

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника
(наименование профиля, специализации)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Светомузыкальная установка

Студент	Коньков Н.А. _____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	Кудинов А.К. _____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	_____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	_____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Допустить к защите		
Заведующий кафедрой <u>к.т.н., доцент А.А. Шевцов</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)		_____ (личная подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Тольятти 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Кафедра «Промышленная электроника»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «Промышленная электроника»

_____ А.А. Шевцов
(подпись) (И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение бакалаврской работы

Студент Коньков Николай Андреевич

1. Тема Светомузыкальная установка

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 30 мая 2016г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе _____

Напряжение питания: 15В. Тип конструкции: переносная

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов) Аннотация. Введение. 1. Состояние вопроса. (обзор существующих аналогов, формулирование задач БР). 2. Разработка принципиальной схемы установки. 3. Конструкция светомузыкальной установки. 4. Расчет затрат на изготовление установки. Заключение.

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1. Обзор аналогов. 2. Обзор светоизлучающих элементов. 3. Схема электрическая принципиальная 4. Структурная схема установки. 5. Печатная плата и печатный узел. 6. Светомузыкальная установка. Общий вид

6. Консультанты по разделам _____

7. Дата выдачи задания « 02 » февраля 2016 г.

Руководитель выпускной
квалификационной работы

_____ А.К. Кудинов
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ Н.А. Коньков
(подпись) (И.О. Фамилия)

Аннотация

Объем 45 с., 29 рис., 3 табл., 21 источник.

СВЕТОМУЗЫКАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, КОМПРЕССОР ЗВУКОВОГО СИГНАЛА, ЧАСТОТНЫЙ ФИЛЬТР, СВЕТОДИОД, ГЕНЕРАТОР ЛИНЕЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ, СИСТЕМА ПИТАНИЯ

Объектом исследования является светомузыкальная установка на светодиодах.

Цель работы — спроектировать и собрать реальную светомузыкальную установку.

Задачи бакалаврской работы заключались в разработке схемы светомузыкальной установки путем построения ее из различных модулей – световой индикации, коммутационной части, частотных фильтров, разработке принципиальной схемы установки и обоснованном выборе ее элементов и анализе ее экономической эффективности.

Работа состоит из двух разделов, в которых рассмотрен процесс разработки светомузыкальной установки.

Разработанная схема светомузыкальной установки была собрана в реальных условиях, и с наивысшей точностью удовлетворяет заявленным в исходных данных требованиям.

Областью применения данной установки являются культурно-развлекательные мероприятия как массового, так и индивидуального масштаба.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 Обзор существующих схемотехнических решений	6
1.2 Задача выпускной квалификационной работы	12
2 Разработка принципиальной схемы установки.....	13
2.1 Вход.....	14
2.2 Компрессор звукового сигнала	16
2.3 Частотные фильтры	18
2.4 Выпрямитель со сглаживающим фильтром.....	23
2.5 ГЛИН.....	26
2.6 Компаратор.....	29
2.7 Транзисторные ключи	34
2.8 Световая индикация	35
Заключение	43
Список использованных источников	44

Введение

Светомузыкальная, или, по-другому цветомузыкальная установка (ЦМУ) – электронное устройство, основной принцип работы которого основывается на фильтрации диапазона частот звукового сигнала на отдельные частотные каналы, которые, после ряда операций над сигналами, подаются на устройства излучения различных цветов, соответствующие звуковым частотным каналам. В настоящее время существует огромное множество цветомузыкальных установок, с различными схмотехническими и конструкторскими решениями, но в то же время, они не теряют интерес людей к ним, побуждая их развивать и совершенствовать данную тематику, что является весьма серьезным обоснованием актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы.

Цель данной работы состоит в том, чтобы на основе полученных знаний в ходе процесса обучения собрать собственный вариант цветомузыкальной установки.

1 Состояние вопроса

1.1 Обзор существующих схмотехнических решений

Цветомузыкальные установки (ЦМУ) обеспечивают сопровождение музыкальных произведений световыми эффектами. Подобные устройства улучшают восприятие музыкальных произведений и значительно повышают степень их эмоционально-психологического воздействия на личность. В развитии цветомузыки можно выделить два основных направления. Первое предполагает отсутствие жёсткой связи между музыкальным произведением и его цветовым сопровождением. Необходимым звеном в процессе преобразования музыки в цветовой рисунок является «цветооператор» – человек с музыкальным образованием, исполняющий на ЦМУ партию света, руководствуясь либо замыслом композитора, либо чисто эмоциональными законами анализа музыкального произведения. При этом не исключается и автоматическое управление цветовым рисунком. Очевидно, что несмотря на высокую эстетическую насыщенность такой аудиовизуальной программы, существенным недостатком таких систем является их большая сложность и стоимость, а также необходимость высокой квалификации оператора.

Второе, гораздо более широко распространённое направление, представлено устройствами, автоматически анализирующими музыкальное произведение непосредственно в процессе его исполнения по заранее заданному алгоритму, меняющему соответствующим образом световой поток по яркостному и спектральному составу. Преимуществом ЦМУ такого типа является сравнительно простая конструкция и, как следствие, лёгкость её реализации и массового повторения. Однако в таких установках исключается возможность полного соответствия характера цветового сопровождения стилю и содержанию музыкального произведения. За последнее время по такому принципу созданы и успешно функционируют многие образцы ЦМУ – от мощных стационарных установок для обслуживания культурно-

зрелищных мероприятий до небольших комнатных, рассчитанных на ограниченную аудиторию. В большинстве случаев оконечные устройства ЦМУ воспроизводят цветовой рисунок при помощи средств, чаще всего при использовании излучателей всего трёх цветов – красного, зелёного и синего. От размещения световых источников, конструкции цветомузыкальных установок зависит эффективность цветового сопровождения музыки.

За всё время существования ЦМУ суть работы не изменилась, основные усовершенствования коснулись, главным образом, технической стороны цветомузыки: аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, микропроцессорное управление, компьютерное управление с помощью специально разработанных программ, лазеры и светодиоды в качестве источников света.

Самые простые цветомузыкальные установки состоят из трёх каналов, имеют пассивные RC-фильтры. Как правило, они не могут достаточно эффективно создавать цветное сопровождение музыкальной фонограммы, поэтому такие ЦМУ относятся к самым простым, не дают приятного цветового сопровождения. Единственное преимущество таких устройств — их дешевизна и простота в изготовлении и наладке. Более сложные устройства используют активные фильтры (в основном на операционных усилителях) и становится возможным использовать логарифмический усилитель для сжатия динамического диапазона (компрессор) входного сигнала. Такие ЦМУ могут кроме амплитуды сигнала отслеживать при помощи триггеров и иных средств ритм и/или разницу между сигналами в разных каналах, и на основе этой информации управлять дополнительными механизмами, передвигать светофильтры в фонаре, переключать направление или скорость бегущих огней, менять резкость изменения яркости ламп и т. д. Самые сложные ЦМУ используют цифровые сигнальные процессоры (DSP), в которых вся обработка сигнала происходит в математическом виде, где применяются самые современные алгоритмы обработки сигналов, такие как быстрое преобразование Фурье и другие.

Существует огромное количество схем цветомузыкальных установок, ниже приведены три примера ЦМУ – на транзисторах с пассивными RC-фильтрами, на операционных усилителях с активными фильтрами и компрессией звукового сигнала, на микроконтроллере.

ЦМУ на трёх транзисторах (рис. 1) содержит всего три транзистора типа. Транзисторы включены в усилительные каскады по схеме с общим эмиттером, и каждый из них предназначен для усиления вполне определённой полосы частот. Так, каскад на транзисторе VT1 усиливает ВЧ, на транзисторе VT2 – СЧ, на транзисторе VT3 – НЧ. Разделение частот осуществляется простейшими фильтрами, составленными из RC-цепочек. Звук подаётся с линейного выхода или усилителя НЧ на трансформатор, который нужен для усиления звука и гальванической развязки. Для подбора усиления каждого каскада в схеме имеются переменные резисторы R4, R5, R6. Смещение на базах транзисторов определяется значениями резисторов R4, R5, R6. Нагрузкой каждого каскада являются светодиоды. Питается схема от источника постоянного напряжения 9 В. Налаживание приставки сводится к подбору значений резисторов R4, R5, R6, определяющими яркость светодиодов.

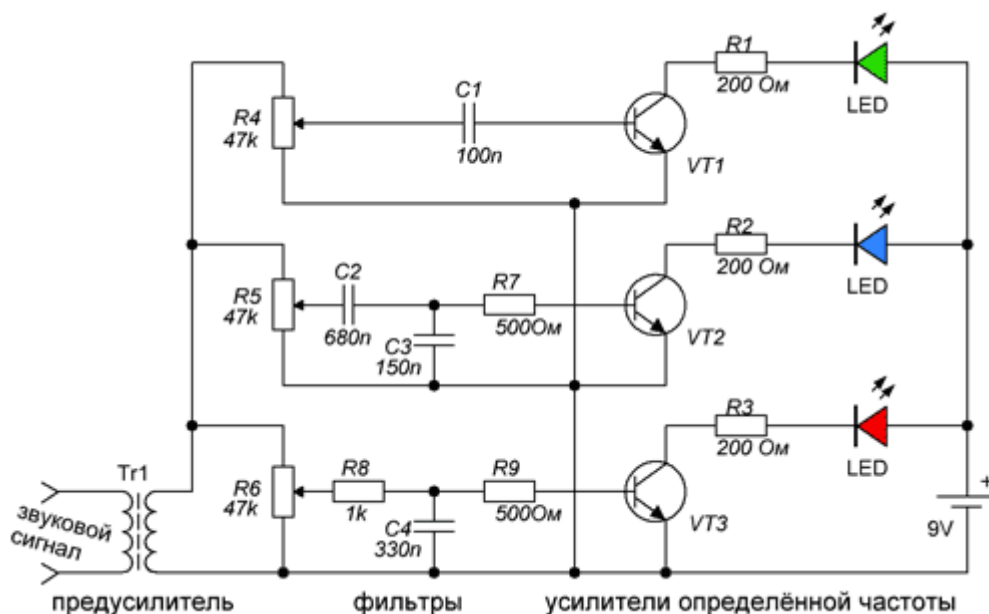


Рисунок 1 - ЦМУ на транзисторах

ЦМУ на операционных усилителях (рисунок 2). Данная схема цветомузыки представляет собой типичную аналоговую цветомузыкальную приставку, вроде тех, что пользовались большой популярностью в 80-90-х годах. Входной сигнал через отдельный трансформатор поступает на восемь активных фильтров, разделяющих сигнал на восемь частотных каналов. Наличие трансформатора обеспечивает гальваническую развязку приставки с работающей с ней аудиоаппаратурой. На выходах фильтров включены выпрямители, вырабатывающие постоянное напряжение, пропорциональное величине сигнала в полосе работы данного фильтра. Это напряжение поступает на затвор тиристора и достигнув необходимой величины открывает его.

Сигнал с выхода УНЧ поступает в схему цветомузыки через разделительный трансформатор Т1. В качестве данного трансформатора используется дроссель на Ш-образном сердечнике с двумя обмотками. Обмотки одинаковые, небольшого сопротивления (по 200-300 витков). Аналогичные дроссели используются во многих источниках питания бытовой теле, видео, аудиотехники, а так же компьютерной. Дроссель готовый, но при необходимости его можно намотать и самому.

