Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Пензенский государственный университет
Кафедра “Вычислительная техника”

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проектированию
по курсу “Электротехника, электроника и схемотехника”
на тему “Устройство измерения и управления.”

Выполнил:
Студент группы 24ВВВ3
Виноградов Б.С.
Принял:
к.т.н., доцент Бычков А.С.

03.06.26

Пенза 2026

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет: Вычислительная техника
Кафедра: Вычислительная техника

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой _____М.А. Митрохин

«_____»_____20___г.

ЗАДАНИЕ

на курсовое проектирование по курсу
Электротехника, электроника и схемотехника

Студенту: Виноградов Богдан Сергеевич Группа: 24ВВВ3

Тема проекта: Устройство измерения и управления - 55

Исходные данные (технические требования) на проектирование

Устройство предназначено для контроля наклона стены дома и использует в качестве датчика микросхему ADXL103. Требуемый диапазон измерения простирается от -0,15g до +0,15g, что примерно соответствует диапазону измерения угла относительно перпендикуляра к поверхности Земли ±10°. Устройство преобразует сигнал с датчика в выходное напряжение, меняющееся в диапазоне (0…4) В. Для устройства задаются верхний порог 0,05g и нижний порог -0,05g. При преодолении установленных порогов устройство выполняет определённые действия, управляя двумя светодиодами, двумя реле и одним динамиком с активным сопротивлением 600 Ом. В устройстве должны использоваться реле типа TR99-5.

Если наклон окажется выше верхнего порога, то первый светодиод должен включиться на 6 сек, первое реле должно включиться на 6 секунд с момента превышения порога, если превышение сохраняется, динамик должен гудеть с частотой 256Гц.

Если наклон окажется ниже нижнего порога, то второй светодиод должен мигать с периодом 4 сек во время преодоления порога три раза, второе реле должно включиться, динамик должен гудеть с частотой 512Гц с периодом в 6 секунд.

При проектировании принципиальной схемы устройства следует ориентироваться на применение цифровых элементов серии 1554. Разрешается применять для питания устройства напряжения ±5В, ±15В.

Объём работы по курсу

1. Расчётная часть

Разработать структурную, функциональную и принципиальную схемы устройства, максимально используя интегральные микросхемы, привести краткие технические параметры используемых микросхем, рассчитать все навесные компоненты, описать работу устройства по функциональной и принципиальной схемам с привлечением временных диаграмм, выполнить электронное моделирование устройства (входной усилитель, компараторы уровней, часть выходных цепей по согласованию с руководителем) и привести результаты, определив при этом параметры смоделированной части.

2. Графическая часть

Схема электрическая структурная – 1 лист формата А3 (297х420 мм^2)
Схема электрическая функциональная – 1 лист формата А3 (297х420 мм^2)
Схема электрическая принципиальная – (1-2) формата А2 (420х594 мм^2)

3. Экспериментальная часть

Электронное моделирование блока

Срок выполнения проекта по разделам

Согласно графику выполнения проекта, представленного в методических указаниях к курсовому проекту

Дата выдачи задания 05.02.2026

Дата защиты проекта…….

Руководитель 05.02.2026

Задание получил 05.02.2026

Студент

Содержание

Введение 5
1 Разработка структурной схемы устройства 6
2 Разработка функциональной схемы устройства 7
2.1 Описание работы устройства по временным диаграммам 7
2.2 Разработка функциональных схем блоков управления 8
2.2.1 Блок управления первым светодиодом VD1 8
2.2.2 Блок управления первым реле K1 8
2.2.3 Блок управления вторым светодиодом VD2 9
2.2.4 Блок управления вторым реле K2 10
2.2.5 Блок управления динамиком BA1 10
2.2.6 Описание работы устройства по функциональной схеме 11
3 Разработка принципиальной схемы устройства 13
3.1 Расчет усилителя 16
3.2 Расчет делителей 16
3.2.1 Расчет делителя для верхнего порога (компаратор DA4.1) 16
3.2.2 Расчет делителя для нижнего порога (компаратор DA4.2): 17
3.3 Расчет схем управления светодиодами 18
3.3.1 Расчет токоограничительных цепей (R12, R17) 18
3.3.2 Расчет базовых цепей управления (R10, R15) 18
3.3.3 Расчет временных параметров 19
3.3.4 Расчет частотозадающей цепи генератора 19
3.4 Расчет схем управления реле 20
3.4.1 Анализ цепи питания обмоток реле (R14, R16) 21
3.4.2 Расчет базовых цепей управления (R11, R13) 22
3.5 Расчет блока управления динамиком 23
3.5.1 Расчет базового ограничительного резистора R18 23
3.5.2 Расчет времязадающих конденсаторов (C22, C19, C21) 24
3.6 Описание работы устройства по принципиальной схеме 25
3.6.1 Организация питания устройства 26
3.6.2 Входной измерительный узел и аналоговое преобразование 26
3.6.3 Алгоритм работы схемы при превышении верхнего порога (+0,05g) 26
3.6.4 Алгоритм работы схемы при превышении нижнего порога (–0,05g) 27
3.6.5 Возврат в дежурный режим 28
4 Результаты электронного моделирования устройства 29
Заключение 32
Список использованных источников 33
Приложение А 34
Приложение Б 36
Приложение В 38
Приложение Г 40

					ПГУЗ 090301.55. 001 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Устройство измерения и управления. Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Виноградов Б. С.					1	1
Провер.		Бычков А.С.				ФВТ, гр.24ВВВ3		
Реценз.								

Введение

В соответствии с заданием курсового проектирования разрабатывается устройство для контроля наклона стены дома.

Реализуемое устройство должно управлять двумя светодиодами, двумя реле и динамиком. В качестве измерительного элемента используется микросхема ADXL103. Требуемый диапазон измерения простирается от –0,15g до +0,15g, что примерно соответствует диапазону измерения угла относительно перпендикуляра к поверхности Земли ±10º. Диапазон выходного напряжения устройства после преобразования сигнала датчика составляет от 0 до +4 В.

В результате была разработана схема, с помощью которой человек может визуально или с помощью звука получить информацию о превышении допустимого наклона стены.

Если наклон окажется выше верхнего порога (0,05g), то первый светодиод должен включиться на 6 секунд, первое реле должно включиться на 6 секунд с момента превышения порога, а если превышение сохраняется, динамик должен гудеть с частотой 256 Гц непрерывно.

Если наклон окажется ниже нижнего порога (–0,05g), то второй светодиод должен мигать с периодом 4 секунды во время преодоления порога три раза, второе реле должно включиться, а динамик должен гудеть с частотой 512 Гц с периодом 6 секунд (например, 6 секунд звука, затем пауза, или звук с периодичностью 6 секунд — при необходимости это можно уточнить на этапе разработки логики схемы).

При проектировании принципиальной схемы устройства предполагается применение цифровых элементов серии 1554 (КМОП). Для питания устройства разрешается использовать напряжения ±5 В и ±15 В.

1 Разработка структурной схемы устройства

В соответствии с поставленной задачей была разработана структурная схема, представленная в приложении А. Устройство содержит: датчик, усилитель, первый и второй компараторы, блоки управления светодиодами, динамиком и реле.

Как видно из схемы, напряжение с датчика через усилитель преобразуется в напряжение 0…4В, это напряжение подается на 2 компаратора, которые сравнивают сигнал с усилителя и порогами и преобразуют в логический 0 или 1, эти сигналы подаются на блоки управления реле и светодиодами. Работа динамика зависит от 2 порогов, поэтому на него поступает сигнал с 2 компараторов.

При проектировании принципиальной схемы устройства следует ориентироваться на применение цифровых элементов серии КМОП.

2 Разработка функциональной схемы устройства

2.1 Описание работы устройства по временным диаграммам

Временные диаграммы работы устройства представлены на рисунке 1.

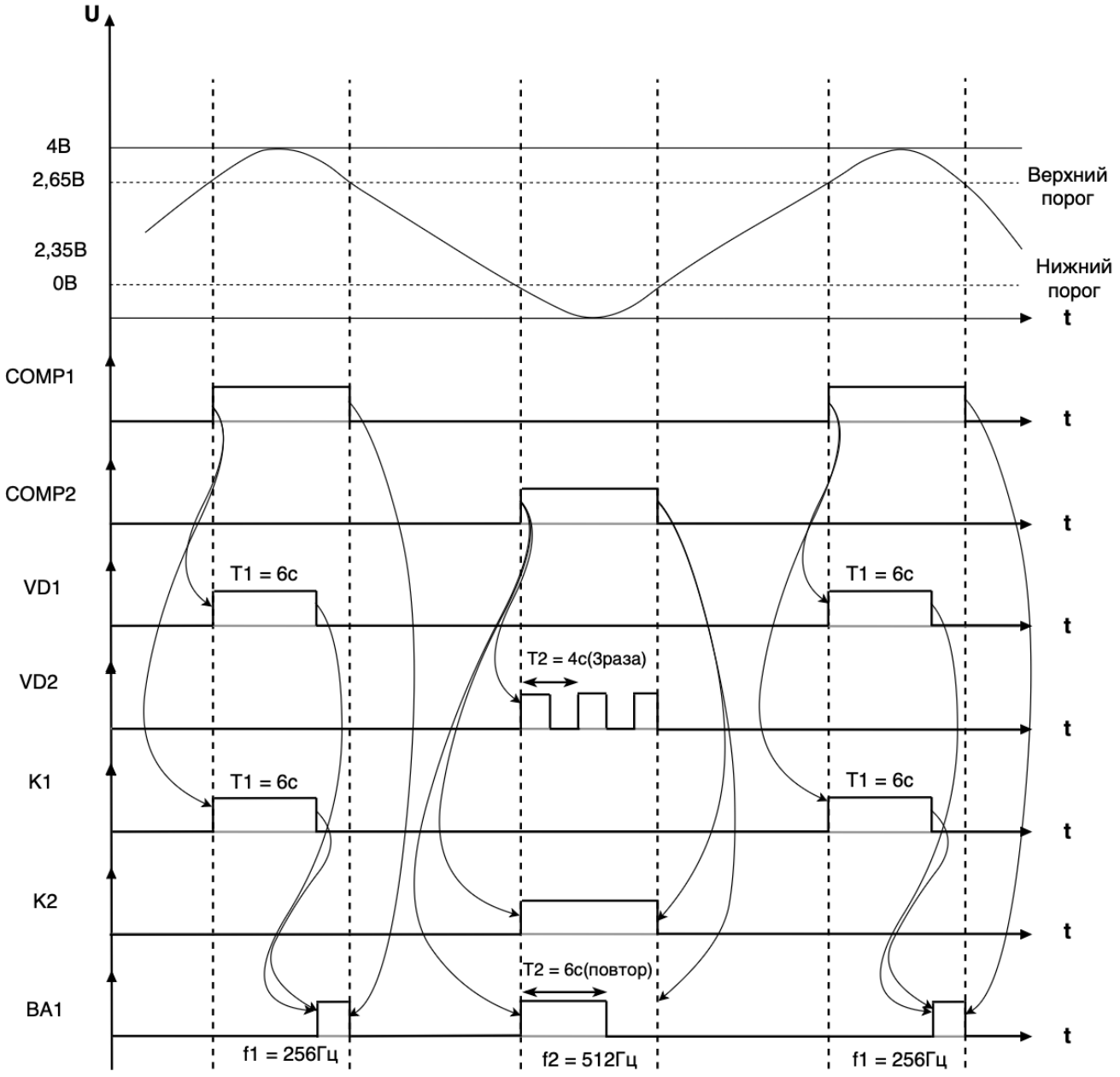


Рисунок 1 – Блок управления вторым светодиод

На диаграмме показана реакция системы устройства на преодоление порогов наклона.

