

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.м.н., доцент



В.А. Мещеряков

«19» января 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

**РАЗРАБОТКА СИНТЕЗАТОРА ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА  
LABVIEW**

по основной образовательной программе подготовки специалиста  
по специальности 11.05.01 – Радиоэлектронные системы и комплексы

Савельев Олег Николаевич

Руководитель ВКР

канд. физ.-мат. наук, доцент

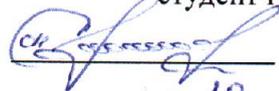


О. А. Доценко

«18» 01 2021 г.

Автор работы

студент группы №07608



О. Н. Савельев

«18» 01 2022 г.

Томск – 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель ООП  
к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков  
« 25 » декабря 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**

на подготовку ВКР специалиста  
студенту Савельеву Олегу Николаевичу № 768

1. Тема ВКР: Разработка синтезатора звуковых частот на LabVIEW

2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:

- а) на кафедре 19.01.2022,  
б) в ГЭК 01.02.2022

3. Краткое содержание работы:

Выпускная квалификационная работа будет направлена на разработку электронного устройства, генерирующего сигналы звуковых частот. Цель работы – разработка виртуального прибора для синтеза звуковых частот на LabVIEW.. Задачи: обзор литературы; разработка алгоритма работы устройства; создание виртуального прибора, работающего по выбранному алгоритму синтеза; тестирование и анализ полученных результатов.

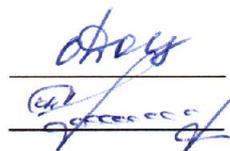
4. Календарный график выполнения ВКР:

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| а) изучение литературных источников          | 25.12.2021–15.01.2022 |
| б) разработка алгоритма работы               | 27.12.2021–30.12.2021 |
| в) моделирование работы генератора в LabVIEW | 31.12.2021–15.01.2022 |
| г) анализ результатов                        | 10.01.2022–19.01.2022 |
| д) оформление отчета и презентации           | 10.01.2022–19.01.2022 |

5. Дата выдачи задания «25» декабря 2021 г.

Руководитель ВКР –  
канд. физ.-мат. наук, доцент  
кафедры радиоэлектроники

Задание принял к исполнению



О.А. Доценко



О.Н. Савельев

## РЕФЕРАТ

Отчет 67 с., 42 рис., 4 табл., 20 источников, 3 приложения.

### ЗВУКОВОЙ СИНТЕЗ, АДДИТИВНЫЙ СИНТЕЗ, ЦИФРОВОЙ СИНТЕЗ ЗВУКА, СИНТЕЗАТОР, СУБТРАКТИВНЫЙ СИНТЕЗ

Объект исследования: сигналы звуковых частот.

Предмет исследования: звуковой генератор.

Цель работы: разработка виртуального прибора (ВП) для синтеза звуковых частот.

Методы исследования: компьютерное моделирование.

В результате выполнения работы были получены следующие результаты:

- 1) проведен обзор литературы;
- 2) выбран метод синтеза звука;
- 3) разработан алгоритм работы устройства;
- 4) разработан виртуальный прибор, работающий по выбранному алгоритму синтеза;
- 5) проведено тестирование работы ВП и проанализированы полученные результаты;
- 6) опубликована статья в материалах конференции.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1 Синтез звуковых сигналов.....	6
1.1 Синтез звука.....	6
1.2 Аддитивный синтез.....	10
2 Практическая часть .....	13
2.1 Определение спектра нот .....	13
2.2 Генератор звука для синтезатора на основе субтрактивного синтеза .....	14
3 Разработка синтезатора звуковых частот в графической среде программирования LabVIEW .....	20
4 Обеспечение охраны труда.....	42
Заключение.....	49
Список использованных источников и литературы .....	50
Приложение А (справочное) Основные частоты нот музыкальных инструментов .	53
Приложение Б (справочное) Руководство по эксплуатации.....	54
Приложение В (справочное) Программная документация .....	61

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время человечество стало заменять все имеющиеся аналоговые приборы цифровыми. Это связано с развитием цифровой техники, позволяющей усовершенствовать имеющиеся устройства, уменьшить их вес, кроме того, автоматизировать разнообразные технологические процессы. Так же много различных устройств имеют большие размеры, что не всегда позволяет использовать их по прямому назначению, к тому же они занимают много места.

Создание цифрового устройства ведет к уменьшению габаритов по сравнению с их аналоговыми представителями, к возможности моделирования существующих процессов аналоговых устройств в компьютерных программах, изменению различных параметров, определяющих работу приборов. Таким образом можно совершенствовать их, либо создавать что-то новое, поскольку программирование позволяет совершать ошибки с меньшим ущербом и не требует большого количества денежных средств в случае, если придется восстанавливать или исправлять неисправности при производстве, к тому же это ведет к уменьшению сил и средств. Немаловажным является и тот факт, что электронными или смоделированными устройствами можно управлять дистанционно, а также смотреть за правильностью их работы, но это только часть из всех возможностей цифровых устройств.

Одним из цифровых приборов является синтезатор – электронное музыкальное устройство, благодаря которому появилась возможность генерировать звуки различных музыкальных инструментов. Стоит отметить, что современные модели синтезатора могут воспроизводить голоса и различные шумы, используя в своей работе звуковой синтез [1].

Звуковой синтез – это способ создания звука, использующий электронное оборудование или программное обеспечение. Более часто звуковые сигналы формируют устройства, называемые синтезаторами и используемые для исполнения и записи музыки. Синтезируемый звук имеет много применений, как научных, так и художественных, обычно синтез используется для:

- создания интересных и уникальных звуков или тембров.
- создания или моделирования реальных акустических инструментов, или музыки.

– облегчения автоматизации систем и процессов создания звуков.

Актуальность проведения работы была сформирована благодаря изучению литературы, на основе чего выяснилось, что современное образование стремится частично, а иногда и полностью перейти на дистанционный формат обучения, но, к сожалению, открытым продолжает оставаться вопрос по созданию и использованию программных или узкоспециализированных инструментов при проведении занятий вышеуказанным способом. Кроме того, процесс обучения стремится к обновлению, а конкретнее, внедрению новых форм и способов проведения занятий, в том числе с использованием цифровой аппаратуры, целью которой является увеличение профессиональных возможностей выпускников музыкальных школ и других образовательных учреждений, выпускающих музыкантов [2].

Руководствуясь необходимостью применения электронных и программных музыкальных устройств в образовательной сфере, а также изучив существующие электронно-цифровые устройства была сформирована цель работы.

Цель работы – разработка виртуального прибора для синтеза звуковых частот.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- обзор литературы;
- разработка алгоритма работы устройства;
- выбор метода синтеза звука;
- создание виртуального прибора, работающего по выбранному алгоритму синтеза;
- тестирование и анализ полученных результатов.

Основные требования, которым должен соответствовать прототип:

- быстрый отклик и скорость работы генератора звуковых колебаний;
- минимальное время задержки между моментом нажатия на клавишу и выводом звука;
- возможность автономного использования;
- возможность воспроизводить звуки, используя компьютерную мышь и клавиатуру.

## **1 Синтез звуковых сигналов**

История электронных музыкальных инструментов берет свое начало в 1897 году, когда Таддеус Кэхилл создал электронное устройство – Телармониум [3]. Этот инструмент весил 200 тонн и занимал 19 метров в длину, а управляли данным устройством два музыканта, с помощью трех динамических клавиатур, диапазон которых был равен 7 октавам. Звуки извлекались с помощью 145 электрогенераторов и подавались в трубы для усиления громкости, так как ламповые усилители появились только в 1906 году. Коммерческим успехом изобретение не увенчалось, поскольку требовало огромное количество энергии, производство которой требовало больших финансовых и материальных затрат, но его создание позволило открыть новую область музыкальных инструментов – электронные инструменты.

### **1.1 Синтез звука**

В разные эпохи открывались различные способы создания музыкальных звуков. Звук, созданный потоком воздуха в трубке, давал чистый тон, а если соединялись несколько трубок, то звук получал иной окрас и становился более многогранным. Так появился самый простой вид музыкального синтеза – суммирующий (аддитивный) [4, 5]. Принцип его работы заключается в сложении нескольких гармонических звуков (синусоидальных сигналов), каждый из которых создается своим генератором и представляет собой «чистый тон». Изменяя амплитуды этих гармоник, можно получить необходимое звучание инструмента, называемое в музыкальной теории «тембром» инструмента. Яркий пример такого устройства – орган.

Другим способом создания звука является субтрактивный синтез [6]. Данный метод работает по следующему принципу: на вход каскада фильтров подается сигнал сложной формы (обычно это звук с прямоугольной, треугольной и пилообразной формой волны, а также различные шумы), содержащий большое количество гармоник различной амплитуды и частоты. С помощью фильтров выбирается полоса пропускания (выделение отдельных спектральных гармоник, необходимых для создания требуемого тембра звука). Достоинством данного метода является простота его организации, а недостатком – использование

большого количества фильтров. Стоит отметить, что данный метод до сих пор используют музыкальные фирмы ROLAND и YAMAHA.

Еще один способ формирования звуковых сигналов – таблично-волновой синтез [7]. В качестве основы данного метода применяются звуки, записанные с помощью реальных музыкальных инструментов и внесенные в волновую таблицу. Запись происходит в различных условиях, при различной силе нажатия на клавиши, силе удара, и различных величинах длины дорожки, что позволяет более точно имитировать звук реального инструмента. При нажатии на кнопку инструмента происходит процедура вызова принадлежащего ей сигнала, который непрерывно воспроизводится до тех пор, пока кнопка не будет отжата. Недостатком данного способа синтеза является потребность в большом количестве памяти электронного устройства. Записав спектр звукового сигнала, можно менять положение гармоник и их уровень с помощью специальных программ и алгоритмов, получая необычные тембры. Такой метод называется спектральным синтезом, его недостатком является сложность организации.

Гранулярный синтез [8], описанный в середине XX-го века венгерским физиком Денешом Габором, представляет собой синтез звуковых гранул с очень короткой длительностью. Звук получается в результате быстрого взаимодействия частоты повторения и частотных составляющих гранул. Затем он может быть отфильтрован и сформирован методом огибающей с использованием вычитающего синтеза. Гранулами управляет «клеточный автомат», который производит псевдослучайные последовательности повторения звуковых гранул. Гранулярный синтез очень сложен в управлении, однако даёт совершенно неожиданные результаты, генерируя не только привычные, но и совершенно новые для человека звуки.

Звук можно производить, используя метод математического моделирования, другими словами, записать математические формулы различных функций и генерировать их с помощью аппаратуры. Но стоит понимать, что звук может быть прерывистым, что связано с ограниченным счетом компьютерных систем, а его тембр не будет совпадать с тембром инструмента, чей сигнал использовался в качестве опорного для математического описания.

Фирма ROLAND в конце 80-х годов XX-го века «смешала» сэмплированный звук (звук реального инструмента) и синтезированную звуковую волну, в итоге, получив максимально близкий к действительному окрас звучания электроинструмента.

Если одну волну простого сигнала умножить на другую, то получится сигнал совершенно новой формы. Изменяя отношения частот этих волн, которых, кстати, тоже может быть несколько, можно получать гармонические и негармонические колебания. Такой способ называют частотно-модуляционным или операторным. Богатое разнообразие тембров, полученных этим методом, делает актуальными инструменты, изобретенные еще в прошлом веке.

Отразилось на музыкальной индустрии и освоение математических методов моделирования. Мощности процессоров позволяют моделировать физические процессы, происходящие в реальных музыкальных инструментах. При физическом моделировании звука учитываются размеры, материалы, натяжение струн или длина труб и другие факторы.

Однако, с точки зрения вычислений есть более простой способ получения аналогичного или даже лучшего результата – это семплерный синтез. Заранее записанные звуки от реальных инструментов хранятся в памяти, например, синтезатора, а, при необходимости, подвергаются аддитивному или субтрактивному методу. В идеале звук записывается отдельно для каждой ноты и даже для каждой громкости ее звучания, чтобы сгенерировать звук нажатия и отпущения клавиш клавиатуры.

Конечно, для создания универсального музыкального инструмента можно объединить несколько видов музыкального синтеза. Их комбинация дает выигрыш и в техническом аспекте производства инструмента, и в создании на нем музыки, отвечающей требованиям музыканта. Гибридный синтез является одним из самых популярных видов синтеза в современных синтезаторах.

Искусственные нейронные сети все глубже проникают во все сферы жизни человека [9]. Созданные ими музыкальные композиции по образу песен известных исполнителей уже не удивляют. К примеру, создатели синтезатора Hartmann Neuron применили в своем творении нейросеть, которая, преобразовывая в

математическую модель реальные звуки, позволяет выборочно управлять параметрами звучания, настраивая их как угодно.

Частотный синтез (модуляция) [10] представляет собой воздействие одной звуковой волны, которая, как правило, является простой, на другую, тем самым изменяя ее частоту. В таком случае получается звук, спектр которого очень богат и практически не имеет возможности быть восстановленным другими видами синтеза. При таком виде модуляции образуется множество пар боковых частот, их количество будет зависеть от индекса модуляции.

Векторный синтез [11] впервые был представлен компанией американского инженера и музыканта Дэйва Смита, который предложил динамическое перетекание аудиосигналов с использованием джойстика между 4 отличающимися друг от друга тембрами для получения одного, но более сложной формы.

Линейно-арифметический способ синтеза звука [12] формирует звук, совмещая генерируемую часть сигнала и семплируемую атаку. Суть этой технологии сводилась к следующему. В память синтезатора помещалась самая сложная для синтезирования часть любого звука — атака. Атака представляет собой очень короткий отрывок семпла и занимает мало памяти, при этом остальная тембральная составляющая генерируется стандартными средствами синтеза. После того, как исполнитель нажимает на клавишу инструмента, вызывается волновая форма, которая содержится в памяти, а в дальнейшем подхватывается генератором. Звук, сгенерированный данным способом, воспроизводится до тех пор, пока клавиша не будет отпущена или же эту настройку можно изменить программным методом.

Все вышеперечисленные методы генерирования звукового сигнала до сих пор используются при создании электронных музыкальных инструментов, в основном, сочетая несколько способов в одном устройстве. На настоящий момент насчитывается более 18 видов синтеза звукового сигнала.

Стоит отметить, что при создании синтезатора звуковых сигналов для прототипа музыкального устройства необходимо также руководствоваться музыкальной теорией, из которой известны основные частоты нот музыкальных инструментов (Приложение А)

Тембр (сам звук) определяют боковые гармоники спектра звуковой волны, их положение должно быть равным частотам, кратным основной частоте. К примеру, если основная частота выбирается равной 200 Гц, то обертона (спектральные составляющие) расположены в порядке возрастания, путем умножения 200 Гц на номер  $n$ -й гармоники спектра, а именно: 200 Гц, 400 Гц, 600 Гц, 800 Гц и т.д. Надо понимать, что спектр можно выбрать бесконечным, но человеческий организм не способен разобрать частоту ниже 20 Гц и выше 20 кГц, поэтому количество боковых гармоник будет ограничиваться данными частотами. С другой стороны, из опытов американского исследователя Рэйда Гордона, проводимых им в начале 20-го века, на тембр звука влияют только первые 12 гармоник. Амплитуда каждой последующей гармоники должна быть обратно пропорциональна номеру  $n$ -й гармоники, т.е. амплитуда основной частоты максимальна и равна 1, а последующих гармоник, соответственно: 1/2; 1/3; 1/4; 1/5 и т.д. Данный метод образован по принципу колебания струны. С другой стороны, из теории музыки известно, что даже самый лучший музыкант с исключительным слухом не способен различить больше 9 гармоник, 8 из которых являются кратными несущей частоте, входящих в спектр звука.

Таким образом, используя полученные данные, уже можно пробовать создать звук музыкального инструмента. Осталось выбрать один из указанных выше методов синтеза звука. Самым простым из них является аддитивный синтез. Поэтому принято решение более подробно разобрать данный метод генерации звука.

## 1.2 Аддитивный синтез

Данный метод был создан на основе ряда Фурье, который предложил математическое представление сложных сигналов в виде суммы простых. Этот ряд записывается в следующем виде:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} A_k \cos\left(k \frac{2\pi}{\tau} x + \theta_k\right)$$

где  $f(x)$  есть функция, описывающая изменение сигнала во времени;

$\tau$  – период сигнала;

$A_k$  – амплитуда  $k$ -го гармонического колебания;

$\omega = 2 \times \pi \times x / \tau$  – круговая частота гармонического колебания;

$\theta_k$  – начальная фаза  $k$ -го колебания;

Данная формула показывает, что любой сигнал имеет постоянную составляющую  $a_0/2$ , которая соответствует несущей частоте генерируемого сигнала. Исходя из предложенного Рэйдом Гордоном описания звукового сигнала, включающего 12 гармоник, и из теории музыки, в которой предлагалось 9 гармоник, следует, что ряд будет описан 12 и 9 слагаемыми, соответственно. Кроме того, каждая спектральная составляющая должна иметь свою амплитуду, а при необходимости может отличаться и их фаза. Все это определяет тембр звука (то, что делает его присущим именно для данного инструмента).

Казалось бы, звук необходимого нам инструмента создан и можно играть на нем, но он будет отличаться от звука, создаваемого аналоговым инструментом. В качестве примера можно использовать струну гитары. В начальный момент, когда производится колебание струны, она имеет максимальную амплитуду, с течением времени это колебание затухает, причем, сначала «гасятся» высокочастотные составляющие, а затем все остальные гармоники. Как результат, инструмент становится «живым».

Работа музыкального устройства с использованием данного метода производится по принципу, представленному на блок-схеме алгоритма аддитивного синтеза (рисунок 1.1).

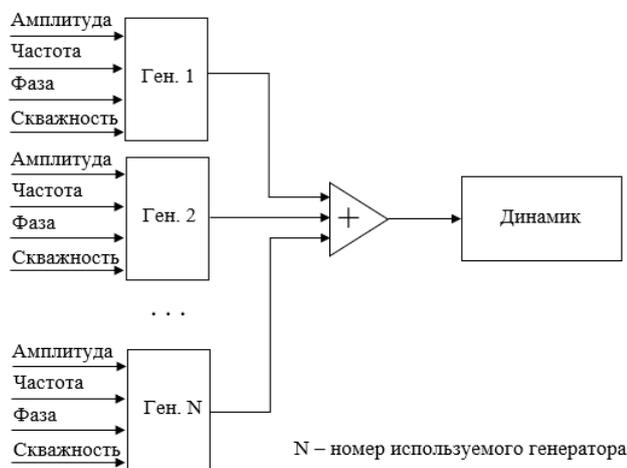


Рисунок 1.1 – Блок-схема алгоритма аддитивного синтеза

С помощью генераторов формируются колебания с заданными амплитудами, частотами и фазами. Количество генераторов определяется необходимым содержанием гармоник в спектре звука, чем больше гармоник, тем звук является более насыщенным, но, стоит помнить, что если для создания звука одной ноты использовать много генераторов, то в итоге музыкальное устройство будет иметь огромные размеры и ему потребуется много энергии, чтобы обеспечить работоспособность.