Так как обмотки Т1 низкоомные подключать вход СМУ нужно к выходу УМЗЧ, то есть, параллельно или вместо акустической системы, либо к телефонному выходу для подключения наушников (если при этом не происходит автоматического отключения основных акустических систем). Если же необходимо подавать сигнал исключительно с линейного выхода аппаратуры нужно сделать дополнительный УМЗЧ для работы с светомузыкальной приставкой, например, на основе популярной микросхемы К174УН14 или любой другой УМЗЧ. Без трансформатора подавать сигнал на вход схемы цветомузыки нельзя потому что лампами управляют тиристоры, и вся схема цветомузыки оказывается под потенциалом электросети, что может привести как поражению током через аудиоаппаратуру, так и к повреждению аудиоаппаратуры. Подстроечный резистор R1 служит для

общей регулировки уровня сигнала. Плюс, перед каждым полосовым фильтром есть свой дополнительный регулятор (резисторы R2-R9), регулирующий уровень сигнала в своем частотном канале. С помощью этих резисторов можно корректировать чувствительность каналов в зависимости от желания, практически можно сказать что ими регулируется «цветовой тембр», если можно так выразиться. Все активные фильтры построены по одинаковым схемам полосовых фильтров. Они выделяют полосы с центральными частотами, подписанными на схеме. Средняя частота полосы каждого фильтра зависит от емкостей двух конденсаторов, которые должны быть одинаковыми. В остальном все номиналы деталей фильтров совпадают. Фильтры выполнены на операционных усилителях, а они, как известно, требуют двухполярного питания. К сожалению, в выбранной схеме источника питания организовать двухполярное питание хотя и возможно, но все же проблематично. Поэтому решено было питать ОУ от однополярного источника напряжением 12V, а для того чтобы обеспечить их нормальную работу подать на положительный вход половину напряжения питания, полученную с помощью делителя напряжения R40-R41.

Таким образом, в схеме цветомузыки есть восемь операционных усилителей, а именно две микросхемы LM324, содержащих по четыре операционного усилителя. После ОУ сигналы выделенных полос поступают на диодные детекторы, каждый на двух диодах, включенных по схеме с удвоением напряжения. На выходных конденсаторах (C4, C8, C12, C15, C19, C23, C27, C31) этих детекторов выделяется постоянное напряжение, поступающее на управляющий электрод тиристоров. Изначально предполагалось параллельно каждому из этих конденсаторов включить по одному резистору сопротивлением 10-50 кОм, но при налаживании выяснилось, что при использовании тиристоров MCR106-8 в этом нет никакой необходимости. И резисторы эти были убраны из схемы цветомузыки. Поэтому на схеме нет резисторов с позиционными обозначениями R13, R17, R20, R24, R28, R32, R35 и R39. Если же вы будете

использовать другие тиристоры, которые возможно «не захотят» закрываться, эти резисторы придется вернуть на место (одни были подключены параллельно конденсаторам C4, C8, C12, C15, C19, C23, C27, C31), и подобрать экспериментально их сопротивления. При использовании тиристоров MCR106-8 максимальная мощность нагрузки каждого канала может достигать 900W. При мощности до 200W радиатор не требуется, а при более высокой мощности он нужен, так как тиристоры будут перегреваться. Источник питания ОУ выполнен по бестрансформаторной схеме на диодах VD17-VD18, конденсаторах C32 и C33, а так же стабилитроне VD19 (стабилитрон на напряжение 12V и мощность 1W).

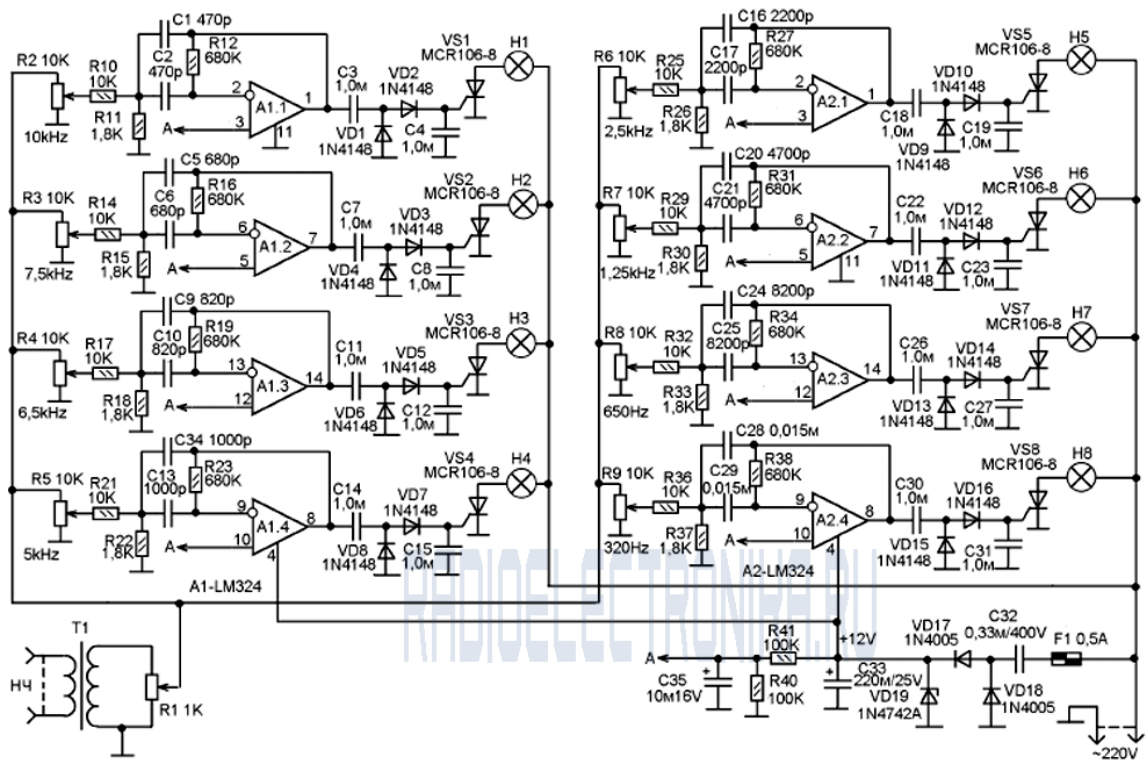


Рисунок 2 - ЦМУ на операционных усилителях

Цветомузыка на микроконтроллере. ЦМУ на микроконтроллере Atmega8 (рисунок 3) достаточно простая, входной сигнал с обоих каналов смешивается и усиливается операционным усилителем LM358, далее он

поступает на контроллер семейства AVR Atmega8, где программно делится на каналы : раскладывает входной сигнал на гармоники с помощью преобразования Фурье, логарифмирует сигнал, генерирует ШИМ сигналы для светильников и сигнал для автоподстройки усиления. Как видно по схеме, светомузыка имеет 6 каналов (по два канала на три основных (сч, вч, нч), к ним идут ключи, которые позволяют подключить на каждый канал до 20 ультраярких светодиодов.

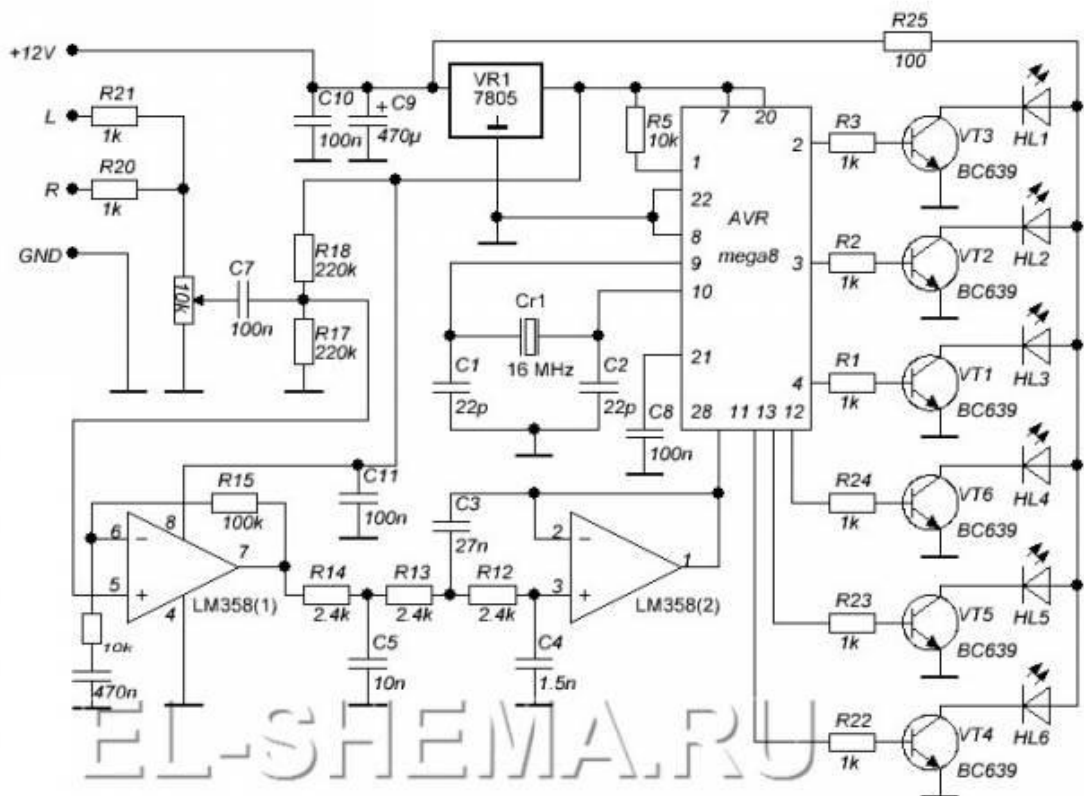


Рисунок 3 - ЦМУ на микроконтроллере

1.2 Задача выпускной квалификационной работы

Основной задачей выпускной квалификационной работы является создание на основе имеющихся решений собственной ЦМУ, разработка схемы и печатной платы, расчет и подбор соответствующих элементов. Перед тем, как приступить к разработке ЦМУ, нужно решить следующее:

сколько будет частотных каналов в данной установке, нужно ли усиливать или преобразовывать сигнал, какие силовые ключи будут использоваться, что будет использоваться в качестве световой индикации. После анализа многообразия схемотехнических решений, было принято следующее решение: в установке будет использоваться три частотных канала, звуковая компрессия, в качестве силовых ключей будут использоваться полевые транзисторы, а в качестве световой индикации – светодиоды.

2 Разработка принципиальной схемы установки

Описание работы схемы наглядно представлено на структурной схеме (рисунок 4) .

