

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра Акустичних та Мультимедійних Електронних Систем

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.391.83

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

- 

С. А. Найда
(ініціали, прізвище)

“ 7 грудня” 2020 р.


Магістерська дисертація

зі спеціальності 171 Електроніка
(код і назва спеціальності)

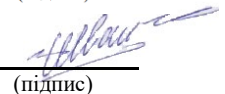
на тему: Електронні системи синтезу та оброблення аналогового та цифрового
звукового контенту

Виконав: студент II курсу, групи ДВ-91мп
(шифр групи)

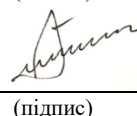
Ісько Павло Вадимович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

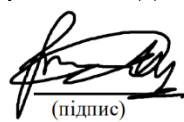
Науковий керівник доцент каф. АМЕС, к. т. н., доц. Швайченко В.Б.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент Професор каф. ЕПтаС, д.т.н., проф. Писаренко Л.Д.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _  Павло ІСЬКО

(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) _____ Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра _____ акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (освітня програма) 171 Електроніка (Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей)

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) С.А. Найда
(ініціали, прізвище)

« 7 » грудня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

_____ Іську Павлу Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Електронні системи синтезу та оброблення аналогового та цифрового звукового контенту
науковий керівник дисертації Швайченко Володимир Борисович, доц., к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «5» листопада 2020 р. № 3241-с
2. Строк подання студентом дисертації 7.12.2020 р.
3. Об'єкт дослідження: Конструкція та моделювання пристрою аналогового синтезу
4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): методи та технології синтезу та оброблення аналогового та цифрового звукового контенту, створення блоку аналогового синтезу.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Проаналізувати існуючі методи синтезу та обробки звуку, провести огляд існуючих рішень. 2) Проаналізувати програмні та апаратні засоби синтезу та обробки звукового контенту, запропонувати рішення, що дозволяють підвищити якісні характеристики синтезу аналогового контенту. 3) Розробити та дослідити аналоговий блок для цифрових систем синтезу та обробки аналогового та цифрового для цілей навчального конструювання.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: ., 1 презентація, 10 слайдів.
7. Орієнтовний перелік публікацій: 1) Особливості сучасних електронних пристроїв синтезу та обробки аналогового та цифрового звукового контентів// III International Scientific and Practical Conference "PRIORITY DIRECTIONS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT" - С. 9-10 22.11.2020
8. Дата видачі завдання 10. 09. 2019 р.


Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Строк виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| 1 | Написання першого розділу: Огляд стану предметної області | 15.12.2019 | виконано |
| 2 | Проводиться збір та вивчення інформації, необхідної. Для написання першого та другого розділу диплому | 06.09.2020 | виконано |
| 3 | Написання третього розділу. Проектування архітектури системи. Реалізація прототипу та тестування | 10.10.2020 | виконано |
| 4 | Повністю описані апаратні та програмні засоби синтезу та обробки аналогової та цифрової звукової інформації. Розроблений та опрацьований процес синтезу аналогового звуку за допомогою синтезатора. | 09.11.2020 | виконано |
| 5 | Проводився підбір компонентів та конструювання аналогової схеми з цифровим контролем. Проводився тест пристрою. Відповідні данні занесені у звіт. | 30.11.2020 | виконано |
| 6 | Підготовка та оформлення презентації для доповіді | 03.12.2020 | виконано |

Студент


(підпис)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

П.В. Ісько

(ініціали, прізвище)

В.Б. Швайченко

(ініціали, прізвище)

УДК 621.391.83

РЕФЕРАТ

Ісько П.В. Електронні системи синтезу та оброблення аналогового та цифрового звукового контенту: магістерська дис. : 171 Електроніка. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 92 с

Магістерська дисертація: 92 с., 47 рис., 24 табл., 20 джерел, 3 додатка.

Аналоговий синтез, синтезатор, осцилятор, звуковий тракт.

Актуальність теми

Сучасна індустрія виготовлення звукового контенту налічує у собі багато різних пристроїв синтезу та обробки звуку. Багато з них є комбінованими, та мають можливість не тільки створювати звуковий сигнал, а і оброблювати. Існують як побудовані на VCO (Voltage Controlled Oscillator), з використанням аналогових фільтрів та атенуаторів, що додає до вартості кругленьку суму. Що говорити про «чисті» аналогові синтезатори, тобто ті, що не мають у своїй будові цифрових складових. Адже саме ці пристрої відзначились у історії звукового синтезу, як «еталонні» по звучанню.

Мета та задачі дослідження

Дана робота націлена на розв'язання проблеми дорогої вартості пристроїв синтезу та обробки звукового контенту. Тому була запропонована ідея використання DCO (Digital Controlled Oscillator), як заміни VCO.

Вирішення поставлених завдань та досягнуті результати

У даній роботі було запропоновано створення оптимального по розміру та характеристиках пристрою генерації (синтезу) звукової хвилі. Були розглянуті недоліки КМОН логіки, наприклад, регулювання частоти у низьковольтному аналоговому генераторі з КМОН елементами є надзвичайно складним завданням через його вкрай нелінійні характеристики та через низьку напругу, що робить його чутливим до напруги джерела живлення, стану заземлення та рівня шуму. У такому випадку з низькою напругою живлення не тільки зменшується динамічний

діапазон сигналу, але також підвищується рівень шуму, що спричиняє ще більш серйозне погіршення відношення сигнал/шум..

Об'єкт дослідження

Процеси в аналоговому блоці синтезу DCO синтезатора.

Предмет дослідження

DCO синтезатор, його аудіотракт, система управління блоками генерації.

Методи дослідження

Для вирішення проблеми в даній роботі використовуються методи аналізу, синтезу, системного аналізу, порівняння та логічного узагальнення результатів.