После формирования колебаний генераторами, они подаются на сумматор, где происходит их сложение. Таким образом, происходит образование сигналов сложной формы.

С выхода сумматора сформированный звук поступает на выходное устройство, которым является динамик, с его помощью можно воспроизводить генерируемые ноты и играть мелодии.

К достоинствам аддитивного синтеза относятся:

- простота организации метода;
- в отличие от множества существующих методов он занимает мало памяти при программировании;
- спектр генерируемого цифровым методом звука совпадает со спектром аналогового устройства;
- возможность генерировать сигналы любой формы, благодаря возможности изменения амплитуды, фазы и частоты сигналов.

К недостаткам относятся:

- использование большого количества генераторов звука, что приводит к увеличению объемов оконечного музыкального устройства и использованию большого количества энергии для работы всех элементов схем.

## 2 Практическая часть

### 2.1 Определение спектра нот

При проведении спектрального анализа необходимо учесть тот факт, что провод AUX имеет 2 выхода (Left/Right). Обычно на один из данных выходов подается сигнал, в спектре которого находятся низкие частоты, а на другой сигнал, содержащий в себе гармоники более высокой частоты. Таким образом, необходимо иметь представление сигнала с каждого из этих выходов, чтобы создать наиболее полную картину спектра издаваемой соответствующей ноты. Пример спектра ноты «до» 1-й октавы, полученный с правого выхода провода AUX представлен на рисунке 2.1.

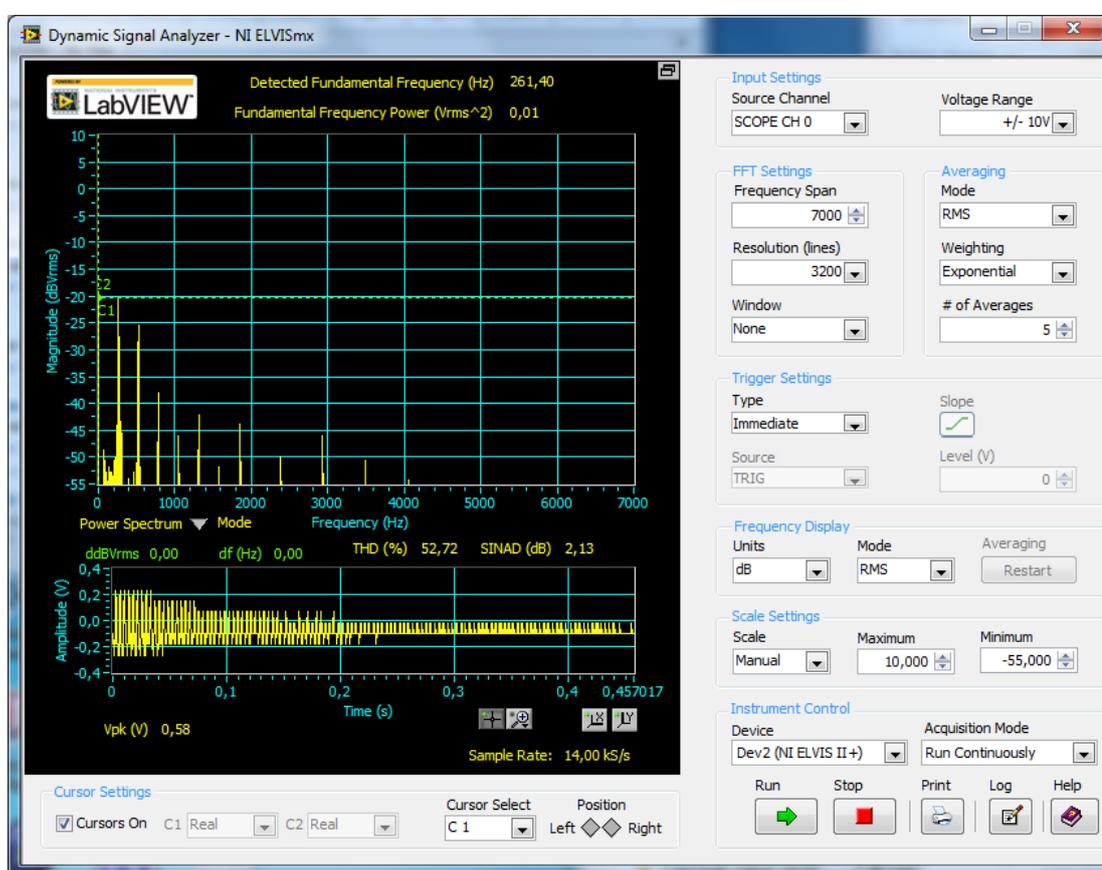


Рисунок 2.1 – Спектр ноты «до» 1-й октавы синтезатора YAMAHA (правый выход)

На представленной спектральной картине можно увидеть наиболее ярко выделяющиеся гармоники, в данном случае их 10. Амплитуды гармоник выражены в dBVrms. Для полного описания спектра данной ноты необходимо также снять спектр с левого выхода провода AUX (результаты анализа приведены на рисунке 2.2).

В данном случае спектр включает в себя 12 гармоник. При проведении сравнения полученных результатов определено, что не все частоты и амплитуды гармоник совпадают. Это означает, что сигнал с каждого выхода будет иметь собственную форму. Пользуясь данной схемой исследования спектра нот синтезатора, проведен анализ для нескольких нот.

Стоит так же отметить и тот факт, что спектр некоторых нот сформирован по принципу: частота каждой последующей спектральной составляющей равна предыдущему значению, увеличенному на частоту несущего сигнала. Поскольку данный метод формирования спектра уже был рассмотрен ранее и является достаточно удобным, воспользуемся им при разработке блок-схемы для генератора сигналов, который в конечном итоге будет генерировать определенную ноту.

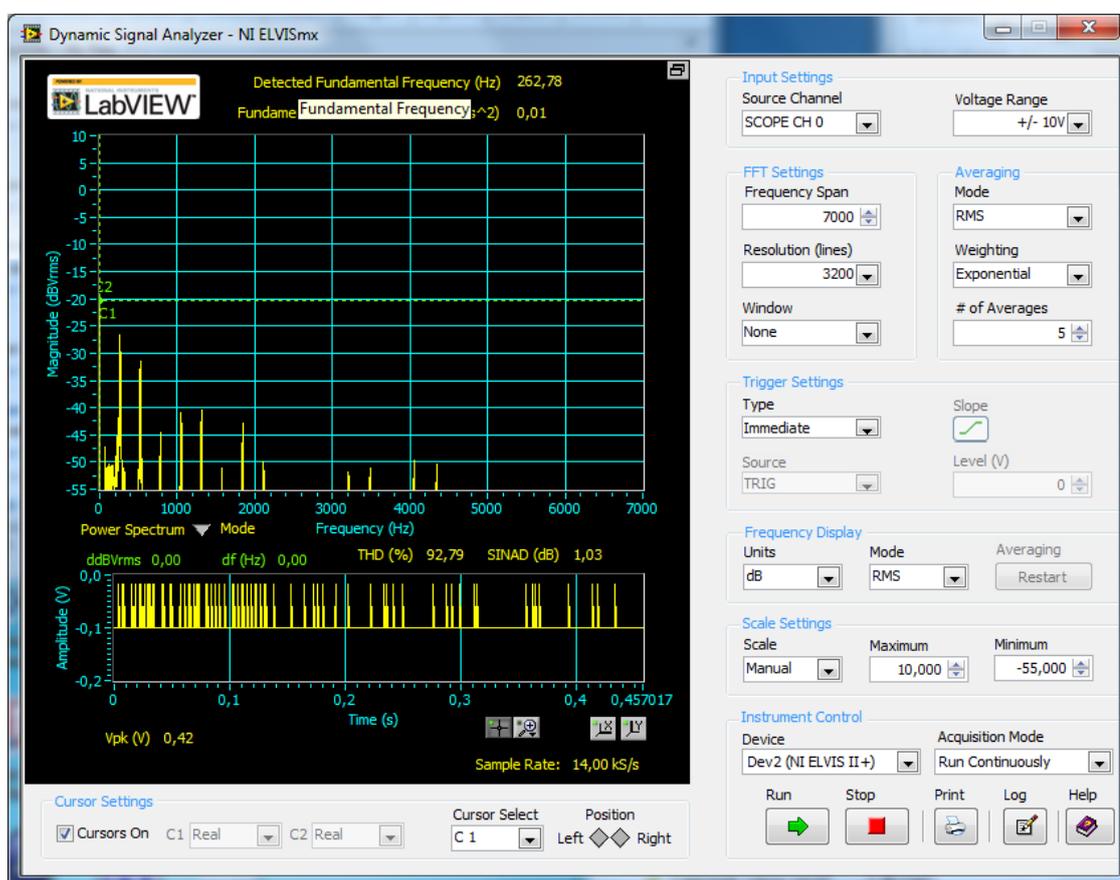


Рисунок 2.2 – Спектр ноты «до» 1-й октавы синтезатора YAMAHA (левый выход)

## 2.2 Генератор звука для синтезатора на основе субтрактивного синтеза

Следующим этапом была разработка блок-диаграммы работы синтезатора с использованием одного генератора.

Поскольку генератор должен воспроизводить сигнал, который бы охватывал слышимый диапазон частот, за формируемые им сигналы были выбраны последовательные прямоугольные импульсы. Поскольку спектр такого сигнала имеет лепестковый характер, а диапазон частот спектра стремится к бесконечности, заключаем, что данный генератор воспроизводит слышимый спектр звуков. При этом необходимо учитывать, что основная часть информации находится в первом лепестке. Таким образом, ширина первого лепестка должна быть достаточно большой, в пределах 5 – 10 кГц, но, чем он шире, тем меньше будет уровень у гармоник, входящих в него, таким образом происходит ограничение их амплитуды, что влияет на построение схемы. Количество гармоник, входящих в лепесток, будет определяться периодом и длительностью импульса, величина, которая их связывает называется скважностью [13]. Сформированный генератором сигнал необходимо отфильтровать, т.е. выделить необходимые нам гармоники и усилить их. Для этих целей используем полосовые фильтры и усилители, которые будут увеличивать уровень гармоник, выделенных фильтром до требуемого уровня. Стоит отметить, что чем уже полоса пропускания фильтра, тем более «чистый» звук получится при его воспроизведении. Принцип работы синтезатора на одном генераторе представлен на рисунке 2.3.

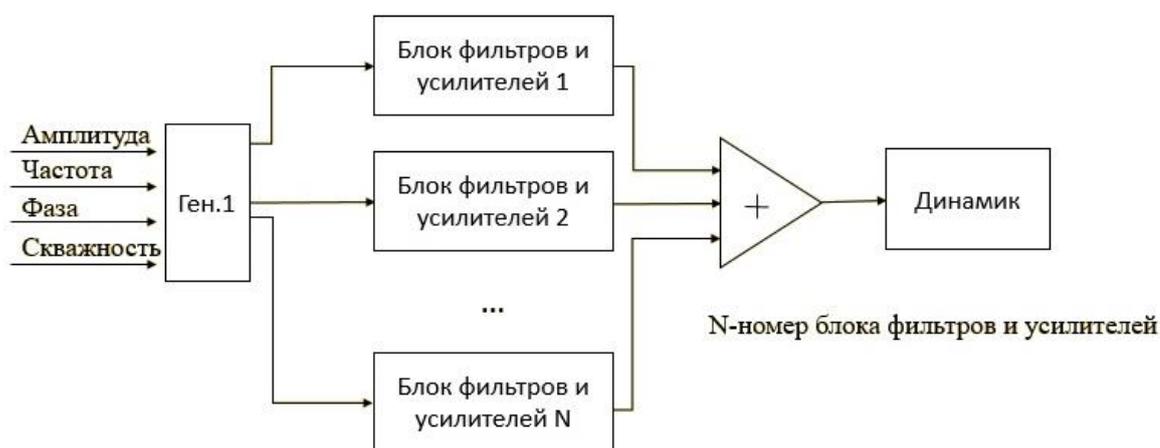


Рисунок 2.3 – Блок-схема синтезатора с использованием одного генератора

Алгоритм данной программы показывает, что так же, как и для метода аддитивного синтеза можно создавать сигналы любой формы, ограничения происходят только из-за ограниченного количества фильтров и усилителей.

Данную проблему можно решить путем разработки перестраиваемых фильтров и усилителей, либо увеличением их количества. Количеством блоков фильтров и усилителей так же регулируется количество гармоник, входящих в спектр необходимого нам звука.

Для проверки работоспособности алгоритма в графической среде программирования LabVIEW была собрана соответствующая схема (рисунок 2.4).

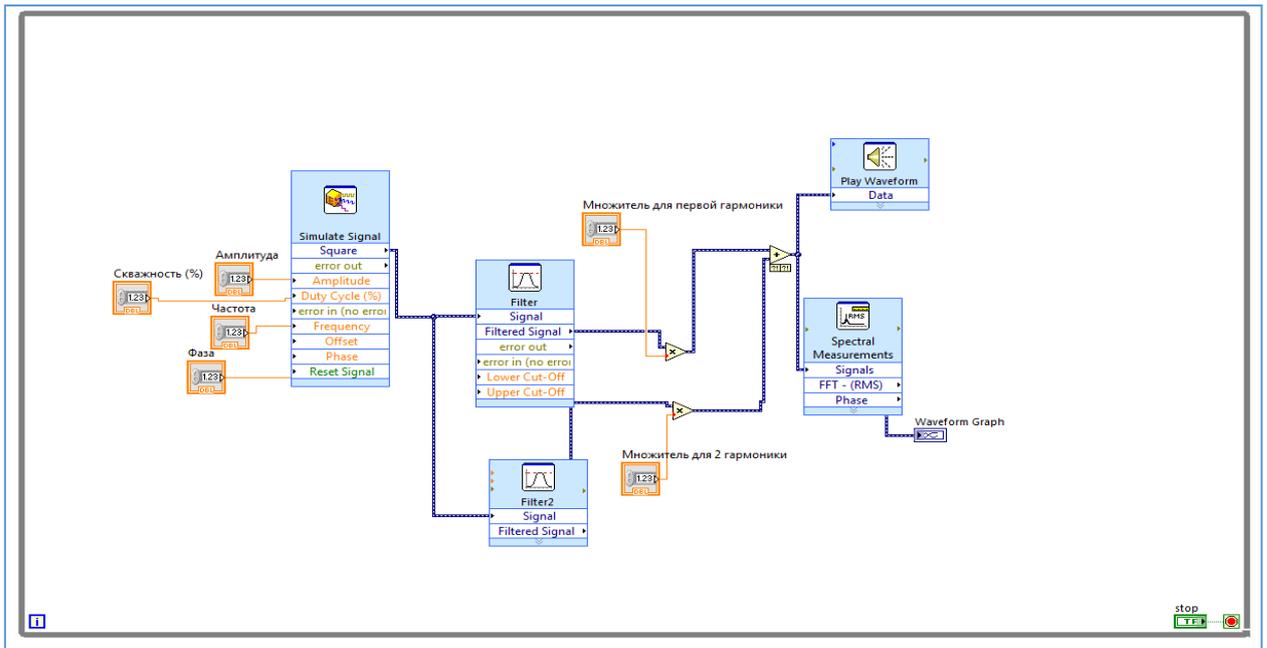


Рисунок 2.4 – Блок-диаграмма синтезатора на основе генератора прямоугольных импульсов

Чтобы проверить правильность работы программы, было принято решение собрать такую же схему с использованием алгоритма аддитивного синтеза (рисунок 2.5) и сравнить результаты работы данных алгоритмов.

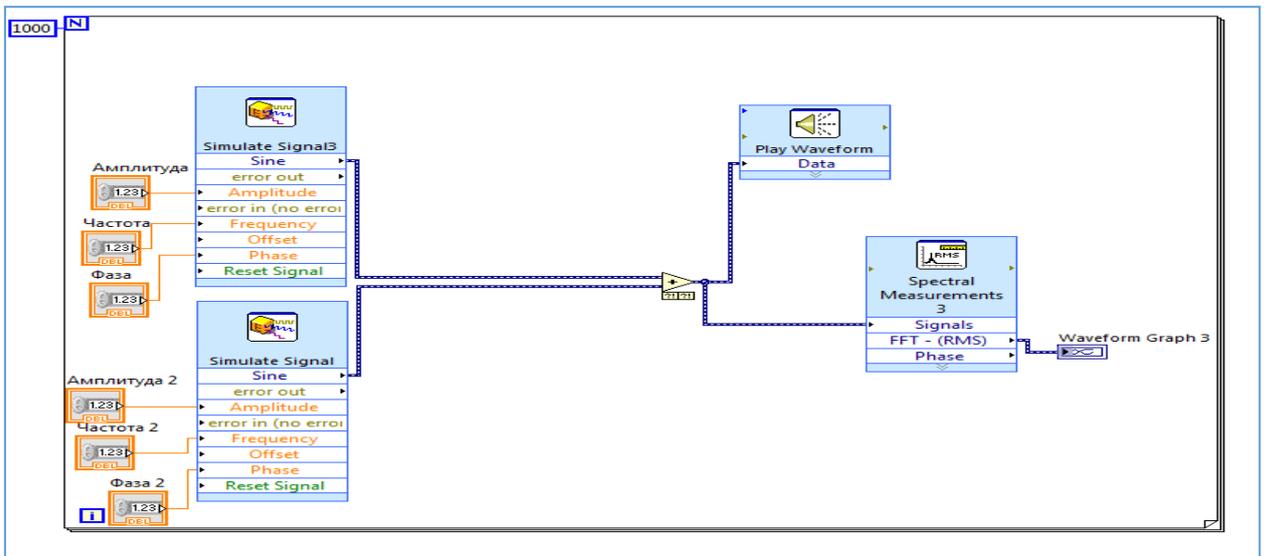


Рисунок 2.5 – Блок-диаграмма синтезатора, работающего на основе метода аддитивного синтеза

Как видно из блок-диаграмм, при воспроизведении данных алгоритмов на динамик должна приходиться сумма двух гармоник с различными частотами. Для их наблюдения в каждой из схем были подключены спектрометры, которые графически отображали уровень и положение гармоник (рисунки 2.6, 2.7).

