространение нашли схемы сопряжения с промежуточным преобразованием в частоту и напряжение или ток. Промежуточное преобразование в частоту обеспечивает помехозащищенную передачу информации на значительное расстояние. Преобразование в цифровой код осуществляется достаточно просто, например, подсчетом числа импульсов за нормированный интервал времени. Поскольку существуют интегральные преобразователи напряжение - частота, то

целесообразно рассмотреть возможность их применения в конкретном устройстве. Препятствием для такого решения может послужить снижение точности, так как имеет место двойное преобразование. Сначала исходная величина преобразуется в напряжение, а затем – в частоту. Во многих случаях помешать применению метода может недостаточное быстродействие.

Промежуточное преобразование в напряжение или ток предполагает применение для дальнейшего преобразования в цифровой код интегральных аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Такой подход может дать существенные преимущества при необходимости многоканальных измерений, если использовать коммутацию каналов на единственный АЦП. При небольших расстояниях между источником и приемником этот вариант может оказаться более простым в реализации, так как опирается на законченные решения в виде интегральных АЦП.

Сопутствующие проблемы связаны с обеспечением передачи информации на значительное расстояние в виде напряжения или тока с требуемой точностью, согласованием динамических диапазонов сигнала и АЦП, обеспечением малых динамических погрешностей при преобразовании.

В курсовой работе предложены для проектирования следующие устройства:

1. Преобразователь давление – частота с чувствительным элементом емкостного типа;
2. Многоканальная система сбора данных;
3. Аппаратура приема передачи данных по инфракрасному каналу.

Ниже приведены краткие описания, структурные и функциональные схемы устройств.

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЕ – ЧАСТОТА

Преобразователи значений физических величин в величину ёмкости используются достаточно часто. Чувствительные элементы ёмкостного типа используются при измерениях влажности, силы, давления, перемещения. Для преобразования величины ёмкости в электрический сигнал удобно использовать преобразователи ёмкость – частота.

В рассматриваемом устройстве емкость, образуемая корпусом датчика и мембраной, изменяется при изменении давления на мембрану (рисунок 1).

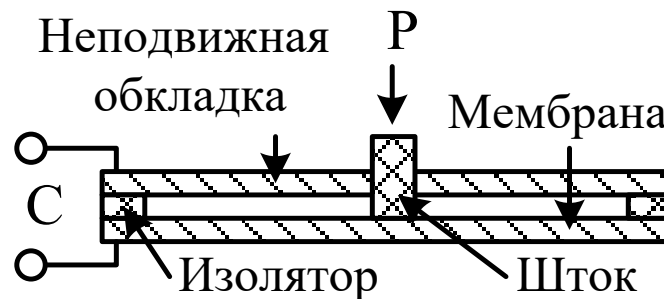


Рисунок 2 – первичный преобразователь емкостного типа

Для преобразования величины ёмкости в частоту, конденсатор следует включить в состав времязадающей цепи генератора. Генератор может быть LC - или RC - типа. В RC генераторах может использоваться явление перезарядки емкости (релаксационные генераторы) или фазосдвигающие свойства RC - цепи. Выбор решения зависит от требуемого диапазона генерируемых частот, вида зависимости частоты от емкости, точности преобразования. В решении, представленном на рисунке 2, используется перезаряд емкости от источника постоянного напряжения.

Конденсатор С заряжается через резистор R от источника положительного напряжения  $U_{cc1}$  или отрицательного –  $U_{cc2}$ . Переключение полярности источника напряжения заряда осуществляется двумя аналоговыми ключами, открывающимися поочередно. Для этого напряжение на конденсаторе сравнивается компараторами с заранее установленными положительным и отрицательным порогами.