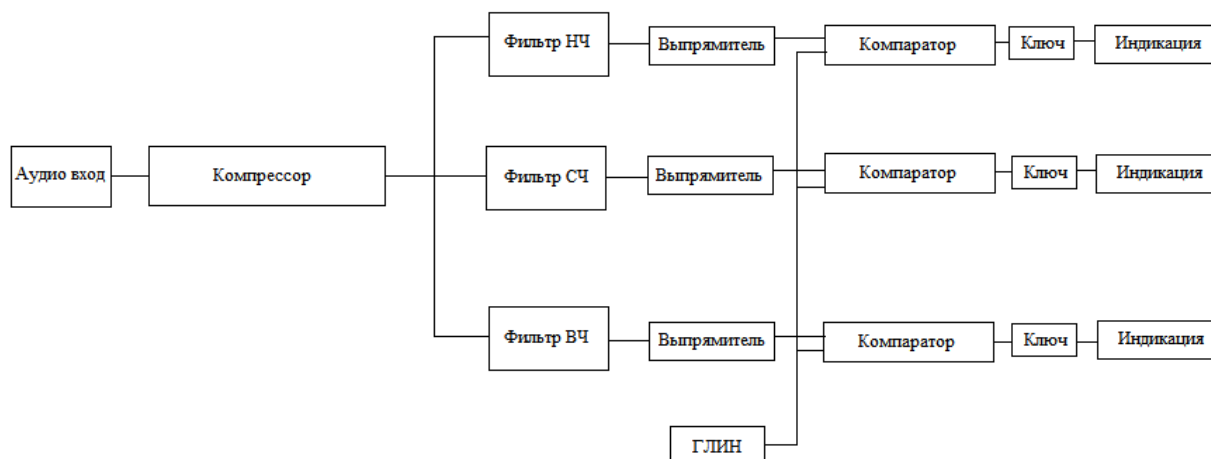


Рисунок 4 – Структурная схема ЦМУ

На вход ЦМУ поступает аналоговый звуковой сигнал с линейного выхода – разъема типа Jack 3,5 мм (компьютер, ноутбук, и.т.д.) и через входной узел поступает в компрессор звукового сигнала. В компрессоре происходит регулировка уровня усиления сигнала – усиливаются и слабые, и сильные частотные составляющие, только первые усиливаются больше, чем последние, в результате чего амплитуды слабых частотных составляющих хватает для зажигания индикации, а сильные составляющие не вызывают постоянного свечения. После звуковой компрессии сигнал делится частотными фильтрами на три составляющих – низкочастотную, среднечастотную и высокочастотную. После этого сигнал выпрямляется и

сглаживается, а затем поступает на вход компаратора, где сравнивается с импульсами генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН). Графически это выглядит так (рисунок 5) :

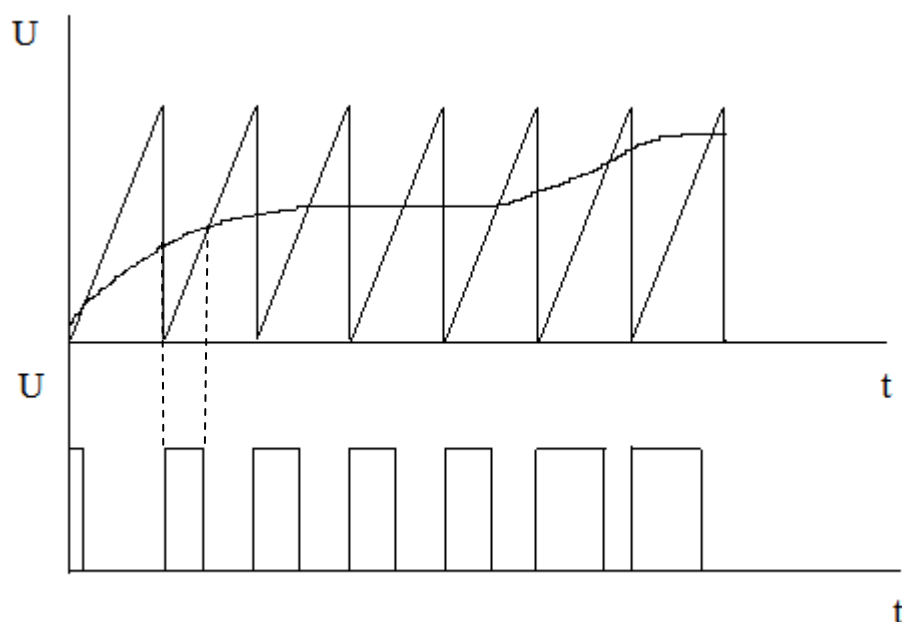


Рисунок 5 – Графическое объяснение

Там, где звуковой сигнал выше импульсов ГЛИН, на выходе компаратора высокий уровень напряжения, в противном случае – низкий. Эти импульсы с выхода компаратора управляют ключами на транзисторах, которые в свою очередь подключают индикацию к источнику питания.

2.1 Вход

Сигнал, поступающий на вход цветомузыкальной установки, будет сниматься с линейного выхода компьютера, ноутбука, и других устройств, имеющих данный разъем. Линейный выход – это стандартный интерфейс, предназначенный для передачи аналоговых сигналов различным аудиоустройствам. Конструктивные исполнения разъемов на звуковых картах - линейный выход представлен разъемом типа «Jack», зеленого цвета, диаметром 3.5 мм. Так как на входе будет стереосигнал, и чтобы не потерять

звук с какого-то из каналов, будет применен следующий входной узел (рисунок 6) :

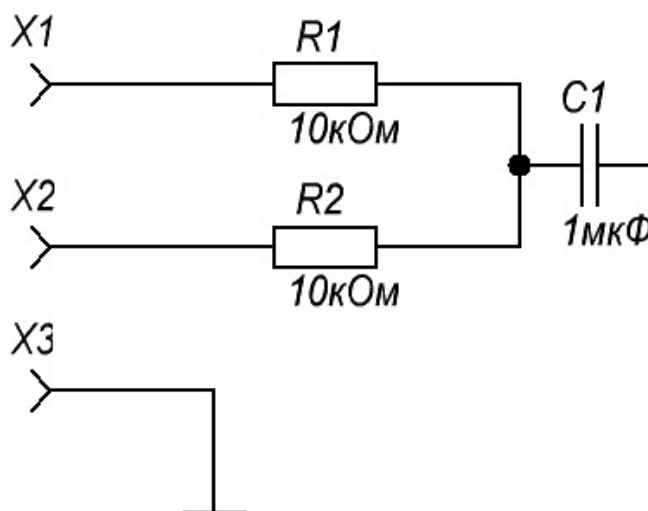


Рисунок 6 – Входной узел

Здесь X1, X2, X3 – соответственно правый, левый каналы и земля на выводах штекера под разъем 3,5мм (рисунок 7), который будет подключаться ко входу ЦМУ.



Рисунок 7 – Штекер

Стереосигнал, поступающий на два аудиоканала (правый и левый), объединяется по данной схеме (рисунок 6) в моносигнал, и далее через разделительный конденсатор C1 поступает на вход компрессора.

2.2 Компрессор звукового сигнала

Работа цветомузыкальной установки (ЦМУ) становится более эффективной, если диапазон изменения яркости свечения индикации близок к диапазону изменения входного сигнала. Поэтому для согласования динамических диапазонов на входе СДУ приходится включать устройство, “сжимающее” динамический диапазон сигнала. Такое устройство называют компрессором. При использовании высококачественных музыкальных композиций, с большим динамическим диапазоном в ЦМУ возникает ситуация, когда в музыкальном фрагменте отчетливо слышны частотные составляющие, а вот световой индикации соответствующего светового устройства не происходит. Однако при следующей композиции, где динамический диапазон распределен по-другому, может возникнуть другой эффект - когда световая индикация постоянно светит. Для решения этой проблемы как раз и используются компрессоры звукового сигнала, которые искусственно сжимают динамический диапазон - слабый сигнал усиливают сильнее, сильный - слабей. В результате даже слабые частотные составляющие в музыкальном фрагменте участки заставляют соответствующую индикацию включиться, а сильные сигналы не вызывают постоянного свечения индикации. То есть происходит автоматическая регулировка уровня сигнала.

Схема компрессора изображена на рисунке 8. Компрессор выполнен на операционном усилителе (ОУ) с отрицательной обратной связью (ООС). Принцип работы компрессора заключается в следующем: ОУ имеет коэффициент усиления, поэтому усиливает поступающий на его вход звуковой сигнал. Сигнал, снимаемый с выхода компрессора, идет также и по цепи ООС, на полевой транзистор VT1. Чем выше амплитуда выходного сигнала, тем больше сопротивление канала транзистора, и тем сильнее становится ООС, тем самым ограничивая коэффициент усиления звукового сигнала. До некоего значения U компрессии, усиление происходит

нормально, но после того, как амплитуда входного сигнала станет больше U компрессии, выходной сигнал усиливается незначительно, что можно проследить на амплитудной характеристике компрессора (рисунок 9).

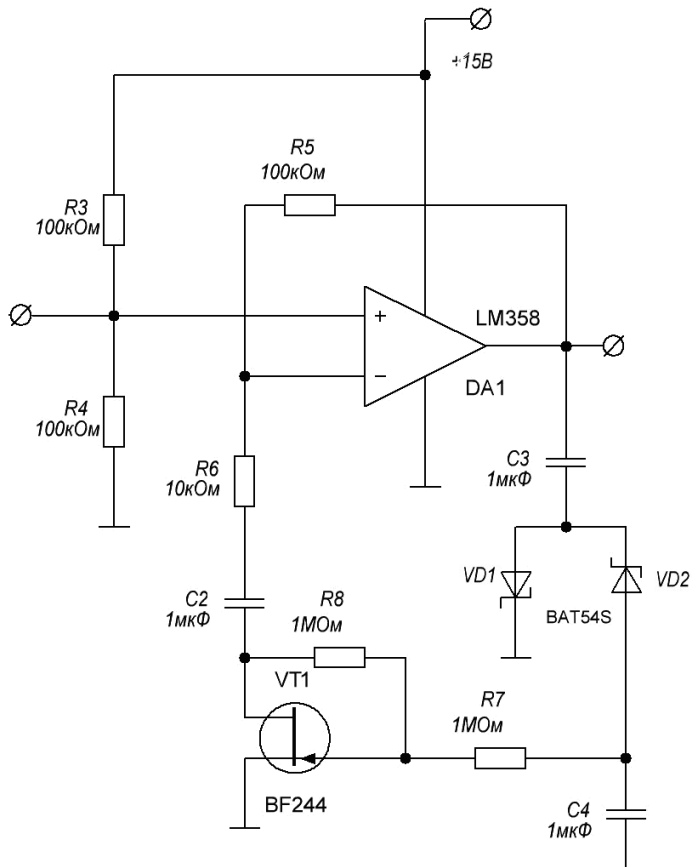


Рисунок 8 –Схема компрессора

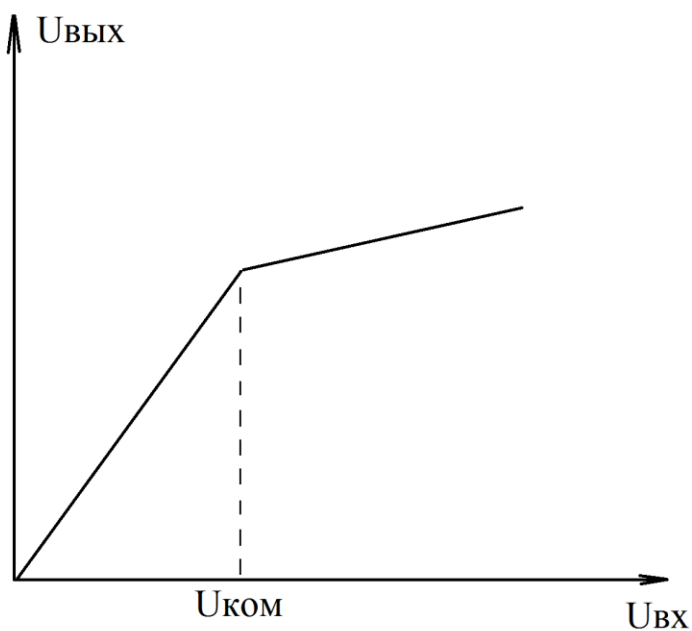


Рисунок 9 – Амплитудная характеристика компрессора

2.3 Частотные фильтры

Частотные фильтры - это электрические цепи, предназначенные для выделения необходимой полосы частот. Различают фильтры на пассивных элементах (резисторы, конденсаторы, катушки) и на активных элементах (операционные усилители, транзисторы). В данной работе будут использоваться пассивные фильтры. Из-за наличия реактивного элемента в цепи, он будет обладать высоким сопротивлением на той или иной частоте, в зависимости от его расположения. Различают фильтры низких и высоких частот, а также фильтры средних частот, или же по-другому полосовые фильтры. В данной работе будут использоваться RC-фильтры для выделения трех полос частот – низкой, средней и высокой частоты.