Наукова новизна

Наукова новизна роботи полягає у аналізі та удосконаленні деталей схеми, а саме заміні фільтра та підсилювача на більш нові.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблена схема може бути інтегрована у існуючу систему синтезу звуку. Простота у збірці дозволяє демонструвати пристрій у формі DIY комплекту.

Публікації

Особливості сучасних електронних пристроїв синтезу та обробки аналогового та цифрового звукового контентів// III International Scientific and Practical Conference “Priority directions of science and technology development” – 2020 р. (Додаток С)

ABSTRACT

Master's dissertation: 92 pp., 47 figs., 24 tables, 20 sources, 3 appendices.

Analog synthesis, synthesizer, oscillator, sound tract.

Actuality of theme

The modern audio content industry has many different devices for synthesizing and processing sound. Many of them are combined, so it is impossible for them to create only a sound signal and process it. They exist as built on a VCO (Voltage Controlled Oscillator), using analog filters and attenuators, which adds to the value of a round sum. Which is to say "pure" analog synthesizers, ie those that do not have digital components in their budgets. After all, these devices were mentioned in the history of sound synthesis as "reference" in sound.

The purpose and objectives of the study

This work focuses on solving the problems of the cost of devices for synthesis and processing of audio content. Therefore, the idea of using DCO (Digital Controlled Oscillator) as a substitute for VCO was proposed.

Solving the set tasks and achieved results

In this work, it was proposed to create the optimal size and characteristics of the device for generating (synthesis) of a sound wave. The disadvantages of CMOS logic have been considered, for example, frequency control in a low-quality analog generator made of CMOS elements is extremely difficult due to its extremely nonlinear characteristics and low pressure, which makes it sensitive to voltage sources, grounding and noise. In this case, at low supply voltage, not only the dynamic range of the signal suffers, but also the noise level increases, causing more serious deterioration of the signal / noise reduction.

Object of study

Analog DCO synthesizer synthesis unit.

Subject of study

DCO synthesizer, its audio path, generation unit control system.

Research methods

Methods of analysis, synthesis, system analysis, comparison and logical generalization of results are used to solve problems when working with data.

Scientific novelty

The scientific novelty of the work is used in the analysis and improvement of detailed schemes, namely the replacement of the filter and amplifier in new ones.

The practical significance of the contained results

The developed scheme can be integrated into the existing sound synthesis system. Ease of assembly allows you to demonstrate the structure in a DIY kit.

Publications

Features of modern electronic devices for synthesis and boxes of analog and digital audio content // III International scientific-practical conference "Priority areas of science and technology" - 2020.

ЗМІСТ

| | |
|--|------|
| ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ | 10 |
| ВСТУП | 10 |
| РОЗДІЛ 1 | 121 |
| АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ЗВУКУ | 121 |
| 1.1. Аналоговий та цифровий звуковий контент | 121 |
| 1.1.1. Технології синтезу | 132 |
| 1.1.2. Види обробки звуку | 2020 |
| 1.2 Апаратний та програмний синтез та обробка | 254 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 | 30 |
| РОЗДІЛ 2 | 31 |
| ПРОЕКТУВАННЯ ТРАКТУ ЗВУКОВОГО СИГНАЛУ..... | 31 |
| 2.1. Опис предметної області | 31 |
| 2.2. Визначення вимог і завдань | 32 |
| 2.3. Опис можливих елементів тракту | 322 |
| 2.4. Проектування пристрою синтезу та обробки у віртуальному редакторі SynthEdit..... | 455 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 | 49 |
| РОЗДІЛ 3 | 50 |
| РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ | 500 |
| 3.1. Вибір технологічного базису та його обґрунтування..... | 500 |
| 3.1.1. Вибір середовища для розробки синтезуючого блоку..... | 50 |
| 3.1.2 Додаткові блоки пристрою синтезу. Опис процесу генерації управляючої прямокутної хвилі | 522 |
| 3.2. Основні рішення з реалізації пристрою та його компонентів..... | 577 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.1. AS3360 (VCA)..... | 577 |
| 3.2.2. AS3320 (VCF) | 59 |
| 3.2.3. Операційний підсилювач та варіанти його використання у схемі | 611 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 | 666 |
| РОЗДІЛ 4 | 67 |
| РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ | 67 |
| 4.1. Опис ідеї проекту | 67 |
| 4.2. Технологічний аудит ідеї проекту..... | 68 |
| 4.3. Аналіз ринкового потенціалу для старту стартап-проекту | 69 |
| 4.4. Розробка ринкової стратегії стартап-проекту | 74 |
| 4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту..... | 76 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4 | 79 |
| ВИСНОВКИ..... | 80 |
| Список використаної літератури | 81 |
| ДОДАТОК А..... | 83 |
| ДОДАТОК Б | 90 |
| ДОДАТОК С | 94 |

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

| | |
|-------------|--|
| CV | (англ. Controlled Voltage) Управляюча напруга. |
| DCO | (англ. Digitally Controlled Oscillator) Осцилятор контрольований напругою цифровим способом. |
| EG | (англ. Envelope Generator) Генератор обвідної. |
| LFO | (англ. Low Frequency Oscillator) Низькочастотний осцилятор. |
| VCA | (англ. Voltage Controlled Amplifier) Підсилювач |
| VCF | (англ. Voltage Controlled Oscillator) Фільтр контрольований напругою. контрольований напругою. |
| VCO | (англ. Voltage Controlled Oscillator) Осцилятор, контрольований напругою. |
| Waveshaping | Генератор форми хвилі. |

ВСТУП

Сучасна індустрія виготовлення звукового контенту потребує багато різних пристроїв синтезу та обробки звуку. Багато з них є комбінованими, та мають можливість не тільки створювати звуковий сигнал, а і оброблювати. Існують такі засоби, що побудовані на основі VCO (*Voltage Controlled Oscillator*), з використанням аналогових фільтрів та атенюаторів, це призводить до збільшення вартості процесу. Беручі до уваги «чисті» аналогові синтезатори, тобто ті, що не мають у своїй будові цифрових складових, бо ці пристрої відзначено у історії звукового синтезу, як «еталонні» по звучанню, то їх вартість ще більша

Данна робота націлена на розв'язання проблеми обмеження вартості пристроїв синтезу та обробки звукового контенту. Тому була запропонована ідея використання методу DCO (*Digital Controlled Oscillator*), як заміни VCO.