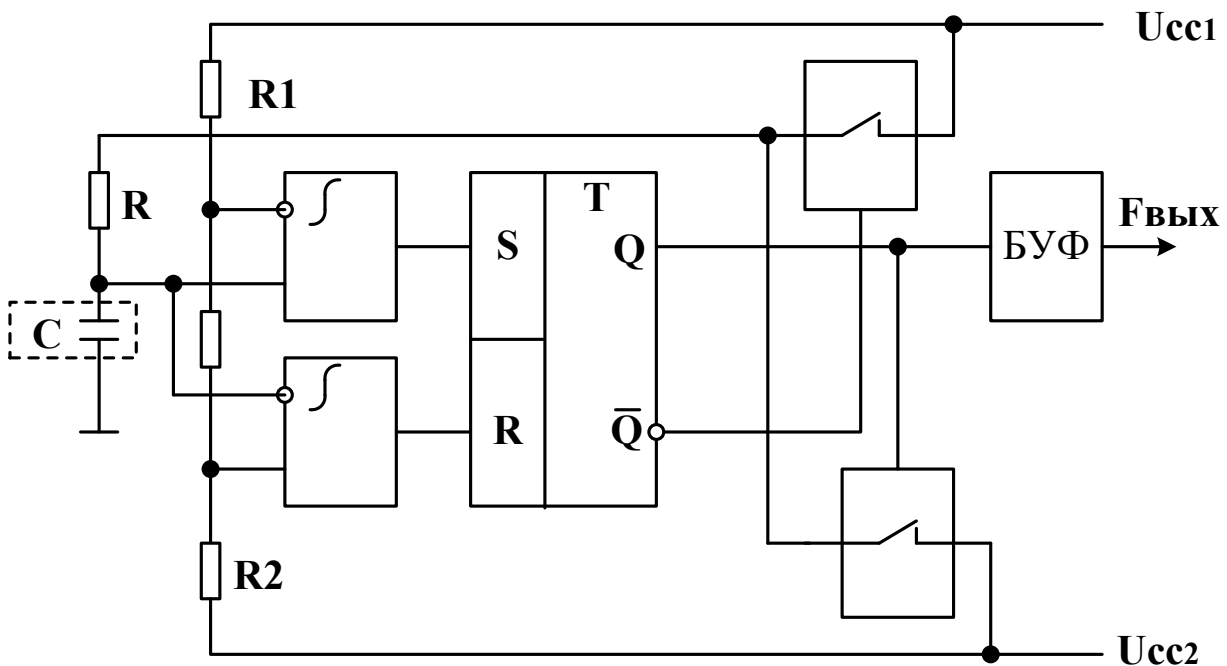


Рисунок 2 – Преобразователь усилие – частота с датчиком ёмкостного типа

При выходе напряжения за пределы, определяемые порогами, соответствующий компаратор перебрасывает триггер в противоположное состояние. Аналоговые ключи управляются с противоположных плеч триггера. Длительность положительного полупериода выходного напряжения определяется временем перезаряда конденсатора от минимального порога до максимального, а другого полупериода – временем перезаряда в противоположную сторону. Важную функцию в схеме выполняет буфер. При относительно небольших расстояниях до измерительной схемы, (несколько метров) его функция сводится к согласованию уровней передатчика и приемника и к исключению влияния электромагнитных помех на триггер. При больших расстояниях до приемника прибегают к гальванической развязке. При этом цепь преобразователя и измерительного устройства не связаны по постоянному току. Это блокирует протекание уравнивающих потенциалы схем токов и исключает влияние этих токов на работоспособность устройства и его характеристики точности. Следует учитывать, что потенциалы заземления в разных точках помещений могут различаться. Разница в 2-5 В может сделать схему неработоспособной. Схема развязки может быть построена на основе разделительного трансформатора



или оптопары. В последнем случае сводиод возбуждается от источника сигнала, а фотодиод (фототранзистор) питается от приемника. Это простейший вариант развязки. Иногда устройства разделения устанавливаются на двух сторонах, а линия связи получает питание от отдельного источника, размещаемого в передатчике (активный передатчик) или приемнике (пассивный передатчик). При проектировании следует ориентироваться на оптоэлектронные устройства гальванического разделения цепей, не имеющие ограничений при передаче сигналов в области низких частот.

Альтернативные решения. Схема может быть упрощена несколькими способами:

- Два компаратора и триггер совмещаются в триггере Шмитта. Триггер Шмитта реализуется на компараторе или операционном усилителе. Необходимо решить вопрос со стабилизацией выходных напряжений триггера Шмитта, так как от них перезаряжается конденсатор;
- Заряд осуществляется от одного источника, например положительного. При достижении порога осуществляется разряд конденсатора. Это позволяет устранить один из ключей;
- Роль источников положительного и отрицательного напряжения заряда конденсатора выполняет триггер. Это предполагает стабилизацию его выходных уровней (относительно легко достигается в КМОП схемах, т.к. выходные двухтактные каскады представляют собой почти идеальные ключи при сопротивлениях нагрузки свыше 10 кОм).

Подобные схемы находят широкое применение в так называемых интегральных датчиках. В них помимо чувствительного элемента интегрируется и вторичный преобразователь. Конечное изделие получает ряд преимуществ: компактность, надёжность, простое подключение, хорошая защищённость от внешних помех.

## **Источники погрешностей схемы**

Идеализированное выражение напряжения на конденсаторе при заряде:

$$U_C = U_{CC1} - (U_{П} + U_{CC1}) \cdot \exp(-t/\tau), \quad (1)$$

где  $U_{CC1}$  – напряжение питания источника положительного напряжения питания,  $U_{П}$  – пороговое напряжение компаратора,  $\tau = RC$  – постоянная времени цепи заряда конденсатора. Длительность полупериода можно найти из (1) при подстановке в левую часть выражения значения порогового напряжения [1].

Рассмотрим основные источники погрешностей преобразования. По механизму воздействия на схему они могут быть разделены на статические и динамические.

### Статические погрешности

Они вызываются несколькими причинами.

- Входной ток компараторов  $I_{вх}$  ускоряет заряд конденсатора при одной полярности напряжения и замедляет при другой. Наиболее сильное влияние входной ток оказывает при наименьшем значении ёмкости.
- Составляющая погрешности обусловлена сдвигом нулевого уровня. Напряжения сдвига компараторов изменяют пороговые напряжения.
- Статические погрешности, вносимые ключами, обусловлены конечным сопротивлением открытого ключа и ненулевым током закрытого ключа. Первое приводит к увеличению постоянной времени цепи преобразователя на величину  $R_{откр.кл.}C$ . Действие тока утечки аналогично действию входного тока компараторов.

### Динамические погрешности

Учет влияния динамических процессов на погрешности в схеме существенно сложнее. Основные источники динамических погрешностей:

- пролезание напряжения из цепей управления аналоговыми ключами;
- конечное время открывания и закрывания ключей;

- существенная составляющая погрешности обусловлена задержками в схеме, от момента равенства напряжения на конденсаторе пороговому напряжению до момента перекоммутации аналоговых ключей. Это приводит к возрастанию длительности каждого полупериода колебаний релаксационного генератора. Задержки компараторов зависят от скорости изменения напряжения перевозбуждения.

Все рассмотренные погрешности приводят к зависимости погрешности преобразователя от частоты.

### Характеристика преобразования

Для данного преобразователя ёмкость обратно – пропорциональна давлению (силе), действующему на чувствительный элемент:

$$C = C_{\text{MAX}} / (1 + nP), \quad (2)$$

где  $n$  – константа,  $C_{\text{MAX}}$  – максимальное значение емкости, определяемое рабочим диапазоном первичного преобразователя.

Так как частота выходного сигнала обратно пропорциональна емкости, то:

$$F = m/C = m(1+nP)/C_{\text{MAX}} = F_0 + kP = F_0 + k_1\Delta L, \quad (3)$$

где  $m$  – константа,  $C_{\text{MAX}}$  – максимальное значение емкости,  $F_0$  – начальное значение частоты при давлении равном нулю,  $k = \Delta F / \Delta P$  – чувствительность первичного преобразователя,  $k_1$  – константа,  $\Delta L$  – перемещение мембраны. Идеализированная зависимость линейна. С учётом сказанного выше реальная характеристика преобразования будет отклоняться от линейной.