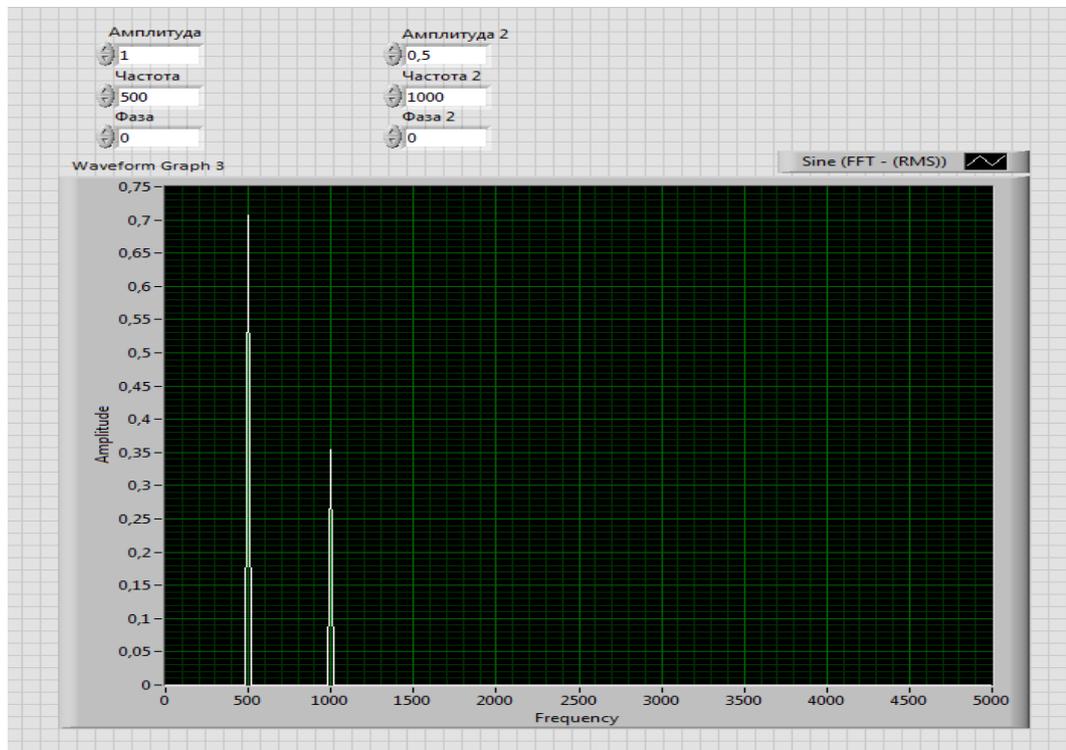


Рисунок 2.6 – Спектр сигнала, полученного аддитивным синтезом

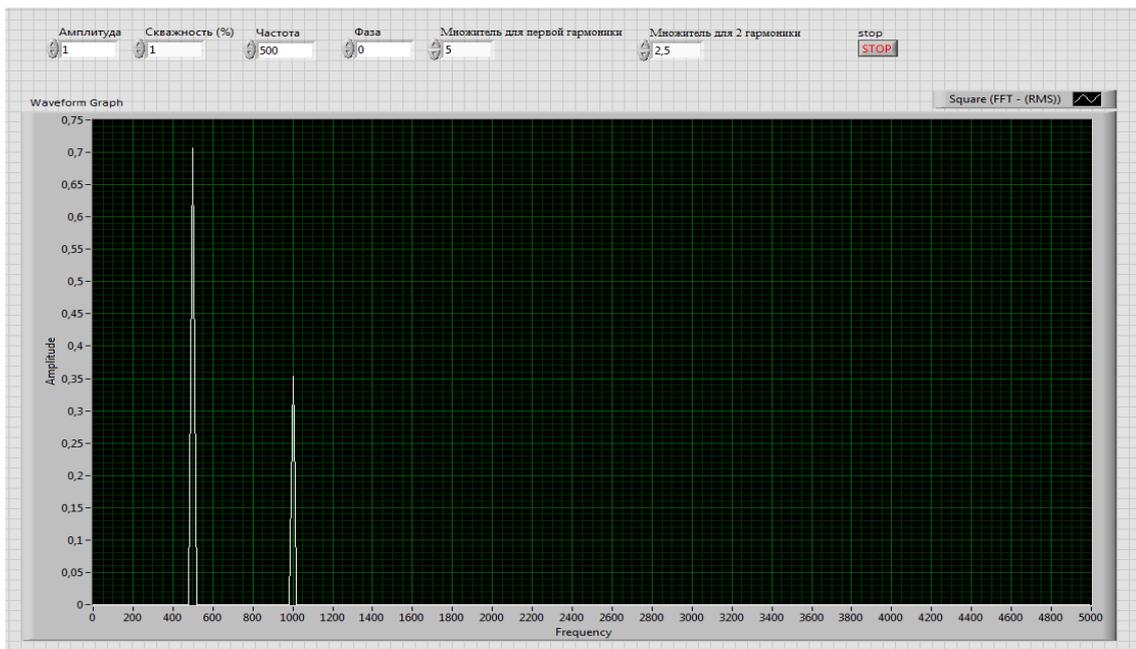


Рисунок 2.7 – Спектр сигнала, полученного с использованием генератора прямоугольных импульсов

Из представленных на рисунках 2.6 и 2.7 спектрограмм следует, что в двух случаях имеем на выходе сигнал, в спектр которого входят две гармоники, первая с частотой 500 Гц и амплитудой 0,7 В и вторая с частотой 1000 Гц, амплитудой 0,35 В. Таким образом оба метода позволяют генерировать сигналы одинаковой формы. Чтобы убедиться в этом, были сняты осциллограммы выходных сигналов для каждого метода (рисунки 2.8, 2.9).

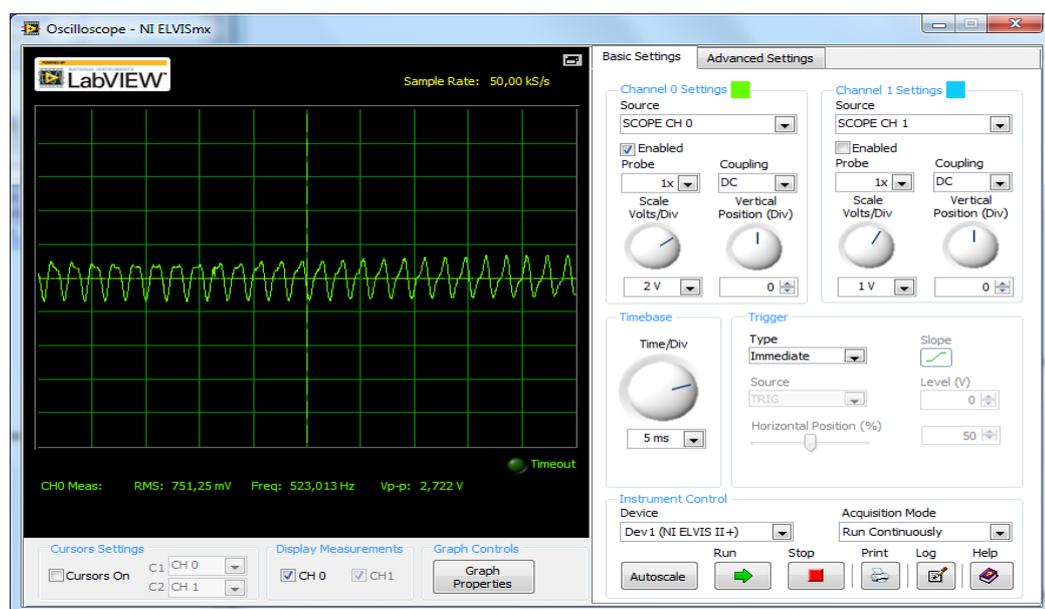


Рисунок 2.8 – Осциллограмма сигнала, полученного аддитивным синтезом

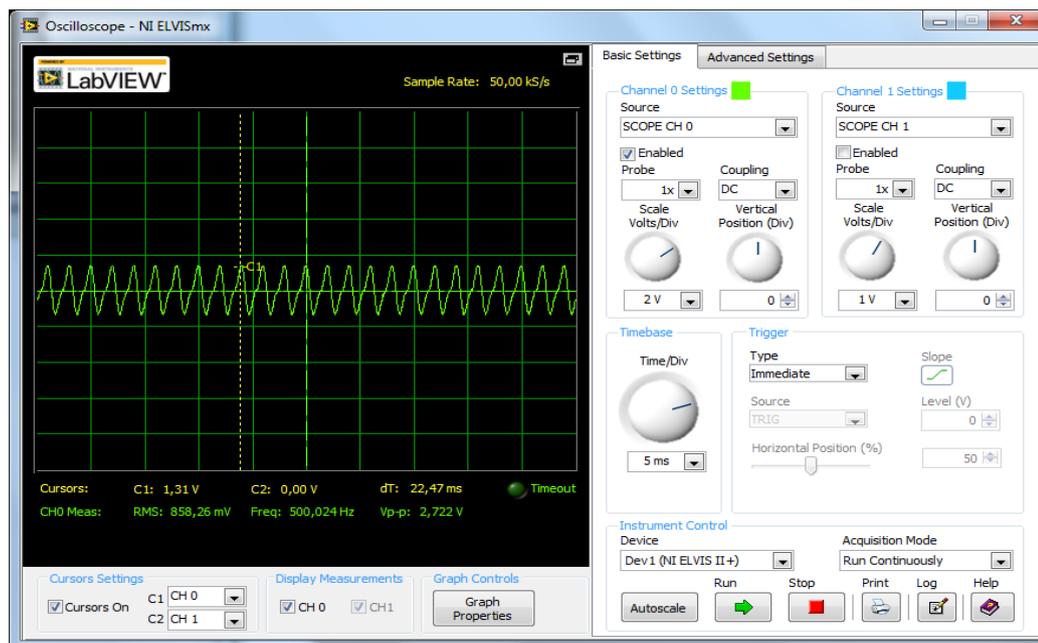


Рисунок 2.9 – Осциллограмма отфильтрованного сигнала, полученного с использованием генератора прямоугольных импульсов

На представленных осциллограммах видны формы сигналов, образованных при их генерировании методом аддитивного синтеза и с использованием одного генератора прямоугольных импульсов, оба способа позволили создать сигналы одной и той же формы. Таким образом, предложенный метод можно использовать при создании звуковых сигналов.

Стоит отметить, что при увеличении количества фильтров, необходимых для преобразования исходного сигнала прямоугольной формы, происходит искажение сигнала на выходе устройства, а именно: 1) происходит смещение частот гармоник относительно заданных; 2) уровни гармоник постоянно изменяются. К тому же важным является и тот факт, что достаточно тяжело производить усиление отфильтрованных гармоник, поскольку нельзя предугадать, какими будут их уровни при прохождении через фильтры.

Таким образом, полученный звук сильно искажается, что не позволяет генерировать звуки с более широким спектром.

Исходя из полученных в ходе исследования данных, было принято решение использовать аддитивный синтез при разработке синтезатора звуков.

### 3 Разработка синтезатора звуковых частот в графической среде программирования LabVIEW

В графической среде программирования LabVIEW есть встроенные виртуальные приборы, позволяющие воспроизводить звуки и генерировать сигналы заданной частоты. Поскольку в процессе исследования наиболее удобным и простым способом генерирования звукового сигнала был выбран аддитивный синтез, то необходимо использовать несколько генераторов, задающих монохроматические сигналы. В качестве таких генераторов выбран Express ВП Simulate Signal, способный производить сигналы с заданной частотой. Управление параметрами экспресс ВП можно осуществлять как в окне конфигурации, так и с использованием данных, введенных извне.

Ниже приведена блок-диаграмма способа формирования звука ноты музыкального инструмента в графической среде программирования LabVIEW (рисунок 3.1).

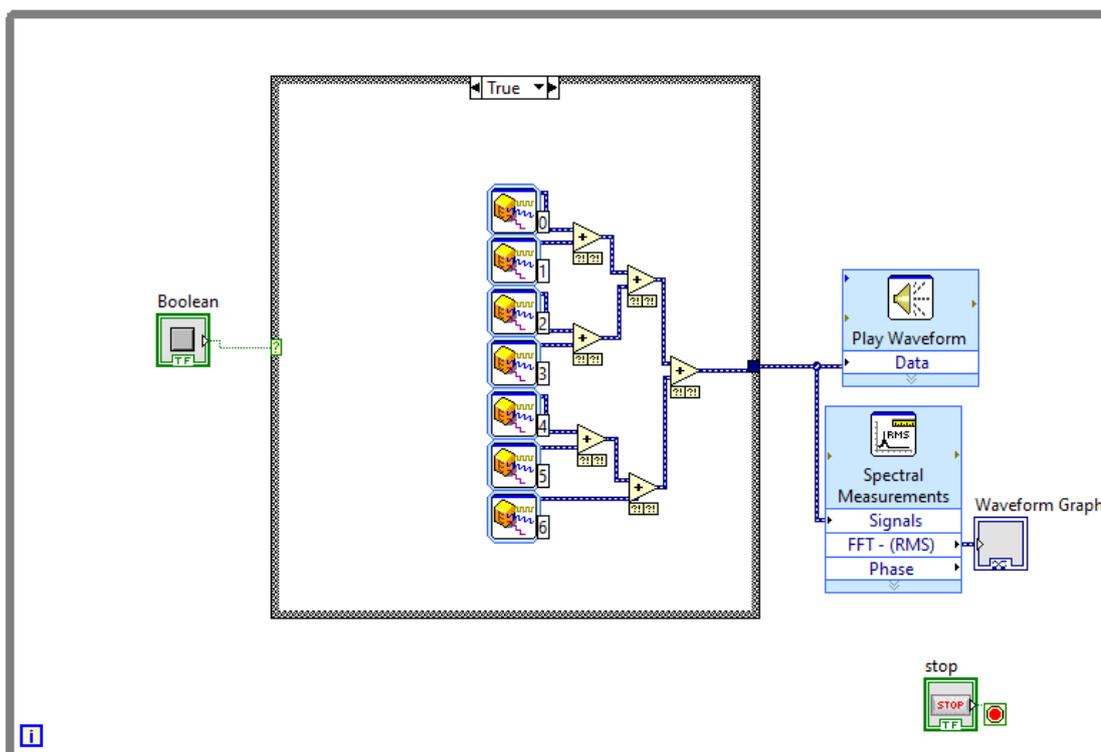


Рисунок 3.1 – Блок-диаграмма ВП, показывающая способ формирования звукового сигнала в графической среде программирования LabVIEW

На рисунке 3.1 представлено 7 окон Express ВП Simulate Signal, задающих сигналы заданной частоты (в данном случае определение параметров генераторов происходило в окне конфигураций, что не совсем удобно, поскольку пользователь не может увидеть этих настроек после закрытия данного окна, поэтому в дальнейшем все необходимые органы управления будут вынесены за пределы этого окна).

Сформированные звуковые сигналы последовательно суммируются, в результате чего мы получаем звук в спектре которого будет находиться 7 гармоник на заданных частотах. Чтобы проверить достоверность вышесказанных слов, можно подключить анализатор спектра с выводом полученных данных о спектральных составляющих на графический индикатор (рисунок 3.2).

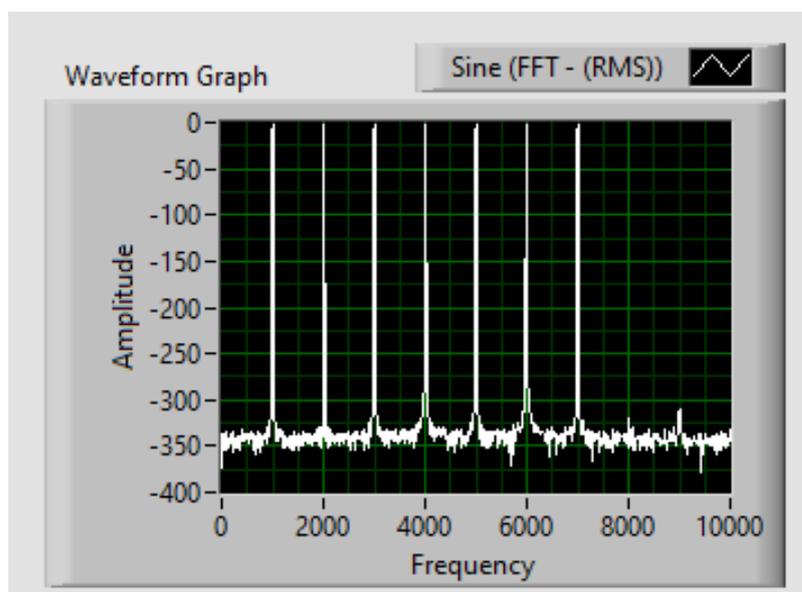


Рисунок 3.2 – Окно графического индикатора, показывающего спектр сформированного звука

Поскольку проект предусматривает наличие клавиш, то необходимо эти самые клавиши привязать к работе генераторов (создать условия, при которых в момент нажатия клавиши будет воспроизводиться звук, а в момент, когда на клавишу воздействия нет, звука тоже нет). Для этого введен Exес control Case structure. При поступающем в Case structure значении true были заданы параметры, приведенные на рисунке 3.1, то есть при нажатой клавише будет воспроизводиться звук, соответственно, одно из условий, заданных ранее, выполняется. Для того, чтобы звука не было в момент, когда кнопка не нажата, необходимо ввести еще

один Express ВП Simulate Signal, значение амплитуды которого будет равно 0 (рисунок 3.3) (данное действие необходимо из тех соображений, что в случае, если на выход Exес control Case structure поступают данные не того типа, что были в одном из условий (true/false), то возникает внутренний конфликт программы и появляется уведомление об ошибке, таким образом работать собранный виртуальный прибор не будет).