Генератор з цифровим управлінням або DCO, це коливальний контур, котрий генерує аналоговий сигнал, проте частота управляється цифровим входом управління. DCO вперше з'явився у 1980-х роках як своєрідний проміжний крок між повністю аналоговим VCO та повністю цифровими реалізаціями, що з'явилися пізніше. Існує декілька конструкцій схеми DCO, але більшість працює шляхом синхронізації аналогової частини з цифровим таймером зворотного відліку, керованого високочастотним, високоточним лічильником. Значення, завантажене в таймер зворотного відліку, визначає вихідну частоту.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ЗВУКУ

1.1. Аналоговий та цифровий звуковий контент

Аналоговий звук – це звук, відтворення та запис якого відбувається без цифрової трансформації. Синтез і обробка звуку відбувається лише на пристроях, звуковий тракт не містить АЦП та ЦАП. Студійний запис та монтаж проводять на магнітних стрічках, а промисловий запис на вінілових платівках та касетах.

Цифровий звук – це набір координат, що описують звукову хвилю. Може бути відтвореним з будь-якого цифрового носія лише за допомогою цифро-аналогового перетворювача.

Цифровий код, що описує аудіосигнал, - це лише форма, спосіб представлення аналогового аудіосигналу, точно так само як аналоговий аудіосигнал - це лише спосіб представлення реальних звукових коливань в повітряному середовищі. Ні аналоговий, ні цифрових сигнали не є звуком як таким, крім самого звуку, тобто коливань частинок повітряного середовища, які впливають на слухову систему людини і таких, що створюють слухові відчуття.

Чим більше різних пристроїв і схем бере участь в аудіотракті, тим більша ймовірність невірної їх сполучення, а значить, тим вище ймовірність втрат і спотворень сигналу. До цього можна додати також той факт, що з точки зору психоакустики людина помітно більш сприйнятлива до гармонійних (лінійних) спотворень, що залежать від самого сигналу, ніж до нелінійних (незалежних від сигналу) [1].

1.1.1. Технології синтезу

Існує безліч різних методів синтезу звуку, однак всі їх можна звести до декількох основних типів:

- адитивний;
- субтрактивний;
- семплювання;
- FM-синтез і PD-синтез;
- фізичне моделювання.

Крім того, були розроблені їх вдосконалені варіанти і численні гібридні технології, наприклад:

- Wavetable-синтез;
- гранулярний синтез;
- лінійно-арифметичний синтез;
- векторний синтез;
- аналогове моделювання;
- формантний синтез.

Адитивний синтез

Метод заснований на тому, що будь-який звук може бути представлений у вигляді суми гармонійних коливань з різними частотами і амплітудами. Таким чином, підсумовування простих коливань дозволяє отримати теоретично будь-яке «складне» коливання, тобто синтезувати будуть тембр:

На практиці для цього використовують набори з декількох осциляторів з незалежним регулюванням амплітуди.

Якщо в якості вихідних використовують синусоїдні (гармонійні) коливання з кратними частотами - такий метод синтезу називають гармонійним синтезом тембру (рис. 1.1).

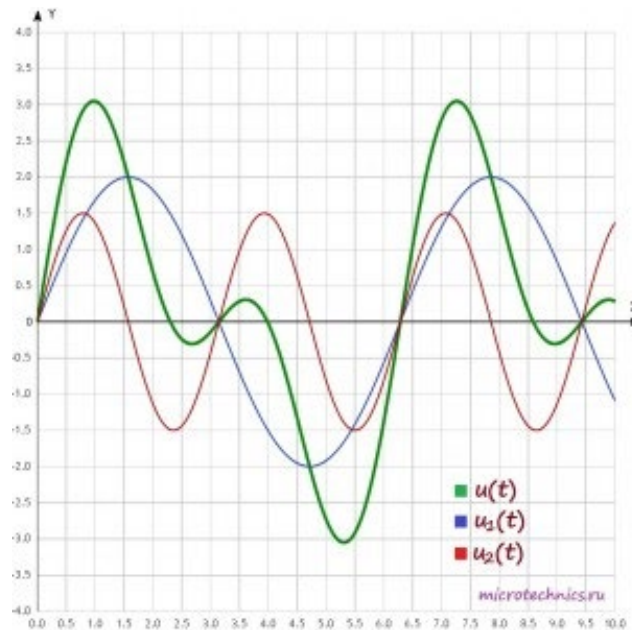


Рисунок 1.1 Гармонічний синтез

Синім кольором позначено основне гармонійне коливання, рожевим - коливання в два рази більшої частоти, а зеленим - результуюче складне (негармонічне) коливання.

Іншим різновидом адитивного синтезу є регістровий синтез. У цьому випадку в якості вихідних використовують коливання більш складної форми, наприклад, пиловидні або прямокутні.

Субтрактивний синтез

Сутність субтрактивного синтезу полягає в тому, що новий тембр створюють шляхом зміни співвідношень між окремими складовими в спектрі початкового коливання.

Спочатку формують коливання, основні частоти яких відповідають частотам відповідних нот. Головну вимогу до первісного коливання зводять до того, що вона повинна мати якомога більшу кількість спектральних складових.

В якості вихідних сигналів (рис. 1.2.), крім синусоїди, зазвичай використовують меандр (прямокутний, square), пилоподібний (saw) - прямий і зворотний, і трикутний (triangle), прямокутний сигнал зі змінною шпаруватістю, а також різні види шумів.