Задание включает:

- выбор варианта реализации;
- выбор элементной базы;
- расчёт параметров элементов схемы по заданным параметрам первичного преобразователя, рабочему диапазону зазоров и чувствительности;
- построение схемы устройства в выбранной среде моделирования (рекомендуются EWB, OrCAD);

- параметрическое моделирование (варьируя емкость в пределах  $C_{\text{MIN}} - C_{\text{MAX}}$ ) и построение характеристики преобразования;
- приведение характеристики преобразования к виду (3).

Дополнительно необходимо определить для одних и тех же значений  $\Delta L$  выходную частоту по характеристике преобразования и выражению (3). Определить величину абсолютной погрешности как функцию  $\Delta L/L_{\text{MAX}}$  (построить график). Определить максимальную величину погрешности. Сделать предположение об основном источнике погрешности (сформулировать гипотезу и включить её в отчёт). Предложить метод проверки гипотезы моделированием и осуществить проверку. Сделать заключение о верности гипотезы.

**Пример:**

Основным источником погрешности является высокое сопротивление ключа в открытом состоянии (гипотеза).

Определяем по техническим характеристикам сопротивление ключа в открытом состоянии. Последовательно с ключом устанавливаем резистор с сопротивлением равным сопротивлению ключа (в соответствии с гипотезой величина погрешности в выбранной точке характеристики преобразования должна примерно удвоиться).

Измерение частоты и вычисление отклонения от идеализированной характеристики преобразования показало, что погрешность (отклонение) изменилось на 10%.

Вывод: гипотеза неверна.

## **МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ**

Системы многоканального сбора данных в современной практике являются практически обязательным атрибутом любой системы автоматизированного управления. Их составной частью являются системы сбора аналоговых данных. Примером реализации может служить устройство, представленное на рисунке 3.

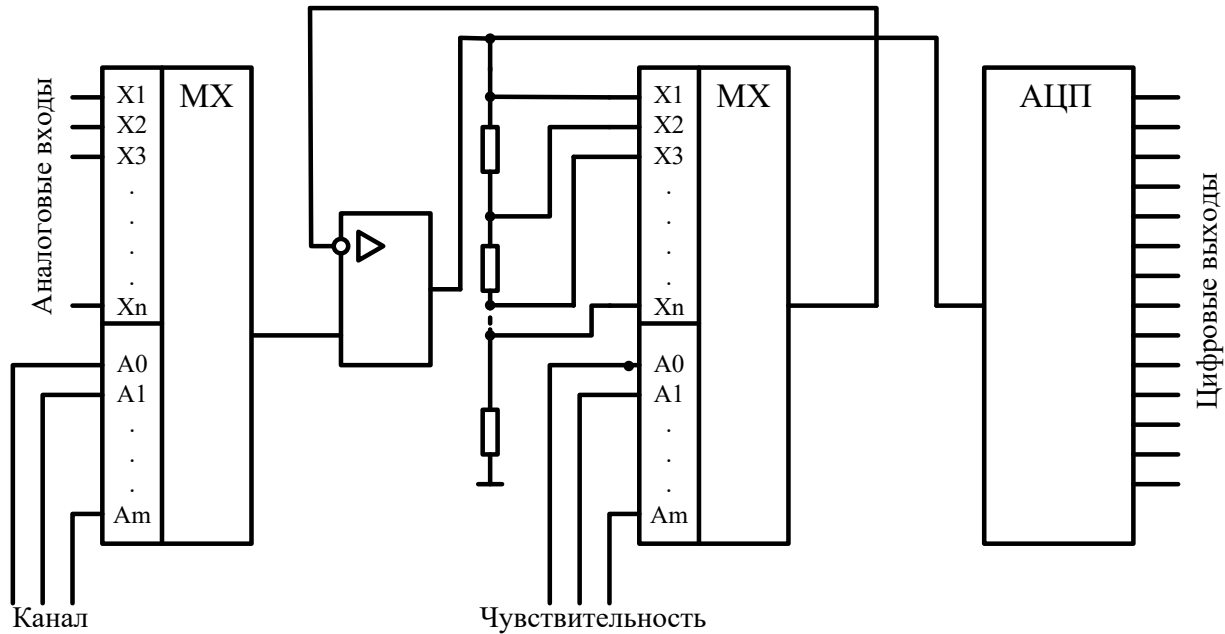


Рисунок 3 – Многоканальная система сбора данных

Система включает в себя коммутатор аналоговых сигналов, буферный усилитель с переменным коэффициентом усиления и аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Система предназначена для поочередного сканирования нескольких источников аналоговых сигналов, масштабирования и преобразования сигналов в цифровой код. Обычно оцифрованные сигналы вводятся в ЭВМ.

Номер текущего канала задается цифровым кодом. Входной сигнал проходит через аналоговый коммутатор и поступает на вход буферного усилителя. Буферный усилитель обеспечивает высокое входное сопротивление. Это резко снижает погрешность, возникающую из-за конечного значения выходного сопротивления источника сигнала и сопротивления коммутатора.

Кроме того, буферный усилитель с переменным коэффициентом усиления согласует динамический диапазон сигнала с динамическим диапазоном АЦП. Регулировка обеспечивается изменением глубины отрицательной обратной связи. Если на инвертирующий вход подаётся всё выходное напряжение, усилитель работает в режиме повторителя (минимальный коэффициент передачи равен единице). Если подаётся только часть выходного напряжения, то глубина обратной связи уменьшается и усиление растёт. Усилитель для

повышения входного сопротивления включен по неинвертирующей схеме. Для реализации потенциальной точности АЦП на его вход должен подаваться сигнал с амплитудой равной максимальному значению преобразуемого напряжения. Поэтому максимальный коэффициент усиления буферного усилителя определяется как отношение минимального входного напряжения АЦП, при котором гарантируется допустимая погрешность преобразования и минимального входного напряжения, подаваемого на входы системы сбора.