На диаграмме видно, что при превышении верхнего порога напряжением 2,65 В (+0,05g), компаратор DA4.1 формирует на своем

выходе уровень логической единицы. Под действием этого сигнала светодиод VD1 и первое реле K1 включаются ровно на 6 секунд. Если по истечении этого времени превышение порога сохраняется, активируется динамик BA1 и начинает непрерывно гудеть с частотой f1 = 256 Гц.

Если произойдет преодоление нижнего порога 2,35 В (-0,05g), то на выходе компаратора DA4.2 сформируется активный сигнал в виде уровня единицы. По этому сигналу второе реле K2 остается включенным на всё время существования аварии, а светодиод VD2 совершает ровно 3 такта мигания и гаснет. Одновременно с этим динамик BA1 выдает прерывистый звуковой сигнал с частотой f2 = 512 Гц.

2.2 Разработка функциональных схем блоков управления

2.2.1 Блок управления первым светодиодом VD1

Блок управления первым светодиодом представлен на рисунке 2.

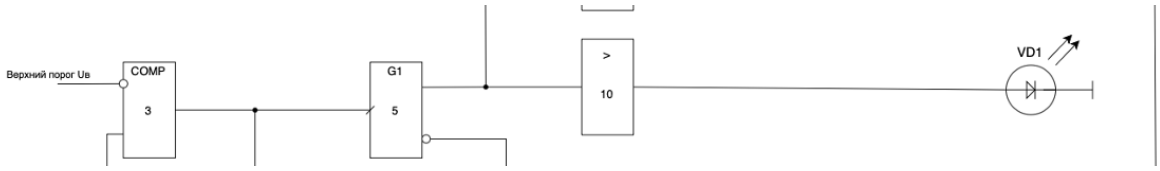


Рисунок 2 – Блок управления первым светодиодом

Сигнал с компаратора COMP (3) поступает на вход запуска таймера-одновибратора G1 (5). Данный блок формирует временной интервал, необходимый для фильтрации ложных срабатываний. Выходной сигнал с одновибратора G1 (5) через усилитель мощности (10) подается на светодиод VD1, обеспечивая его свечение при превышении верхнего порога.

2.2.2 Блок управления первым реле K1

Блок управления первым реле представлен на рисунке 3.

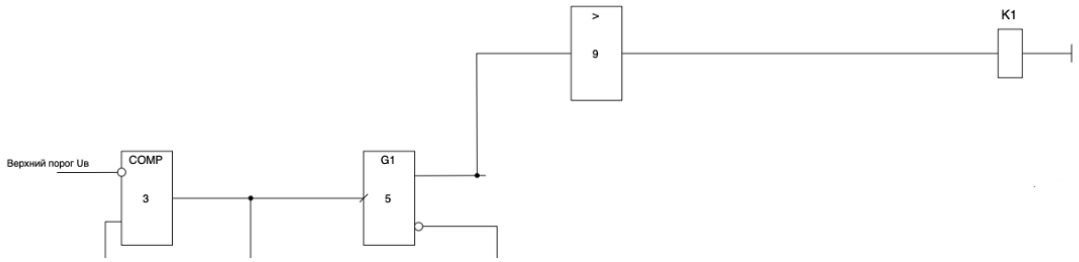


Рисунок 3 – Блок управления первым реле

Сигнал с компаратора COMP (3) поступает на вход запуска таймера-одновибратора G1 (5). Данный блок формирует временной интервал, необходимый для фильтрации ложных срабатываний. Выходной сигнал с одновибратора G1 (5) через усилитель мощности (9) подается на реле K1, обеспечивая его замыкание при превышении верхнего порога.

2.2.3 Блок управления вторым светодиодом VD2

Блок управления вторым светодиодом представлен на рисунке 4.

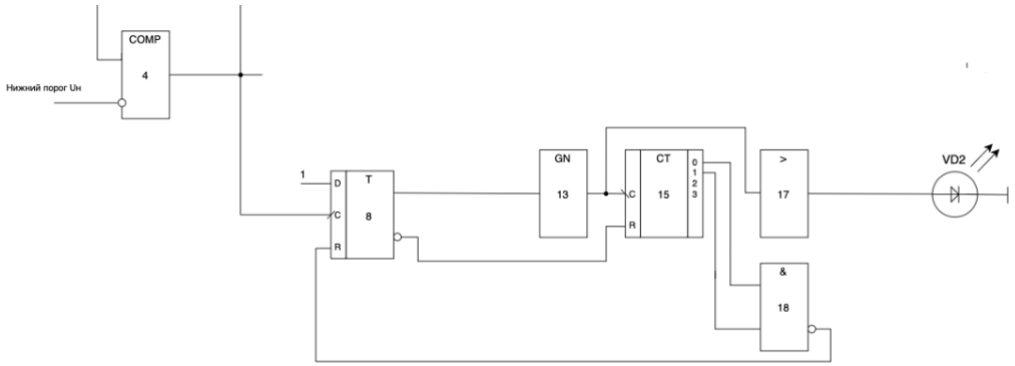


Рисунок 4 – Блок управления вторым светодиод

Сигнал с компаратора COMP (4) поступает на тактовый вход (C) D-триггера (8), переводя его в состояние логической “1”. Прямой выход триггера разрешает работу генератора GN (13), импульсы с которого поступают на светодиод VD2 (через усилитель 17) и одновременно на вход счетчика CT (15). При достижении счетчиком кода “3”, логический элемент & (18) формирует сигнал сброса, который через вход R переводит триггер и счетчик в исходное состояние. Данная структура обеспечивает циклическое мигание светодиода ровно три раза при срабатывании нижнего порога.

2.2.4 Блок управления вторым реле K2

Блок управления вторым реле представлен на рисунке 5.

Рисунок 5 – Блок управления вторым реле

Сигнал с компаратора COMP (4) поступает на усилитель мощности (7), обеспечивая его замыкание при превышении верхнего порога.

2.2.5 Блок управления динамиком BA1

Блок управления динамиком представлен на рисунке 6.

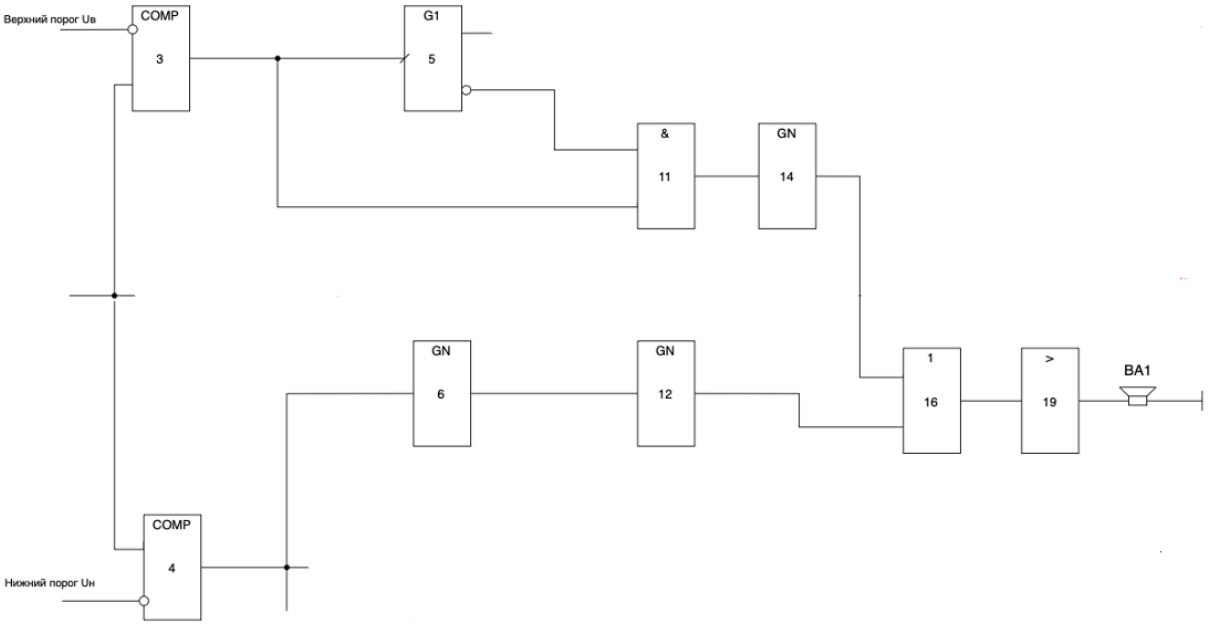


Рисунок 6 – Блок управления динамиком

Звуковая индикация реализована на базе динамика BA1, управляемого через логический сумматор — элемент «ИЛИ» (16). Система обеспечивает воспроизведение уникальных тональных сигналов для каждого порога:

– Канал верхнего порога: Сигнал с инверсного выхода одновибратора G1 (5) поступает на логический элемент «И» (11), который разрешает работу генератора GN (14). Генератор формирует звуковой тон частотой 256 Гц. Использование инверсного выхода позволяет реализовать логическую операцию "И" для формирования условий включения звука. Инверсный выход выступает в роли управляющего ключа: при активации одновибратора он снимает блокировку с генератора звука, что позволяет избежать конфликта сигналов и четко синхронизировать начало звукового оповещения с фронтом аварийного импульса.

– Канал нижнего порога: Сигнал от компаратора COMP (4) поступает на каскад последовательно соединенных генераторов: GN (6) (задает период прерывистости 6 с) и GN (12) (задает частоту звука 512 Гц).

Выходные сигналы от обоих каналов объединяются логическим элементом «ИЛИ» (16), усиливаются каскадом (19) и подаются на динамик BA1. Данная схемотехническая архитектура позволяет динамику воспроизводить различные по характеру и частоте звуковые сигналы, обеспечивая однозначную идентификацию типа аварийной ситуации.

2.2.6 Описание работы устройства по функциональной схеме

Функциональная схема устройства представлена на чертеже Э2.

Сигнал с датчика после усиления поступает на два компаратора, определяющих границы рабочего диапазона. При отклонении параметра от нормы система активирует соответствующие каналы:

– Верхний порог: запускается одновибратор G1, который включает индикатор VD1, реле К1 и активирует непрерывный звуковой сигнал (256 Гц).

– Нижний порог: активируется логическая цепочка (триггер, генератор, счетчик), обеспечивающая мигание индикатора VD2, включение реле К2 и прерывистый звуковой сигнал (512 Гц).