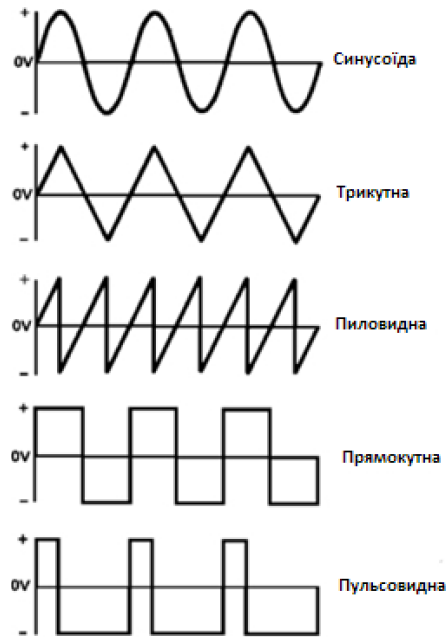


Рисунок 1.2 Види вихідних сигналів

Потім, за допомогою частотних фільтрів з початкового складного сигналу формують необхідний тембр. При цьому використовують керовані фільтри:

1. Резонансний (смуговий) - із змінним положенням і шириною смуги пропускання (band).
2. Фільтр нижніх частот (ФНЧ) із змінною частотою зрізу (cutoff).
3. Фільтр верхніх частот (ФВЧ), також із змінною частотою зрізу.

Для кожного фільтру також регулюють добротність (Q) - крутизну підйому або спаду на резонансній частоті [2].

Типовим для субтрактивного синтезу є також використання модуляції. Принцип модуляції полягає в використанні низькочастотної обвідної, тобто сигналу, частота якого нижче порогу сприйняття для зміни значення, наприклад, амплітуди модульованого сигналу (рис. 1.3).

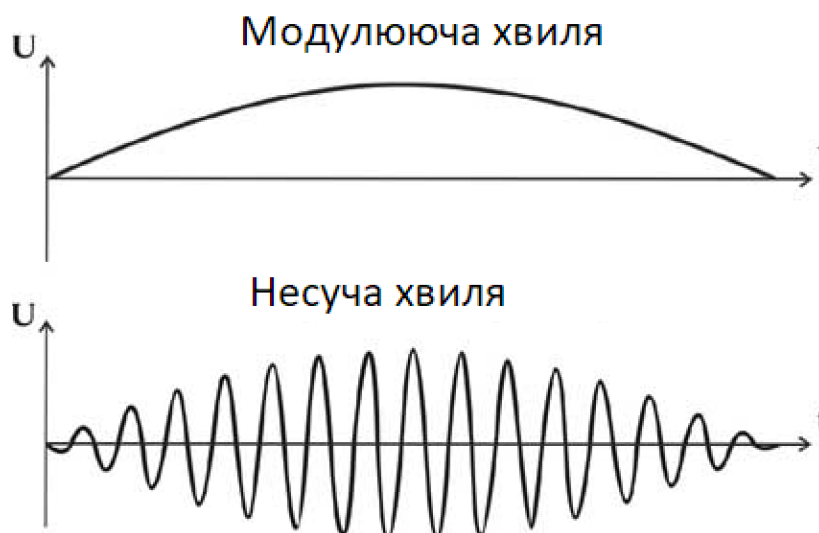


Рисунок 1.3 Модуюча та носійна хвилі

Семплювання

В контексті синтезу звуку, семплюванням називають типи синтезу, в яких використовують попередньо записані зразки натуральних звуків. Це можуть бути звуки акустичних музичних інструментів, інших синтезаторів і будь-які інші. Семплери - пристрої, здатні записувати звуки (тобто семпли - «зразки») за допомогою мікрофона і створювати на їх основі власні патчі (це можуть бути як «тембри», так і one-shots - це, наприклад, звуки ударних).

Аналогові і цифрові семплери

Однак, сучасний семплер влаштований набагато складніше, ніж просто пристрій відтворення записаних звуків на різній висоті. Наприклад, при грі на акустичних інструментах характер звукогенерації впливає не тільки на динаміку (тобто гучність), але і на тембр звуку, в ньому можуть з'являтися додаткові характеристики. Щоб передати такого роду нюанси, для кожної ноти використовують не один семпл, а кілька. Їх мішують в різних пропорціях залежної від керуючої команди, наприклад, динаміки (в MIDI це повідомлення velocity - швидкість натискання клавіші), див. рис 1.4.