Важным параметром системы сбора является количество ступеней управляемого буферного усилителя.

Если принять динамический диапазон входных сигналов равным  $D_C$ , а АЦП –  $D_{ADC}$ , то:

$$D_C \leq (D_{ADC})^n, \text{ отсюда } n \geq \lg D_C / \lg D_{ADC}.$$

Здесь динамические диапазоны входных сигналов и АЦП определяются как отношение соответствующих максимальных значений сигналов к минимальным значениям сигналов, для которых ошибка измерения не превышает заданной величины. Уменьшение количества ступеней делителя требует увеличения разрядности АЦП и наоборот, снижение разрядности АЦП требует увеличения количества ступеней делителя.

Подобные системы входят во многие современные микроконтроллеры и системы на кристалле. При этом для уменьшения диапазона регулировки коэффициента усиления встроенного усилителя применяют АЦП большой разрядности (до 24 бит). Следует отметить, что во встроенных системах коэффициент усиления буферного усилителя программируется как степень двойки (т.е. 1, 2, 4, 8,.. 128..). Такой малый шаг оправдан высокой степенью интеграции ИС и применяемыми технологиями подгонки резисторов делителей или умножающих ЦАП.

## **Погрешности схемы**

**Статические погрешности** обусловлены конечным сопротивлением закрытых ключей коммутаторов, сопротивлением открытых ключей и выходными сопротивлениями источников

сигналов, погрешностью установки коэффициентов усиления и погрешностью собственно АЦП.

- Статическая ошибка входного коммутатора обусловлена падением напряжения на ключе и внутреннем сопротивлении источника сигнала от входного тока буферного усилителя и токов утечек запертых каналов коммутатора. Свой вклад вносит и напряжение смещения буферного усилителя.
- Погрешность установки коэффициента усиления буферного усилителя определяется, прежде всего, погрешностями резистивного делителя и падением напряжения на внутреннем сопротивлении делителя при протекании через него входного тока операционного усилителя и токов утечки мультиплексора.
- При больших коэффициентах усиления сказывается уменьшение глубины отрицательной обратной связи, что приводит к снижению коэффициента усиления по сравнению с расчётным значением.

**Динамические погрешности** вызваны наличием емкостей мультиплексора, буферного усилителя, зависимостью усиления от частоты у последнего, частотной зависимостью синфазной составляющей погрешности операционного усилителя. Высокоомный делитель в цепи обратной связи совместно с ёмкостью мультиплексора и входной ёмкостью операционного усилителя приводят к частотной зависимости глубины обратной связи. Для снижения погрешностей следует уменьшать сопротивление делителя и выбирать быстродействующие операционные усилители. Минимальное значение сопротивления делителя ограничено допустимой нагрузочной способностью операционного усилителя.

Другая составляющая динамической погрешности обусловлена процессами дискретизации (время преобразования конечно и входное напряжение успевает измениться). Для снижения этой составляющей погрешности следует использовать схему выборки-хранения или быстродействующие АЦП.

Задание включает:

- выбор варианта реализации;
- выбор элементной базы;
- определение динамического диапазона АЦП;
- определение количества ступеней делителя;
- расчёт параметров элементов схемы;
- построение схемы устройства в выбранной среде моделирования (рекомендуются EWB, OrCAD);
- моделирование системы сбора данных на постоянном токе при всех коэффициентах усиления буферного усилителя (свип режим, при контроле напряжения на выходе буферного усилителя);
- оценку максимальной погрешности системы сбора по отклонению расчётного значения напряжения на выходе буферного усилителя от измеренного;
- анализ временных диаграмм на выходе буферного усилителя при синусоидальном сигнале наивысшей частоты для максимального и минимального сигналов в пределах динамического диапазона;
- заключение о соответствии или несоответствии полученных значений погрешности заданию.

## **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФАЗОВОГО СДВИГА ВО ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ**

Фазой гармонического напряжения  $U(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$  называется аргумент функции  $U(t)$ , описывающей колебательный процесс. Фаза гармонического напряжения является линейной функцией времени. Угол сдвига фаз представляет собой модуль разности фаз двух гармонических сигналов  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$  одинаковой частоты. Таким образом, если  $U_1(t) = U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$ , а  $U_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$ , то согласно определению угол сдвига фаз  $\Delta\varphi$  равен  $\Delta\varphi = |\varphi_1 - \varphi_2|$ .

Если  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  постоянны во времени, то  $\Delta\varphi$  от времени не зависит. Электронные фазометры используют принцип преобразования фазового сдвига во временной интервал. Этот



временной интервал формируется так, что его длительность оказывается пропорциональна значению измеряемого угла сдвига фаз. Длительность временного интервала определяется при этом методом дискретного счета. Пример функциональной схемы двухполупериодного преобразователя представлен на рисунке 4. Достоинством данного преобразователя является компенсация ухода нулевой линии. В так называемом однополупериодном преобразователе наличие напряжения смещения компаратора приводит к переключению компаратора не в момент перехода входного напряжения через нуль в момент равенства нулю алгебраической суммы входного напряжения и напряжения смещения. В результате этого возникает ошибка формирования прямоугольного импульса. Его фронт появляется с опережением или отставанием по отношению к моменту перехода входного напряжения через нуль. В данном преобразователе за период формируются два выходных импульса. Первый формируется между моментами перехода входными напряжениями нулевых уровней при возрастании, а второй при убывании. При этом сдвиг нулевого уровня будет скомпенсирован, если определять суммарную длительность двух импульсов.