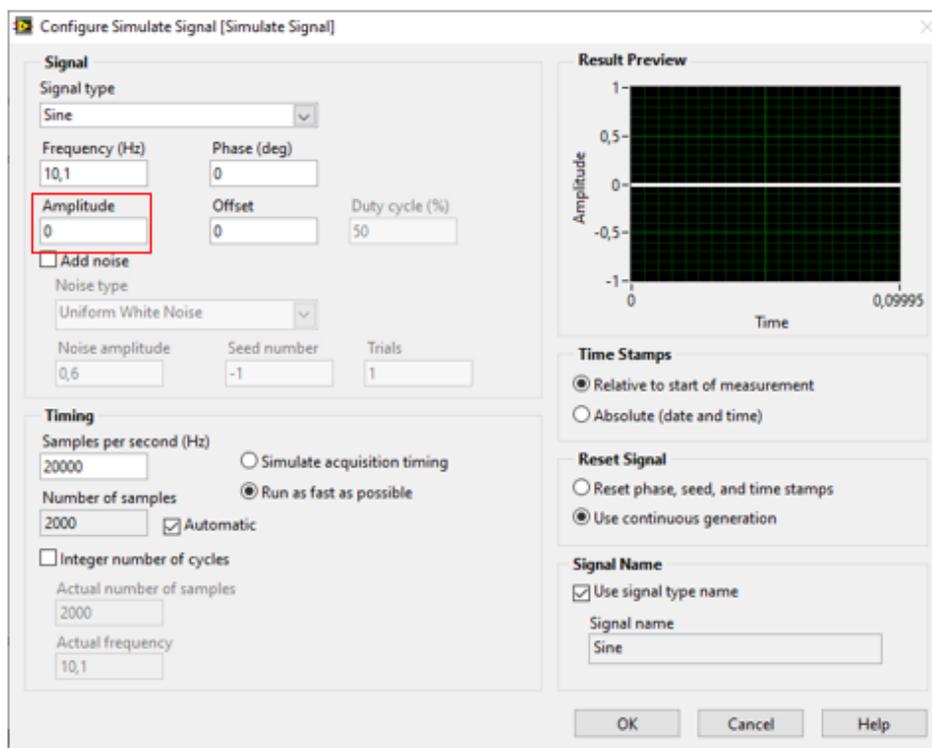


Рисунок 3.3 – Окно конфигурации Express ВП Simulate Signal (в прямоугольнике задано значение амплитуды, равное 0)

Кроме того, стоит учесть и тот факт, что в окне конфигураций, при настройке параметров необходимо задать параметр «timing (samples per second (Hz))» равный 20000, поскольку Express ВП Play Waveform имеет соответствующее ограничение по данному параметру и слышимый диапазон ограничивается в указанном выше значении. В случае, если samples per second (Hz) выбрать большим, чем ограничение для Play waveform, возникнет ошибка и звук воспроизводиться не будет, в то же время, при задании значения меньше 100 так же возникнет ошибка (рисунок 3.4).

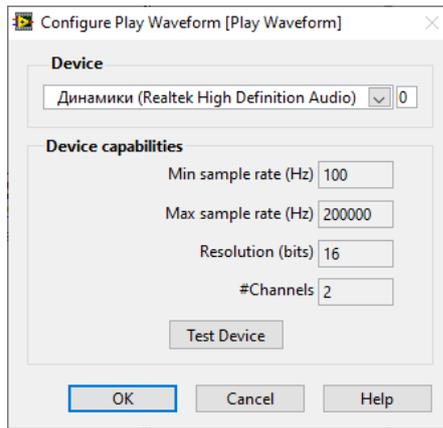


Рисунок 3.4 – Окно конфигурации Express ВП Play Waveform

Стоит отметить и тот факт, что Express ВП Play Waveform может взаимодействовать только с 16 битными звуковыми дорожками и имеет 2 канальных выхода на воспроизводящие звуки устройства.

Логический элемент, представленный в форме кнопки, задает значения true (когда кнопка нажата) и false (когда кнопка отжата). Чтобы была возможность не отжимать кнопку повторным нажатием на нее, в LabVIEW есть возможность задать соответствующий параметр «button behavior» в виде «Switch until released» (изменение состояния кнопки в момент нажатия и отжатия) (рисунок 3.5).

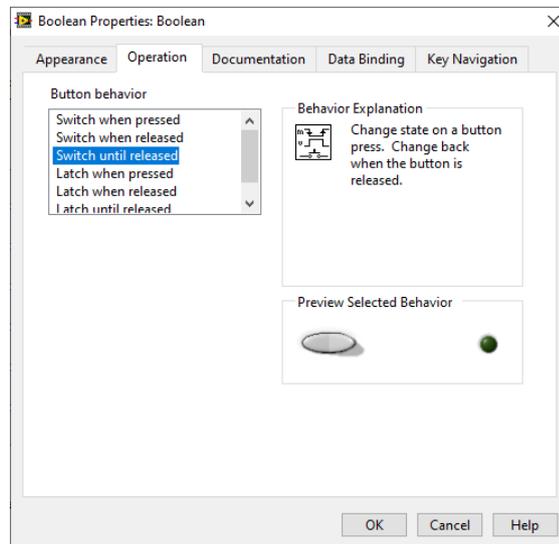


Рисунок 3.5 – Окно настройки логического контроллера (в конкретном случае – кнопки)

Все вышеприведенные на рисунке 1 элементы внесены в цикл While с целью выполнения данного условия до тех пор, пока запущена программа. Таким

образом, при появлении новой итерации очередной раз будет проверено состояние клавиши и не возникнет остановка работы ВП после выполнения первой итерации.

Зная условия для создания звука, приведенные выше, можно уже начать создавать первый симулятор работы музыкального инструмента, работающего по принципу аддитивного синтеза. Но, поскольку задание параметров осуществляется внутри окон конфигурации, привязанные к клавишам звуки будет достаточно тяжело изменить. Поэтому, следующий этап – вынос органов управления параметрами Express ВП Simulate Signal за пределы окна конфигурации.

В первую очередь необходимо вывести константы, определяющие значения частот генераторов, поскольку ранее, было определено, что эти частоты будут формироваться по принципу  $f_n=f_0 \times n$ , где  $f_n$  – частота заданной гармоники ноты,  $n$  – номер соответствующей гармоники, определяющей звучание ноты, а  $f_0$  – значение первой частоты, составляющей спектр ноты (данные о частотах представлены в приложении А). В качестве примера на рисунке 3.6 приведена блок-диаграмма, инициализирующая значения частот по умолчанию.

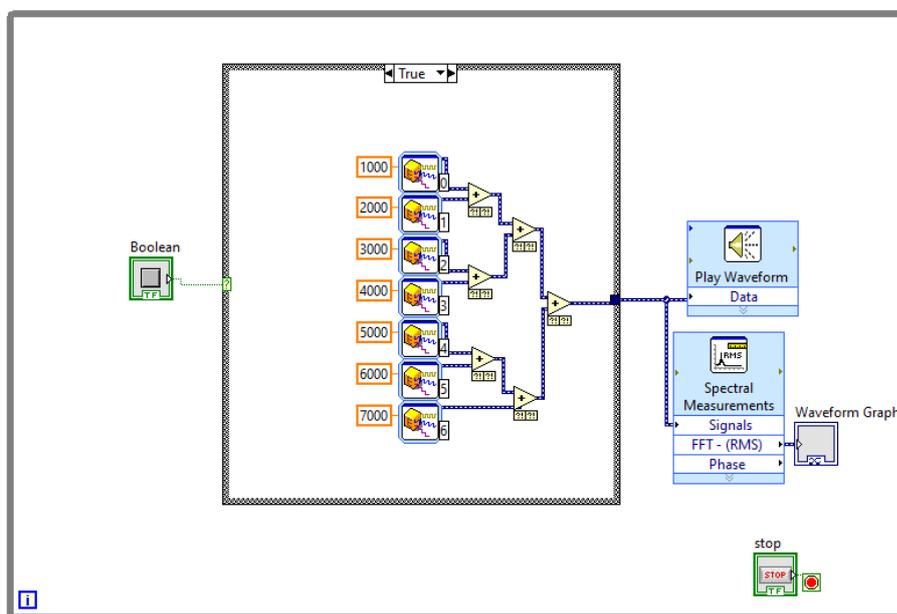


Рисунок 3.6 – Блок-диаграмма ВП, показывающая возможность задания частот Express ВП Simulate Signal в виде констант

Формирование частот в виде констант является достаточно удобным способом, поскольку при перезапуске ВП (допустим, после выключения или перезагрузки компьютера, а так же самого ВП) заданные значения не

устанавливаются по умолчанию, а остаются такими, какими их установил разработчик. Кроме того, данные частоты можно и нужно использовать как опорные для Express ВП Simulate Signal при формировании сигнала, поскольку их отклонение от заданных параметров может изменить звук, а, соответственно, расстроить моделируемый синтезатор, чего не стоит допускать. Поэтому, в качестве устройств, позволяющих изменять заданные параметры, используются контроллеры, которые можно вынести за пределы Exec control Case structure (для каждого Express ВП Simulate Signal свой контроллер), а уже в самом окне Exec control Case structure осуществить суммирование с константами (заданными значениями частот) (примерный вид подключения контроллеров для изменения частот приведен на рисунке 3.7). Такой способ (вынос контроллеров за пределы Case structure выгоден с той точки зрения, что сократится количество этих самых контроллеров в случае, если будет задано большое количество клавиш, при нажатии на которые будет воспроизводиться звук, кроме того, любое изменение параметров одной ноты должно отражаться на изменении тех же параметров других нот. Это немаловажный факт, так как такое отличие может привести к изменению звука конкретной ноты, а, соответственно, к «расстройке» инструмента. Стоит отметить и то, что контроллеры принимают вещественные значения, но в силу своих настроек ограничиваются снизу нулем, а сверху десятью. Таким образом, изменение частот будет происходить максимум на 10 Гц, что в действительности очень мало. Поэтому, в дальнейшем возникает необходимость увеличения этих самых значений до требуемого уровня (чтобы увеличить возможности создаваемого инструмента, увеличение значений можно задать до 10 кГц, но стоит помнить, что не для всех частот данное условие будет правильным, так как возможности Express ВП Play Waveform ограничены, о чем указывалось выше).

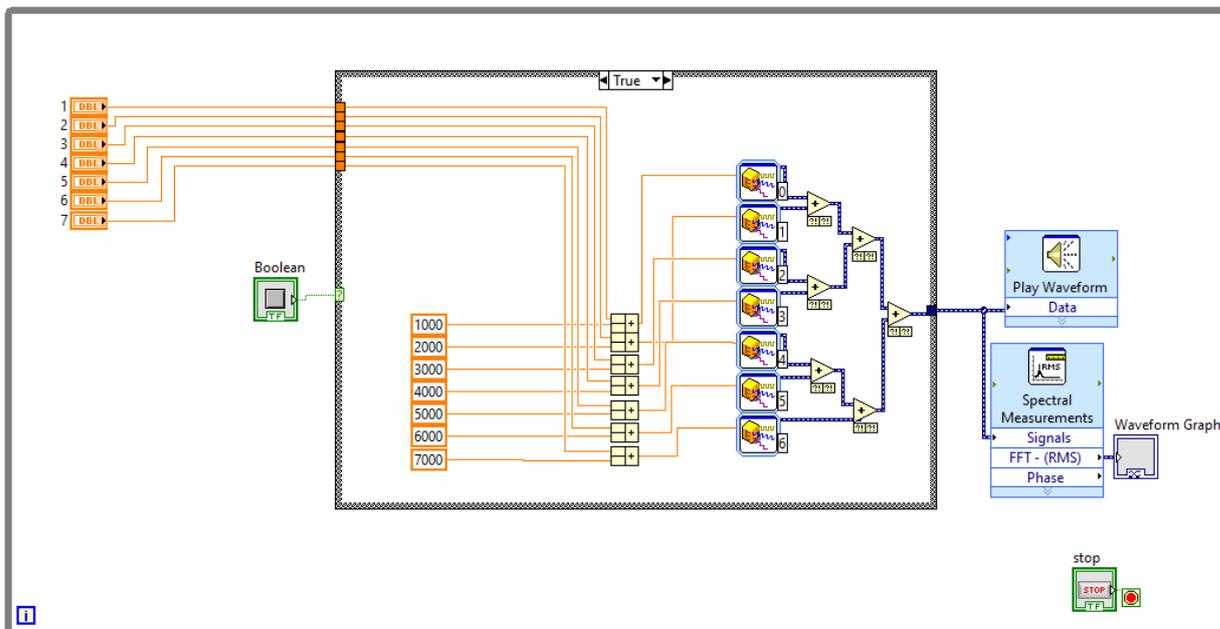


Рисунок 3.7 – Блок-диаграмма ВП, показывающая способ подключения контроллеров для управления частотами Express ВП Simulate Signal

Реализовать увеличение возможностей изменения частот моделируемого инструмента можно, задав структуру, приведенную на рисунке 3.8.

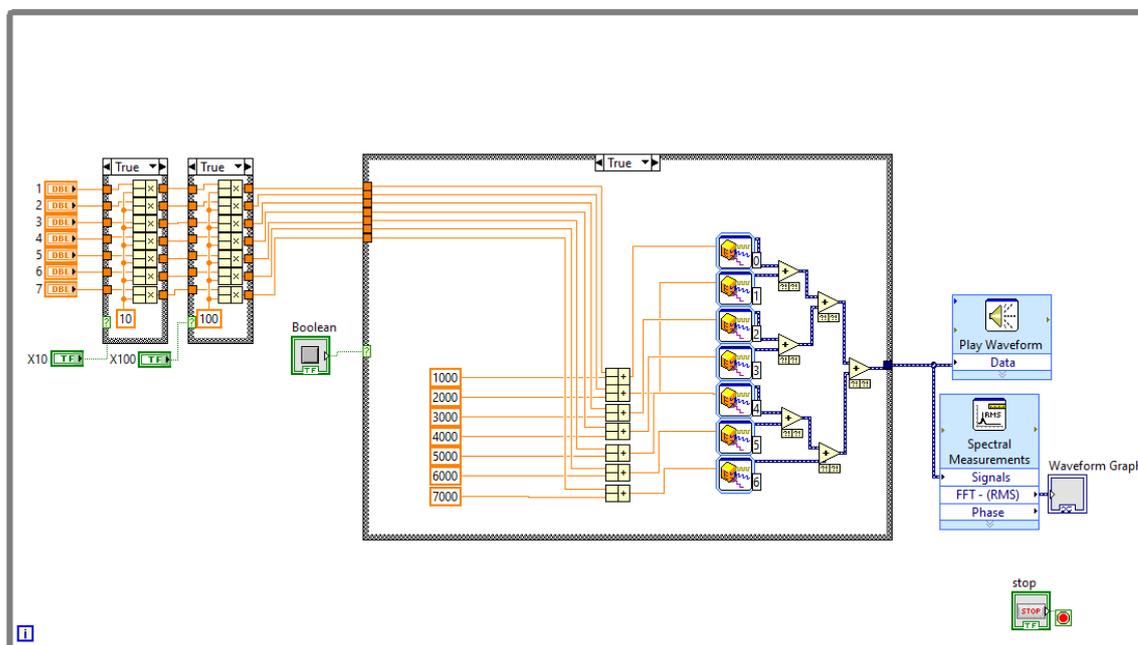


Рисунок 3.8 – Блок-диаграмма ВП с реализованным увеличением возможностей настройки частот

Представленная на рисунке 3.8 блок-диаграмма ВП показывает следующую логику работы моделируемого музыкального инструмента: звук воспроизводится

при нажатии на клавишу, вместе с этим происходит построение спектра генерируемого звука; с помощью органов управления «controls» можно менять заданные константами значения частот в пределах от 0 до 10 (реализация представлена на рисунке 3.9); в случае, если нажата кнопка «X10» происходит увеличение заданного органом управления «controls» значения в 10 раз, то есть диапазон изменения частот увеличился и определяется пределами от 0 до 100; в случае, если нажата кнопка «X100», но, при этом кнопка «X10» отжата, происходит увеличение заданного органом управления «controls» значения в 100 раз, то есть диапазон изменения частот увеличился и определяется пределами от 0 до 1000; в случае, если нажаты обе кнопки «X10» и «X100», то диапазон изменения частот Express ВП Simulate Signal увеличивается в пределах от 0 до 10000, что значительно расширит возможности моделируемого инструмента.

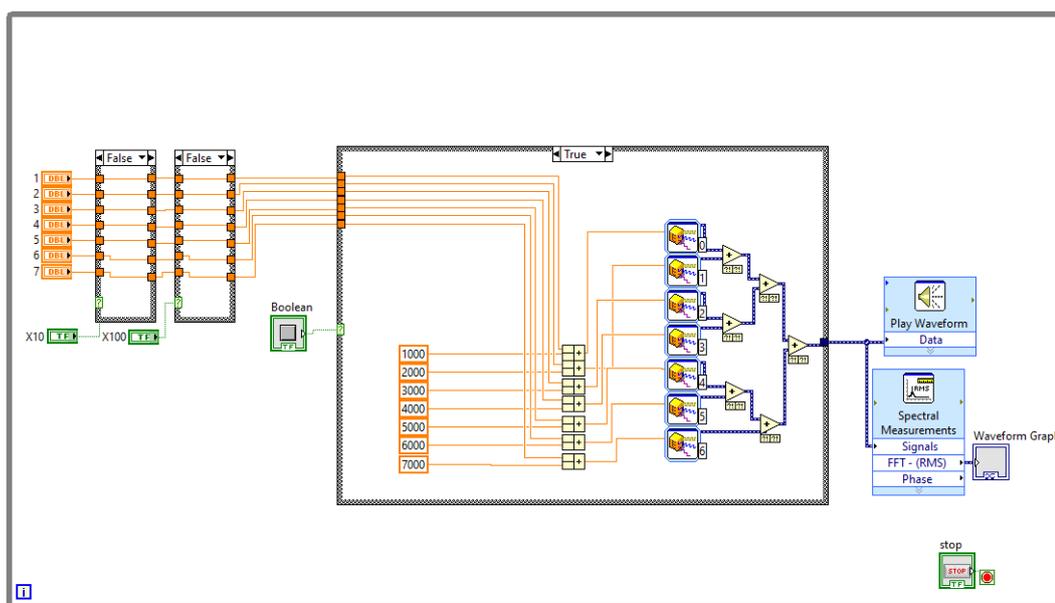


Рисунок 3.9 – Блок-диаграмма ВП с реализованным увеличением возможностей настройки частот (показано прохождение данных от контроллеров при отключенных кнопках «X10» и «X100»)

Те же самые манипуляции можно провести для амплитуд, фаз и параметра «Duty cycle» (скважность). Но стоит учесть и тот факт, что значения амплитуд для всех генераторов каждой ноты будут формироваться по принципу уменьшения для каждой следующей частоты, то есть  $A_n = A_0 - 0,1 * n$ , где  $A_0$  – амплитуда первой гармоники,  $n$  – номер гармоники, определяющей спектр формируемого звука (значение больше 1),  $A_n$  – амплитуда гармоники, соответствующая  $n$ .

Примерный вид собранного ВП представлен на рисунке 3.10.