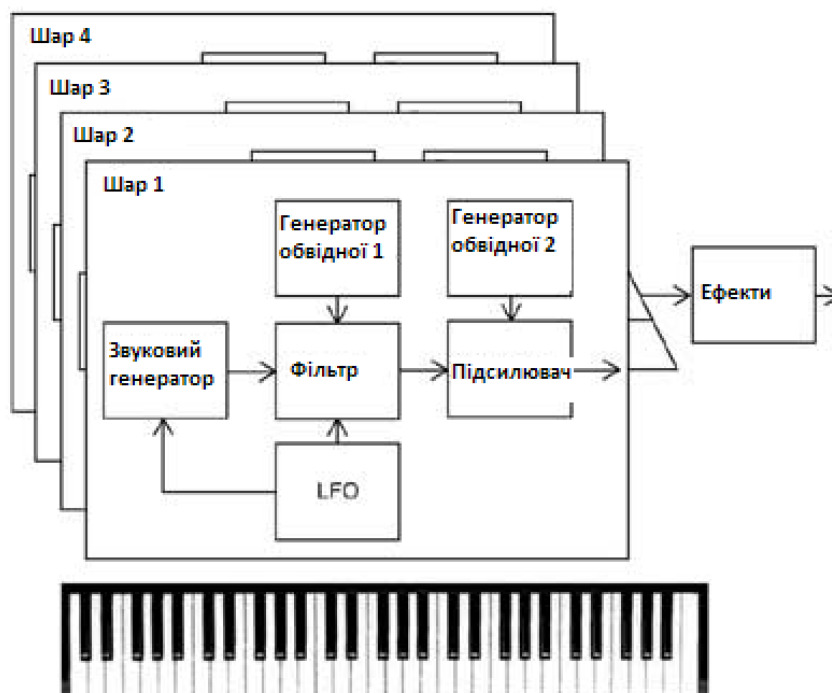


Рисунок 1.4 Шарування звукового сигналу у синтезаторі

FM-модуляція

Частотна модуляція або FM-синтез (Frequency Modulation, FM-synthesis) - це тип синтезу, при якому звукове коливання формують впливом однієї простої синусоїдної хвилі (модуючого сигналу) на частоту іншої хвилі (сигналу носія). За допомогою частотної модуляції можна отримати спектрально багаті і складні звуки, яких важко досягти іншими методами синтезу.

Методом частотної модуляції практично неможливо відтворити звуки живих акустичних інструментів, зате він дозволяє отримувати незвичайні, яскраві та оригінальні тембри.

Амплітудна і частотна модуляція - в першому випадку (AM) забезпечено, що за певною функцією (в даному випадку $y = \sin(x)$) змінюється амплітуда коливань хвилі носія, а в другому (ЧМ) – частота (рис. 1.5).

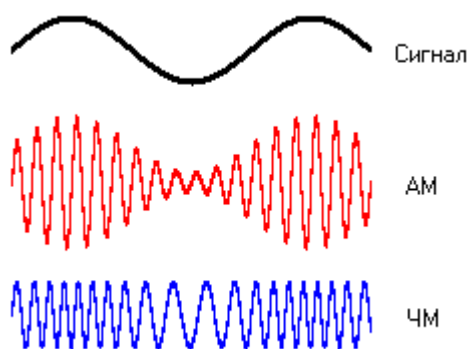


Рисунок 1.5 Вигляд сигналів амплітудної і частотній модуляції

На відміну від модуляції за допомогою LFO (низькочастотного осцилятора), при якій частота модулюючого сигналу нижче 20 Гц, тобто не сприймається як звук, в разі FM-синтезу модулюючий сигнал має частоту звукового діапазону, і таким чином змінюють не амплітуду або частоту, а спектральний склад сигналу.

А оскільки осциляторів (або «операторів» в термінології FM-синтезу) може бути кілька, і кожен з них може модулювати будь-який інший, стає можливим отримання нескінченної різноманітності тембрів. Один сигнал за допомогою частотної модуляції ускладнює інший, другий, в свою чергу, впливає на третій тощо.

Кожен з операторів Yamaha DX7 є простим модулем з двома входами (висота і модулюючий сигнал) і одним виходом (рис. 1.6.).

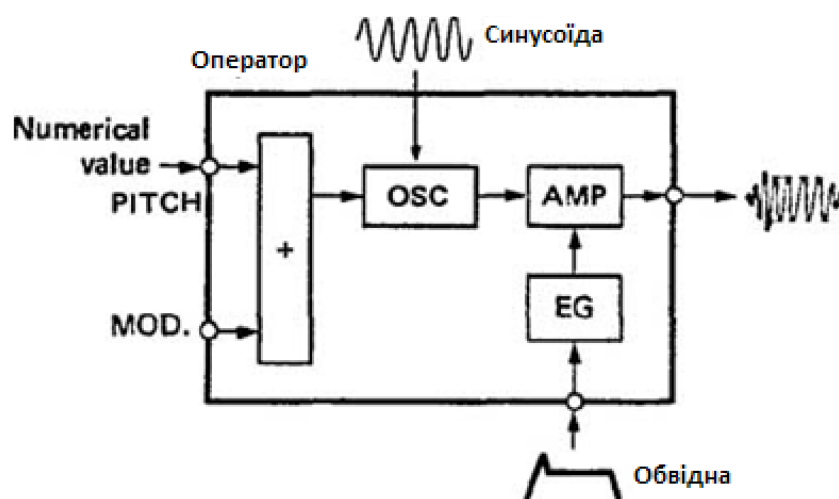


Рисунок 1.6 Схема синтезу FM-синтезатора

Шість операторних вузлів синтезатора можуть бути комутовані в різній послідовності, при цьому кожен з них може виконувати роль як модулятора, так і сигналу носія (в тому числі модулювати сам себе), забезпечуючи величезне різноманіття варіантів взаємодії (рис. 1.7).