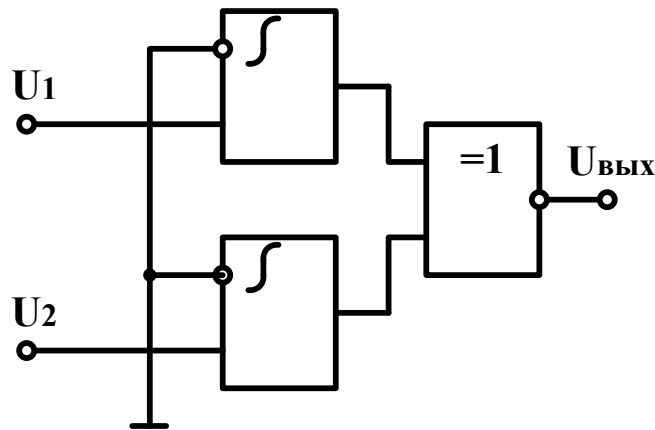


Рисунок 4 – преобразователь фазового сдвига во временной интервал

Временные диаграммы, поясняющие работу устройства приведены на рисунке 5. На рисунке 5 приведены сверху вниз:

- входное напряжение 1;
- входное напряжение 2;

- прямоугольные импульсы, соответствующие входному напряжению 1;
- прямоугольные импульсы, соответствующие входному напряжению 2;
- прямоугольные импульсы пропорциональные фазовому сдвигу.

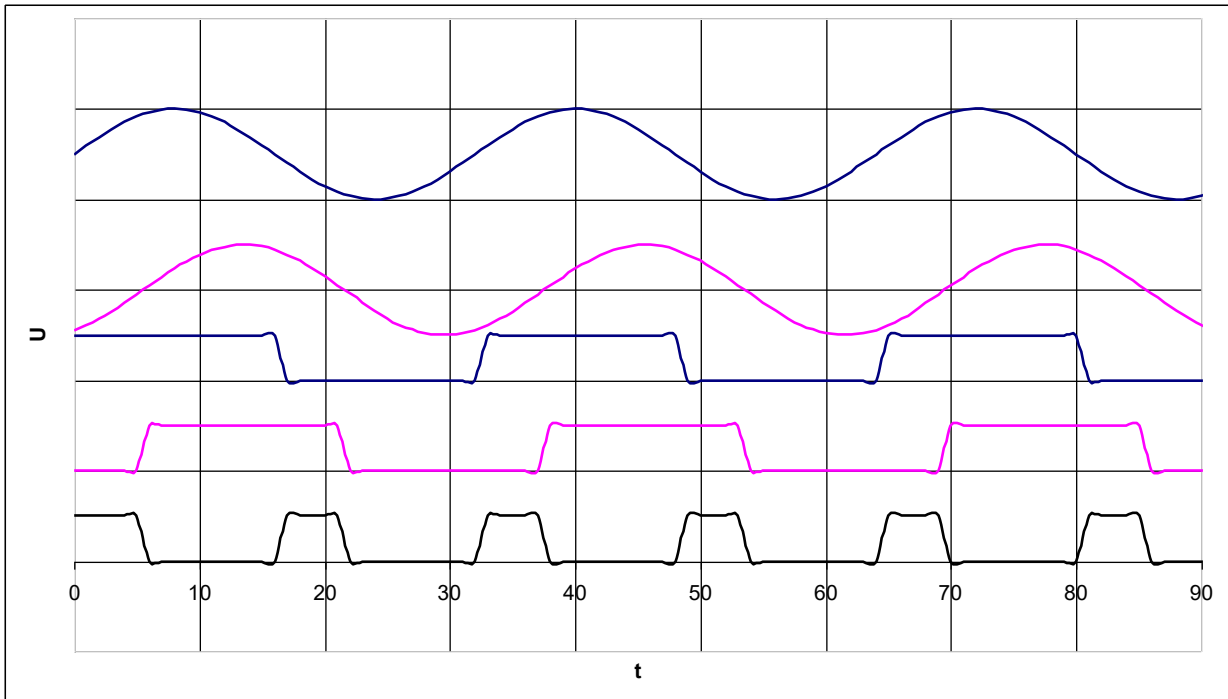


Рисунок 5 – Временные диаграммы преобразователя фазового сдвига во временной интервал

Погрешности преобразователя связаны с различием задержек компараторов, неодинаковой величиной задержек при переходе компаратора от 0 к 1 и обратно, с влиянием на величину задержек амплитуды сигнала и неравенства амплитуд сигналов. Наличие шумов в входных напряжениях приводит к случайным переключениям компараторов. При низких скоростях изменения напряжения на входах компараторов возникает дребезг компаратора (многократные переключения).

Для уменьшения погрешности преобразования применяют следующие меры:

Усиливают входные сигналы до ограничения, или вводят в усилители автоматическую регулировку, стабилизирующую амплитуду выходного сигнала;

Вводят гистерезис (положительную обратную связь) препятствующий дребезгу;

Применяют предварительную фильтрацию входных напряжений, уменьшающую уровень шумов и помех;

Прибегают к коммутации входных сигналов и последующей обработке результатов измерения, позволяющей уменьшить влияние систематической погрешности вносимой компараторами.

Задание включает:

- выбор варианта реализации;
- выбор элементной базы;
- расчёт параметров элементов схемы (резисторов положительной обратной связи при наличии);
- построение схемы устройства в выбранной среде моделирования (рекомендуются OrCAD);
- исследование амплитудной погрешности преобразователя при двух фиксированных частотах входных напряжений (максимальной и минимальной) и нулевом сдвиге фаз;
- исследование частотной погрешности преобразователя при фиксированных амплитудах входных сигналов, отличающихся в два раза и нулевом сдвиге фаз;
- грубую оценку погрешности преобразователя на двух частотах по двум составляющим;
- заключение о соответствии или несоответствии полученных значений погрешности заданию.