Такое разделение позволяет оператору мгновенно определить характер аварии по частоте звука и способу индикации, а фильтрация сигналов исключает ложные срабатывания.

3 Разработка принципиальной схемы устройства

3.1 Расчет усилителя

Тип датчика (Д) - ADXL103.

$U_{пит} = 5В$,

Диапазон измерения: $-0,15g \div +0,15g$

Ивых ОУ: $0В \div +4В$

Чувствительность: $1В/g$

При $g=0$, Ивых датчика $U_0 = \frac{U_{пит}}{2} = \frac{5}{2} = 2,5В$ (минимум шкалы)

Рассмотрим диапазон напряжений на выходе Д (на входе ОУ):

$U(0,15g) = U_0 + 1^{В}/_{g} \cdot 0,15g = 2,5В + 0,15В = 2,65В$

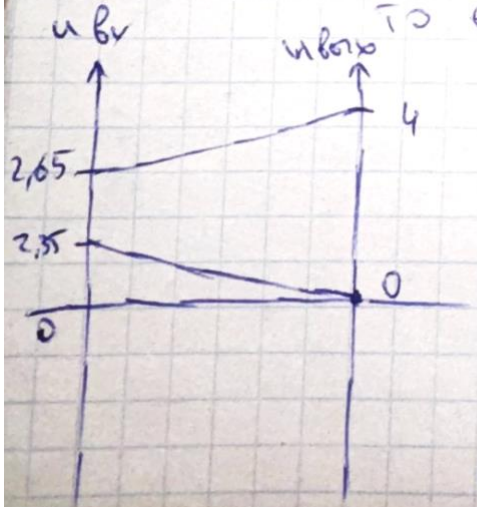
$U(-0,15g) = U_0 - 1^{В}/_{g} \cdot 0,15g = 2,5В - 0,15В = 2,35В$

По заданию: $-0,15g \rightarrow 0В$ на вых ОУ

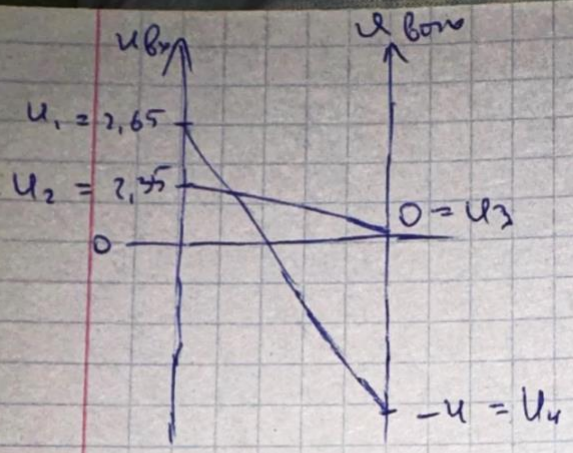
$0,15g \rightarrow +4В$ на вых ОУ.

то есть:

$2,35В \rightarrow 0В$
$2,65В \rightarrow +4В$



Это соответствует ОУ с $K_{у}>0$. Реализуем схему на ОУ с $K_{у}<0$:



где:

$U_1 = 2,65\,В \rightarrow -4В = U_4$

$U_2 = 2,35\,В \rightarrow 0В = U_3$

Для инв ОУ имеем:

$\Delta U_{вх} = U_{вх}^{max} - U_{вх}^{min} = 2,65 - 2,35 = 0,3В$ –

– приращение входного напряжения

$\Delta U_{вых} = U_{вых}^{min} - U_{вых}^{max} = -4 - 0 = -4В$ –

– приращение выходного напряжения

$K_y = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}} = -\frac{4}{0,3} = -13,333 \Rightarrow$

$\Rightarrow K_y < 0$ – верно!

Напряжение смещения $U_2 \frac{U_3}{K_y} - U_2 =$

$= \frac{0}{-13,33} - 2,35 = 0 - 2,35 = -2,35 = U_1$

Выбираем: $\boxed{R_1 = R_2 = 10К}$

$K_y = \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_3}{10к}$

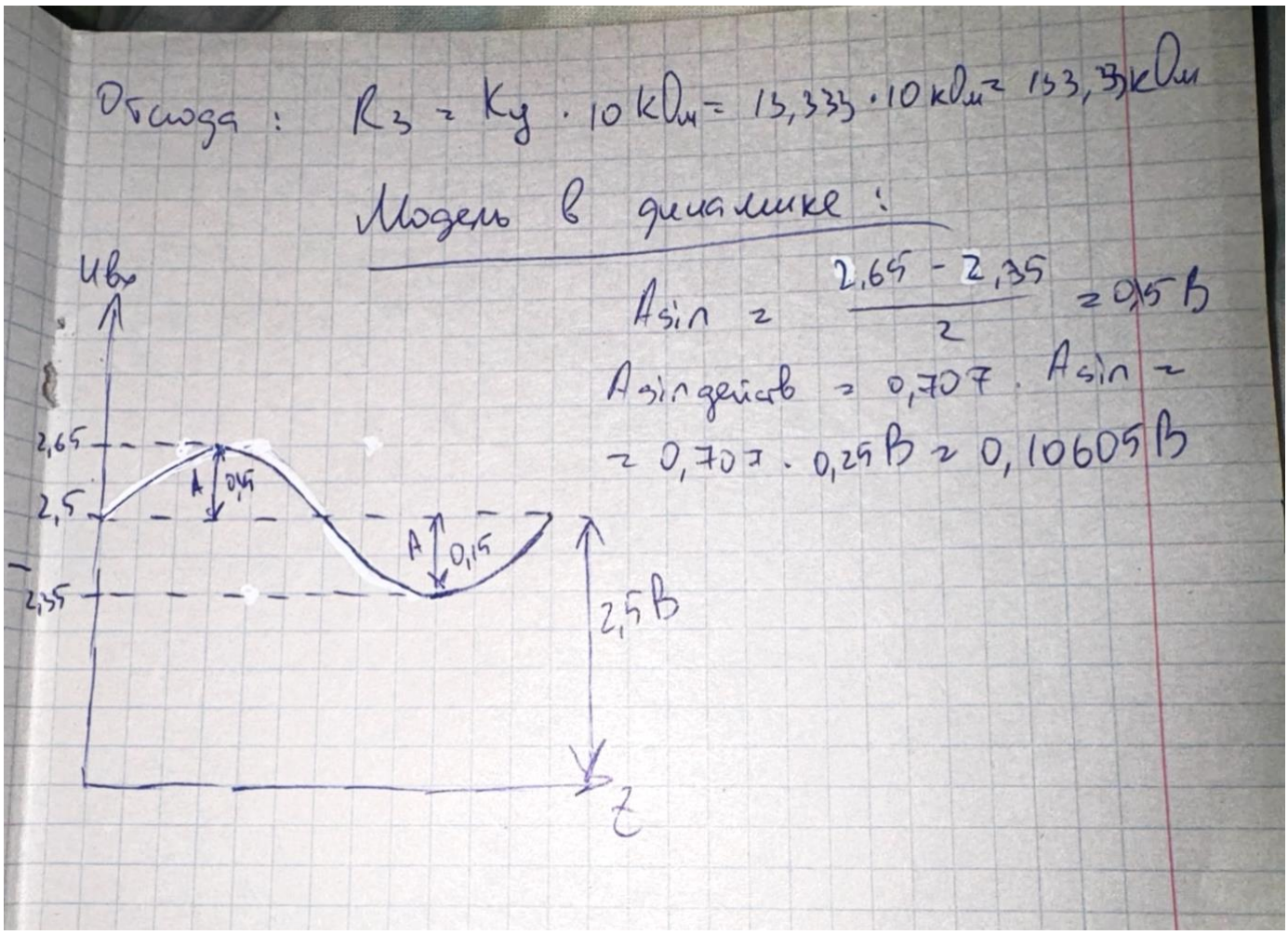


Схема операционного усилителя с акселерометром представлена на рисунке 7.

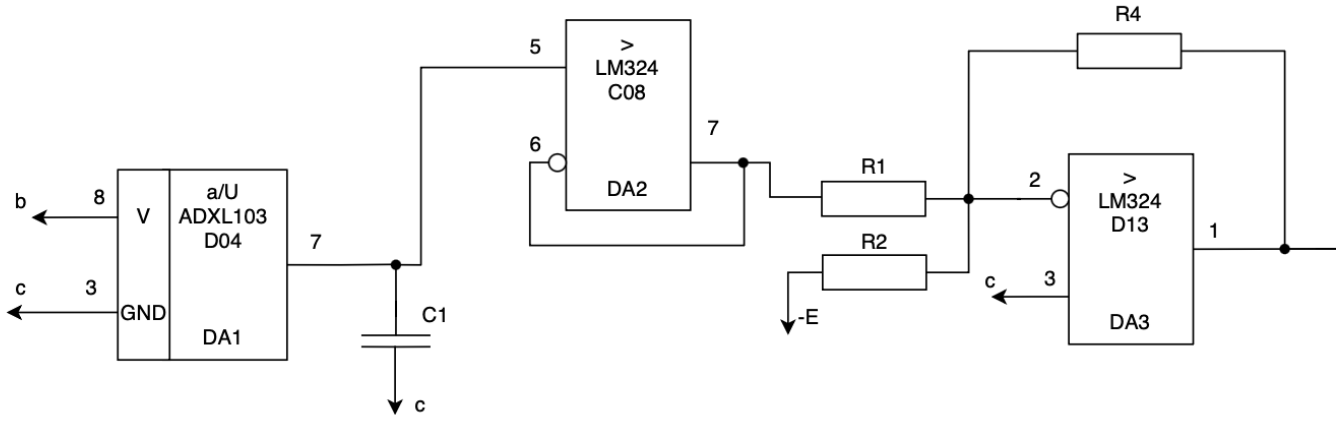


Рисунок 7 – Схема ОУ с акселерометром

R4 на схеме соответствует R3 по расчету, в ходе построения схемы он был переназван. Для реализации схемы были выбраны прецизионные резисторы серии С2-29В. Номиналы выбраны из стандартного ряда Е24 и

E96, так как они обеспечивают необходимую точность для данного схемотехнического решения, а мощность 0,5 Вт выбрана с запасом для исключения перегрева компонентов. В качестве резисторов R1 и R2 будут С2-29В-0,5-10 кОм ±1%, в качестве R4 - С2-29В-0,5-133 кОм ±1%.

3.2 Расчет делителей

3.2.1 Расчет делителя для верхнего порога (компаратор DA4.1)

Схема верхнего делителя состоит из резисторов R8 (верхнее плечо) и R6 (нижнее плечо). Напряжение питания делителя $U_{пит}$ = 5В. Зададим ток через делитель равный I = 2мА (0,002 А). Тогда общее сопротивление ветви делителя составит:

$$R = U / I = 5 / 0{,}002 = 2500Ом$$

Пороговое напряжение $U_{вп}$ формируется на нижнем резисторе R6. Его сопротивление определится из выражения по закону Ома:

$$R6 = U / I = 2{,}65/0{,}002 = 1325Ом$$

Сопротивление верхнего резистора R8 находится как разность:

$$R8 = R – R6 = 2500 – 1325 = 1175Ом$$

Схема первого делителя представлена на рисунке 8.