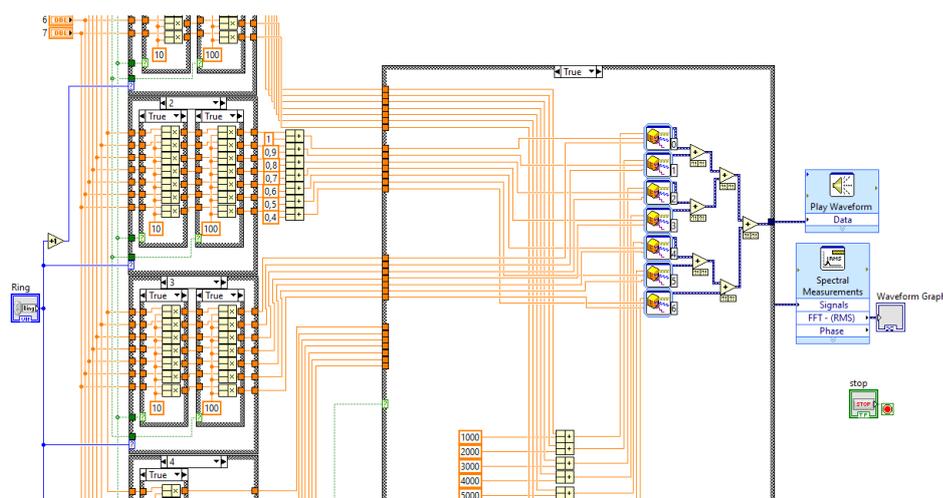


Рисунок 3.10 – Блок-диаграмма ВП, показывающая подключение органов управления к Express ВП Simulate Signal

Из представленной на рисунке 3.10 блок-диаграммы можно увидеть, что добавилось несколько окон Exес control Case structure, каждое из которых отвечает за формирование значений соответствующих параметров (амплитуда, частота, фаза и скважность). Но, так же можно заметить, что на данном этапе Exес control Case structure под номером 4 пока что никуда не подключен, это будет сделано позже, поскольку на данном этапе осуществляется процесс формирования монохроматических сигналов (синусов), но, как указывалось ранее, есть возможность менять их форму.

Чтобы избавиться от большого количества органов управления (контроллеров), изменяющих значения параметров, был введен «text ctrl» «text ring» (рисунок 3.11) с помощью которого можно выбирать заданный параметр, поскольку в «линию» он выводит целое число, которое соответствует тексту, выводимому на панель text ctrl «text ring». Сама настройка (привязка номера к тексту осуществляется в окне «Ring properties: Параметры «Edit Items»» (рисунок 3.12).

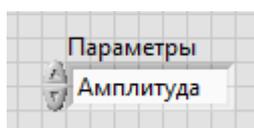


Рисунок 3.11 – Текстовый контроллер «text ring» (создается на лицевой панели ВП)

Стрелками вверх-вниз можно выбирать необходимый параметр из списка заданных. Далее, поскольку к выведенному параметру привязано число, оно поступит на вход каждого окна Exec control Case structure и, если пришедшее значение соответствует тому, что задано в Exec control Case structure, то будет выполняться соответствующий кейс. Таким образом можно поочередно изменять параметры каждого Express ВП Simulate Signal.

На рисунке 3.12 видно, что значение для амплитуды равно «0», для частоты – «1», фазы – «2» и скважности – «3». Но стоит помнить, что Exec control Case structure обязательно должен присутствовать нулевой элемент, который будет выполнен по приходу на него значения «false». Поэтому принято решение добавить инкремент к выходу text ctrl «text ring», что видно на рисунке 3.10.

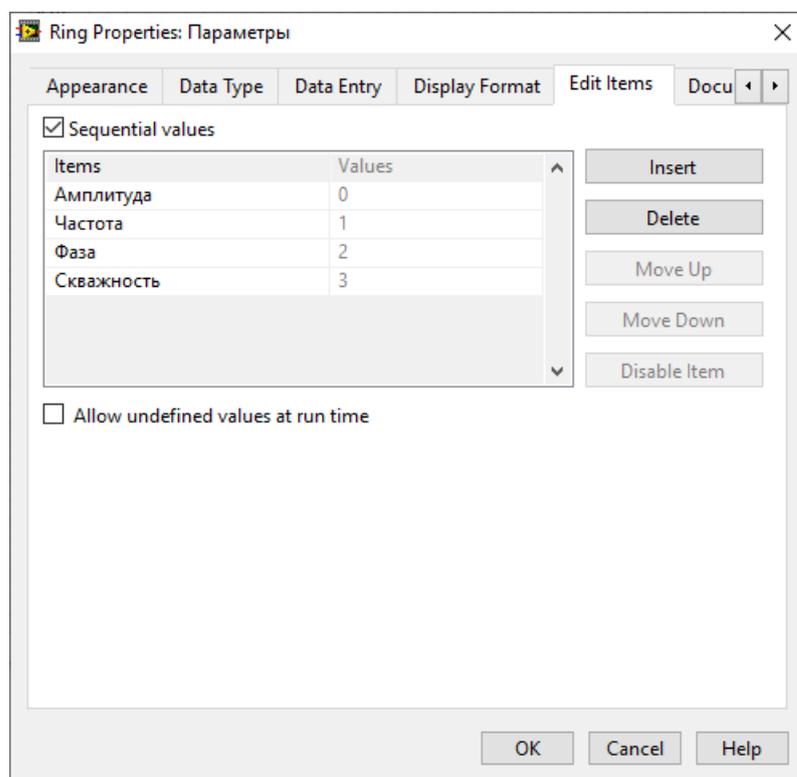


Рисунок 3.12 – Окно настройки текстового контроллера text ring «Параметры»

Далее можно добавить и другие формы генерируемых Express ВП Simulate Signal сигналов. Реализация данной задачи представлена на рисунке 3.13.

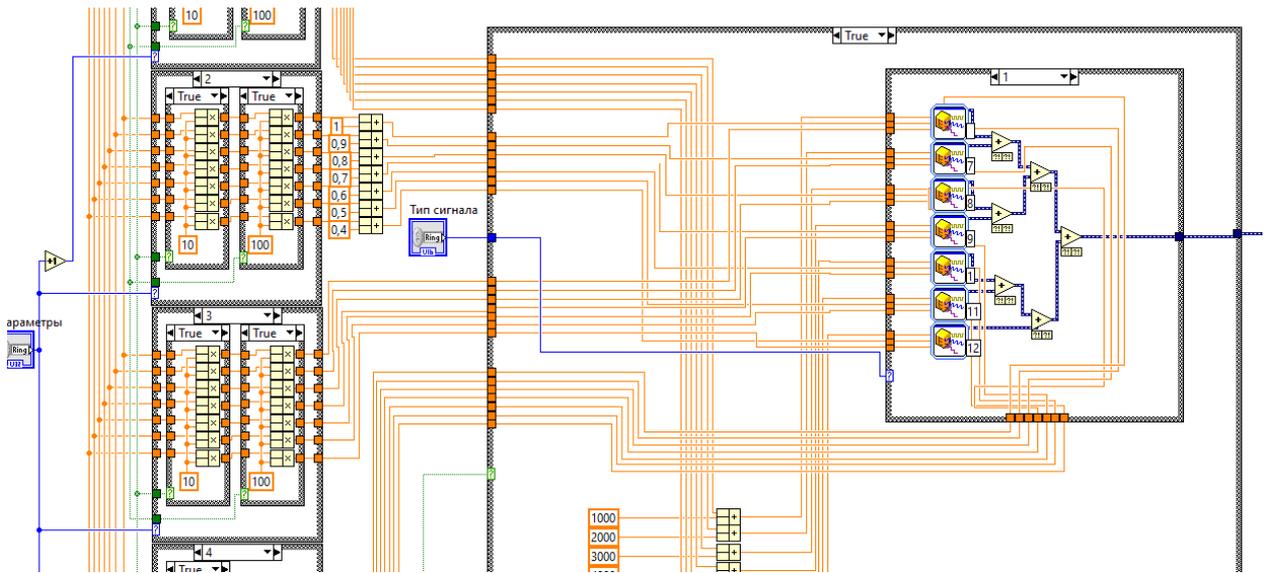


Рисунок 3.13 – Блок-диаграмма ВП, с добавленной возможностью переключать форму генерируемого сигнала

Изменение типа сигнала происходит по тому же принципу, что и изменение их параметров (создается Exec control Case structure с 4 окнами, по пришедшему от «text ring» числу открывается соответствующее нужное окно, в то же время на панели «text ring» выводятся данные о том, какой сигнал будет генерироваться). В данном случае параметры «text ring» пронумерованы от «0» до «3» (рисунок 3.14).

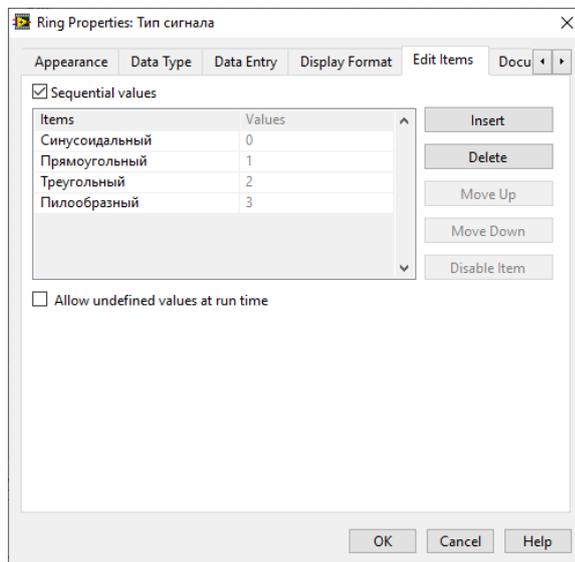


Рисунок 3.14 – Окно настройки текстового контроллера text ring «Тип сигнала»

Из опыта работы с предыдущими версиями ВП был сделан вывод, что желание установить большое количество кнопок требует большего времени для

того, чтобы произвести настройки и провести линии к параметрам генераторов. Поэтому принято решение о том, что в проекте будет использовано 24 клавиши, что равно 2 октавам. Чтобы увеличить функционал и расширить количество октав можно добавить Exec control Case structure в которых записать значения частот для необходимых октав и контроллером «text ring» осуществлять их выбор. Часто используемые октавы в музыке - большая, малая, первая и вторая, поэтому для двух октав есть возможность составить следующие варианты раскладки: большая и малая октавы, малая и первая октавы, первая и вторая октавы. При желании можно добавить кейсы, вписать туда значения частот для других вариантов раскладки и осуществлять игру на модулируемом устройстве. Для проекта был выбран первый способ раскладки, состоящий из трех комбинаций, его реализация представлена на рисунке 3.15.

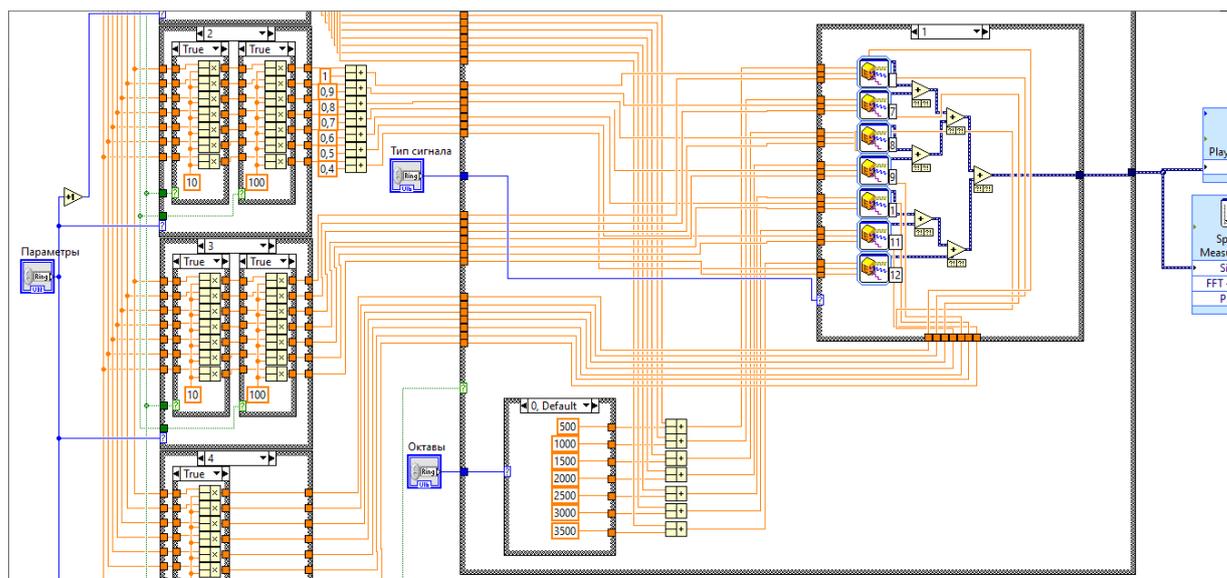


Рисунок 3.15 – Блок-диаграмма ВП, с добавленной возможностью переключать октавы

Изменение октав происходит с помощью «text ring», параметры которого пронумерованы от «0» до «2», данные значения поступают на вход Exec control Case structure с заданными значениями частот, которые планируется сгенерировать (рисунок 3.16).

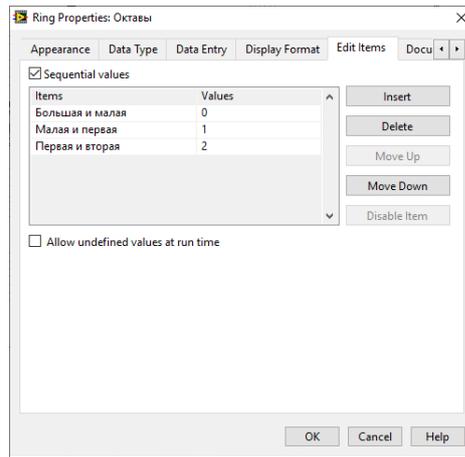


Рисунок 3.16 – Окно настройки текстового контроллера text ring «Октавы»

Поскольку для изменения октав не требуется нулевой параметр (отсутствие выбора октав) нумерация начинается с «0». Это так же позволяет автоматически задавать значения для клавиш (какие октавы будут использоваться при запуске программы).

Таким образом, используя методы, описанные выше, можно смоделировать музыкальное устройство, работающее с использованием метода аддитивного синтеза. Это устройство будет иметь как достоинства: способность воспроизводить звуки путем нажатия на клавиши компьютерной мышью, возможность изменять тип генерируемых сигналов, а соответственно и сам звук, воспроизводить несколько нот одновременно (при наличии нескольких курсоров, конечно), проигрывать музыку как в встроенную стереосистему, так и в наушники, а так же менять октавы, что «увеличивает» диапазон нот для игры, так и недостатки: невозможность воспроизводить звуки с использованием клавиатуры, то есть не дает возможности полностью отказаться от компьютерной мыши при работе с моделируемым музыкальным устройством. Чтобы устранить эти недостатки можно ввести в виртуальный прибор подВП, созданный разработчиками графической среды программирования LabVIEW. Для этого в окне функций необходимо выбрать «Initialize keyboard.vi». Данный подВП осуществляет инициализацию клавиатуры (определяет число/буквенную комбинацию подключенной клавиатуры и передает данные идентификатора дальше). Далее, необходимо подключить к выходу «Initialize keyboard.vi» подВП «keyboardAcquire.vi», который и позволит определять состояние клавиш на клавиатуре путем вывода данных в одномерный

массив. В прошлом, для вывода данных о нажатой клавише использовалось преобразование через кластер, что оказалось не совсем верным решением, поскольку одновременно можно было воспроизвести несколько звуков, но при условии, что кнопки на клавиатуре будут заданы в нужном порядке (заданном разработчиками), в противном случае выполнить эту задачу не имеет возможности. Решить данный недостаток можно, используя функцию «Search 1D array», она позволяет в одномерном массиве найти заданный элемент (в конкретном случае определить, появилось ли в массиве значение нажатой кнопки). Само значение для поиска задается в виде константы, что позволяет не обновлять эти данные при повторном запуске виртуального прибора. Но на данном этапе останавливаться не стоит, работа клавиш все еще будет неправильной (отсутствие возможности воспроизвести несколько звуков одновременно). Решается этот вопрос добавлением условия « $\geq 0$ » (так как в случае, если в массиве не найдено значение клавиши (она не нажата) на выходе массива будет значение равное «-1»). Поскольку требуется к уже существующему способу воспроизведения звука (путем нажатия курсора мыши на клавишу) добавить возможность управления через клавиатуру, необходимо включить в проект условие «ИЛИ». Реализация вышеописанного способа подключения к проекту клавиатуры приведена на рисунке 3.17.

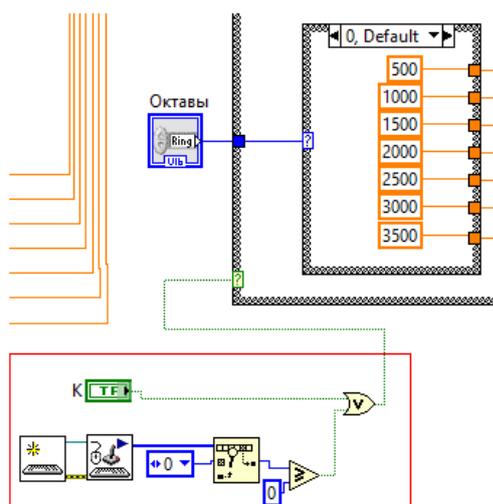


Рисунок 3.17 – Блок-диаграмма ВП, показывающая способ подключения клавиатуры для управления нажатием на клавишу и воспроизведения звука (реализация обведена прямоугольником для наглядности)

Используя схему, обозначенную в прямоугольнике, можно подключить все 24 клавиши к клавиатуре ПК и проигрывать сгенерированные звуки, причем, в данном случае, нажимать можно одновременно на несколько клавиш и звук будет воспроизводиться одновременно с каждой из них. Тем ни менее есть недостатки в работе данного музыкального устройства, а конкретнее, органами управления можно управлять только при помощи курсора мыши. Исправить это можно, добавив в проект блоки, позволяющие управлять этими органами управления через клавиатуру ПК.