Примечание:

исследование преобразователя осуществляется при подаче на его входы сигнала от единого источника синусоидального напряжения через индивидуальные делители напряжения, обеспечивающие разный уровень сигнала на входах компараторов;

угол сдвига фаз на выходе преобразователя осуществляется по результатам измерения среднего значения напряжения на его выходе (следует включить интегрирующую цепочку на выходе элемента «Исключающее ИЛИ» и подключить к нему вольтметр).

## **2. ЭТАПЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Предложенные структурные схемы должны рассматриваться как возможные варианты решения. За студентом остается право выбора альтернативных решений. Альтернативные решения могут существенно отличаться от предлагаемых решений или являться их модификацией. Например, вместо интегрирующей RC-целочки может быть применен интегратор на основе операционного усилителя, или резистор может быть заменен на генератор тока. Некоторые модификации решений предлагаются в данных методических указаниях.

Не следует выбирать первое подвернувшееся под руку решение. Необходимо тщательно изучить решения, предлагаемые в литературе, выделить ключевые отличительные признаки предлагаемых решений, привести их краткие описания и провести сравнительный анализ. При анализе основное внимание следует уделять сложности устройства, сложности регулировки, возможности достижения значений параметров, указанных в ТЗ.

После выбора окончательного решения следует привести детальную структурную схему со всеми существенными связями. Выбор решения должен быть обоснован, т.е. следует обязательно указать достоинства используемого решения по сравнению с другими и его недостатки. Далее следует описать принцип действия устройства по структурной схеме и привести временные диаграммы в характерных точках.

### **Разработка функциональной схемы**

Так как исходное решение прорабатывается на уровне структурной или структурно-функциональной схемы, то на данном шаге все узлы устройства должны быть доведены до уровня функциональных схем. На практике при построении функциональной схемы приходится ориентироваться на конкретные комплектующие изделия (ИС, БИС), так как они определяют степень детальности схемы.

Проиллюстрируем сказанное примером. Вид функциональной схемы системы сбора аналоговой информации во многом зависит от

выбранной БИС аналого-цифрового преобразователя. Если преобразователь включает в свой состав схему выборки-хранения, источник опорного сигнала, то нет смысла в их отображении на функциональной схеме. В альтернативном варианте они должны быть введены в схему и должны разрабатываться.

Отсюда следует вывод, что разработка функциональной схемы и выбор элементной базы взаимно увязаны и сам процесс может носить итерационный характер, т.е. изменение элементной базы может потребовать корректировок функциональной схемы.

### **Расчет основных параметров схемы**

Исходное техническое задание может нормировать потребительские характеристики и параметры устройства косвенно и неоднозначно определяющие его технические параметры. Поэтому при проектировании устройства приходится нормировать его технические характеристики, т.е. уточнять техническое задание.

Такая работа проводится как для всего устройства в целом, так и для отдельных функциональных узлов. Сложность этой работы определяется степенью формализации исходных данных. Относительно просто определяются параметры устройств по вариантам 2-3. Вариант 1 демонстрирует более сложную задачу, т.к. параметры, связывающие величину ёмкости с величиной давления, неизвестны. Это приводит к необходимости оценки характеристики преобразования смещения мембраны в частоту, не в полной мере характеризующей устройство в целом. Задание по варианту 1, может быть сформулировано и менее прозрачно, например, «Разработка электронных весов». При этом тип первичного преобразователя должен быть выбран конструктором. Важно понимать, что большинство практических задач обладают этим «неприятным свойством».

Нормируемые параметры функциональных узлов схемы определяются выполняемой функцией. В большинстве случаев в качестве дополнительного параметра выступает точность реализации функции. Параметры различных функциональных узлов часто взаимозависимы. В этих условиях проводится оптимизация значений зависимых параметров. В качестве критерия выступает точность

реализации функции. Для строгого решения задачи оптимизации надо знать функциональную зависимость точности реализации функции от величины нормируемого параметра. Часто можно использовать линейную модель формирования погрешности, содержащую аддитивную и мультипликативную составляющие погрешности. Параметризация модели может быть осуществлена на этапе электрического расчета схемы. Это означает, что далеко не всегда можно принять решение о значении нормируемого параметра на данном шаге, и окончательное решение может быть отложено до этапа электрического расчета схемы. Рассчитанные параметры схемы и ее узлов представляют собой исходные данные для выбора элементной базы и электрического расчета схемы.

### **Выбор элементной базы и электрический расчет схемы**

В редких случаях можно провести проектирование электронного устройства в строгом соответствии с изложенным здесь порядком. На практике приходится совмещать отдельные шаги, периодически возвращаться к предыдущему этапу, изменяя функциональную и структурную схемы. Выбор элементной базы существенно влияет на функциональную схему устройства и потому его надо начинать на этапе разработки функциональной схемы.

Прежде всего, необходимо определить, нельзя ли отдельные функциональные узлы проектируемого устройства «накрыть» многофункциональным интегральным устройством. Это может быть интегральный таймер, ИС для построения контуров фазовой автоподстройки частоты, аналоговый перемножитель, функциональный генератор и т. п. [3,4]. Если подобных многофункциональных устройств нет, или их параметры не отвечают требованиям, следует переходить к выбору устройств меньшей степени интеграции. Следует стремиться к выбору устройств с минимально достаточными значениями нормируемых параметров.

Величины погрешностей минимизируются на этапе определения номиналов пассивных компонентов схемы. Лишь в случаях невозможности удовлетворить заданной точности при любом выборе номиналов компонентов схемы следует выбрать ИС

с лучшими значениями нормируемых параметров и, следовательно, более дорогостоящую.

Таким образом, электрический расчет схемы состоит в определении номиналов пассивных компонентов схемы, обеспечивающих требуемые значения параметров узлов и минимизирующих величины погрешностей. Если определить связь погрешности функционального узла с параметрами пассивных компонентов не удаётся простыми методами (в том числе из-за нехватки знаний) следует перейти к моделированию и решить задачу методом параметрических исследований или методом подбора.