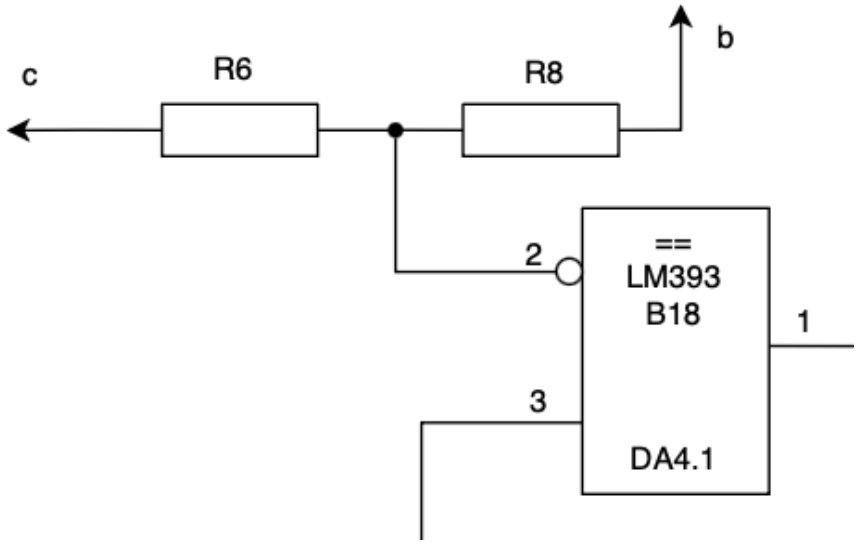


Рисунок 8 – Схема делителя 1-го компаратора

3.2.2 Расчет делителя для нижнего порога (компаратор DA4.2):

Схема нижнего делителя состоит из резисторов R5 (верхнее плечо) и R7 (нижнее плечо). Общее сопротивление ветви также равно 2500 Ом. Пороговое напряжение $U_{нп}$ формируется на нижнем резисторе R7:

$$R7 = U / I = 2,35/0,002 = 1175Ом$$

Сопротивление верхнего резистора R8 находится как разность:

$$R5 = R – R7 = 2500 – 1175 = 1325Ом$$

Схема второго делителя представлена на рисунке 9.

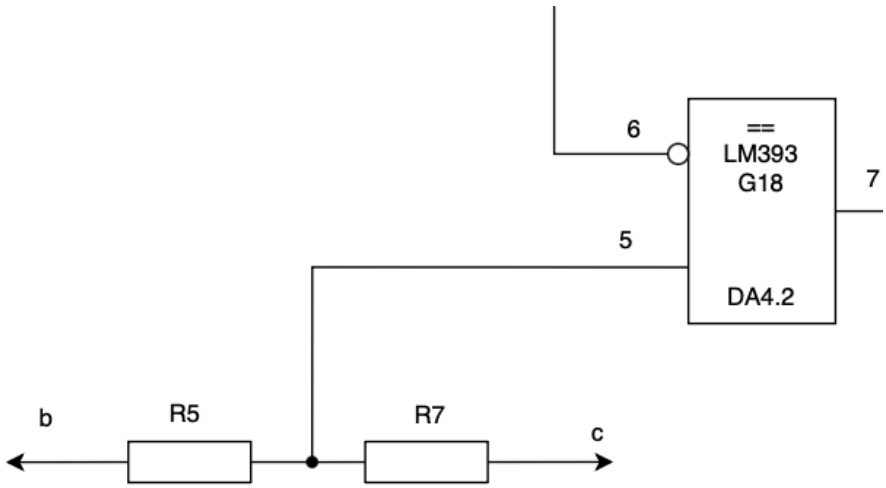


Рисунок 9 – Схема делителя 2-го компаратора

Для реализации схемы были выбраны прецизионные резисторы серии С2-29В. Номиналы выбраны из стандартных рядов E24 и E96 с допуском ±1%, так как они обеспечивают необходимую точность для пороговых устройств, а мощность 0,5 Вт выбрана с большим запасом для исключения нагрева компонентов. В соответствии с расчетами выбраны следующие элементы:

- В качестве R6 выбран резистор С2-29В-0,5-1,33 кОм ±1%
- В качестве R8 выбран резистор С2-29В-0,5-1,18 кОм ±1%
- В качестве R7 выбран резистор С2-29В-0,5-1,18 Ом ±1%
- В качестве R5 выбран резистор С2-29В-0,5-1,33 кОм ±1%

3.3 Расчет схем управления светодиодами

Для визуализации состояний устройства (превышение верхнего или нижнего порогов наклона) в проекте применены светодиоды модели АЛ310А (I = 20мА, U = 2В). Коммутация светодиодов осуществляется через транзисторные ключи на базе мощных транзисторов КТ815Г. Данная элементная база выбрана благодаря высокой надежности и способности выдерживать рабочие токи без перегрева.

3.3.1 Расчет токоограничительных цепей (R12, R17)

Сопротивление резисторов, включенных последовательно со светодиодами, рассчитывается исходя из обеспечения номинального прямого тока $I_{ном}$ при напряжении питания E =5В и падении напряжения на открытом транзисторе $U_{пад}$ = 0,2В:

$$R12 = R17 = (E – U – U_{пад}) / I = (5 – 2 – 0,2) / 0,02 = 140Ом$$

В соответствии с рядом стандартных номиналов Е24, принято значение 150 Ом (резистор С2-29В-0,5).

3.3.2 Расчет базовых цепей управления (R10, R15)

Управление транзисторами осуществляется логическими элементами серии К155, имеющими выходное напряжение высокого уровня U_1 = 2,4В. Для надежного введения транзистора КТ815Г в состояние насыщения при коэффициенте усиления h = 40 и степени насыщения S = 2, ток базы рассчитывается следующим образом:

$$I_б = I / h * S =20 / 40 * 2 = 1мА$$

Сопротивление базового резистора R:

$$R = (U_1 – U) / I_б = (2,4 – 0,7) / 0,001 = 1700Ом$$

В соответствии с рядом стандартных номиналов Е24, принято значение 1,6 кОм (резистор С2-29В-0,25).

3.3.3 Расчет временных параметров

Для формирования временного интервала длительностью t = 6 с используется интегральный одновибратор К155АГ3 (DD1). С учетом схемотехнических ограничений ТТЛ-логики (максимальное сопротивление внешнего времязадающего резистора не должно превышать 40 кОм во избежание нестабильной работы из-за входных токов), расчет производится путем первичной фиксации сопротивления:

– Принимается оптимальное значение резистора вблизи верхнего предела: R9 = 39кОм.
– Требуемая емкость конденсатора С18 рассчитывается из паспортной формулы длительности импульса t = 0,33 * R9 * C18:

$$C18 = t / 0{,}33 * R9 = 6 / 0{,}33 * 39000 = 4{,}66 * 10^{-4} = 466\text{мкФ}$$

Выбран резистор R9: С2-29В-0,25-39кОм±1%, выбран конденсатор К50-35-16В-470мкФ.

3.3.4 Расчет частотозадающей цепи генератора

Для формирования звукового сигнала частотой f = 512Гц используется генератор, управляемый напряжением, на базе микросхемы К531ГГ1 (DD2.2). Данная микросхема имеет внутренние источники тока для заряда/разряда внешнего конденсатора, поэтому частота генерации определяется исключительно номиналом емкости С20 (без внешних резисторов) по формуле:

$$C20 = 5 * 10\text{-}4 / f = 5 * 10\text{-}4 / 512 = 9{,}76 * 10\text{-}7 = 0{,}976\text{нФ}$$

Для обеспечения высокой температурной стабильности частоты звукового сигнала выбран керамический прецизионный конденсатор ближайшего стандартного номинала 1,0 мкФ. Выбран конденсатор: К10-17Б-Н30-1,0 мкФ.

Схема управления первым светодиодом представлена на рисунке 10.

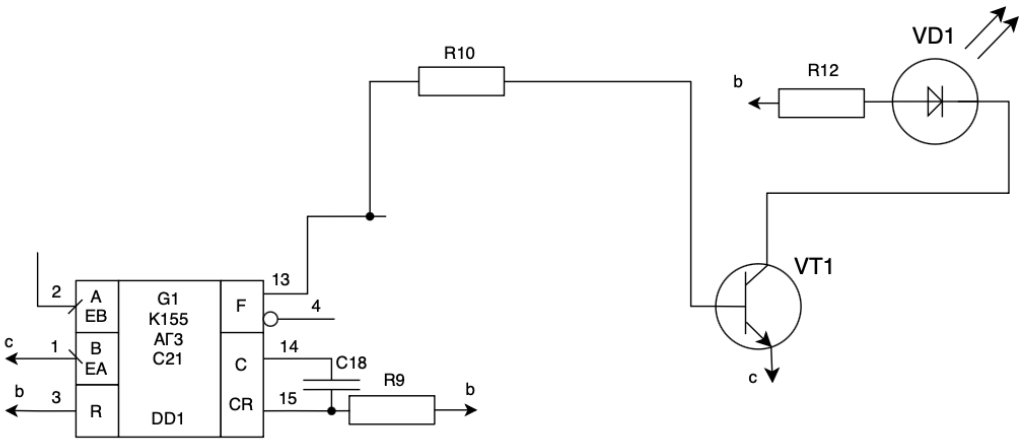


Рисунок 10 – Схема управления первым светодиодом

Схема управления вторым светодиодом представлена на рисунке 11.

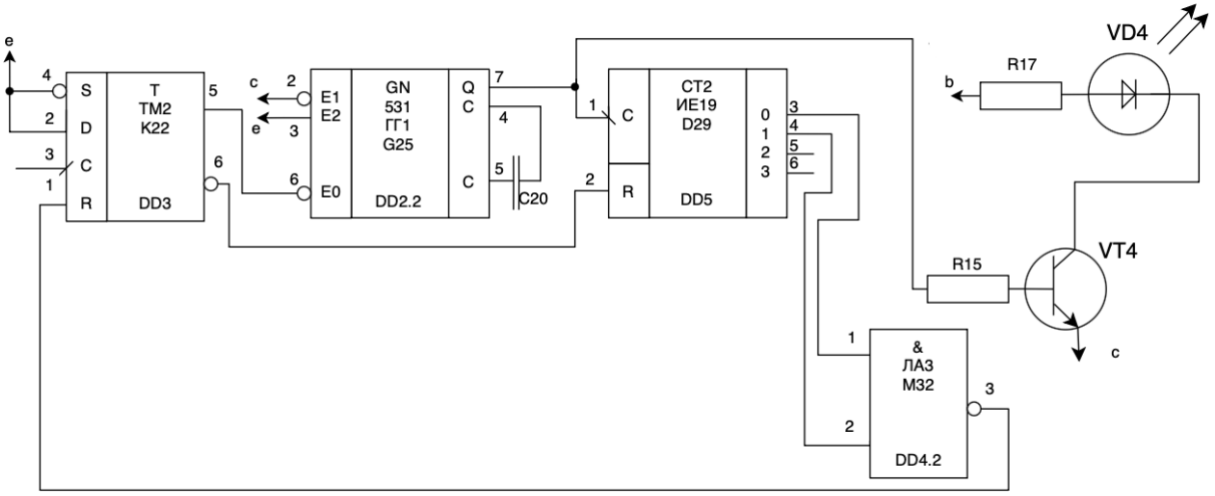


Рисунок 11 – Схема управления вторым светодиодом

3.4 Расчет схем управления реле

Для управления внешними силовыми цепями устройства в схеме предусмотрены два релейных каскада на слаботочных электромагнитных реле К1 и К2. Коммутация обмоток реле осуществляется через транзисторные ключи VT2 и VT3 на базе кремниевых транзисторов КТ815Г. Для защиты транзисторов от разрушающих бросков обратного напряжения самоиндукции, возникающих при обесточивании обмоток, параллельно реле включены выпрямительные диоды VD2 и VD3.