Фильтры верхних частот (далее ФВЧ) и фильтры нижних частот (далее ФНЧ) применяются во многих электрических схемах и служат для разных целей. Одним из ярких примеров их применения – цветомузыкальные установки. Если использовать частотные фильтры, можно

добиться разделения звукового сигнала на несколько частотных каналов, три, четыре, пять и более каналов, всё зависит от фантазии изобретателя.

Одной из главных характеристик частотных фильтров является АЧХ – амплитудно-частотная характеристика (рисунок 10).

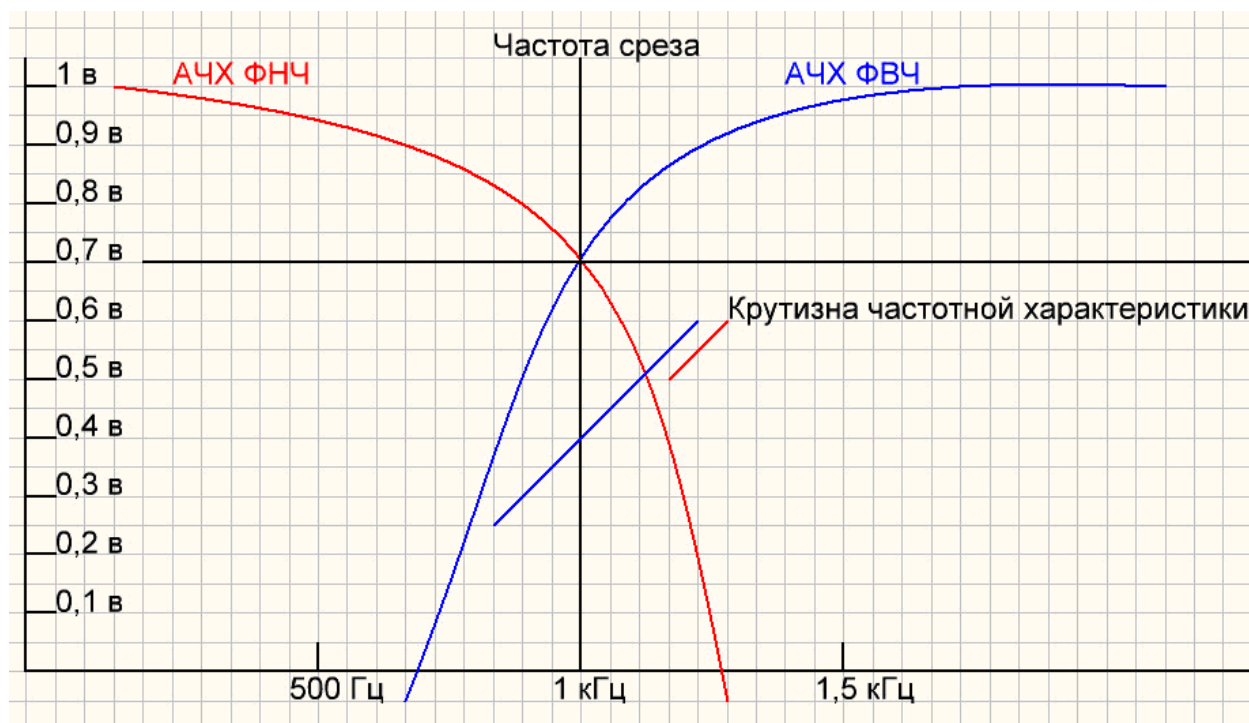


Рисунок 10 – АЧХ фильтров низких и высоких частот

АЧХ фильтра показывает, как изменяется уровень амплитуды выходного сигнала, проходящего через этот фильтр, в зависимости от частоты сигнала. На одной частоте выходной сигнал такой же, как и на входе, на другой частоте фильтр оказывает сопротивление сигналу, и его амплитуда на выходе фильтра ослабляется.

Еще одним важным параметром частотных фильтров является частота среза – та частота, при которой происходит спад амплитуды выходного сигнала до значения, равного 0,7 от входного. То есть если на входе фильтра при частоте 1кГц амплитуда составляет 1В, а на выходе уменьшается до 0,7В, то данная частота будет частотой среза данного фильтра (рисунок 10).

Также, важным параметром является крутизна частотной характеристики – то, насколько резко меняется амплитуда входного сигнала

на выходе фильтра, при изменении частоты. Чем сильнее спад, тем лучше фильтрация сигнала.

Фильтр низких частот – фильтр, пропускающий только низкочастотную составляющую сигнала. Схема ФНЧ изображена на рисунке 11. АЧХ ФНЧ изображена на рисунке 10.

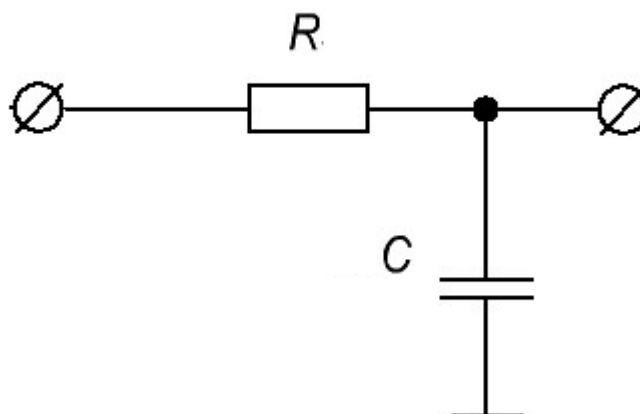


Рисунок 11 – Фильтр низких частот

В области низких частот конденсатор обладает высоким сопротивлением, поэтому сигнал беспрепятственно поступает на выход. Но при достижении сигналом высокой частоты, сопротивление конденсатора уменьшается, что ведет к уменьшению амплитуды выходного сигнала.

Расчет фильтра низких частот. Формула для определения частоты среза фильтра:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

Исходные данные: $f_{cp}=200$ Гц, $R=1.8$ кОм.

$$C = \frac{1}{2\pi R f_{cp}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 1800 \text{ Ом} \cdot 200 \text{ Гц}} = 0.442 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Находим ближайшее большее номинальное значение: 0.47 мкФ.

Пересчитываем:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 1800 \text{ Ом} \cdot 0.47 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 188 \text{ Гц}$$

Получившаяся частота среза – 188 Гц вполне удовлетворяет условию для фильтра низких частот. Номиналы выбранных элементов – резистор на 1.8 кОм, конденсатор на 0.47 мкФ.

Фильтр высоких частот – фильтр, пропускающий только высокочастотную составляющую сигнала. Схема ФВЧ изображена на рисунке 12. АЧХ ФВЧ изображена на рисунке 10.

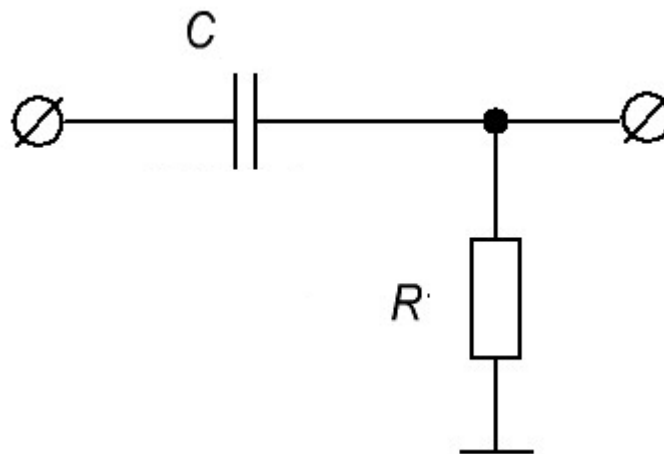


Рисунок 12 – Фильтр высоких частот

В области низких частот конденсатор обладает высоким сопротивлением, поэтому сигнал не поступает на вход, из-за высокого входного сопротивления схемы. Но при достижении сигналом высокой частоты, сопротивление конденсатора уменьшается, что ведет к беспрепятственному прохождению сигнала.

Расчет фильтра высоких частот. Формулу для определения частоты среза фильтра смотреть выше.

Исходные данные: $f_{cp}=6000 \text{ Гц}$, $R=100 \text{ Ом}$.

$$C = \frac{1}{2\pi R f_{cp}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 100 \text{ Ом} \cdot 6000 \text{ Гц}} = 0.265 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Находим ближайшее большее номинальное значение: 0.33 мкФ.

Пересчитываем:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 100 \text{ Ом} \cdot 0.33 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 4825 \text{ Гц}$$

Получившаяся частота среза – 4825 Гц вполне удовлетворяет условию для фильтра высоких частот. Номиналы выбранных элементов – резистор на 100 Ом, конденсатор на 0.33 мкФ.

Полосовой фильтр – фильтр, пропускающий только определенный диапазон частот. В данном случае будем использовать комбинацию ФНЧ и ФВЧ (рисунок 13).