Первый этап, связанный с подключением органов управления к клавиатуре, состоит из создания счетчика значений, то есть необходимо сделать так, чтобы при нажатии на клавишу происходило увеличение значения на единицу. Таким образом, добавив на блок-диаграмму Exec control Case structure можно добиться изменения показаний создаваемого счетчика, а, именно, добавить значение при повторном нажатии на кнопку, либо это самое значение задать равным нулю при достижении определенного уровня. Поскольку работа связана с клавиатурой реальной и той, что моделируется в графической среде программирования, то работать необходимо с участком блок-диаграммы, внесенным в прямоугольник на рисунке 3.17. Руководствуясь требованиями, приведенными выше, составлена часть ВП, реализующая потактовое суммирование (рисунок 3.18).

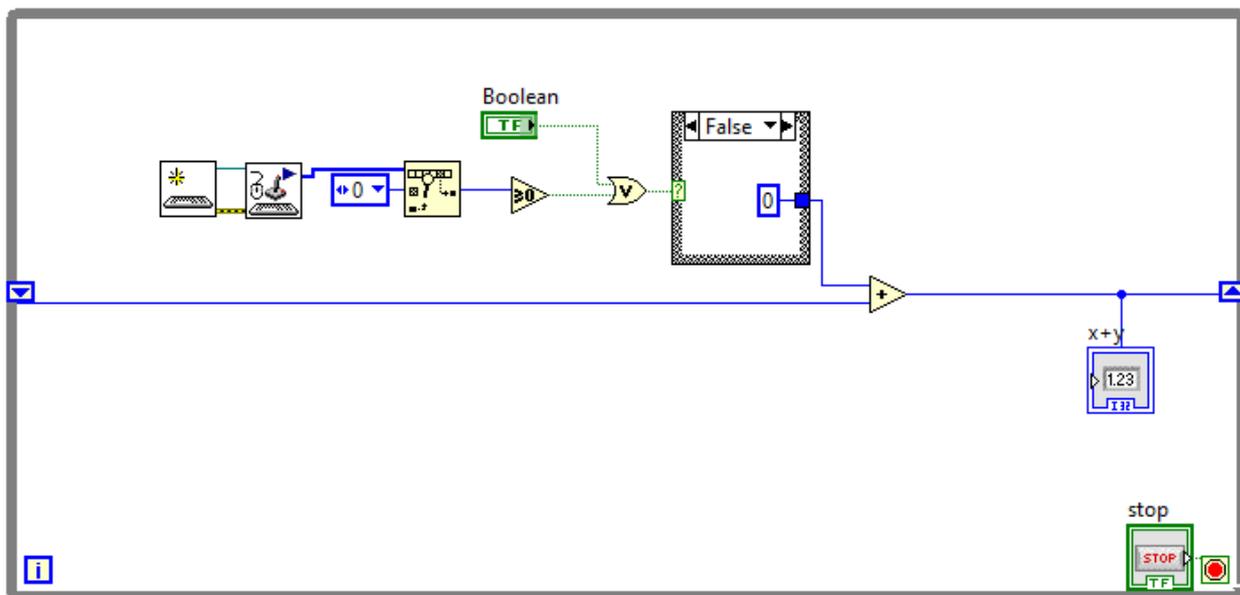


Рисунок 3.18 – Блок-диаграмма ВП, реализующая потактовый «счетчик» нажатий на клавишу

При нажатой клавише на вход Exec control Case structure поступает значение «true», открывается соответствующее окно, в котором содержится значение «1» в виде константы. Это значение поступает на выход Case structure и суммируется с показанием на сдвиговом регистре, который применяется для итерационного накопления данных. Таким образом, за 20 тактов будет добавлено 20 единиц. Казалось бы, что счетчик готов и можно им пользоваться, но, нет, итерации имеют высокую скорость прохождения. Чтобы за 1 такт (нажатие на клавишу) произошло увеличение значения на 1, необходимо воспользоваться временной задержкой (она добавлена разработчиками в библиотеку), но данное действие приведет к тому, что все размещенные на блок-диаграмме элементы будут испытывать на себе эту самую задержку, соответственно, звук будет извлекаться с прерываниями по времени после каждой итерации. Поэтому, необходимо найти способ увеличения, не требующий добавления временной задержки. И, как ни странно, этот способ уже представлен на рисунках выше, а представляет он собой добавленные на блок-диаграмму Express ВП Simulate Signal, которые автоматически задают прерывания (отсюда и возникают прерывания в воспроизводимом звуке). То есть, имея на лицевой панели Express ВП Simulate Signal и структуру, представленную на рисунке 3.18, можно добиться увеличения значений (1 нажатие равняется увеличению на единицу). Пример блок-диаграммы приведен на рисунке 3.19.

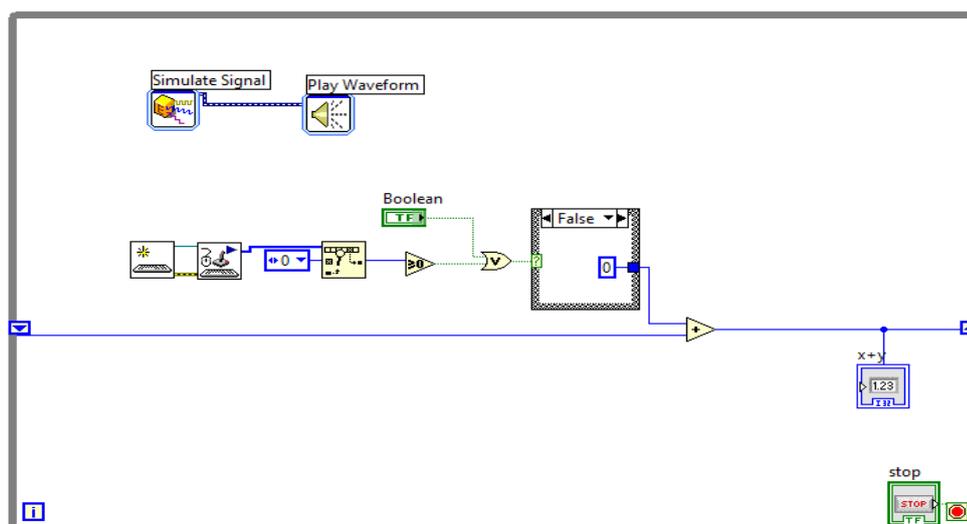


Рисунок 19 - Блок-диаграмма ВП, реализующая «счетчик» нажатий на клавишу (версия, необходимая для проекта)

Стоит отметить, что в разработанный проект новый Express ВП Simulate Signal добавлять не стоит, поскольку они уже имеются в нем.

Следующий этап заключается в обнулении значений при достижении определенного уровня нажатий. Идея заключается в следующем: для управления определенными параметрами необходимо нажать на кнопку, которая задана на рисунке 3.19, а с помощью дополнительных 2 кнопок осуществлять изменение этих самих параметров. Этим можно добиться уменьшения количества самих кнопок управления. Реализация обнуления значений представлена на рисунке 3.20.

Таким образом, реализована часть программы, позволяющая подключать параметры, которые необходимо изменить.

Само же изменение может производиться нажатием на 2 клавиши (допустим, стрелками вверх/вниз). Для реализации этих условий ВП необходимо доработать до состояния, представленного на рисунках 3.21, 3.22.

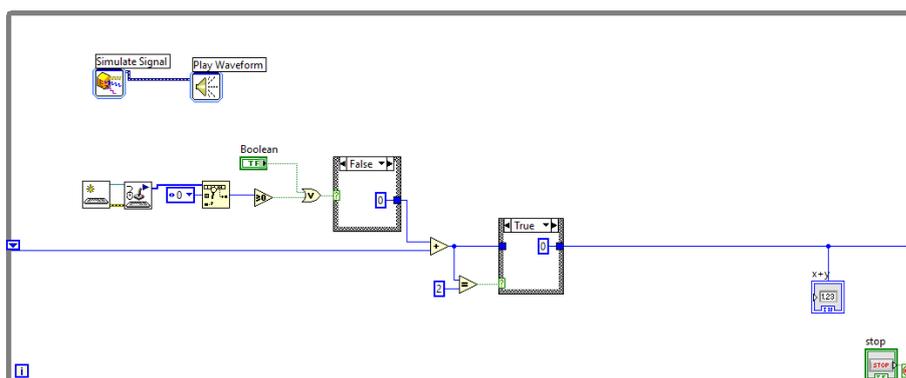


Рисунок 3.20 - Блок-диаграмма ВП, позволяющая «скидывать» значения при достижении определенного уровня (в данном случае, при значении 2 на индикаторе выведется значение 0)

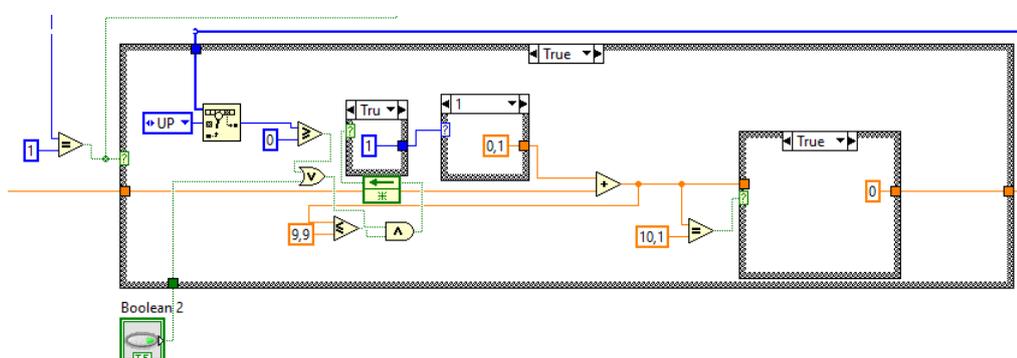


Рисунок 3.21 – Часть блок-диаграммы ВП, на которой отображен участок, который будет позволять увеличивать значения до необходимого уровня (управление значениями параметров)

Ограничение на увеличение задается условиями « $\leq 9,9$ », а также « $=10,1$ ». Данные значения выбраны из следующих соображений: при достижении значений 9,9 и очередном нажатии на клавишу программа выдаст очередное значение 0,1 и произведет суммирование, таким образом, на выходе Case structure появится значение 10. Далее оно увеличиваться не будет, поскольку задано ограничение и при входном значении выше 10 следующая итерация произведет увеличение на «0». Управление происходит заданной константой «UP» (стрелка вверх). Вещественные значения в Case structure поступают со сдвигового регистра, а с выхода данного окна поступает на вход части ВП, которая осуществляет уменьшение значений (рисунок 3.22). В случае, если кнопка «UP» не нажата или значение перед циклом не равно «1», данные со сдвигового регистра просто проходят через окно Case structure не изменяясь. Соответственно, управление данным блоком может осуществляться как на экране компьютера, так и с клавиатуры.

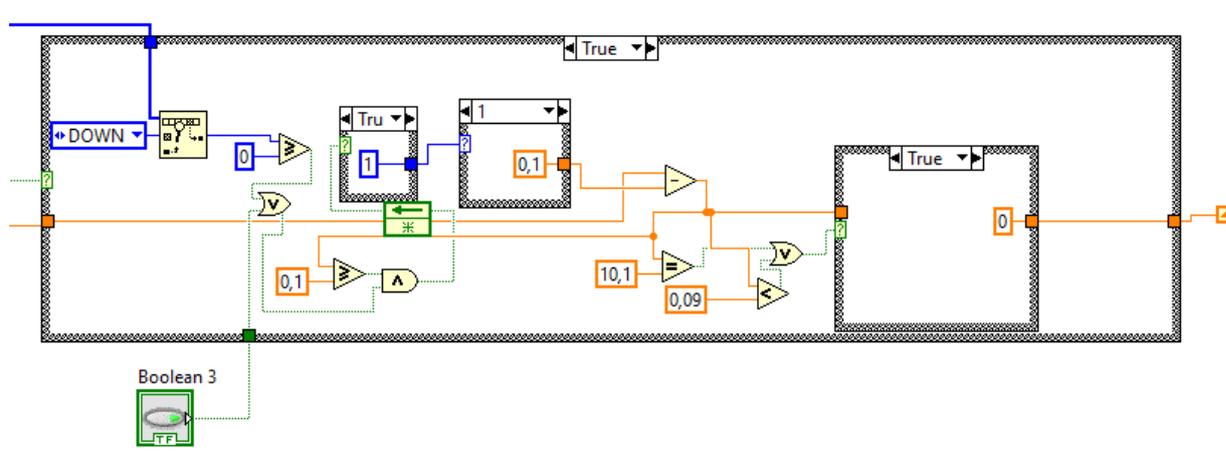


Рисунок 3.22 – Часть блок-диаграммы ВП, на которой отображен участок, который будет позволять уменьшать значения до необходимого уровня (управление значениями параметров)

Ограничение на уменьшение задается двумя условиями: « $\geq 0,1$ » и « $< 0,09$ ». Первое ограничение вполне понятно, поскольку за одну итерацию будет происходить изменение входного значения на 0,1, но того же самого нельзя сказать о втором ограничении, а берется оно из-за того, что в процессе вычислений возникает ошибка, которая появляется в пятнадцатом знаке после запятой и данное значение выводится вместо необходимого значения «0», что не нужно для

создаваемого ВП. Соответственно, ограничение «<0,09» позволяет избавиться от погрешности вычисления. Также есть ограничение по максимуму значений, из которых будет происходить вычитание (на самом деле от этого ограничения можно избавиться). Таким образом, вычитание будет происходить до значения «0». Как говорилось ранее, в представленном на рисунке 3.21 окне Case structure происходит уменьшение числа, пришедшего из окна, которое разработано для его увеличения. В случае, если на входе Case structure будет значение не равное «1» то данные с предыдущего окна пройдут без изменений на сдвиговый регистр и с новой итерацией поступят на выход Case structure, представленной на рисунке 3.20.

Стоит отметить, что, если работа происходит с целыми числами, то от ограничения «<0,09» можно отказаться.

Разработанные схемы (рисунки 3.20, 3.21) можно использовать в том виде, в котором они представлены, для увеличения параметров (амплитуды, частоты, фазы и скважности) вместо контроллеров. В качестве изменения октав, типа параметра и типа сигналов в этих схемах лучше вместо вещественных чисел использовать целые и подключать их в соответствии с указаниями выше.

Остается еще одно условие, которое необходимо выполнить на данном этапе – увеличение значения в 10 раз при следующем нажатии на клавишу. Это необходимо для того, чтобы управлять кнопками «X10» и «X100», работа которых описана ранее (рисунок 3.22).

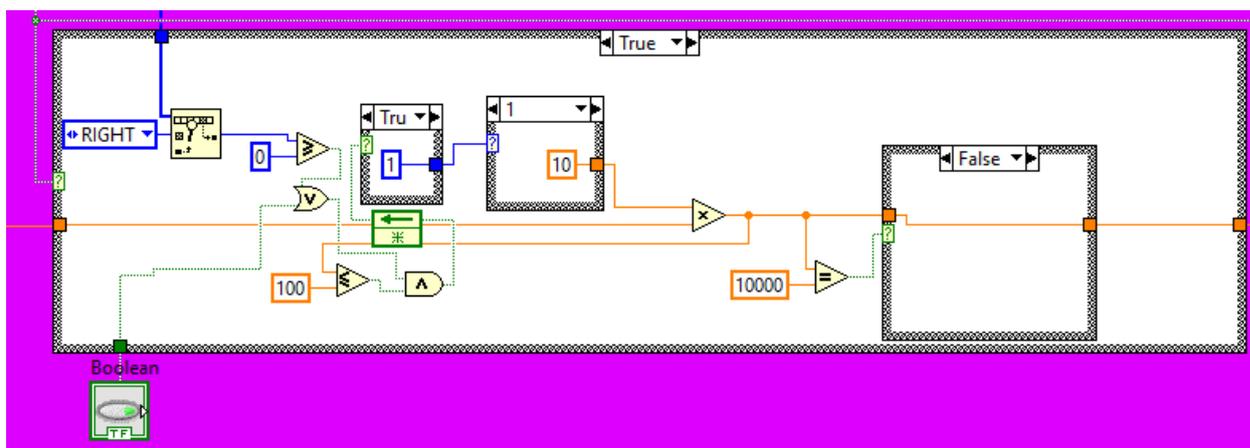


Рисунок 3.22 – Часть блок-диаграммы ВП, на которой отображен участок, позволяющий увеличивать значения до необходимого уровня (управление значениями «X10» и «X100»)

Отличие данного участка от указанного на рисунке 3.20 заключается в том, что изначально на вход поступает значение, равное «1» (на сдвиговый регистр устанавливается соответствующая константа, которая будет добавлена в цикл один раз, а затем будет постоянно прокручиваться внутри самого цикла). Эта единица может увеличиваться в 10 раз при очередном нажатии на клавишу. Ограничение по максимуму составляет «1000», больше не надо, так как это приведет в дальнейшем к конфликту в ВП «Play Waveform».

Реализация уменьшения значений, как и было сделано ранее, представлено в другом окне Case structure (рисунки 3.23). Оно заключается в уменьшении входного числа в 10 раз в случае, если нажата клавиша. Также с выхода данного окна полученное в результате вычисления значение поступает на сдвиговые регистры, а, в свою очередь, с него, снова в участок, изображенный на рисунке 3.22.

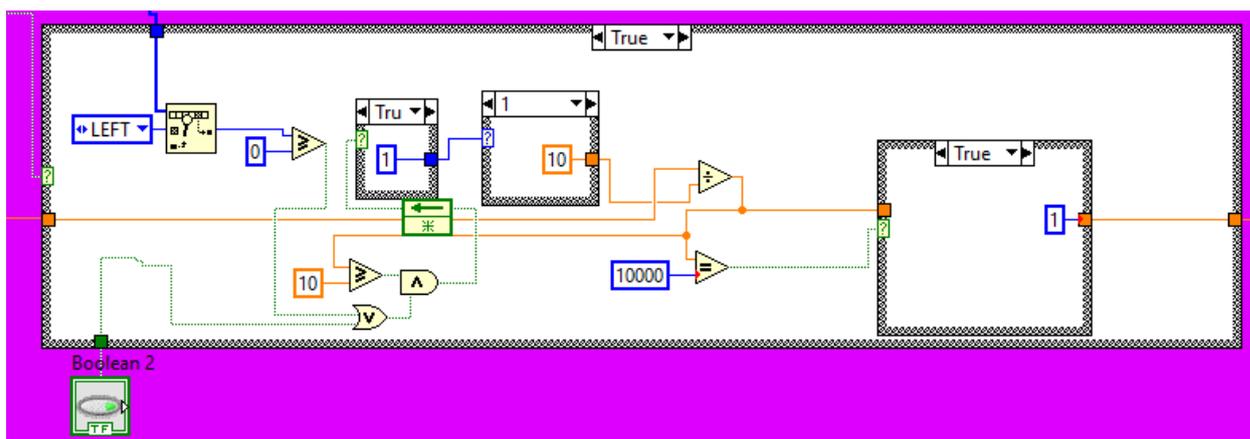


Рисунок 3.23 – Часть блок-диаграммы ВП, на которой отображен участок, который будет позволять уменьшать значения до необходимого уровня (управление значениями «X10» и «X100»)

Чтобы привязать ранее разработанные части ВП к параметрам, необходимо в поле цикла «While» от линии, выходящей из окна Case structure (отвечающей за уменьшение) провести еще одну линию к заданным параметрам. Таким образом, будет осуществлена привязка клавиши с клавиатуры к кнопкам и контроллерам на экране компьютера.