Исходные данные из справочников:

Реле TR99-5:

Номинальное рабочее напряжение питания: $U_{ном}$ = 5В

Сопротивление обмотки: $R_{обм}$ = 55,5Ом

Диод КД243Ж:

Максимальное постоянное обратное напряжение: $U_{обр.макс}$ = 1000В

Максимальный прямой ток: $I_{пр.макс}$ = 1А

Транзистор КТ815Г:

Минимальный статический коэффициент передачи тока: h = 40

Падение напряжения на насыщенном переходе коллектор-эмиттер: $U_{к.нас}$= 0,2В

Падение напряжения на открытом переходе база-эмиттер: $U_{б}$ = 0,7В

3.4.1 Анализ цепи питания обмоток реле (R14, R16)

Поскольку номинальное рабочее напряжение обмотки выбранного реле TR99-5 (5В) не соответствует напряжению исполнительной шины питания «а» (U_a = 15В), установка последовательных гасящих резисторов обязательна.

Чтобы на обмотке реле ($R_{обм}$ = 55,5Ом) поддерживалось номинальное напряжение $U_{ном}$ = 5В, необходимо рассчитать сопротивление балластного резистора R14 (R16).

Ток коллектора (через обмотку реле):

$$I_к = U_{ном} / R_{обм} = 5 / 55,5 = 0,09А$$

Падение напряжения на гасящем резисторе (U_R):

$$U_R = U_a – U_{ном} – U_{к.нас} = 15 – 5 – 0,2 = 9,8В$$

Рассчитаем сопротивление резистора:

$$R14 = R16 = U_R / I_к = 9,8 / 0,09 = 108,89Ом$$

Номинал выберем из прецизионного ряда E96: С22-29В-1-110Ом±1%

3.4.2 Расчет базовых цепей управления (R11, R13)

Для гарантированного и надежного перевода транзисторов КТ815Г в режим глубокого насыщения при токе коллектора $I_к$ = 90мА, минимальном коэффициенте усиления h = 40 и заданном коэффициенте насыщения S = 2, рассчитывается необходимый ток базы:

$$I_б = I_к / h * S = 90 / 40 * 2 = 4,5мА$$

Управляющие сигналы поступают с выходов ТТЛ-логики, имеющих минимальное гарантированное напряжение высокого уровня U^1 = 2,4В. Сопротивление базовых ограничительных резисторов R11 и R13 рассчитывается по формуле:

$$R11= R13 = U^1 – U_б / I = (2,4 – 0,7) / 0,0045 = 377,7Ом$$

Для обеспечения небольшого запаса по току (округление в большую сторону) выбираем ближайшее табличное значение из высокоточного ряда E96: 374 Ом.

Выбран прецизионный резистор: С2-29В-0,25-374Ом ±1%.

Схема управления первым реле представлена на рисунке 12.

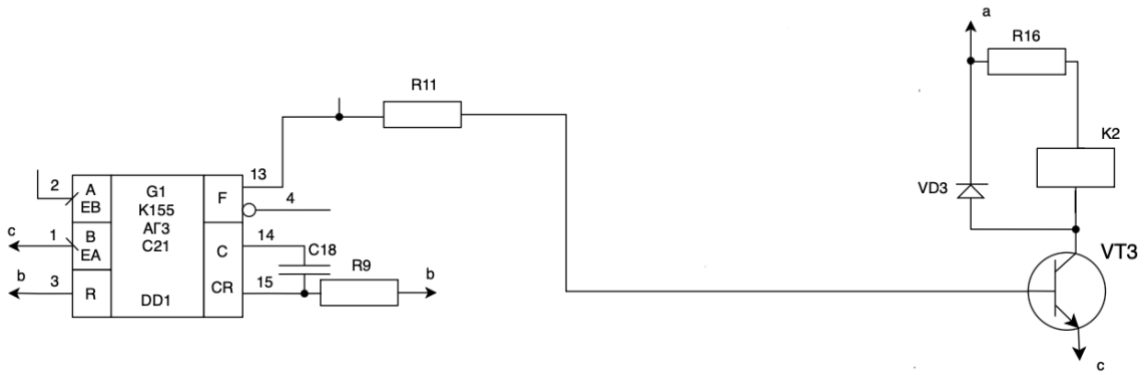


Рисунок 12 – Схема управления первым реле

Схема управления вторым реле представлена на рисунке 13.

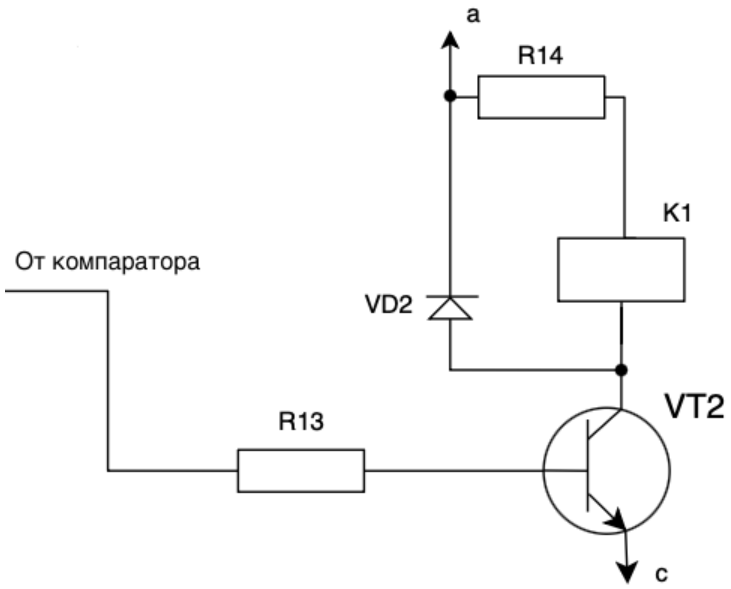


Рисунок 13 – Схема управления вторым реле

3.5 Расчет блока управления динамиком

3.5.1 Расчет базового ограничительного резистора R18

Динамик BA1 подключен к шине питания «b» (напряжение логики U_b = 5В), а управление ключом VT5 осуществляется КМОП-элементом серии 1554 (микросхема DD6).

Определение тока коллектора транзистора ($I_к$):

При полностью открытом и насыщенном транзисторе КТ815Г ($U_{к.нас}$ = 0,2В) ток через обмотку динамика ($R_{дин}$ = 600Ом) составит:

$$I = (U_b – U_{к.нас}) / R_{дин} = (5 – 0,2) / 600 = 0,008А = 8мА$$

Определение требуемого тока базы ($I_б$):

Для гарантированного введения транзистора в режим глубокого насыщения при минимальном коэффициенте усиления h = 40 и коэффициенте запаса (насыщения) S = 2:

$$I_б = I / h * S = 8 / 40 * 2 = 0,4мА$$

Расчет сопротивления резистора R18:

Выходное напряжение логической единицы КМОП-элемента серии 1554 при токовой нагрузке составляет порядка U^1 = 4,5В. Падение напряжения на открытом переходе база-эмиттер транзистора равно $U_{бэ}$ = 0,7В.

$$R18 = U1 – Uбэ / Iб = (4,5 – 0,7) / 0,0004 = 9,5кОм$$

Выбор по ряду E96:

Ближайший стандартный номинал из высокоточного ряда составляет 9,31 кОм.

Выбран прецизионный резистор: С2-29В-0,25-9,31кОм ±1%.

3.5.2 Расчет времязадающих конденсаторов (С22, С19, С21)

Для интегральных генераторов серии К531ГГ1 частота выходного сигнала (f) при фиксированных уровнях управляющих напряжений жестко задается внешней емкостью (С) по паспортной формуле:

$$f = 5 * 10^{-4} / C$$

Отсюда расчетная формула для поиска емкости (в Фарадах) принимает вид:

$$C = 5 * 10^{-4} / f$$

Расчет емкости С22 (Верхний порог: непрерывный тон 256 Гц)

Конденсатор задает частоту генератора DD2.4 равной $f_{верх}$ = 256 Гц:

$$C22 = 5 * 10^{-4} / 256 = 1,953мкФ$$

Ближайший стандартный номинал: 2,2 мкФ.

Расчет емкостей С19, С21 (Нижний порог: прерывистый тон 512 Гц с периодом 6 с)

В этой части схемы два генератора включены последовательно: первый генератор (DD2.1 с конденсатором С19) работает как инфранизкочастотный модулятор, формируя общий период звукового пакета Т = 6с. Второй генератор (DD2.3 с конденсатором С21) генерирует саму частоту звукового заполнения $f_{нижн}$ = 512Гц.

Определяем частоту модуляции ($f_{мод}$) для периода в 6 секунд:

$$f_{мод} = 1 / T = 1 / 6 = 0{,}1667Гц$$

Расчет емкости С19 (Задает период прерывания 6 секунд):

$$C19 = 5 * 10^{-4} / 0{,}1667 = 3000мкФ$$

Ближайший стандартный номинал оксидного (электролитического) конденсатора: 3300 мкФ.

Расчет емкости С21(Задает тон частотой 512 Гц):

$$C21 = 5 * 10^{-4} / 512 = 0{,}98мкФ$$

Ближайший стандартный номинал: 1,0 мкФ.

Схема блока управления динамиком представлена на рисунке 14.