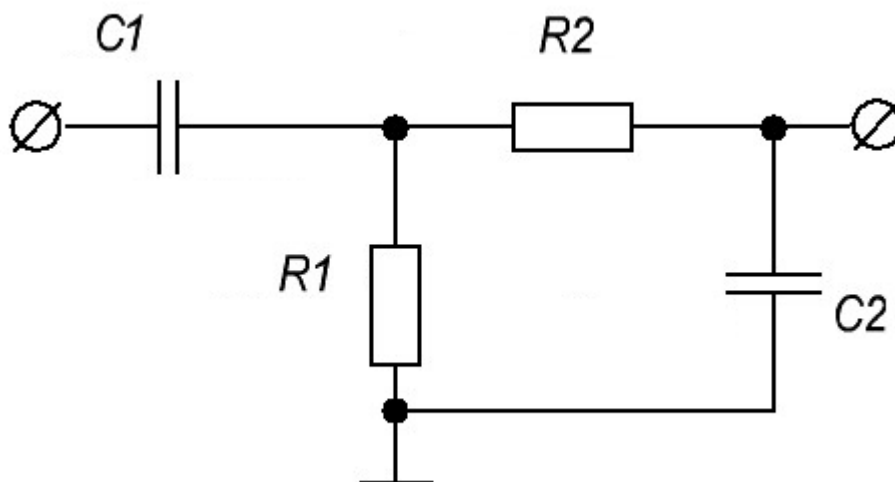


Рисунок 13 – Полосовой фильтр

На входе будет фильтр высоких частот с частотой среза 188 Гц, не пропускающий низкочастотную составляющую ниже 188 Гц, на выходе – фильтр низких частот с частотой среза 4825 Гц, не пропускающий частоты выше 4825 Гц. В качестве номиналов элементов будем использовать те, что были ранее в двух других фильтрах. Номиналы выбранных элементов – резистор R1 на 1.8 кОм, конденсатор C1 на 0.47 мкФ, резистор R2 на 100 Ом, конденсатор C2 на 0.33 мкФ.

2.4 Выпрямитель со сглаживающим фильтром

В данной ЦМУ выпрямитель необходим, чтобы выпрямить звуковой сигнал после разделения частотными фильтрами. Выпрямив, и сгладив звуковой сигнал, мы получим постоянный уровень звукового сигнала, который будет подавать на вход компаратора и сравниваться с импульсами с выхода генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН). В качестве выпрямителя будет использоваться однополупериодный выпрямитель и сглаживающий RC-фильтр (рисунок 14).

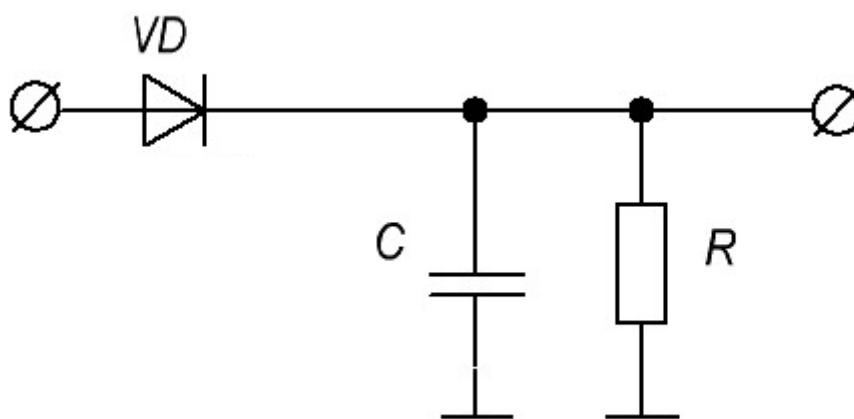


Рисунок 14 – Выпрямитель со сглаживающим фильтром

Для получения пульсирующего напряжения из переменного используют специальные элементы, обладающие односторонней электропроводностью: полупроводниковые диоды. Самый простой выпрямитель можно построить на основе всего лишь одного выпрямительного элемента, например полупроводникового диода. При подключении выпрямителя к источнику переменного напряжения (рисунок 15, верхний график) в течение положительных полупериодов переменного напряжения диод VD оказывается включенным в прямом направлении, сопротивление его становится очень небольшим и через нагрузку протекает ток, вызывающий на ней падение напряжения. В течение отрицательных

полупериодов диод включается в обратном направлении, его сопротивление становится большим, в результате чего ток, протекающий через диод и нагрузку, оказывается весьма малым. Таким образом, через нагрузку протекает пульсирующий ток, вызывая на нагрузке пульсирующее напряжение (рисунок 15, нижний график). Поскольку этот ток протекает лишь в положительные полупериоды, а при отрицательных полупериодах очень мал, такой выпрямитель называют однополупериодным. Частота пульсаций однополупериодного выпрямителя равна частоте напряжения, подводимого к выпрямителю. Пульсирующий ток, протекая через нагрузку, создает на ней пульсирующее напряжение, которое является источником сильных помех. Чтобы его уменьшить, следует сгладить пульсации напряжения на выходе выпрямителя. Для этого выпрямленное напряжение подают сначала на сглаживающее устройство — фильтр, а уже с фильтра — на нагрузку.

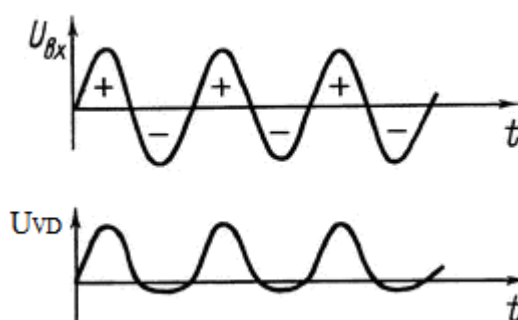


Рисунок 15 – Работа диода в выпрямительном режиме

Сглаживающие фильтры питания предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения. Принцип работы: во время действия положительной полуволны напряжения происходит заряд конденсатора от источника – диодного выпрямителя, и его разряд на резистор во время отсутствия полуволны. Простейшим методом сглаживания пульсаций является применение фильтра в виде конденсатора достаточно большой емкости, шунтирующего нагрузку (сопротивление нагрузки). Конденсатор хорошо сглаживает пульсации, если обладает большой емкостью. Во время

действия синусоидального сигнала, когда напряжение на диоде выпрямителя прямое, через диод проходит ток, заряжающий конденсатор до напряжения, близкого к максимальному. Когда напряжение на выходе диодного выпрямителя оказывается меньше напряжения заряда конденсатора, конденсатор разряжается через нагрузку резистор R и создает на нем напряжение, которое постепенно снижается по мере разряда конденсатора. В каждый следующий полупериод конденсатор подзаряжается и его напряжение снова возрастает. Более наглядно это показано на рисунке 16, где 1 – входной сигнал, 2 – выходной сглаженный. В качестве сглаживающих конденсаторов используются электролитические конденсаторы. Постоянная времени, определяющая скорость разряда конденсатора:

$$\tau = RC \quad (2)$$

где τ - постоянная времени.

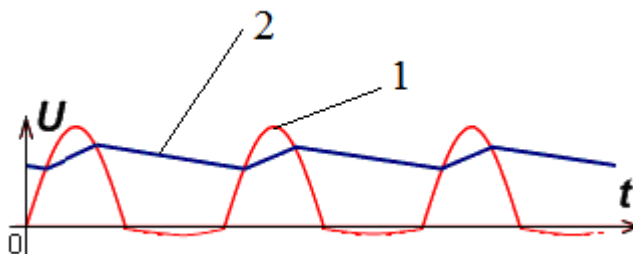


Рисунок 16 – Объяснение работы сглаживающего фильтра

Выбор и расчет элементов.

Выбор диода будет основан на следующих исходных данных : напряжение звукового сигнала примерно 5 – 6 В, ток мал и составляет миллиамперы, частота около 20 кГц. Следует выбирать быстродействующий выпрямительный диод. В качестве такого был выбран диод 1N4944, обладающий следующими параметрами: тип диода ультрабыстрый

выпрямительный, максимальное постоянное обратное напряжение 400В, максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток – 1 А, максимальное время обратного восстановления – 0.15 мкс, максимальное прямое напряжение – 1.3 В при 25гр., рабочая температура от минус 65 до 175 градусов Цельсия.

Для сглаживающего RC-фильтра, поставим электролитический конденсатор на 100 мкФ, резистор на 1 кОм. Постоянная времени будет равна:

$$\tau = RC = 1000 \text{ Ом} \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0.1 \text{ с}$$

Тогда разряд конденсатора будет длиться 3τ , т.е. 0.3 с, что вполне подходит для данной схемы ЦМУ.

2.5 ГЛИН

Генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) – электронное устройство, выходное напряжение которого в течение некоторого времени изменяется по линейному закону и повторяющееся периодически. Иногда они также называются генераторы пилообразного напряжения. Генератор пилообразного напряжения в данной ЦМУ будет выполнен на 555 таймере, микросхема NE555, схема такого генератора представлена на рисунке 17. Пилообразный сигнал формируется следующим способом: от источника питания, через резистор R2 происходит заряд конденсатора C2. Заряд происходит экспоненциально (рисунок 18) до 2/3 напряжения питания. При питании схемы 7.5 В, на выходе будет сигнал амплитудой 5 В. Выход 3 таймера соединён со входом 5 через диод VD2, что позволяет снизить напряжение на внутреннем делителе микросхемы до нуля при наличии на выходе таймера сигнала низкого уровня. Такая конфигурация позволяет почти полностью разрядить конденсатор C1. Как только конденсатор разряжается до некоторого минимального напряжения, близкого

к 0, таймер переключается и конденсатор начинает заряжаться от источника питания и далее процесс повторяется циклично.