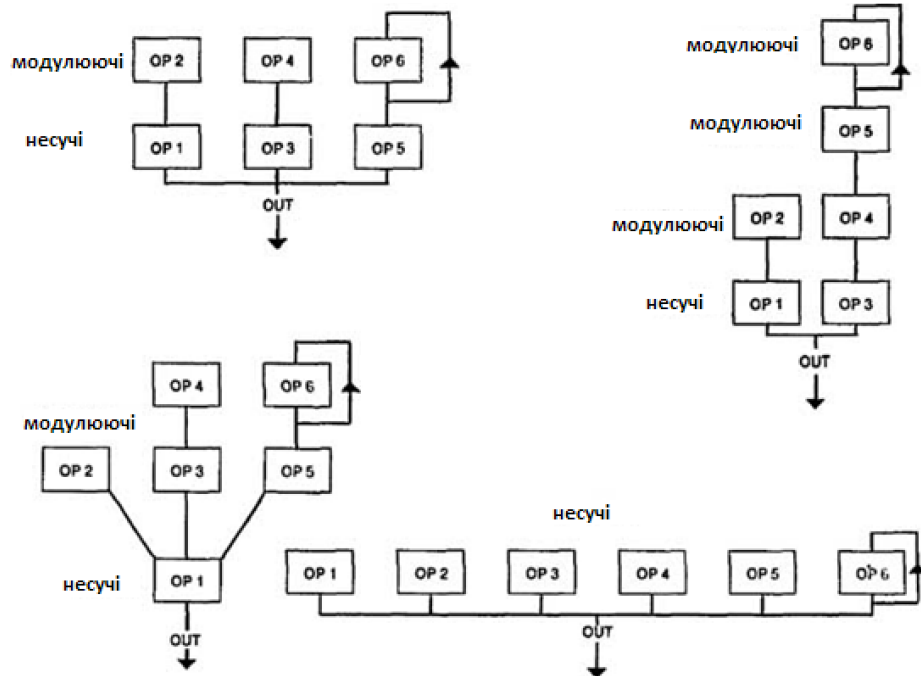


Рисунок 1.7 Варіанти комутації операторів FM-синтезатора

PD-синтез

Суть PD-синтезу полягає в наступному. За основу беруть найпростішу форму хвилі - синусоїду. Відтворюють її після якогось перетворення - модуляції її фази за певним правилом. На рис. 1.8, а поазана вихідна хвильова форма і її фаза. На рис. 1.8, б показано те, що буде з синусоїдою, якщо трохи спотворити її фазу, а на рис 1.8, в - якщо фазу спотворити сильно. Як бачите, синусоїду можна деформувати практично до пилоподібного коливання. А від форми звукового коливання істотно залежить тембр.

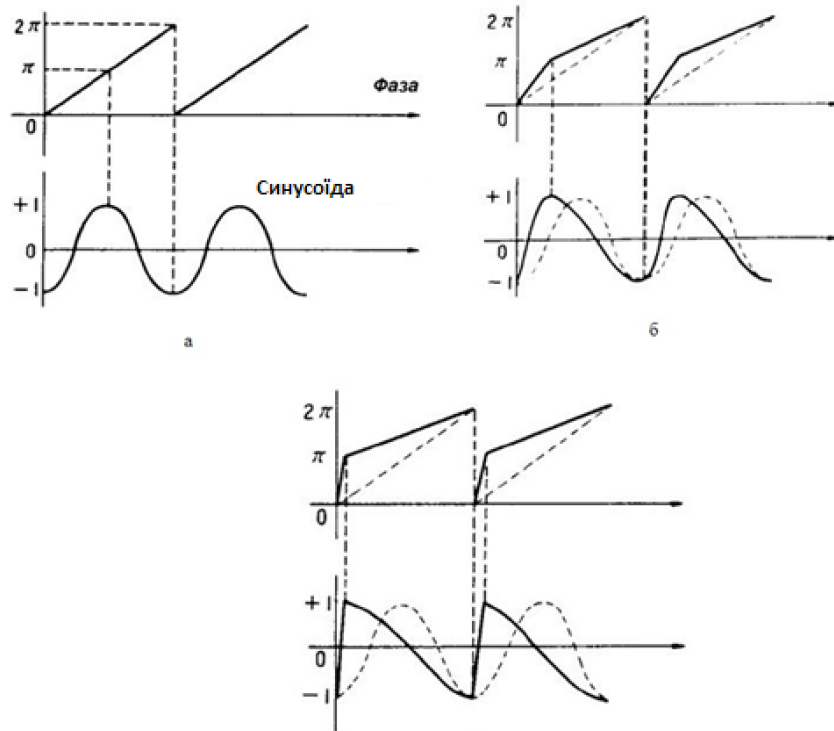


Рисунок 1.8 Отримання пилоподібної хвильової форми з синусоїди

Правилом модуляції фази можна підібрати такі, щоб з синусоїди виходила не тільки пилоподібна, а й інші хвильові форми.

Синтезований таким чином тембр виходить досить складним, але монотонним. Ускладнити його можна за рахунок модуляції параметра PD різними генераторами і за рахунок використання більш ніж одного осцилятора [3].

1.1.2. Види обробки звуку

Всі види обробки звуку можна звести до декількох типів:

- інструменти монтажу;
- просте (без зворотного зв'язку) зміна висоти, гучності і швидкості відтворення звуку;
- динамічна обробка;
- спектральні (частотні) перетворення;
- ефекти затримки (просторова обробка);

- модуляція параметрів сигналу.

Крім того, до цифрових фонограм застосовують різні математичні методи, наприклад, інтерполяція відліків або їх пропорційна корекція.

Динамічна обробка

Динамічна компресія (рис. 1.9) (Dynamic range compression, DRC) - звуження (або розширення в разі експандера) динамічного діапазону фонограми. Динамічний діапазон - це різниця між найтихішим і найгучнішим звуком. Апаратні пристрої та програми, які здійснюють динамічну компресію, називають компресорами, виділяючи серед них чотири основні групи: власне компресори, лімітери, експандери і гейти.

Понижуюча компресія (рис. 1.10) (Downward compression) зменшує гучність звуку, коли гучність перевищує певне порогове значення та залишає більш тихі звуки в незмінному вигляді. Екстремальним варіантом понижувальної компресії є обмежувач (лімітер). Підвищуюча компресія (Upward compression), навпаки, збільшує гучність звуку, якщо вона нижче порогового значення, не зачіпаючи більш гучні звуки. При цьому обидва види компресії звужують динамічний діапазон аудіосигналу.