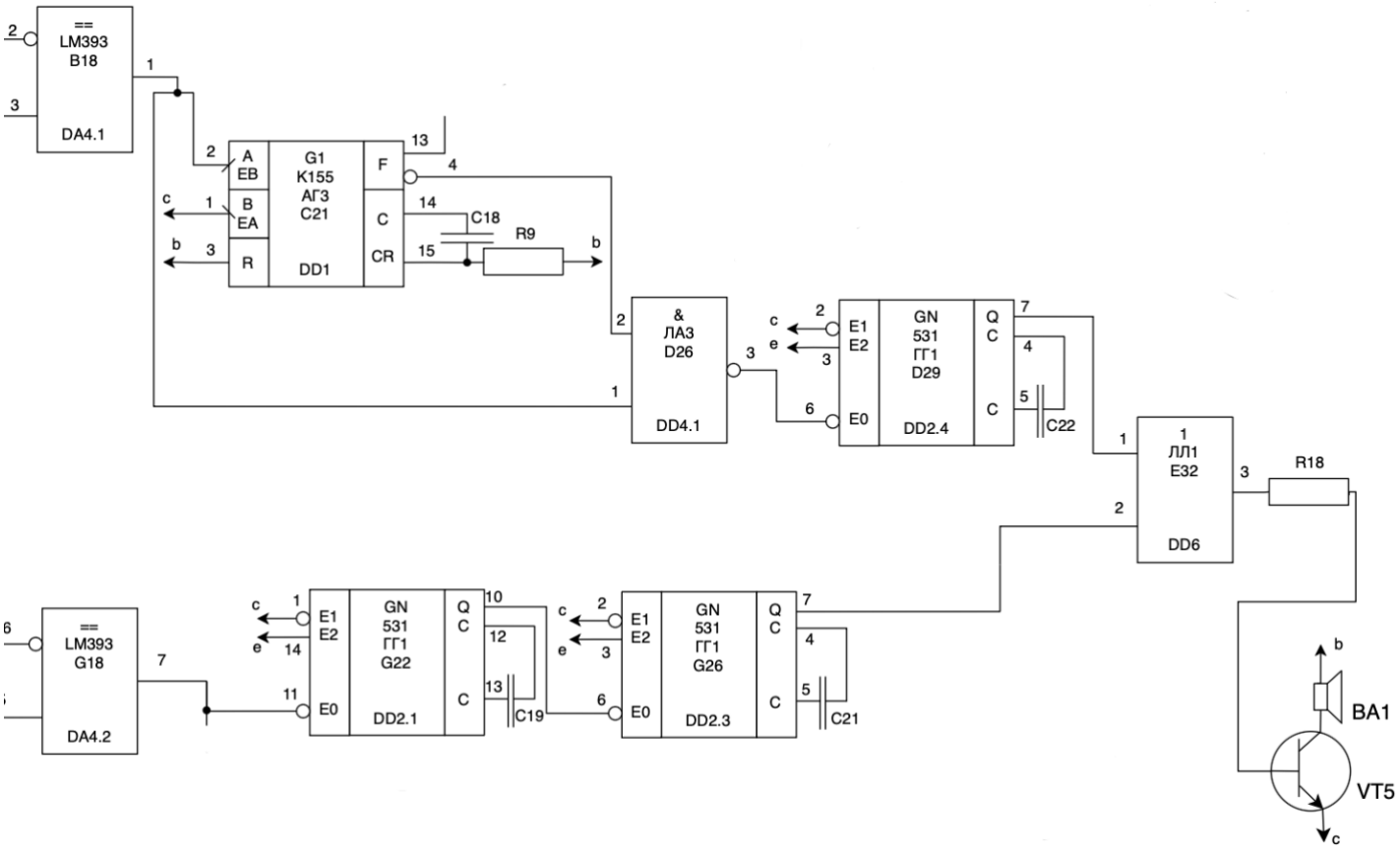


Рисунок 14 – Схема блока управления динамиком

3.6 Описание работы устройства по принципиальной схеме

Разрабатываемое устройство предназначено для непрерывного автоматического контроля угла наклона стены дома. Конструктивно схема

разделена на измерительную часть, узел логической обработки и формирования временных интервалов, а также исполнительные каскады световой, звуковой и релейной сигнализации.

3.6.1 Организация питания устройства

Схема питается от внешнего источника напряжений ±5 В и ±15 В:

Напряжение ±15 В (шина “a”) используется для питания обмоток реле K1 и K2.

Напряжение +5 В (шина “b”) используется для питания цифровых КМОП-микросхем серии 1554, генераторов К531ГГ1, узлов светодиодной индикации и динамика BA1.

3.6.2 Входной измерительный узел и аналоговое преобразование

В качестве первичного преобразователя используется акселерометр ADXL103. При изменении наклона стены датчик отклоняется от перпендикуляра к поверхности Земли, преобразуя статическую составляющую ускорения свободного падения в аналоговый электрический сигнал.

Входной каскад на операционных усилителях масштабирует и смещает этот сигнал таким образом, что рабочему диапазону углов от –10º (–0,15g) до +10º (+0,15g) соответствует линейное изменение выходного напряжения от 0 до +4 В.

При идеальном вертикальном положении стены (0g) напряжение на выходе аналоговой части составляет ровно +2 В.

Выходной сигнал поступает параллельно на входы двух компараторов, которые отслеживают достижение критических точек: верхнего порога (+0,05g) и нижнего порога (–0,05g).

3.6.3 Алгоритм работы схемы при превышении верхнего порога (+0,05g)

При наклоне стены в положительную сторону выше допустимого уровня напряжение с датчика превышает установленный опорный

потенциал верхнего компаратора. На выходе компаратора формируется перепад напряжения (логическая единица), запускающий следующие цепи:

Временная задержка (6 секунд): Логический перепад запускает одновибратор (времязадающая цепь R9, C18). На его выходе формируется одиночный импульс строго заданной длительности — 6 секунд.

Световая и релейная сигнализация: Импульс длительностью 6 секунд с одновибратора поступает на базы транзисторных ключей VT1 и VT2 через ограничительные резисторы R10 и R11. Транзисторы открываются и переходят в режим насыщения. В результате первый светодиод (VD1) включается на 6 секунд, а через обмотку реле K1 начинает протекать ток, замыкая исполнительные силовые контакты внешнего контура управления также на 6 секунд. Гасящий резистор R14 ограничивает напряжение на реле до номинальных 12 В, а диод VD2 защищает ключ VT2 от бросков самоиндукции.

Звуковая сигнализация: одновременно сигнал с компаратора подается на узел совпадения (логическое И). Если по истечении 6 секунд наклон стены вернулся в норму, схема переходит в дежурный режим. Если же превышение порога +0,05g сохраняется, логика разрешает прохождение сигнала с генератора DD2.4 (задан конденсатором C22). На базу транзистора VT5 через резистор R18 начинает непрерывно поступать частота 256 Гц, и динамик BA1 издает непрерывный гул.

3.6.4 Алгоритм работы схемы при превышении нижнего порога (–0,05g)

При наклоне стены в отрицательную сторону ниже допустимого уровня срабатывает нижний компаратор, активируя альтернативный сценарий логической обработки:

Релейная сигнализация: Сигнал логической единицы с компаратора немедленно открывает ключ VT3 через резистор R13. Второе реле (K2) включается и остается активным на протяжении всего времени, пока стена

находится в аварийном секторе. Резистор R16 гасит избыток напряжения питания шины.

Световая сигнализация (мигание): Логическая схема активирует счетчик и импульсный таймер. Светодиод VD2 (управляемый ключом VT4 через резистор R12) начинает мигать с периодом 4 секунды. Благодаря внутренней логике и счетчику импульсов мигание происходит ровно три раза, после чего данный светодиод гаснет, даже если аварийная ситуация продолжается.

Звуковая сигнализация (прерывистый тон): Сигнал с компаратора запускает каскад из двух последовательно соединенных генераторов микросхемы К531ГГ1. Первый генератор (DD2.1, емкость С19) работает на инфранизкой частоте и задает общий период прерывания в 6 секунд (цикл «звук/пауза»). Этот сигнал модулирует работу второго генератора (DD2.3, емкость С21), настроенного на частоту 512 Гц. Полученный прерывистый звуковой пакет через ключ VT5 поступает на динамик BA1, формируя тревожный прерывистый сигнал высокого тона.

3.6.5 Возврат в дежурный режим

Как только наклон стены возвращается в безопасный интервал от –0,05g до +0,05g, выходные уровни обоих компараторов сбрасываются в логический ноль. Исполнительные реле обесточиваются, генераторы частоты блокируются, динамик замолкает, и устройство возвращается в режим непрерывного ожидания (мониторинга).

4 Результаты электронного моделирования устройства

На ЭВМ при помощи программы Electronic Workbench версии 5.12 была смоделирована аналоговая и цифровая схемы.

Представление верхнего и нижнего порога усилителя представлено на рисунках 15, 16.