### 3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОЙ РАБОТЫ

Пояснительная записка должна включать следующие пункты

1. Техническое задание. Описание работы проектируемого устройства в соответствии с вариантом задания.

2. Функциональная (структурная) схема. Описание работы проектируемого устройства в виде взаимодействующих блоков, описание работы каждого блока и связи между ними.

3. Выбор и обоснование принципиальной схемы устройства.

4. Электрический расчет каскадов или звеньев устройства. Расчет каждого каскада усиления или звена, для каждого блока функциональной схемы необходимо привести исходные данные для расчета и электрическую схему. Расчет должен сопровождаться выбором типов транзисторов и диодов, а также стандартных значений сопротивлений и емкостей.

5. Выбор элементной базы. Номинальные значения сопротивлений и емкостей принципиальной схемы после их расчета выбираются в соответствии со стандартными значениями. Некоторые номиналы имеются в каждом стандартном ряду, но различаются допусками.

6. Моделирование разработанной схеме в любой из программ схемотехнического моделирования. Анализ выходных характеристик и рабочих диапазонов.

7. Выполнение чертежа электрической схемы и перечня элементов. Чертеж принципиальной электрической схемы выполняется по стандартам единой системы конструкторской документации (ЕСКД) на листах формата А3 или А2. Условные графические обозначения элементов на схеме должны быть стандартными. Нумерация однотипных элементов на схеме производится слева направо. На чертеже указывается мощность резисторов, типы транзисторов, типы микросхем и номера их выводов, номинальные значения резисторов и конденсаторов, округленные до стандартных значений. На электрической схеме рекомендуется указывать номинальное входное напряжение устройства, постоянные напряжения в одной или двух точках схемы. Около обозначения потенциометра можно наносить надписи, поясняющие его назначение. Все элементы электрической схемы заносятся в перечень элементов, который размещают на листе



чертежа над основной надписью и заполняют сверху вниз. Допускается перечень элементов оформлять в виде отдельного документа, выполненного на листах формата А4.

Оформление пояснительной записки производится в соответствии с требованиями, предъявляемыми к пояснительным запискам и содержать следующее.

1. Титульный лист.
2. Содержание.
3. Задание на проектирование.
4. Введение, в котором должна быть определена общая идеология синтеза и расчета схемы устройства.
5. Структурированное, т.е. разбитое на нумерованные разделы и подразделы, изложение всех этапов синтеза, расчета и моделирования схемы устройства. Изложение должно включать обоснование всех технических решений, применяемых разработчиком.
6. Заключение, в котором должны быть приведены параметры рассчитанного усилителя и сделан вывод об их соответствии техническому заданию. Кроме того, в заключении необходимо кратко проанализировать результаты компьютерного моделирования. В случае существенных расхождений между расчетными параметрами схемы и результатами моделирования необходимо дать объяснения причин этих расхождений.
7. Список литературы, использованной при выполнении работы. Ссылки на источники информации по тексту пояснительной записки обязательны.
8. Приложения, в которые выносятся вспомогательная информация, использованная при расчете усилителя, например, справочные характеристики и параметры транзисторов и других элементов схемы. В приложения целесообразно также вынести результаты компьютерного моделирования рассчитанной схемы.

Отдельно от пояснительной записки в соответствии с требованиями ЕСКД оформляются полная электрическая

принципиальная схема и перечень элементов рассчитанного усилителя.

Объем пояснительной записки обычно составляет 15-20 страниц машинописного текста.

Защита курсовой работы. Курсовая работа, представляемая к защите, должна содержать принципиальную электрическую схему разработанного устройства, перечень элементов принципиальной схемы, пояснительную записку, выполненную в соответствии с требованиями ЕСКД. Для защиты курсовой работы готовится выступление на 4-5 минут, в котором освещаются задачи, поставленные на курсовое проектирование, способы решения задач, достигнутые результаты. По итогам защиты курсовой работы выставляется оценка.

#### 4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

№	Тема	Задание
1	Схема реверсивного управления ДПТ на основе сигналов датчиков Холла.	Разработать схему управления ДПТ на основе сигналов двух аналоговых датчиков Холла по следующей логике: если сработал 1 датчик, включаем двигатель в прямом направлении, если сработал второй — в обратном. Напряжение питания схемы 12В, напряжение питания двигателя 12 В, максимальный ток двигателя 1А.
2	Схема управления звуковой сигнализацией.	Разработать схему включения звуковой сигнализации при срабатывании одного из двух реле, если третье реле при этом разомкнуто. В случае, когда третье реле замкнуто — звук не включаем. Сигнализация включится при подаче напряжения более 5 В и потребляет ток 500 мА. Питание схемы 12 В.
3	Схема изменения направления вращения ДПТ в	Разработать схему управления ДПТ на основе информации с датчика температуры по следующей логике: если температура

	зависимости от температуры.	выше 20 градусов, вращаем двигатель в прямом направлении, иначе — в обратном. Питание двигателя 5В, максимальный ток 500мА. Напряжение питания схемы 12В.
4	Схема реверсивного управления ДПТ на основе сигналов датчиков температуры.	Разработать схему управления ДПТ на основе информации с датчика температуры по следующей логике: если температура выше 25 градусов, вращаем двигатель в прямом направлении, если ниже 15градусов — в обратном. Питание двигателя 12В, максимальный ток 500мА. Напряжение питания схемы 12В.
5	Схема коммутации независимых двух устройств с помощью датчиков Холла.	Разработать схему, которая коммутирует две независимые нагрузки по следующей логике: если сработал 1 датчик холла, включаем обе нагрузки, если 2 датчик — только первую. Напряжение, подаваемое на нагрузку, не менее 4 В, напряжение питания 12 В, максимальный ток нагрузки 500 мА.
6	Схема ступенчатого управления обогревателем.	Разработать схему, подающую напряжение на обогреватель обратно пропорционально температуре в помещении по следующей логике: при 5 градусах мощность обогревателя 1кВт, при 15 градусах — 500 Вт. Сопротивление нагревателя не меняется при изменении температуры. Напряжение питания 24В.
7	Схема для измерения сопротивления в последовательной цепи.	Разработать измерительную схему, определяющую среднее значение сопротивления 4 подключенных к ней резисторов сопротивлением до 5 кОм с выходным напряжением 1В/1Ом. Ток через резисторы не должен превышать 0,01мА.
8	Схема управления обогревателем по среднему значению температуры.	Разработать схему, определяющую среднее значение температуры по 4 датчикам температуры и включающую нагреватель мощностью 1кВт при температуре ниже 18