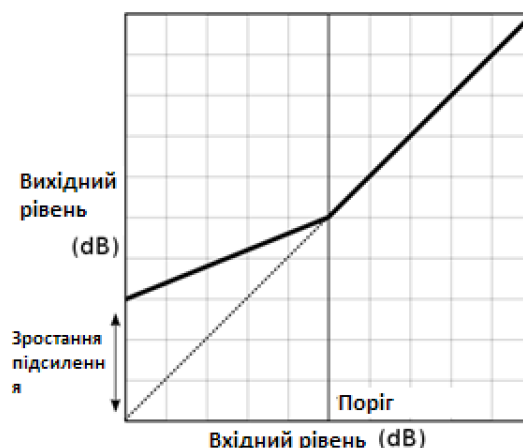


Рисунок 1.9 Динамічна компресія

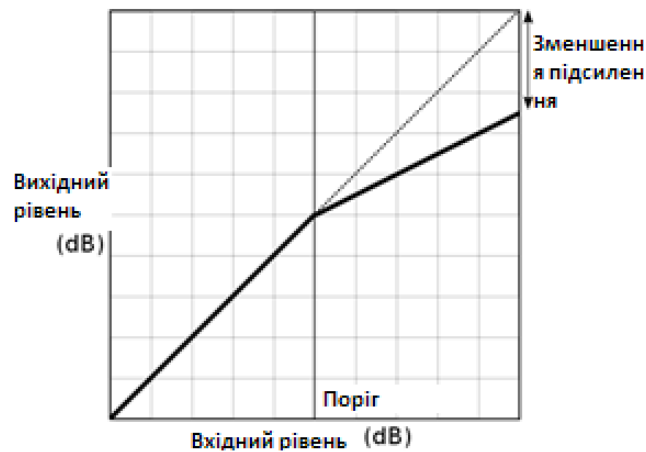


Рисунок 1.10 Понижуюча компресія

Експандер і гейт

Якщо компресор зменшує динамічний діапазон, експандер його збільшує. Коли рівень сигналу стає вище порогового рівня, експандер збільшує його ще більше, таким чином збільшуючи різницю між гучними і тихими звуками. Подібні пристрої часто використовують під час запису барабанної установки, щоб відокремити звуки одних барабанів від інших.

Тип експандера, який використовують не для посилення гучних, а для заглушення тихих звуків, що не перевищують рівня порогового значення (наприклад, фонових шумів) називається Noise gate. У такому пристрої, як тільки рівень звуку стає менше порогового, проходження сигналу припиняють. Зазвичай гейт використовують для зменшення шуму в паузах. На деяких моделях можна зробити так, щоб звук при досягненні порогового рівня не припинявся різко, а поступово згасав. У цьому випадку швидкість загасання встановлюється регулятором Decay.

Гейт, як і інші типи компресорів, може бути частотно-залежним (тобто по-різному обробляти певні частотні смуги) і може працювати в режимі side-chain.

Спотворюючі динамічні ефекти

Крім компресії, тобто стиснення динамічного діапазону, в музиці дуже широко використовують так звані спотворюючі динамічні ефекти. Їх принцип

дії полягає в тому, що при досягненні піку сигналу, в ньому з'являється велика кількість додаткових обертонів, тобто змінюється/спотворюється його тембр.

Ефекти затримки

Delay / Echo

Проста затримка працює за принципом відлуння - оригінальний звук повторюють певну кількість разів, як правило, з поступовим загасанням. Час затримки може бути зовсім коротким - від декількох мілісекунд, або більш тривалим - до декількох секунд. При цьому налаштування трьох зазначених вище параметрів дозволяє отримувати широкий спектр ефектів - від природного відлуння до психоделічних звукових картин.

Reverb

Природна реверберація присутня в будь-якому приміщенні. Тому цей ефект, як правило, використовують саме для імітації різних типів приміщень, або звучання, характерного для різних типів приміщень (тембрального забарвлення тощо). Принцип реверберації простий - слухач отримує не тільки чистий сигнал (тобто dry), але і його копії, відбиті від всіх наявних поверхонь, що не розсіюють звук (рис. 1.11).

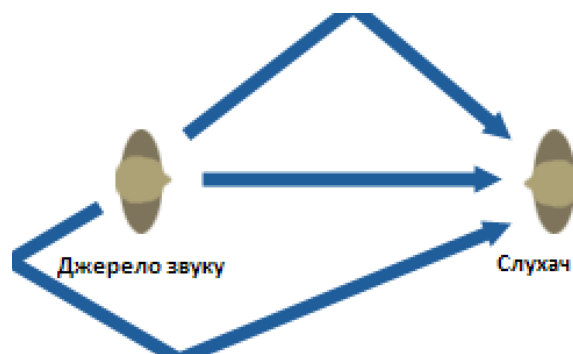


Рисунок 1.11 Схема сприйняття людиною ефекту Reverb

Відбиті хвилі можуть відбиватися знову і знову, поки не розсіються остаточно. При цьому відбуваються дві події

- відбиті сигнали досягають слухача з затримкою;

- вони втрачаю енергію, тобто стають тихішими з кожним новим відбиттям.

Таким чином, слухач отримує спочатку чистий сигнал, за яким слідує відбиті хвилі.

Chorus

Ефект Chorus призначений для імітації множинності джерел сигналу. Chorus додає кілька копій вихідного сигналу з короткими затримками. Кожна копія має власну величину затримки, яка при цьому ще й коливається випадковим чином. Крім того, зміна часу затримки змінює висоту тону, що додатково додає ілюзію «множинних джерел» [4].

Phasing & Flanging

Phasing або phase shifting - характерний ефект, часто використовуваний в музиці. Його створюють змішуванням вихідного сигналу з його копією, зі зсувом за фазою, тобто затриманою у часі. При цьому виникає частотний виріз, який рухається вгору-вниз по частотному спектру сигналу.

Flanging - це особливий вид фазових змін, за якого частотні вирізи співвідносяться гармонійно, тобто їх частоти співвідносяться як частоти основного тону і його гармонік. Ефект досягають змішуванням вихідного сигналу з його копією, зі зсувом за фазою, при цьому зазвичай часом затримки управляє LFO (низькочастотний осцилятор). Основні регульовані параметри:

- вихідний час затримки;
- співвідношення прямого і затриманого сигналів (dry / wet);
- частота і амплітуда керуючого LFO.