Чтобы была возможность следить за тем, какой параметр можно изменять в данный момент времени, необходимо поставить логический индикатор перед каждым окном Case structure, отвечающим за увеличение. Для отображения того,

какой параметр изменяется после нажатия на клавишу и какое значение принимает, можно использовать текстовый и цифровой индикаторы, привязанные к этой же линии (рисунок 3.24).

Исходя из данных, приведенных выше, можно смоделировать устройство, воспроизводящее звуки. Оно будет иметь следующие достоинства: возможность играть музыку как с экрана компьютера (при помощи мыши) так и используя клавиатуру; возможность изменять звук; возможность воспроизводить несколько звуков одновременно путем нажатий на несколько клавиш одновременно; изменять октавы, тем самым увеличивая диапазон нот, не изменяя количество клавиш; программа занимает достаточно мало памяти (примерно 17500 КБ). При необходимости данный код можно использовать в дальнейшем усовершенствовании уже существующей программы, а также при создании новой (допустим, с применением семплов). К недостаткам программы, разработанной методом аддитивного синтеза, можно отнести прерывания звука во время воспроизведения в графической среде программирования LabVIEW.

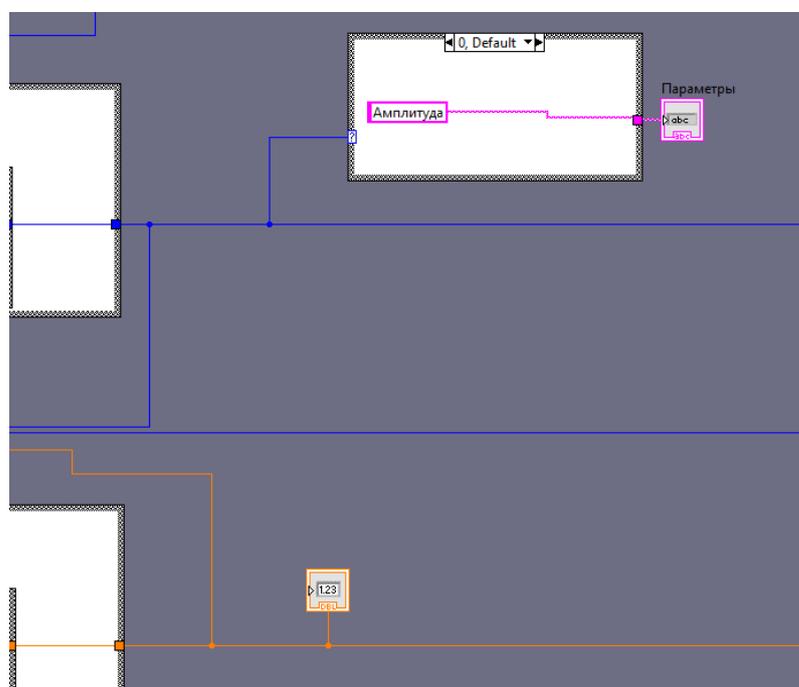


Рисунок 3.24 – Часть блок-диаграммы ВП, показывающая способ подключения графического и цифрового индикатора

Примерный вид смоделированного устройства представлен на рисунке 3.25.

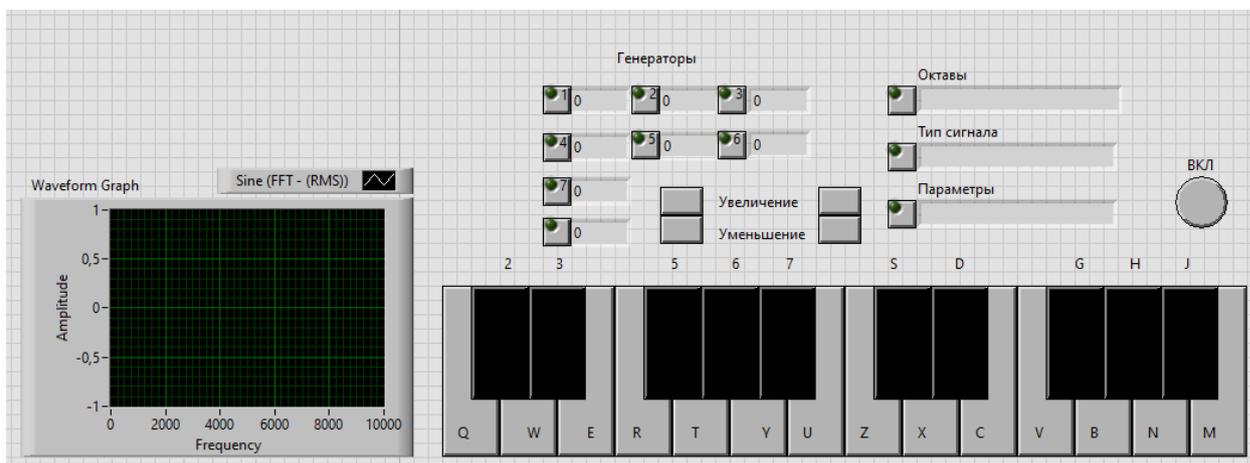


Рисунок 3.25 – Лицевая панель собранного ВП

На лицевой панели представлены следующие органы управления: 24 клавиши (что соответствует двум октавам); органы управления звуком (октавы, тип сигнала, параметры, генераторы, кнопки увеличения и уменьшения); графический индикатор для отображения спектра генерируемого звука, а также кнопка включения на работу самого синтезатора. Кроме того, клавиши подписаны для визуализации сопоставления виртуальной и реальной клавиатуры.

#### **4 Обеспечение охраны труда**

Руководствуясь Трудовым кодексом РФ (далее – ТК РФ), в процессе трудовой деятельности работнику должна быть обеспечена система охраны жизни и здоровья.

Охрана труда обеспечивается путем выполнения анализа рабочего места (РМ). РМ, согласно ст. 209 ТК РФ является местом, на котором работник должен быть, ведя свою профессиональную деятельность и которое находится под наблюдением и контролем работодателя, последний, в свою очередь, обязан обеспечить соблюдение санитарно-эпидемиологических правил и норм (СанПиН) [14].

Дипломная работа выполнялась в домашних условиях. РМ находится в комнате общей площадью 16 кв. м. В комнате имеется одно окно, выходящее на восточную сторону, 1 настольная лампа и 2 потолочные лампы.

РМ представлено столом, с расположенным на нем ноутбуком, проводной мышью и стулом.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» определяет санитарные требования к рабочему месту и является главным нормативно-правовым документом [15]. Данный документ регламентирует санитарно-эпидемиологические требования к различным показателям на рабочем месте, их методы измерения, а также различные мероприятия по профилактике воздействия на здоровье работников и допустимые уровни физических факторов, не вызывающих изменений в состоянии здоровья работников.

Руководствуясь вышеприведенным СанПиН, проанализированы следующие физические показатели:

- микроклимат рабочего места;
- качественные и количественные характеристики освещения;
- уровень шума и вибрации а рабочем месте;
- эргономичность рабочего места.

Согласно Приложению 1 СанПиН 2.2.4.3359-16 [16], выполняемая работа относится к категории Ia, поскольку уровень энергозатрат не превышает 139 Вт.

Микроклимат на РМ должен быть установлен в соответствии с СанПиН. В таблице приведены оптимальные и измеренные значения микроклимата РМ.

Таблица 4.1 – Оптимальные и измеренные значения микроклимата РМ

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Оптимальные условия микроклимата					
Холодный	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
Измеренные условия микроклимата рабочего места					
Холодный	Ia	23	Стол: 23 Ноутбук: 24 Потолок: 21 Стены: 22 Пол: 21	52	0

Температура воздуха и поверхностей в комнате были измерены при помощи комнатных часов со встроенным термометром, а также бесконтактного (инфракрасного) термометра. Влажность воздуха была измерена при помощи комнатных часов со встроенным гигрометром. В ходе исследования параметров определено, что измеренные показатели соответствуют необходимым условиям, прописанным выше в таблице 4.1.

Опираясь на требования СанПиН 2.2.2.542-96, уровень шума в помещении не должен превышать 65дБ [17]. Поскольку шум является вредным фактором и может неблагоприятно воздействовать на организм человека, а также может плохо повлиять на работу и отдых следующим этапом стало его измерение на РМ при помощи мобильного приложения «Шумомер» компании «melon soft».

Значения шума составило 54,4 дБ (рис. 4.1), что соответствует нормативному значению. Данное значение шума на РМ не является вредным и не влияет на состояние здоровья. Источником шума на РМ являются: система

охлаждения ноутбука, устройство ввода, то есть компьютерная мышь и клавиатура, холодильник, чайник и микроволновая печь.



Рисунок 4.1 – Уровень шума на РМ

Также были выполнены замеры показателей освещенности РМ. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 помещение, в котором работник проводит более 50% рабочего времени, должно иметь совместное освещение – присутствие как естественного освещения, так и искусственного с освещенностью в интервале 300-500 лк [18]. Если освещение будет недостаточным, то оно может неблагоприятно воздействовать на зрение, психику и эмоциональное состояние человека, а также может привести к травматизму.

Освещенность рабочего места была измерена при помощи мобильного приложения «Lux Light Meter Pro» компании «Doggo Apps». Результат измерений представлен на рисунке 4.2.

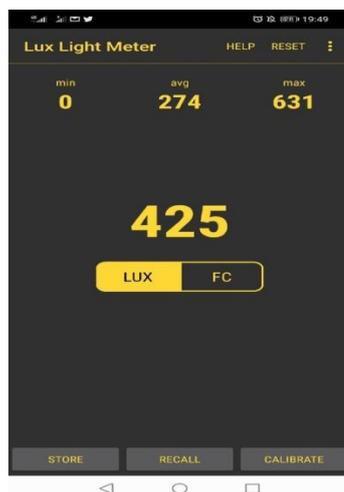


Рисунок 4.2 – Показание освещенности на РМ в приложении

Руководствуясь СанПиН 2.2.3670-20 были выполнены замеры используемого рабочего места на соответствие требованиям [19]. Замерялись рабочий стол и рабочий стул.

Рабочий стол должен соответствовать нормативным показателям, представленным в СанПиН. В таблице 4.2 представлено сравнение нормативных и фактических значений используемого рабочего стола при выполнении дипломной работы.

Таблица 4.2 – Нормативные и фактические значения используемого рабочего стола

Параметр	Нормативный показатель, мм	Фактический показатель, мм
Высота поверхности стола от пола	680-800	795
Ширина поверхности стола	800-1400	1000
Глубина поверхности стола	800-1000	1000
Высота пространства для ног	не менее 600	900
Ширина пространства для ног	не менее 500	800
Глубина пространства для ног (на уровне колен)	не менее 450	1000
Глубина пространства ног (на уровне вытянутых ног)	не менее 650	1000

В результате измерения и сравнения показателей стола на рабочем месте, можно увидеть, что стол соответствует заданным нормативным показателям.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

В таблице 4.3 представлено сравнение нормативных показателей и фактических измеряемых показателей рабочего кресла.

Таблица 4.3 – Сравнение показателей рабочего кресла

Параметр	Нормативный показатель	Фактический показатель
Тип	подъемно-поворотный	подъемно-поворотный
Угол наклона вперед	до 15°	15°
Угол наклона назад	до 5°	5°
Угол наклона спинки в вертикальной плоскости	в пределах $\pm 30^\circ$	$\pm 30^\circ$
Регулировка по высоте сиденья	да	да
Высота сиденья стула, мм	400-550	500
Ширина сиденья стула, мм	не менее 400	460
Глубина сиденья стула, мм	не менее 400	460
Высота спинки стула, мм	не менее 300	550

Продолжение таблицы 4.3

Ширина спинки стула, мм	не менее 380	460
Поверхность спинки, сиденья и др. элементов	полумягкая	полумягкая
Тип подлокотников	съёмные/стационарные	стационарные
Длина подлокотников, мм	не менее 250	365
Ширина подлокотников, мм	50-70	50

В ходе измерения и сравнения показателей рабочего кресла, можно увидеть, что измеренные показатели соответствуют нормативным, которые заданы требованиями СанПиН.

В результате анализа и проведения измерений фактических показателей рабочего места можно сделать вывод, что рабочее место соответствует санитарно-гигиеническим правилам и нормам:

Таким образом, при выполнении работы были соблюдены:

- микроклиматические условия;
- освещенность рабочего места;
- уровень шума на рабочем месте;
- эргономика рабочего места.

Также при выполнении работы учитывались меры безопасности при работе за компьютером. В первую очередь перед началом работы на РМ проверялась исправность электропитающих устройств ноутбука и его работоспособность.

В свою очередь, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 во время работы с ноутбуком соблюдались следующие правила:

- не класть на клавиатуру и корпус посторонние предметы, не работать мокрыми руками и не производить чистку элементов во время работы устройства;
- в случае обнаружения неисправности выключить ноутбук;
- производить эксплуатацию ноутбука в соответствии с требованиями, указанными производителем;

- минимизировать случаи включения и выключения устройства во время работы.

В целях сохранения здоровья соблюдались следующие правила:

- высота стула должна быть такой, чтобы была возможность опираться на пол полной ступней;
- избегать скрещивания конечностей, чтобы избежать затруднения кровообращения;
- выдерживать расстояние от глаз до монитора равным не менее 45 сантиметров;
- использовать антибликовые экраны, либо очки для работы за компьютером, чтобы избежать нагрузки на глаза.

По окончании работы с ноутбуком питание выключалось в соответствии с инструкцией завода изготовителя и поверхность ноутбука обрабатывалась влажной салфеткой.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в целях сохранения здоровья при продолжительности работы за компьютером равной 8-ми часам, устраивались перерывы длительностью от 50 до 90 минут, а при 12-ти часовом рабочем дне перерывы были равными 80 или 140 минутам. При этом учитывалось, что рабочий день не должен продлеваться за счет такого отдыха.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы были получены следующие результаты:

- проведен обзор литературы;
- выбран метода синтеза звука;
- разработан алгоритм работы устройства;
- разработан ВП, работающий по выбранному алгоритму синтеза;
- проведено тестирование работы ВП и проанализированы полученные результаты.

Созданный алгоритм программы позволяет:

- воспроизводить ноты 2 октав одновременно и изменять октавы путем переключения через клавишу;
- воспроизводить звук как при помощи виртуальных клавиш, так и при помощи клавиатуры;
- создавать различные звуки.

Достоинства:

- достаточно быстрое время реагирования программы;
- возможность играть как при помощи виртуальной, так и реальной клавиатуры;
- ВП поддерживает одновременное нажатие на несколько клавиш;
- ВП занимает достаточно мало памяти ( $\approx 17500$  КБ).

Недостатки:

- прерывание звука.

В ходе выполнения работы определено, что наиболее удобным и простым методом при формировании звука в графической среде программирования LabVIEW является аддитивный синтез, выявлены его достоинства и недостатки. Данный метод был использован при разработке алгоритма работы звукового синтезатора в графической среде программирования LabVIEW. На основе полученных данных были сформулированы достоинства и недостатки разработанного алгоритма, а также работы ВП.

Результаты работы были представлены на конференции СНИИ-2020, а также на Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы радиотехники и электроники» [20].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шилов В.Л. Синтезатор / В.Л. Шилов, Ю.Г. Дмитриюкова // Музыкальные инструменты. Энциклопедия. – М., 2008. С. 510–512.

2 Малащенко В.О. Обучение студентов на электронных клавишных музыкальных инструментах на основе MIDI-технологий / В.О. Малащенко // Диссертация. – М., 2019. С. 3-5.

3 Гурбанова М.В. Из истории становления электронных музыкальных инструментов / М.В. Гурбанова // Вестник музыкальной науки. Опубл. 28.02.2019. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/iz-istorii-stanovleniya-elektronnyh-klavishnyh-instrumentov> (Дата обращения: 27.12.2021).

4 Russian music makers' Synthesis и его разновидности. Опубл. 07.01.2007. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://rmmedia.ru/threads/25168/>. (Дата обращения: 28.12.2021).

5 Данилов А. Аддитивный синтез / А. Данилов // SynthMusic. Опубл. 24.04.2009. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <http://synthmusic.ru/articles/synthesistypes/additive/>. (Дата обращения: 30.12.2021).

6 Волченко В.В. Субтрактивный синтез / В.В. Волченко // Музыковедение в XXI веке: теория, история, исполнительство. Опубл. 17.03.2021. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46262472> (Дата обращения: 30.12.2021).

7 Таблично-волновой синтез: принцип и инструменты. Опубл. 04.10.2021. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://www.dj-store.ru/articles/tablichno-volnovoy-sintez-printsip-i-instrumenty/> (Дата обращения: 03.01.2022).

8 Гранулярный синтез. Опубл. 04.01.2019г. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://zwook.ru/material/granularnyj-sintez> (Дата обращения: 05.01.2022).

9 Голованов В. Нейронная оборона / В. Голованов. Опубл. 28.06.2016. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://habr.com/post/395503/> (Дата обращения: 29.12.2021).

10 Аналоговые синтезаторы звука. Часть 2. Основные методы синтеза. Опубл. 04.03.2020. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://russianelectronics.ru/analogovye-sintezatory-zvuka-chast-2-osnovnye-metody-sinteza/> (Дата обращения: 06.01.2022).

11 Ильин Ю. Мода на цифровой винтаж / Ильин Ю. Звуки ру. Оpubл. 08.01.2020. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.zvuki.ru/R/P/80244/> (Дата обращения: 28.12.2021).

12 Линейно-арифметический синтез // Музыкальный портал. Оpubл. (27.05.2015). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://topzvuk.com/obuchenie/muzykantam/klavishnye/1250.html> (Дата обращения: 10.01.2022).

13 Свободная энциклопедия Википедия Сквaжность. Оpubл. 29.04.2018. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сквaжность>. (Дата обращения: 09.01.2022).

14 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ. Статья 209. Основные понятия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0/) (Дата обращения: 10.01.2022).