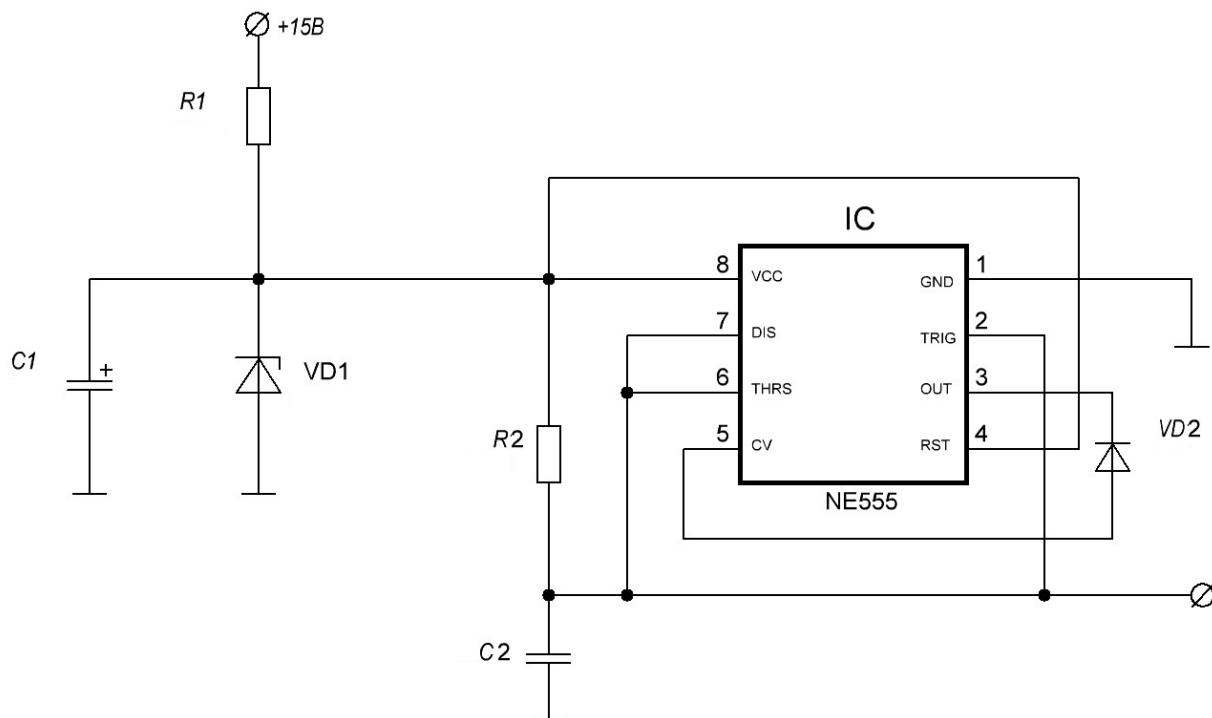


Рисунок 17 – ГЛИН

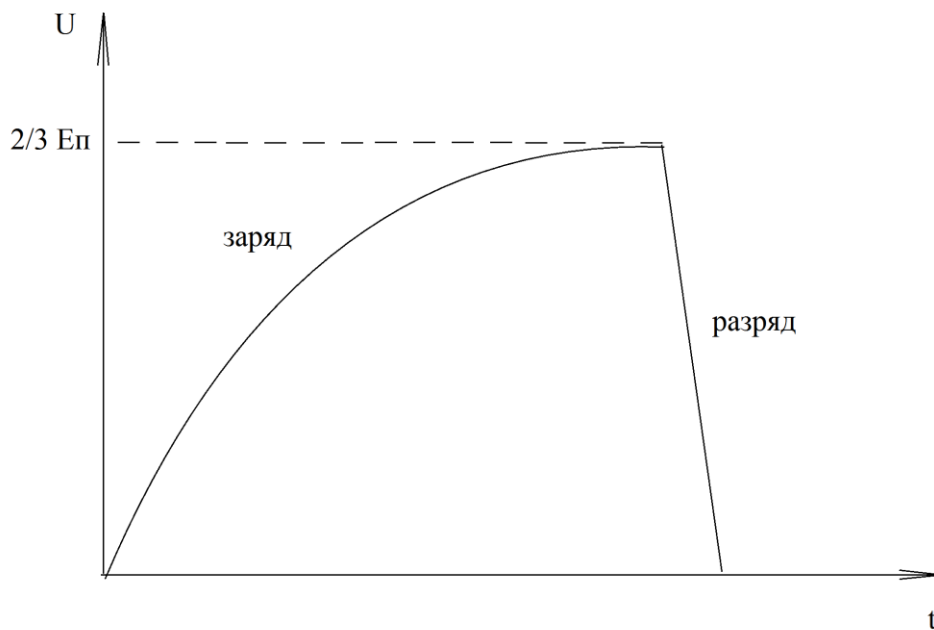


Рисунок 18 – Принцип работы ГЛИН

Частота колебаний генератора пилообразного напряжения зависит от ёмкости конденсатора $C2$ и сопротивления резистора $R2$. Частота определяется по формуле:

$$f = \frac{0.4}{R2C2} \quad (3)$$

Необходимая частота генератора – 1 кГц. Расчет элементов. Для того чтобы опираться на какое-то значение, возьмем резистор номиналом 1 кОм. Тогда емкость конденсатора:

$$C2 = \frac{0.4}{1000 \text{ Ом} \cdot 1000 \text{ Гц}} = 0.4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Ближайшее номинал емкости – 0.33 мкФ. Пересчитываем и находим частоту:

$$f = \frac{0.4}{R2C2} = \frac{0.4}{1000 \text{ Ом} \cdot 0.33 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 1200 \text{ Гц}$$

Рассчитанная частота с большой точностью удовлетворяет условию. В качестве диода VD2 ставим диод 1N4148.

Питание схемы. Питание осуществляется от источника питания 15В. Для того, чтобы получить необходимое питание в 7.5 В, для надежности установим стабилитрон VD1 на 7.5 В и параллельно ему электролитический конденсатор $C1$. Емкость конденсатора берем 100 мкФ. В качестве стабилитрона выбираем стабилитрон 1N4737А. Для расчета токоограничивающего резистора воспользуемся законом Ома:

$$R = \frac{U_R}{I_R} \quad (4)$$

где U_R - напряжение на резисторе, I_R - ток через резистор.

Напряжение на резисторе

$$U_R = E_{II} - U_{VD} = 15\text{В} - 7.5\text{В} = 7.5\text{В},$$

где E_{II} - напряжение источника питания –15 В,

U_{VD} - напряжение стабилизации стабилитрона – 7.5В. Ток через резистор равен сумме токов потребления микросхемы – 7.5мА и номинального тока стабилизации стабилитрона – 34 мА. Отсюда, сопротивление токоограничивающего резистора:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{7.5B}{7.5mA + 34mA} = 180Om$$

Возьмем сопротивление чуть меньше из ближайших номинальных значений – 150 Ом.

2.6 Компаратор

Компаратор – устройство, имеющее 2 входа и 1 один выход, основная функция которого – сравнивать поступающие на его входы сигналы, выдавая на выходе напряжение, близкое к напряжению питания, в зависимости от того, какой из сигналов больше другого. Обычно на один из входов подается сравниваемый сигнал, а на другой – постоянное напряжение, с которым этот сигнал сравнивается, так называемое опорное напряжение. Оно может быть любым, в том числе и равным нулю. В качестве компараторов могут использоваться операционные усилители (рисунок 19).

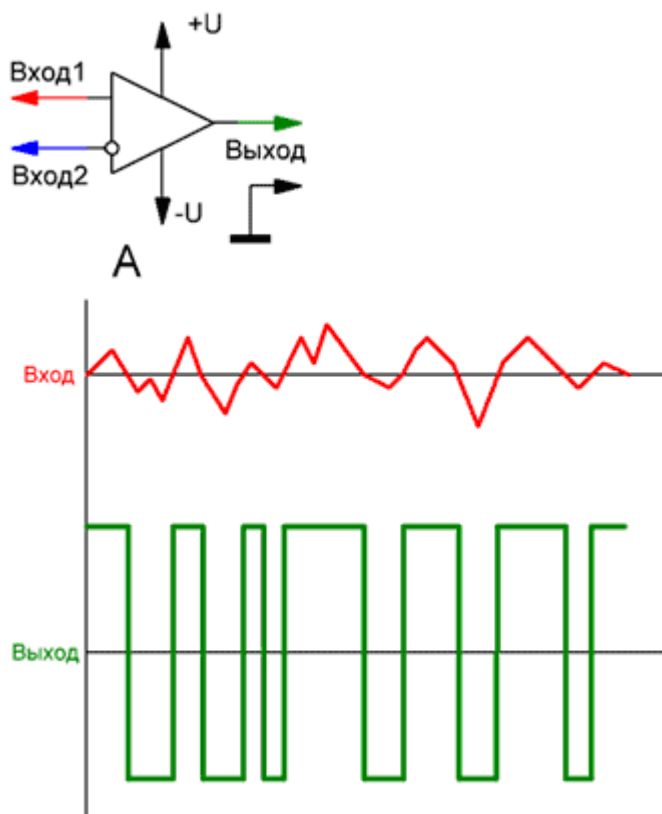


Рисунок 19 – Схема включения ОУ как компаратора

В зависимости от того, на какой вход ОУ подается сигнал, будет зависеть выходное напряжение. На рисунке 19 входной сравниваемый сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ, опорный сигнал равен нулю. При пересечении нулевого уровня на выходе ОУ будет положительный перепад напряжения, равный по величине положительному значению напряжения питания. Когда сигнал меньше опорного уровня, на выходе будет отрицательный перепад напряжения. Если же подать сравниваемый сигнал на инвертирующий вход, ситуация на выходе ОУ изменится с точностью до наоборот. В реальных схемах чаще всего сигналы поступают на вход зашумленными, что вызывает многократные переключения на выходе компаратора (рисунок 20). Жирная кривая линия описывает примерную форму входного сигнала.

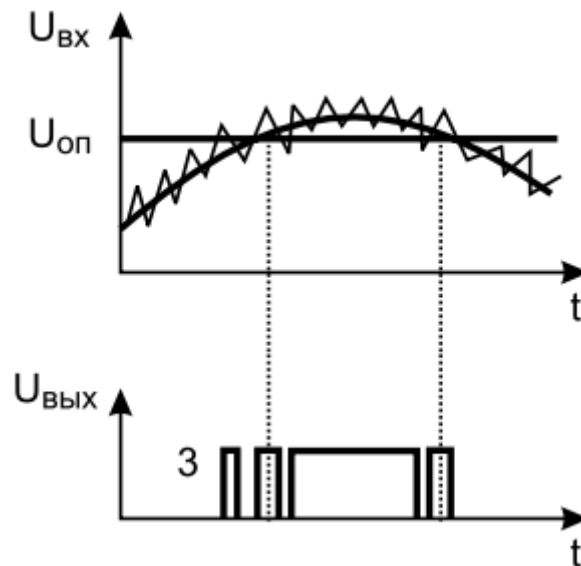


Рисунок 20 – Влияние входного зашумленного сигнала на выходной

Несмотря на простоту работы, не все ОУ могут работать в качестве компаратора. Есть специальные микросхемы, предназначенные для работы в качестве компаратора, для сравнения сигналов. Они представляют собой ОУ, но имеют на выходе каскад в виде транзистора с открытым коллектором и эмиттером (рисунок 21).

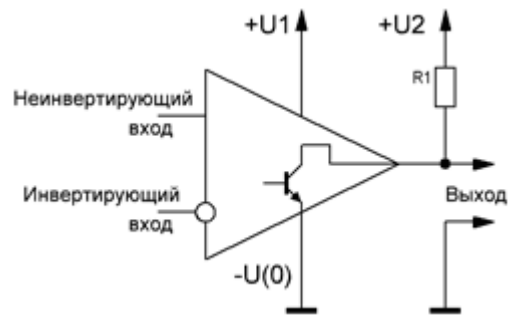


Рисунок 21 – Специализированный компаратор

На выходе требуется обязательное подключение нагрузочного резистора для формирования выходного сигнала. Уровень напряжения на выходе определяется особенностями подключения питания, что позволяет формировать на выходе логические сигналы. На рисунке 22 изображен компаратор, включенный по схеме с общим эмиттером и однополярным питанием 5 В.

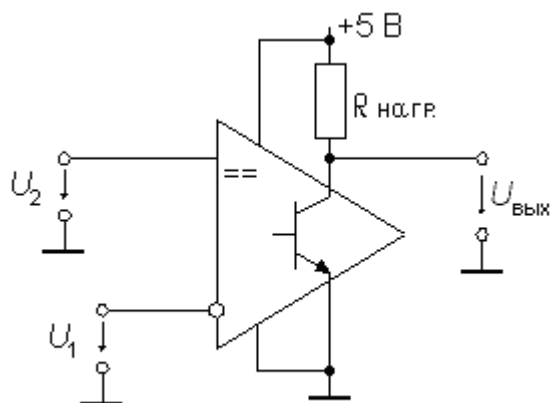


Рисунок 22 – Компаратор с однополярным питанием

В ЦМУ будет использоваться как раз такой компаратор, на микросхеме LM311, предназначенной для работы в качестве компаратора. Схематично используемый компаратор изображен на рисунке 23.