		градусов. Напряжение питания схемы 24 В.
9	Схема управления вентилятором по среднему значению температуры.	Разработать схему, определяющую среднее значение температуры по 4 датчикам температуры и включающую вентилятор с регулируемой мощностью: 1кВт при температуре 25 градусов, 100Вт при температуре 15 градусов. Напряжение питания схемы 24 В.
10	Схема пропорционального управления напряжением нагрузки.	Разработать схему, подающую на нагрузку напряжение, пропорциональное сопротивлению реостата с коэффициентом 1В/кОм, но не более 7В. Напряжение питания 12В, ток реостата не более 0,1 мА.
11	Схема пропорционального управления напряжением нагрузки с ограничением тока.	Разработать схему, подающую на нагрузку напряжение, пропорциональное сопротивлению реостата с коэффициентом 1В/кОм, но не более 9В и не менее 3В. Напряжение питания 12В, ток реостата не более 0,1мА.
12	Схема управления ДПТ с задержкой включения.	Разработать схему включения двигателя мощностью 40Вт через 1 сек. после срабатывания датчика Холла. Напряжение питания 12 В.
13	Схема для определения максимального сопротивления в последовательной цепи.	Разработать схему, позволяющую измерить сопротивление трех последовательно включенных резисторов и вывести напряжение, пропорциональное сопротивлению большего их них с коэф. 2В/кОм. Включать светодиод, если значение не может быть измерено. Напряжение питания 12В.
14	Схема для определения среднего значения сопротивления в последовательной цепи.	Разработать схему, позволяющую измерить сопротивление трех последовательно включенных резисторов и вывести напряжение, пропорциональное среднему сопротивлению них с коэф. 3В/кОм. Включать светодиод, если значение не может

		быть измерено. Напряжение питания 12В.
15	Схема индикации расхождения значений датчиков температуры.	Разработать схему, включающую светодиод, если температура измеренная одним датчиком более чем на 10 градусов превышает температуру, измеренную вторым. Напряжение питания 12В.
16	Схема индикации минимального набора срабатываний датчиков.	Разработать схему, включающую светодиод, если сработали любые два датчика Холла из четырех. Напряжение питания 12В.
17	Схема индикации разницы температур.	Разработать схему, включающую светодиод, если температура измеренная одним датчиком более чем на 5 градусов отличается от температуры, измеренную вторым. Напряжение питания 12В.
18	Схема реверсивного управления ДПТ с ограничением тока.	Разработать схему управления ДПТ на основе двух переключателей по следующей логике: если сработал 1, включаем двигатель в прямом направлении, если сработал второй — в обратном. Напряжение питания схемы 12В, напряжение питания двигателя 5 В, максимальный ток двигателя 500мА.
19	Схема релейного управления звуковой сигнализацией	Разработать схему включения звуковой сигнализации при срабатывании одного из двух реле, если третье реле при этом замкнуто. В случае, когда третье реле разомкнуто — звук не включаем, но включаем светодиод. Сигнализация включится при подаче напряжения более 5 В и потребляет ток 500 мА. Питание схемы 12 В.
20	Схема параллельного управления двумя нагрузками.	Разработать схему, которая коммутирует две независимые нагрузки по следующей логике: если сработали два датчика холла, включаем обе нагрузки, если один любой датчик — только первую. Напряжение, подаваемое на нагрузку, не менее 4 В, напряжение питания

		12 В, максимальный ток нагрузки 500 мА.
21	Схема управления двигателем по превышению температуры	Разработать схему включения двигателя мощностью 20Вт через 1 сек. после того, как температура измеренная датчиком превысит 10 градусов. Напряжение питания 12 В.
22	Схема пропорционального управления напряжением нагрузки.	Разработать схему, подающую на нагрузку напряжение, пропорциональное сопротивлению реостата с коэффициентом 1В/кОм, но не более 7В. Напряжение питания 12В, ток реостата не более 0,1 мА.
23	Схема индикации отклонения температуры от среднего значения	Разработать схему на основании двух датчиков температуры, включающую светодиод, если температура измеренная хотя бы одним датчиком более чем на 5 градусов отличается от средней температуры. Напряжение питания 12В.
24	Схема индикации отклонения температуры от порогового значения	Разработать схему на основании двух датчиков температуры, включающую светодиод, если температура измеренная хотя бы одним датчиком более чем на 10 градусов отличается от 20 градусов. Напряжение питания 12В.
25	Схема коммутации двух независимых нагрузок по сигналу датчиков Холла	Разработать схему, которая коммутирует две независимые нагрузки по следующей логике: если сработали два датчика холла, включаем обе нагрузки, если один любой датчик — только первую. Напряжение, подаваемое на нагрузку, не менее 4 В, напряжение питания 12 В, максимальный ток нагрузки 500 мА.
26	Схема управления вентилятором по среднему значению температуры.	Разработать схему, определяющую среднее значение температуры по 4 датчикам температуры и включающую вентилятор мощностью 400Вт при температуре выше 25 градусов. Напряжение питания схемы 12 В.