15 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901865498> (Дата обращения: 11.01.2022).

16 СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71362000/> (Дата обращения: 11.01.2022).

17 СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294851/4294851476.pdf> (Дата обращения: 10.01.2022).

18 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294817/4294817617.pdf> (Дата обращения: 09.01.2022).

19 СанПиН 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда». [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_372741/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372741/) (Дата обращения: 13.01.2022).

20 Доценко О.А. Использование LabVIEW для синтеза сигналов сложной формы / О.А. Доценко, О.Н. Савельев, А.Ю. Лаппо // Актуальные вопросы радиотехники и электроники. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Тула, 19–20 мая 2021 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2021. С. 163-166.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

### Основные частоты нот музыкальных инструментов

Таблица А.1 – Основные частоты нот музыкальных инструментов

Частота, Гц (нота)	Буквенное обозначение нот	Субконтр октава	Контракт ава	Большая октава	Малая октава	Первая октава	Вторая октава	Третья октава	Четвертая октава	Пятая октава
До	C		32,70	65,40	130,80	261,60	523,20	1046,40	2092,80	4185,60
До-диез	C#		34,65	69,30	138,60	277,20	554,40	1108,80	2217,60	4435,20
Ре	D		36,95	73,90	147,80	295,60	591,20	1182,40	2364,80	4729,60
Ре-диез	D#		38,88	77,76	155,52	311,04	622,08	1244,16	2488,32	4976,64
Ми	E	20,16	41,21	82,42	164,84	329,68	659,36	1318,72	2637,44	5274,88
Фа	F	21,82	43,65	87,30	174,60	349,20	698,40	1396,80	2793,60	
Фа-диез	F#	23,12	46,25	92,50	185,00	370,00	740,00	1480,00	2960,00	
Соль	G	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	784,00	1568,00	3136,00	
Соль-диез	G#	25,95	51,90	103,80	207,60	415,20	830,40	1660,80	3321,60	
Ля	A	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	
Ля-диез	A#	29,13	58,26	116,52	233,04	466,08	932,16	1864,32	3728,64	
Си	H	30,87	61,74	123,48	246,96	493,92	987,84	1975,68	3951,36	

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**(справочное)**  
**Руководство по эксплуатации**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет  
Кафедра радиоэлектроники

**СИНТЕЗАТОР ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА LABVIEW**

**Руководство по эксплуатации  
ТУБК.466958.001**

Руководитель ВКР

канд. физ.-мат. наук, доцент

 О. А. Доценко

« 18 » 01 2022 г.

Разработчик

студент группы №07608

 О. Н. Савельев

« 18 » 01 2022 г.

Томск – 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ОПИСАНИЕ И РАБОТА .....	57
1.1 Технические характеристики .....	57
1.2 Состав синтезатора .....	57
1.3 Устройство и принцип работы.....	58
2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ.....	59
2.1 Подготовка к использованию .....	59
2.2 Инструкция по эксплуатации.....	59
3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ .....	59
3.1 Перечень возможных неисправностей.....	59
3.2 Ремонт .....	59

С помощью синтезатора звуковых частот на LabVIEW можно играть музыкальные мелодии с персонального компьютера и устройств, управляемых операционными системами Windows, Linux, Mac Os. Синтезатор содержит 24 клавиши (две октавы), которые можно менять в последовательности: большая-малая, малая-первая, первая-вторая октавы. Так же имеется возможность менять звучание нот путем настройки органов управления «Тип сигнала», «Параметры» и «Генераторы» и отслеживать изменение спектра воспроизводимого звука на графическом индикаторе.

Комплектность:

- персональный компьютер,
- установленное расширение для чтения файлов «.vi»,
- исходный файл LabVIEW «работа с клавиатурой.vi»
- клавиатура или компьютерная мышь,
- динамик.

## 1 ОПИСАНИЕ И РАБОТА

### 1.1 Технические характеристики

Рабочее напряжение	12-240 В
Диапазон частот динамика	50 Гц – 20 кГц
Разрядность звуковой карты	16 бит
Операционная система	Windows, Linux, Mac O
Расширение для чтения файлов	«.vi»

### 1.2 Состав синтезатора

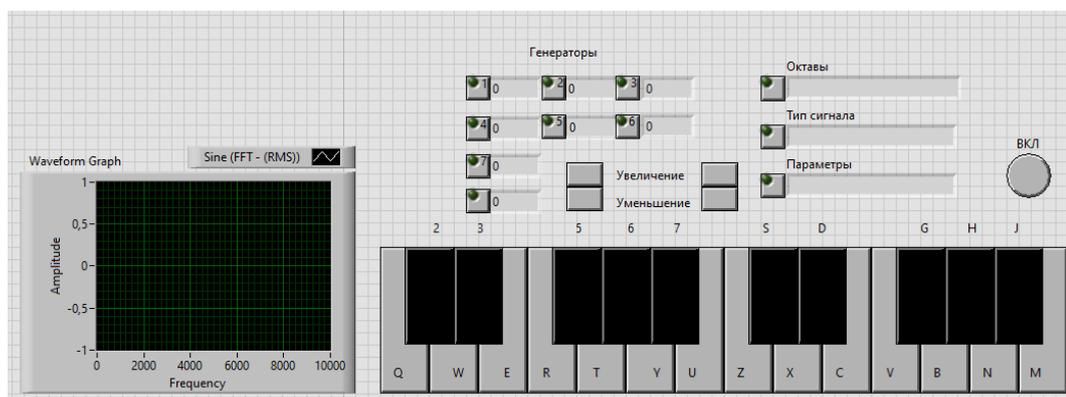


Рисунок Б.1 – Лицевая панель синтезатора звуковых частот на LabVIEW

На персональном компьютере должна иметься одна из операционных систем: Windows, Linux, Mac O, звуковая карта с разрядностью 16 бит, а так же расширение «.vi» для чтения исходного файла «работа с клавиатурой.vi». Клавиатура и компьютерная мышь должны быть подключены в соответствующие для них разъемы.

Запуск исходного файла осуществляется двойным щелчком мыши.

На лицевой панели имеются: кнопка включения синтезатора на работу «ВКЛ»; 24 клавиши, отвечающих за воспроизведение звука (серия из черно-белых клавиш); 8 кнопок в поле «Генераторы», предназначенные для изменения формируемого звука; 4 кнопки «Увеличение», «Уменьшение» для изменения выбранных параметров; кнопки: «Октава», «Тип сигнала», «Параметры» - для изменения параметров формируемого звукового сигнала; графический индикатор «Waveform Graph», отображающий спектр формируемого звукового сигнала.

### **1.3 Устройство и принцип работы**

Принцип работы синтезатора звуковых частот на LabVIEW строится на аддитивном методе синтеза звука с использованием 7 генераторов «Simulate Signal», каждый из которых позволяет генерировать звуковую волну следующих видов: «Синусоидальная», «Треугольная», «Прямоугольная» и «Пилообразная». Параметры каждого из генераторов можно менять по отдельности, нажав на соответствующую кнопку «Параметры» и выбрать пункт, который требуется изменить кнопками «Увеличение» и «Уменьшение», далее выбирается генератор, звук которого необходимо поменять и так же кнопками «Увеличение» и «Уменьшение» осуществить настройку до требуемых значений. Таким же образом осуществляется изменение параметра «Октавы» и «Тип сигнала». Звуковой сигнал начинает формироваться после нажатия на одну или несколько клавиш, отвечающих за воспроизведение звука, и выводится на динамик через 16 битную звуковую карту.

## **2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ**

### **2.1 Подготовка к использованию**

Перед началом работы с синтезатором необходимо убедиться, что операционная система персонального компьютера соответствует требуемой, аудиокарта компьютера поддерживает 16 битный звуковой формат и динамик подключен к ее выходу, на устройстве имеется расширение для чтения файлов «.vi», а так же сам файл «работа с клавиатурой.vi».

### **2.2 Инструкция по эксплуатации**

Для работы синтезатора:

- a) запустить исходный файл «работа с клавиатурой.vi»;
- b) нажать кнопку «Run» или «Run continuously»;
- c) нажать кнопку «ВКЛ» на лицевой панели;
- d) компьютерной мышью или, используя клавиатуру, играть на синтезаторе;
- e) по окончании работы с синтезатором отжать последовательно кнопки (пункты: b, c);
- f) закрыть исходный файл.

## **3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ**

### **3.1 Перечень возможных неисправностей**

Операционная система:

- a) не соответствует требуемой.

Графическая среда программирования LabVIEW:

- a) не запускается исходный файл;
- b) не воспроизводится звук при нажатии на клавиши или появляется ошибка;
- c) не изменяются параметры при нажатии на соответствующие клавиши.

### **3.2 Ремонт**

В случае, если операционная система не соответствует требуемой, следует установить одну из рекомендуемых: Windows, Linux, Mac Os.

Если при попытке запуска исходного файла сделать этого не получилось, то следует проверить наличие на устройстве расширения для чтения файлов формата «.vi» и в случае отсутствия, установить указанное расширение.

Звук не воспроизводится или возникает ошибка в том случае, если не нажаты кнопки «Run» или «Run continuously», а так же «ВКЛ» на лицевой панели. Кроме того, ошибка может возникать в случае, если частота формируемого одним или несколькими генераторами звукового сигнала превысила порог в 20 кГц. Устранить данную ошибку можно путем уменьшения частот генераторов превышающих заданный частотный порог.

Параметры или их значения не изменяются в случаях, если не были нажаты соответствующие им кнопки на лицевой панели. В случае если кнопка нажата, то загорается зеленая лампочка.

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**(справочное)**  
**Программная документация**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет  
Кафедра радиоэлектроники

**СИНТЕЗ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА LABVIEW**

Описание программы

РОФ.02068318.76805-01 13 01

Руководитель ВКР

канд. физ.-мат. наук, доцент

 О. А. Доценко

« 18 » 01 2022 г.

Разработчик

студент группы №07608

 О. Н. Савельев

« 18 » 01 2022 г.

2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие сведения.....	64
Функциональное назначение.....	64
Описание логической структуры.....	64
Используемые технические средства. Вызов и загрузка. Входные данные.	
Выходные данные.....	66

## Общие сведения

Программа предназначена для генерации сигналов звуковых частот, которая осуществляется с использованием графической среды программирования LabVIEW путем нажатия на виртуальные и реальные клавиши персонального компьютера.

В качестве условий для функционирования программы можно выделить наличие персонального компьютера, управляемого операционными системами Windows, Linux, Mac Os, а также наличие на устройстве программ, позволяющих открывать файлы с расширением .vi.

## Функциональное назначение

Программа предназначена для людей, занимающихся музыкой или её осваивающих. Она осуществляет генерацию сигналов звуковых частот, позволяет управлять виртуальным прибором с использованием, как компьютерной мыши, так и клавиатурой персонального устройства. Кроме того, позволяет изменять звук путем изменения параметров генераторов, его формирующих, а также менять октавы в порядке: большая-малая, малая-первая, первая-вторая.

## Описание логической структуры

На рисунке В.1 приведен алгоритм работы блока «Октавы».

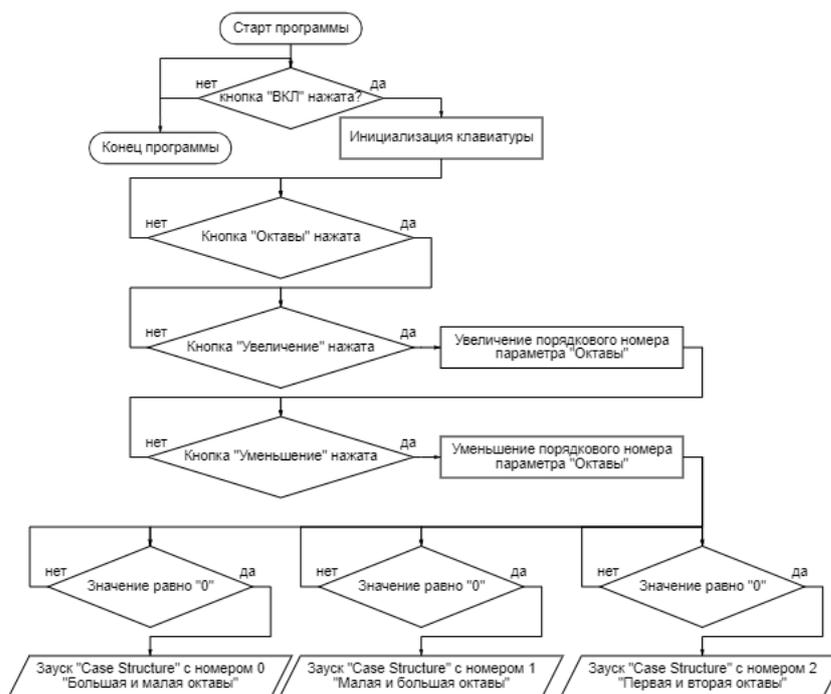


Рисунок В.1 – Алгоритм работы блока «Октавы»

Блоки «Тип сигнала», «Параметры» и «Генераторы» работают по такому же принципу.

Все кнопки, отвечающие за воспроизведение звука, работают в соответствии с блок-схемой, представленной на рисунке В.2.

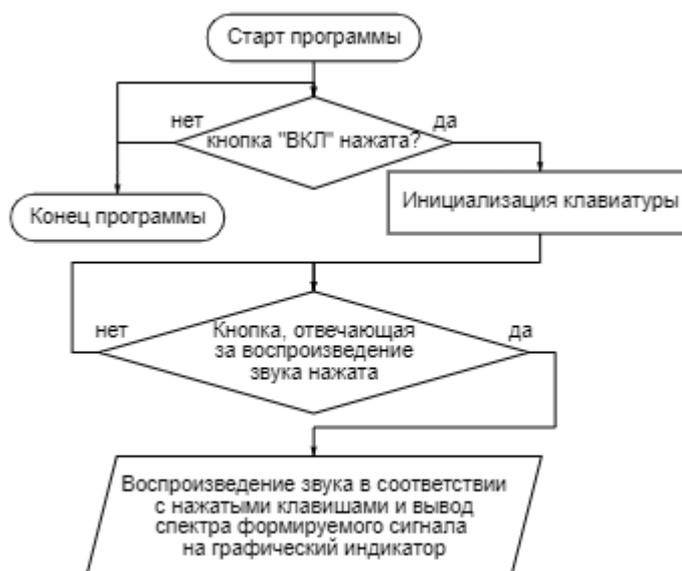


Рисунок В.2 – Алгоритм работы блока, воспроизводящего звук

Алгоритм работы всей программы приведен на рисунке В.3.

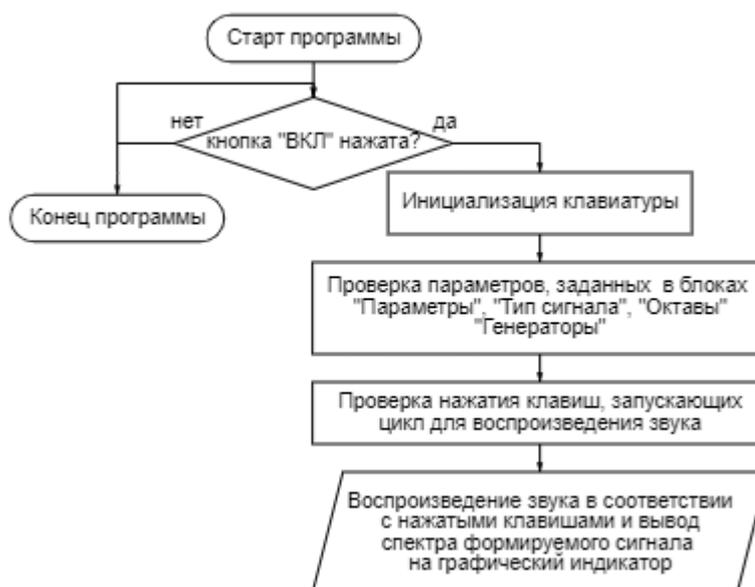


Рисунок В.3 – Алгоритм работы программы

## **Используемые технические средства. Вызов и загрузка. Входные данные. Выходные данные**

Для запуска программы необходимо иметь персональный компьютер с операционными системами Windows, Linux или Mac Os, а также аудиокарту, которая позволяет воспроизводить 16-битные аудиофайлы. Дополнительное требование – установленная система LabVIEW. Программа не требует предварительной установки на ПК и запускается двойным кликом курсора мыши по исполняемому файлу «связка с клавиатурой.vi», либо внутри открытого окна LabVIEW «*File-Open-связка с клавиатурой.vi*». В качестве входных данных в программе выступают данные с клавиатуры (состояние привязанных к кнопкам клавиш) и данные, введенные при помощи курсора мыши. Выходными данными являются звук, а также отображаемый на графическом индикаторе спектр воспроизводимого звука. Объем занимаемой программой памяти составляет  $\approx 17500$  Кб.



**АНТИПЛАГИАТ**  
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ



ГЛАВНАЯ / КАБИНЕТ / РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ / КРАТКИЙ ОТЧЕТ

## Краткий отчет

[получить полный отчет](#)

[ПАРАМЕТРЫ ПРОВЕРКИ](#) [ЭКСПОРТ](#) [ИСТОРИЯ ОТЧЕТОВ](#) [ВЫЙТИ В КАБИНЕТ](#) [ЕЩЕ...](#)

Савельев\_0\_H

ПРОВЕРЕНО: 16.01.2022 09:26:54

№	Доля в отчете	Источник	Актуальна на	Модуль поиска
[01]	2,37%	Компьютерное моделирование метрологических характеристик генер...	02 Ноя 2020	Интернет Free
[02]	0,43%	50_161_136_0_0.600_47108737 СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 - Гигиенически...	06 Дек 2020	Интернет Free
[03]	0%	Скачать СанПин 2.2.2-2.4.1340-03 Гигиенические требования к персон...	15 Апр 2016	Интернет Free

*Руководитель ВКР Жуков (О.А. Жуков)*

ЗАИМСТВОВАНИЯ

2,9%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

97,1%

ИСТОЧНИКОВ: 10

ЕЩЕ НАЙДЕНО

ИСТОЧНИКОВ: 7

ЗАИМСТВОВАНИЯ: 0,1%

ТАРИФ **Free**

ИЗМЕНИТЬ

МОДУЛИ И КОЛЛЕКЦИИ

Подключено: 1 сменить

ПОДКЛЮЧИТЬ ЕЩЕ

БАЛЛЫ

0

ПОПОЛНИТЬ

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ

son.oleg.30@gmail.com

ПРОВЕРИТЬ ДОКУМЕНТ

RU



МЕНЮ



13:40

16.01.2022