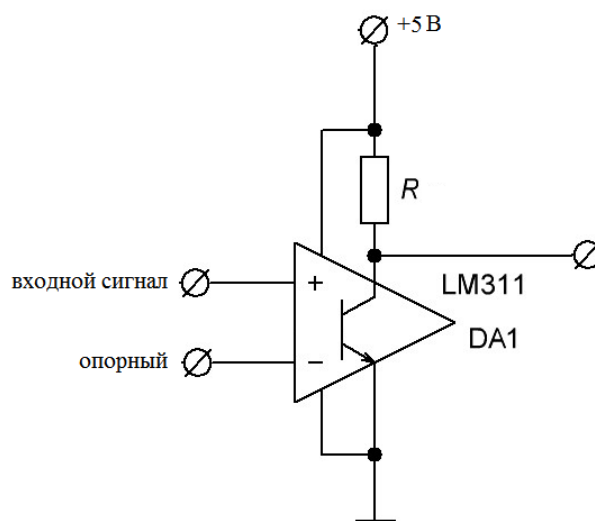


Рисунок 23 – Используемый компаратор

На неинвертирующий вход компаратора будет поступать выпрямленный и сглаженный звуковой сигнал, на инвертирующий – сигнал с выхода ГЛИН. Импульсы на выходе будут иметь амплитуду в 5 В и будут управлять транзисторными ключами. Если амплитуда звукового сигнала выше импульсов ГЛИН, то на выходе положительный перепад напряжения – 5 В.

Если импульсы ГЛИН выше по амплитуде, чем звуковой сигнал, что на выходе компаратора будет около нуля вольт. Номинал резистора в выходной цепи – 1 кОм.

Питание компараторов осуществляется через стабилитрон с напряжением стабилизации 5.1 В. В качестве стабилитрона выбираем стабилитрон 1N4733A, с напряжением стабилизации 5.1 В. Параллельно ему ставим электролитический конденсатор емкостью 100 мкФ. Как и в схеме питания ГЛИН, нужно рассчитать токоограничивающий резистор. Расчет выглядит аналогичным образом. Напряжение на резисторе

$$U_R = E_{II} - U_{VD} = 15B - 5.1B = 9.9B, \text{ где } E_{II} - \text{напряжение источника}$$

питания –15 В, U_{VD} - напряжение стабилизации стабилитрона – 5.1 В. Ток через резистор равен сумме токов потребления микросхем, которых в схеме ЦМУ три (по 7.5 мА на каждую) – 22.5мА и номинального тока стабилизации стабилитрона – 49 мА. Отсюда, сопротивление токоограничивающего резистора:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{9.9B}{22.5mA + 49mA} = 137.5Om$$

Возьмем сопротивление чуть меньше из ближайших номинальных значений – 130 Ом. Питание микросхем компараторов выглядит следующим образом (рисунок 24):

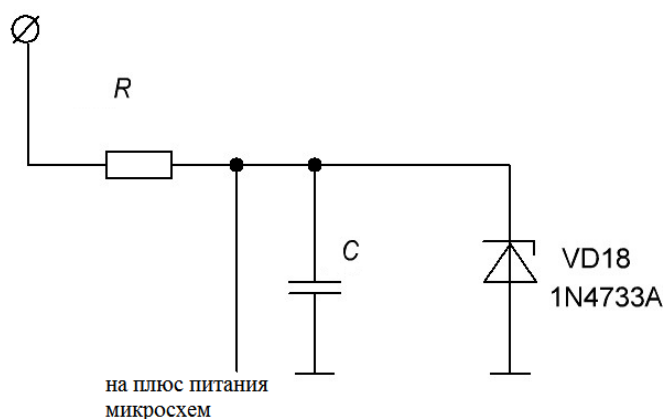


Рисунок 24 – Питание микросхем компараторов

2.7 Транзисторные ключи

В качестве коммутирующих ключей выбраны полевые транзисторы с индуцированным каналом, так как они обладают большим быстродействием по сравнению с другими транзисторами, что весьма полезно в схеме цветомузыкальной установки. При выборе транзистора следовало учитывать следующее: транзистор должен коммутировать светодиоды, следовательно ток он будет коммутировать небольшой, напряжение сток-исток должно быть больше 15 В (напряжение питания ЦМУ). В качестве коммутирующих транзисторов были выбраны IRL3103, полевые транзисторы с n-каналом (рисунок 25). На затвор подаются импульсы с выхода компаратора. При положительном импульсе, транзистор VT1 открывается, подключая светодиоды к источнику питания.

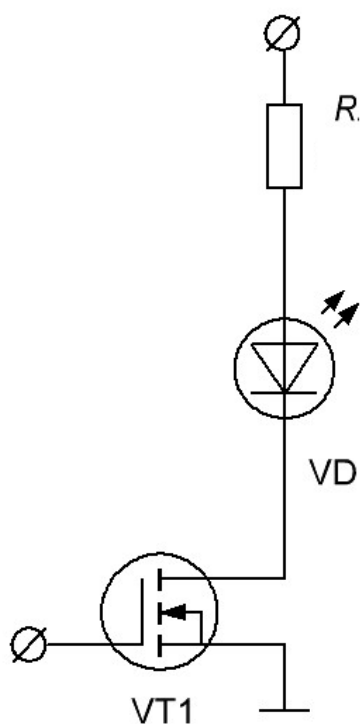


Рисунок 25 – Включение полевого транзистора в схеме ЦМУ

Параметры и характеристики транзистора:

структура: n-канал; максимальное напряжение сток-исток $U_{си}$ – 30 В;
максимальный ток сток-исток при 25 °С $I_{си}$ – 64 А; максимальное

напряжение затвор-исток $U_{зи}$ – 16 В; сопротивление канала в открытом состоянии $R_{си}$ – 12 мОм; максимальная рассеиваемая мощность $P_{си}$ – 94 Вт.

2.8 Световая индикация

Неотъемлемой частью цветомузыкальной установки является световая индикация. В качестве световой индикации в ЦМУ применяются лампы накаливания, лазеры, светодиоды, светодиодные ленты, специальные экраны и.т.д. Но в данной ЦМУ будут использоваться именно светодиоды.

Светодиоды – это полупроводниковые приборы, излучающие свет при протекании через них тока. Происходит это за счет рекомбинации электронов и дырок в месте контакта двух полупроводников разного типа проводимости при протекании через светодиод прямого тока, в результате которой выделяется энергия в виде фотонов, или проще говоря, света. Светодиоды работают только при прямом токе, при обратном они выходят из строя. Светодиод имеет два вывода (рисунок 26), один из которых катод (минус), а другой - анод (плюс).

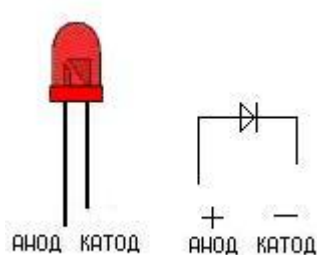


Рисунок 26 - Светодиод

Вольтамперная характеристика диода (ВАХ) – зависимость тока светодиода от приложенного напряжения. ВАХ представлена на рисунке 27. Правая ветвь ВАХ характеризует работу светодиода, U_{\min} – минимальное прикладываемое напряжение, при котором светодиод загорается, U_{\max} – максимальное значения прикладываемого напряжения, при превышении которого светодиод выходит из строя. Диапазон значений от U_{\min} до U_{\max} –

рабочий диапазон светодиода. I_{\max} – максимальное значение тока через светодиод при соответствующем напряжении U_{\max} . Яркость светодиода зависит от протекающего через него тока – чем больше ток, тем ярче горит светодиод. $U_{\max\text{обр}}$ – максимальное обратное напряжение, при превышении значения которого наступает пробой светодиода и он выходит из строя.

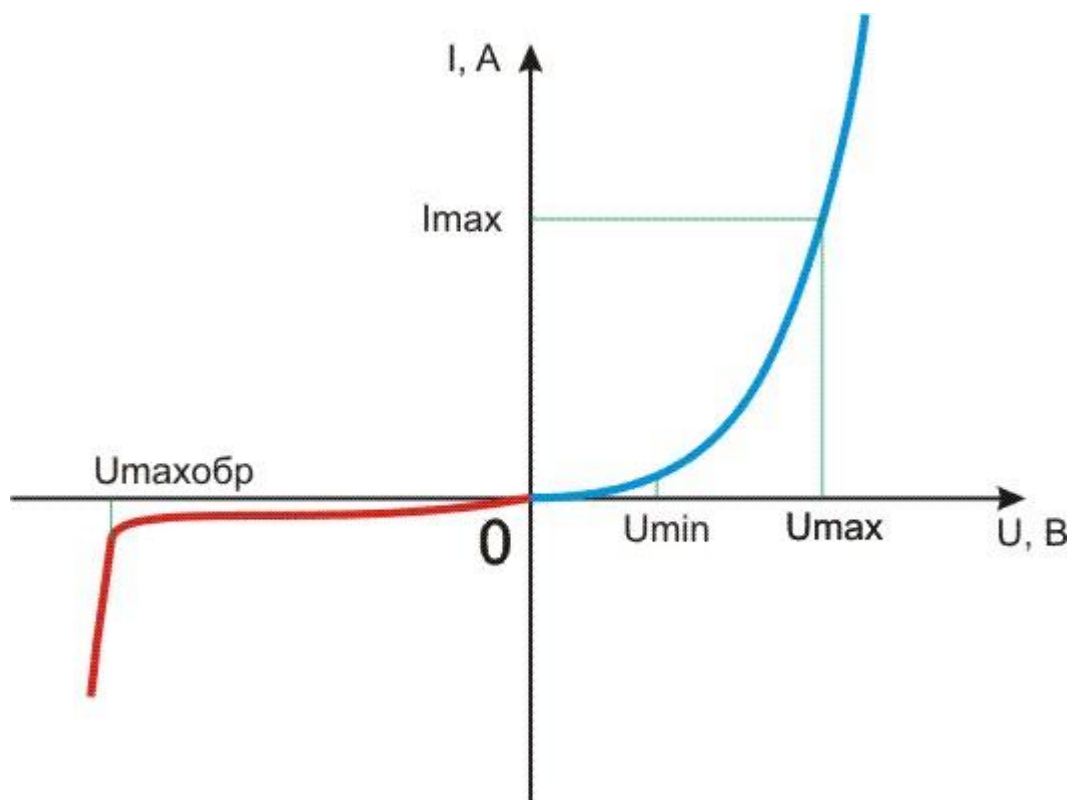


Рисунок 27 – ВАХ светодиода

Основные характеристики светодиодов: рабочий ток, падение напряжения, мощность, световой поток, сила света, угол рассеивания, цвет.

Рабочий ток светодиодов. Светодиоды работают только при определенной силе тока. От этой характеристики зависит работоспособность светодиода. Если светодиод рассчитан на определенное значение рабочего тока, то даже небольшое превышение этой величины приведет к быстрому выходу его из строя. Чуть более высокое превышение силы тока ведет к мгновенному перегоранию светодиода. Рабочий ток светодиодов различен – более мощные светодиоды работают на более высоком токе. В светодиодных

лампах и светильниках установлены специальные драйверы – устройства, контролирующие значение рабочего тока. В обычных схемах или при единичном использовании устанавливается токоограничивающий резистор, дающий именно ту величину тока, которая нужна для работы светодиодов.