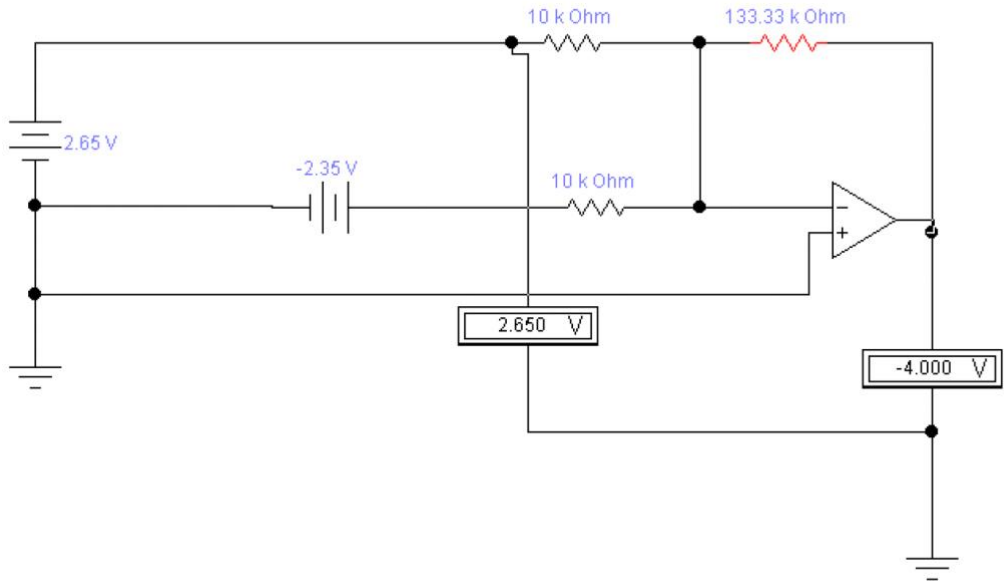


Рисунок 15 – Моделирование верхнего порога усилителя в статике

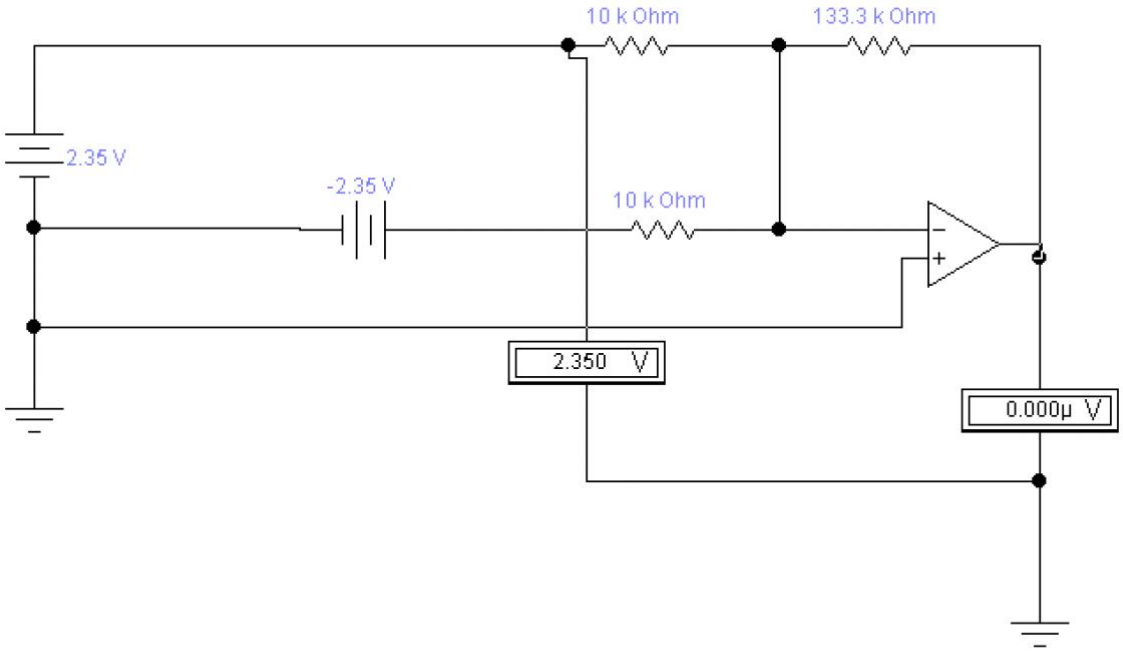


Рисунок 16 – Моделирование нижнего порога усилителя в статике

Измерительные приборы показывают уровни входного и выходного сигналов (напряжений). Входные сигналы (сигналы с датчика), соответствующие границам диапазона, задаются с помощью источников постоянной ЭДС (батареек). Выходные сигналы имеют обратную полярность по сравнению с заданной, т.к. схема реализована на основе инвертирующего усилителя. Получить заданную полярность можно добавив на выход схемы инвертирующий повторитель (см. модель в динамике на рисунке 17).

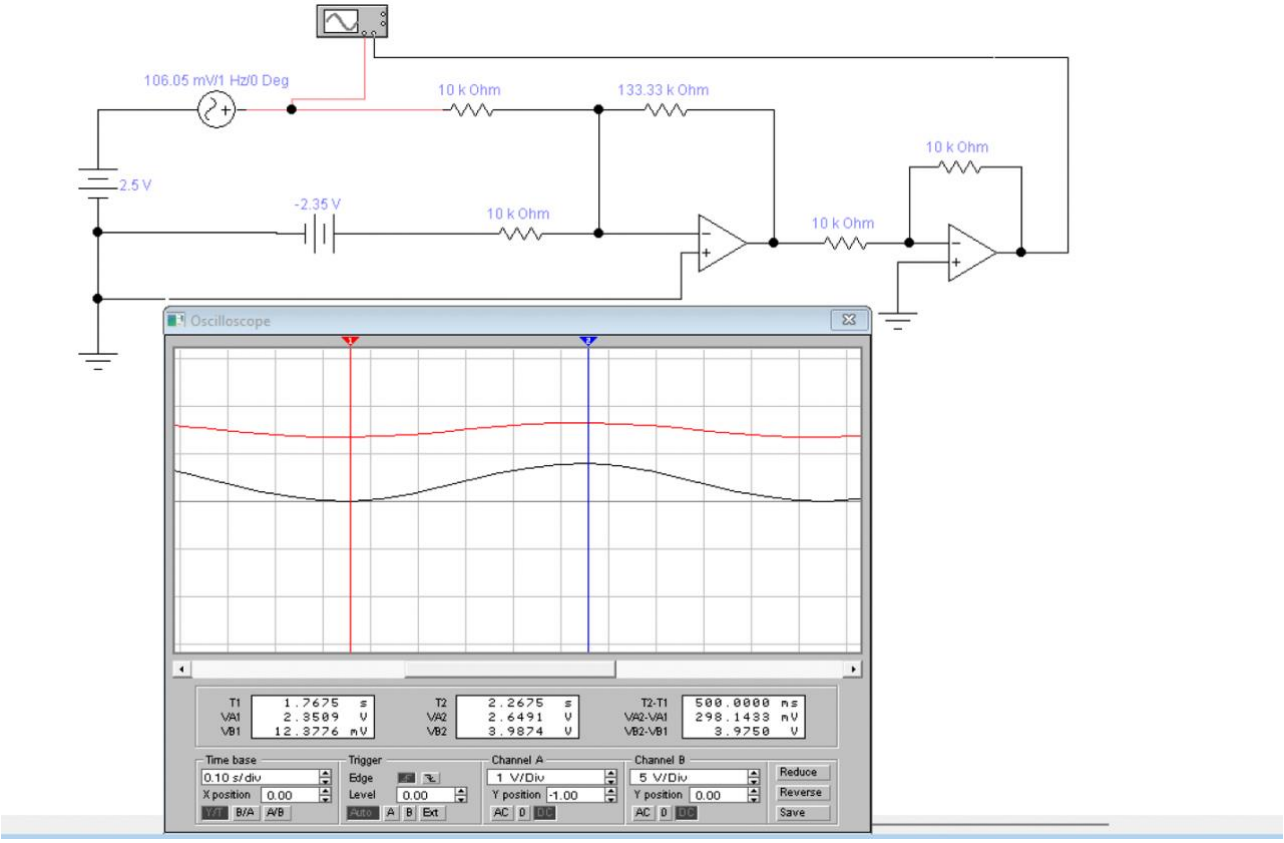


Рисунок 17 – Моделирование усилителя в динамике, значение осциллографа

Осциллограф показывает значения входного и выходного сигналов на границах заданного диапазона. Значения напряжений соответствуют рассчитанным.

Схема модели для работы компараторов представлена на рисунке 18.

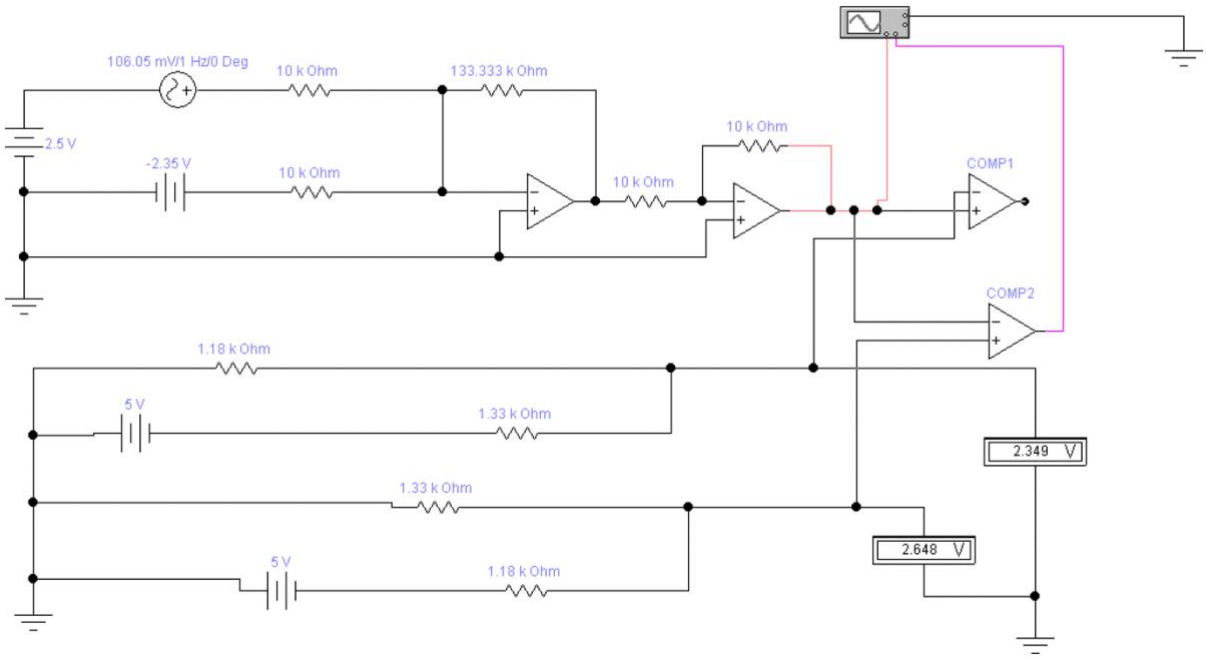


Рисунок 18 – Схема модели для работы компаратора

Заключение

В данной курсовой работе была разработана и спроектирована система контроля наклона стены на базе акселерометра ADXL103. Все используемые интегральные микросхемы выбраны из серии 1554, что обеспечивает требуемое быстродействие и соответствие заданным условиям эксплуатации.

К пояснительной записке прилагаются структурная, функциональная и принципиальная схемы устройства, а также перечень элементов.

Список использованных источников

1. Л.А.Брякин Схемотехника цифровых устройств: Конспект лекций. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 109 с.
2. Резисторы: Справочник. В.В.Дубровский и др. Под общей редакцией И.И.Четверткова и В.М.Терехова. – М.: Радио и связь, 1987.
3. А.В. Нефёдов. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги. Справочник. – М.: РадиоСофт, 2001.
4. Л.А.Брякин. Электротехника и электроника. Методические указания к выполнению курсовой работы. 2010 г. – 91 стр.
5. Я.Ю.Волкова. Базовые элементы цифровой техники. Изд-во Екатеринбургского государственного университета, 2018.

Приложение А

(обязательное)

Устройство измерения и управления

Схема электрическая структурная

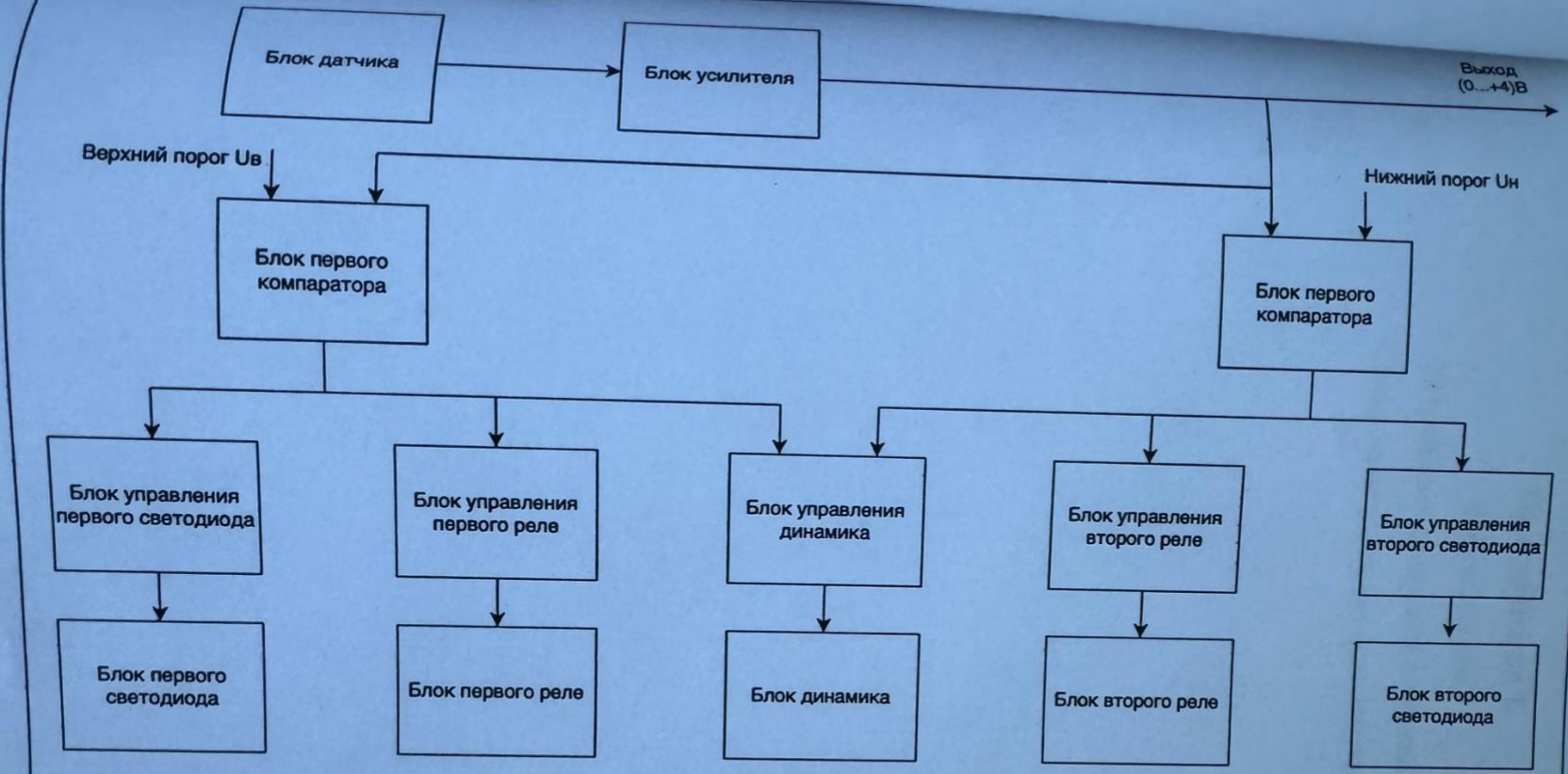
ПГУЗ 090301.55. 003 32
Устройство измерения и управления
Схема электрическая функциональная
Гр. 24ВВВ3
Лист 1
Листов 1
Масса
Масштаб
Разраб.
Пров.
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Верхний порог Uв
Нижний порог Uн
COMP
D
CT
GN
G1
VD1
VD2
K1
K2
BA1

Приложение Б

(обязательное)

Устройство измерения и управления

Схема электрическая функциональная



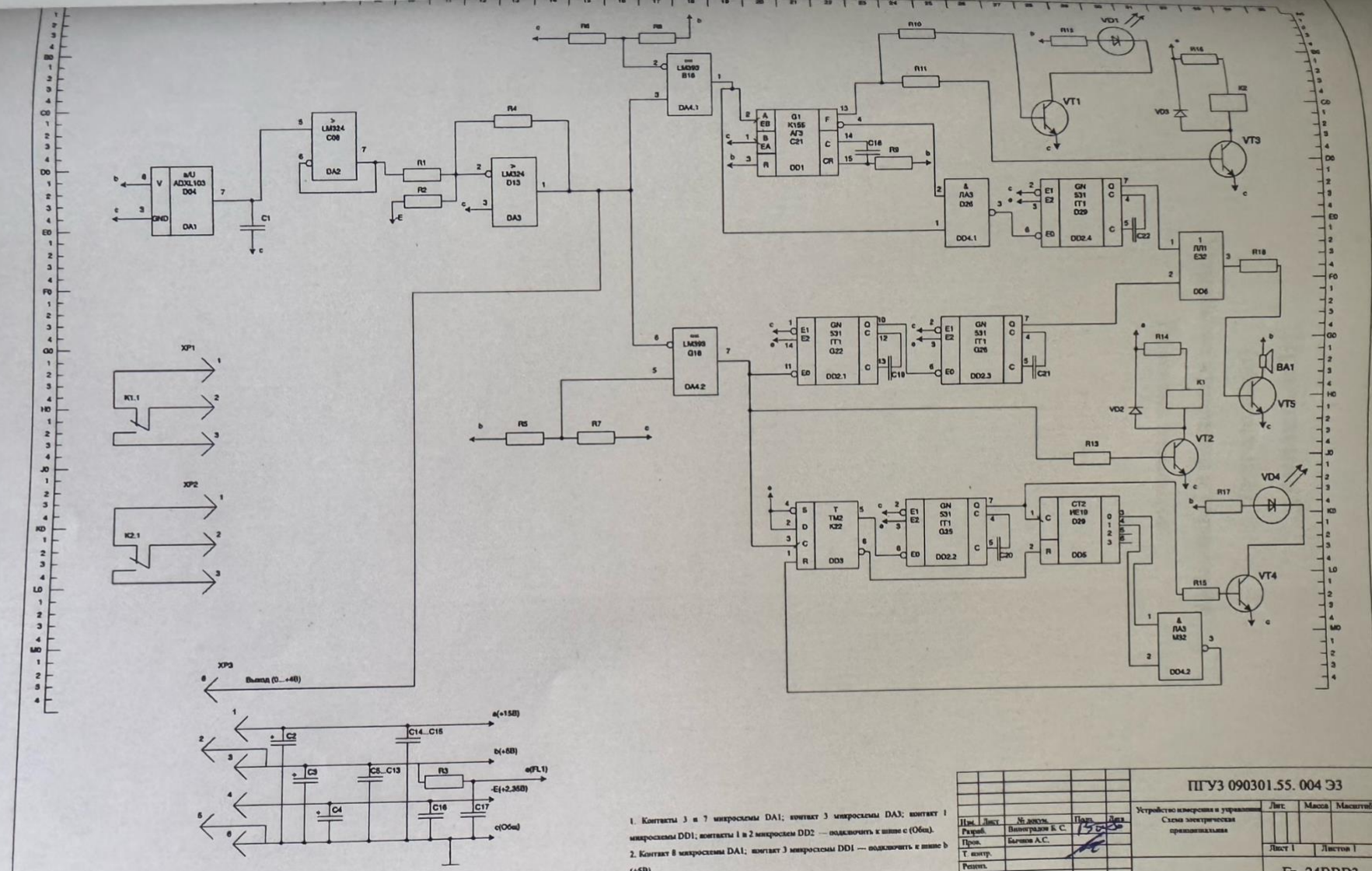
					ПГУЗ 090301.55. 002 Э1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Устройство измерения и управления Схема электрическая структурная
Разраб.		Виноградов Б. С.			Лит. / Масса / Масштаб
Пров.		Бычков А.С.			Лист 1 / Листов 1
Т. контр.					
Реценз.					
Н. контр.					Гр. 24ВВВ3
Утв.					

Приложение В

(обязательное)

Устройство измерения и управления

Схема электрическая принципиальная



1. Контакты 3 и 7 микросхемы DA1; контакт 3 микросхемы DA3; контакт 1 микросхемы DD1; контакты 1 и 2 микросхем DD2 — подключить к шине с (Общ).
2. Контакт 8 микросхемы DA1; контакт 3 микросхемы DD1 — подключить к шине b (+5В).

					ПГУЗ 090301.55. 004 ЭЗ
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Устройство измерения и управления. Схема электрическая принципиальная
Разраб.		Виноградов Б. С.			Лит. / Масса / Масштаб
Пров.		Бычков А.С.			Лист 1 / Листов 1
Т. контр.					
Реценз.					Гр. 24ВВВ3
Н. контр.					
Утв.					

Приложение Г

(обязательное)

Устройство измерения и управления

Перечень элементов

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	Динамик		
BA1	Динамик R = 600Ом	1	
	Конденсаторы		
C1, C2...C4	К50-35-16В-22мкФ	4	
C5...C17	К10-17б-Н30-0,1мкФ	13	
C18	К50-35-16В-470мкФ	1	
C19	К50-35-16В-3300мкФ	1	
C20	К10-17б-Н30-1мкФ	1	
C21	К10-17б-Н30-1мкФ	1	
C22	К10-17б-Н30-2,2мкФ	1	
	Микросхемы		
DA1	ADXL103	1	Импорт
DA2	LM324	1	Импорт
DA3	LM324	1	Импорт
DA4	LM393	2	Импорт
DD1	К155АГ3	1	
DD2	К531ГГ1	4	
DD3	К155ТМ2	1	
DD4	К155ЛА3	2	
DD5	К155ИЕ19	1	
DD6	К155ЛЛ1	1	
	Реле		
K1,K2	TR99-5	2	Импорт

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУЗ 09.03.01 55 005 ПЭЗ		
Разраб.		Виноградов Б.С.			Устройство измерения и управления Перечень элементов	Лит.	Лист 1 / Листов 3
Пров.		Бычков А.С.					
Т.контр.						Гр. 24ВВВ3	
Н.контр.							
Утв.							

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	Резисторы		
R1	С2-29В-0,5-10кОм ±1%	1	
R2	С2-29В-0,5-10кОм ±1%	1	
R3	С2-29В-0,5-10кОм ±1%	1	
R4	С2-29В-0,5-133кОм ±1%	1	
R5	С2-29В-0,5-1,33кОм ±1%	1	
R6	С2-29В-0,5-1,33кОм ±1%	1	
R7	С2-29В-0,5-1,18кОм ±1%	1	
R8	С2-29В-0,5-1,18кОм ±1%	1	
R9	С2-29В-0,25-39кОм ±1%	1	
R10	С2-29В-0,25-1,6кОм ±1%	1	
R11	С2-29В-0,25-374Ом ±1%	1	
R12	С2-29В-0,5-150Ом ±1%	1	
R13	С2-29В-0,25-374Ом ±1%	1	
R14	С2-29В-1-110Ом ±1%	1	
R15	С2-29В-0,25-1,6кОм ±1%	1	
R16	С2-29В-1-110Ом ±1%	1	
R17	С2-29В-0,5-180 кОм ±1%	1	
R18	С2-29В-0,25-9,31кОм ±1%	1	
	Диоды		
VD1	АЛ310А	1	
VD2	КД243Ж	1	
VD3	КД243Ж	1	
VD4	АЛ310А	1	

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУЗ 09.03.01 55 005 ПЭЗ	
Разраб.		Виноградов Б.С.			Устройство измерения и управления Перечень элементов	Лист 2
Пров.		Бычков А.С.				
Т.контр.						Гр. 24ВВВ3
Н.контр.						
Утв.						

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	Транзисторы		
VT1...VT5	КТ815Г	5	
	Разъёмы		
XP1	WF-R-3	1	Импорт
XP2	WF-R-3	1	Импорт
XP3	WF-R-8	1	Импорт

Изм.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУЗ 09.03.01 55 005 ПЭЗ	
Разраб.		Виноградов Б.С.			Устройство измерения и управления Перечень элементов	Лист 3
Пров.		Бычков А.С.				
Т.контр.						Гр. 24ВВВ3
Н.контр.						
Утв.						