Падение напряжения на светодиодах. Рабочее напряжение светодиодов зависит от полупроводников и других примесных химических элементов, использованных при изготовлении светодиодов. Применение различных примесей для получения того или иного цвета излучения светодиода приводит к тому, что светодиоды разных цветов имеют разное рабочее напряжение.

Мощность светодиодов. Мощность светодиода зависит от его рабочего тока и падения напряжения на нем. Падение напряжения разных светодиодов колеблется в диапазоне, примерно, 1.5 – 4 вольта. Рабочий ток индикаторных и маломощных светодиодов обычно составляет 15 – 20 мА, ток мощных светодиодов может быть 150, 350, 750 мА и достигать до 1А.

Это значит, что разные светодиоды облают разной мощностью, от значения которой зависят конструкционные особенности. Так маломощные светодиоды не требуют дополнительного внимания, а мощные же светодиоды излучают довольно большую мощность, которая переходит в тепло и может вызвать перегрев светодиода, а следовательно вызвать рост тока и мгновенный выход его из строя. Поэтому такие мощные светодиоды устанавливаются на охладители, иногда на охладители с вентилятором для лучшего отвода тепла, для сохранения работоспособности с срока службы светодиода.

Световой поток – величина, характеризующая мощность светового излучения светодиода. Светодиоды испускают более мощный световой поток при том же или меньшем потреблении электрической энергии, что и другие источники освещения. Отдача света светодиодов достаточно высокая: они дают большее количество люмен (единиц светового потока) на каждый ватт своей мощности, по сравнению с другими светоизлучающими элементами.

Угол рассеивания – характеристика светодиодов, показывающая, на какой угол происходит рассеивание излучаемого света, иными словами равномерность излучения. По сравнению с другими источниками света, у светодиодов довольно низкий угол рассеивания – порядка 15-120°. расширения угла рассеивания применяется рассеивающая линза.

Цвет свечения светодиода. Он преимущественно зависит от типа химических добавок, их концентрации, степени легирования и соединений и именно они определяют цвет светодиода.. Светодиод любого цвета может иметь прозрачный корпус.

Существует много видов светодиодов, несмотря на это, они различаются по применению. Различают индикаторные светодиоды и осветительные светодиоды. Индикаторные светодиоды (рисунок 28) используются для индикации работы различных приборов, аппаратов, устройств.



Рисунок 28 – Индикаторные светодиоды

Осветительные светодиоды (рисунок 29) применяются в основном для освещения, и излучают они в большинстве холодный белый, просто белый и теплый белый цвета.

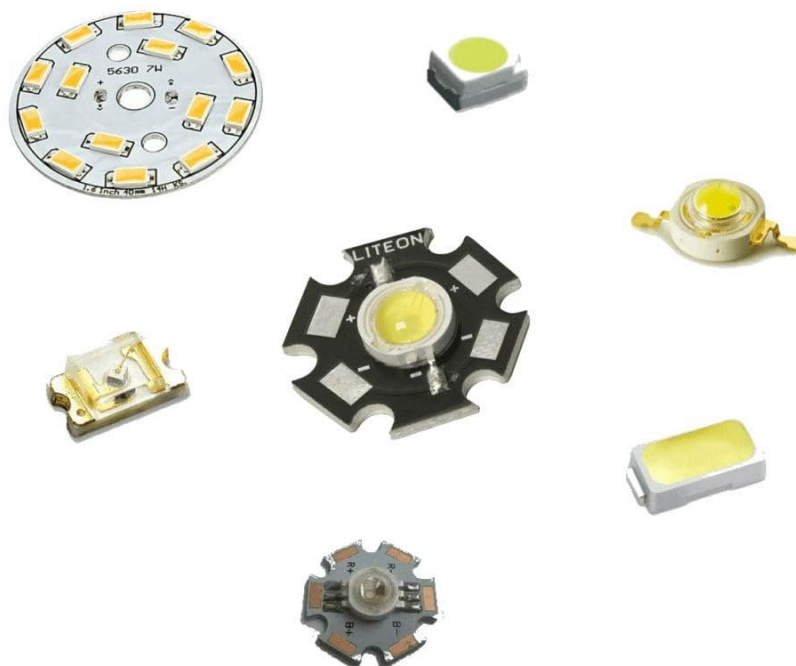


Рисунок 29 – Осветительные светодиоды

Достоинства светодиодов по сравнению с другими светоизлучающими элементами:

- 1) Высокая механическая прочность по сравнению с лампами накаливания, за счет отсутствия стеклянных колб
- 2) Отсутствие разогрева и высоких напряжений гарантирует высокий уровень электро и пожаробезопасности
- 3) Высокое быстродействие
- 4) Небольшие габариты
- 5) Долговечность
- 6) Высокий КПД
- 7) Низкие энергозатраты
- 8) Разнообразие цветов свечения
- 9) Дешевизна

Недостатки светодиодов:

- 1) Относительно высокая стоимость мощных светодиодов и светодиодных светильников
- 2) Малый световой поток от одного элемента
- 3) Высокие требования к источнику питания

В схеме ЦМУ будут использоваться маломощные светодиоды, за счет их дешевизны, малых габаритов, простого монтажа, и в то же время неплохой яркости. Для ЦМУ будет выбрано 9 светодиодов по 3 на каждый частотный канал. Красный – высокие частоты, зеленый – средние, и синий- низкие. Выбираем светодиоды:

- 1) BL-L102PGC, Светодиод зеленый

Таблица 1 – Параметры зеленого светодиода

Параметр	Значение
Длина волны, нм	525
Прямое максимальное напряжение, В	4.5
Максимальная сила света Iv макс., мКд	6000
Прямой ток Iпр., мА	30
Мощность рассеяния, мВт	110
Рабочая температура, °С	-40..80
Размер линзы, мм	10

- 2) BL-L102URC, Светодиод красный

Таблица 2 – Параметры красного светодиода

Параметр	Значение
Длина волны, нм	660
Прямое максимальное напряжение, В	2.2
Максимальная сила света Iv макс.,мКд	1200
Прямой ток Iпр.,мА	25
Мощность рассеяния, мВт	60
Рабочая температура, °С	-40..80
Размер линзы,мм	10

3) VL-L102UBC, Светодиод синий

Таблица 3 – Параметры синего светодиода

Параметр	Значение
Длина волны, нм	470
Прямое максимальное напряжение, В	4.2
Максимальная сила света Iv макс.,мКд	3000
Прямой ток Iпр.,мА	30
Мощность рассеяния, мВт	120
Рабочая температура, °С	-40..80
Размер линзы,мм	10

Расчет токоограничивающих резисторов. Светодиоды будут включены по четыре штуки в ветвь последовательно.

Для расчета воспользуемся законом Ома:

$$R = \frac{U_R}{I_R} \quad (5)$$

где U_R - напряжение на резисторе, I_R - ток через резистор.

Напряжение на резисторе $U_R = E_{\Pi} - 3U_{VD}$, где E_{Π} - напряжение источника питания -15 В, U_{VD} - максимальное напряжение на светодиоде. Ток через резистор равен прямому току светодиода. Отсюда, сопротивление токоограничивающего резистора для зеленого светодиода:

$$R = \frac{E_{\Pi} - 3U_{VD}}{I_R} = \frac{15B - 13.5B}{30mA} = 50Om$$

Возьмем сопротивление чуть больше из ближайших номинальных значений – 56 Ом.

Сопротивление токоограничивающего резистора для красного светодиода:

$$R = \frac{E_{\Pi} - 3U_{VD}}{I_R} = \frac{15B - 6.6B}{25mA} = 336Om$$

Возьмем сопротивление чуть больше из ближайших номинальных значений – 360 Ом.

Сопротивление токоограничивающего резистора для синего светодиода:

$$R = \frac{E_{\Pi} - 3U_{VD}}{I_R} = \frac{15B - 12.6B}{30mA} = 80Om$$

Возьмем сопротивление чуть больше из ближайших номинальных значений – 82 Ом.

Заключение

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы является исследование принципов и особенностей работы цветомузыкальных установок. В ходе данной работы был найден необходимый теоретический материал, который в совокупности с полученными в ходе процесса обучения знаниями позволил собрать собственный вариант цветомузыкальной установки. Были определены желаемые исходные данные работы, разработана принципиальная схема установки, произведен расчет и выбор необходимых элементов. Также, была разработана схема управления световой индикацией, практически не встречающаяся в имеющихся аналогах.

Разработанная схема цветомузыкальной установки была собрана в реальных условиях, и с наивысшей точностью удовлетворяет заявленным в исходных данных требованиям. Конструктивные и схемотехнические особенности установки в дальнейшем планируется совершенствовать.

Список использованных источников

1. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.
2. Быстров, Ю. А. Электронные цепи и микросхемотехника: учеб. пособие/Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. – М.: Высш. шк., 2002. – 384 с.: ил.
3. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.
4. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл: пер. с англ. – 6-е изд. – М.: Мир, 2003. – 704 с., ил.
5. Довгун, В. П. Электротехника и электроника: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 2 / В. П. Довгун. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 252 с.
6. Вересов Г.П. Электропитание бытовой радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1983. — 128 с.
7. Костиков В.Г. Парфенов Е.М. Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для ВУЗов. — 2. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001. — 344 с.
8. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1982. – 496 с.
9. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания.Схемотехника и расчет: учеб. пособие. – М.:СОЛОН-ПРЕСС, 2008 – 448с.
10. Атабеков Г.И. Основы теории цепей: учеб. для вузов. – М.:Энергия, 1969. – 424с.
11. Цветомузыкальные приставки: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mymus2011.narod.ru/HTMLs/ASMU.html> (дата обращения: 26.04.2016).
12. Цветомузыка: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://schem.net/sound/light/light23.php> (дата обращения: 20.04.2016).
13. Цветомузыкальная приставка: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.radioelectronika.ru/?mod=cxemi&sub_mod=full_cxema&id=912 (дата обращения: 25.04.2016).
14. Цветомузыка на микроконтроллере: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://el-shema.ru/publ/kontroller/svetomuzyka_na_mikrokontrollere/9-1-0-64 (дата обращения: 25.04.2016).
15. Светодинамическая установка: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://interlavka.narod.ru/stats02/cvet.htm> (дата обращения: 15.04.2016).

16. ГЛИН на 555 таймере: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://zpostbox.ru/sawtooth_wave_generator_based_on_555_timer.html (дата обращения: 16.04.2016).

17. Arduino color led organ: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://avtonavideo.ru/InrQvtUuS2w/how_to_build_your_own_led_color_organ__a_rduino__msgeq7.html (дата обращения: 28.03.2016).

18. 3 Channel Color Organ Kit: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://play.tojsiab.com/dWJRQzgzOVB2cWsz> (дата обращения: 28.03.2016).

19. Led Color Organ: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://threeneurons.wordpress.com/miscellaneous-projects/3-channel-color-organ/> (дата обращения: 28.03.2016).

20. Led Color Organ: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.waitingforfriday.com/index.php/LED_Colour_Organ (дата обращения: 28.03.2016).

21. 3 Channel LED Color Organ: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.youritronics.com/led-color-organ/> (дата обращения: 28.03.2016).