1.2 Апаратний та програмний синтез та обробка

Апаратний комплекс синтезу та обробки можна розділити по блоках, які у свою чергу можуть бути стаціонарно комутовані в один пристрій.

Модулі генераторів

VCO - це генератор, керований напругою (рис. 1.12), як правило генерує імпульси чотирьох видів - це пилкоподібні, трикутні, прямокутні і синусоїдні. У кожної форми імпульсів своя специфічна спектральна характеристика. Наприклад, прямокутна напруга може мати можливість змінювати шпаруватість імпульсів (співвідношення паузи до тривалості імпульсу) в залежності від керуючої напруги, що дозволяє змінювати спектральний склад цих імпульсів. Всі ці імпульси, як правило, змішує мікшер і їх подають на балансний модулятор або фільтр, керований напругою [5].



Рисунок 1.12 Панель генератора, керованого напругою

Noise - це генератор шуму. У студійних синтезаторах, як правило, використовують генератор білого шуму і генератор рожевого шуму.

LFO - це низькочастотний генератор (рис. 1.13), призначений для управління блоками VCO, VCF і VCA. Як правило, вихідна функція такого генератора досить складна і дозволяє варіювати ці вихідні функції в широких межах, від синусоїдальної функції до трикутної або прямокутної, у великому діапазоні низьких частот - 0,01-100 Герц. Ці пристрої в свою чергу можуть бути теж керовані напругою і модулюватися таким же генератором, як і він сам. Як LFO іноді можна використовувати ADSR, на якому можна заздалегідь вибудувувати потрібну опцію.



Рисунок 1.13 Панель модулю LFO

ADSR - це генератор обвідної (рис. 1.15) функції.

- A - (attack) - початкова фаза, підйом;
- D - (decay) - фаза переходу звуку в сталий стан;
- S - (sustain) - фаза «підтримки»;
- R - (release) – післязвучання (рис. 1.14).

Використовують для управління блоками VCO, VCF, VCA, а також LFO. Існують блоки ADSR з великою кількістю апроксимуючих функцію елементів - від 4 до 8 [7].

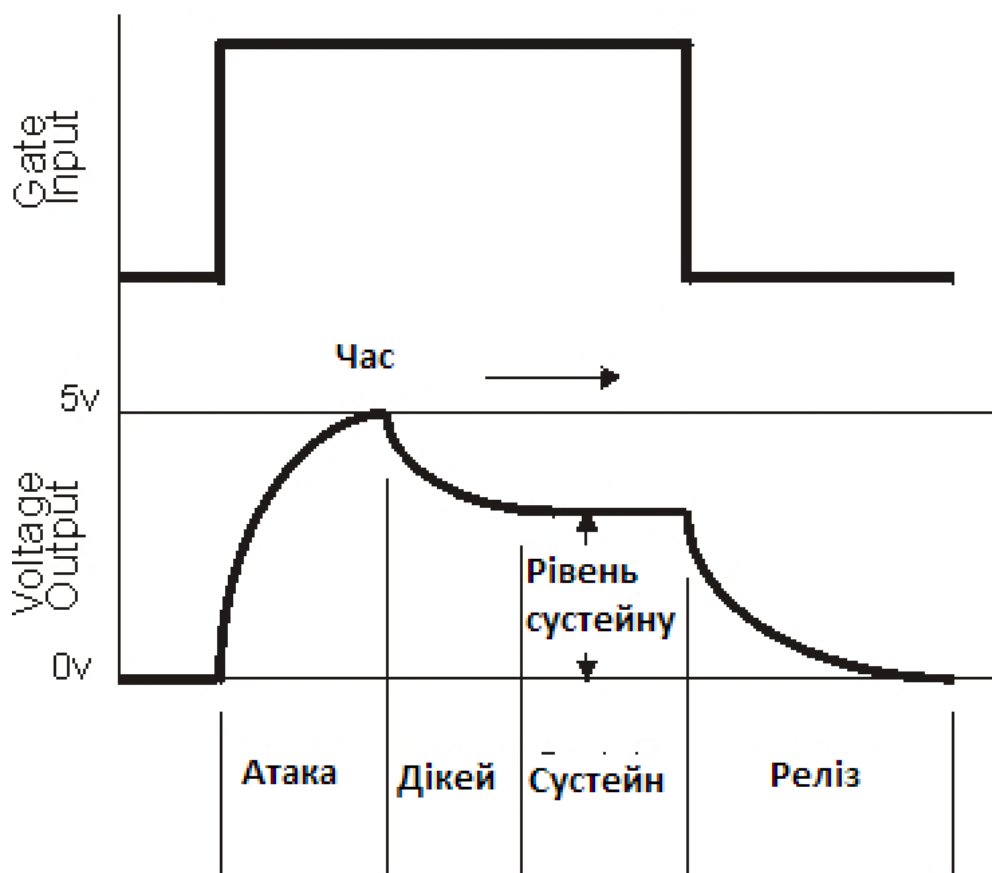


Рисунок 1.14 Графік залежності часу до напруги виходу модуля ADSR



Рисунок 1.15 Панель генератора обвідної

Модулі, керовані напругою

VCF - це фільтр, керований напругою (рис. 1.16), призначений для зміни спектрально-часових функцій в залежності від керуючої напруги. Розрізняють, як правило, 3 класи:

- LPF - низькочастотний фільтр (ФНЧ).
- HPF - високочастотний фільтр (ФВЧ).
- BPF - смуговий фільтр (утворений послідовним з'єднанням двох попередніх фільтрів).

Як правило в фільтрах студійних синтезаторів використовуються фільтри від 2 до 8 порядків. Один порядок дорівнює 6 дБ/октаву. Зазвичай, використовують фільтри 4 порядку, тобто 24 децибели на октаву [6].



Рисунок 1.16 Панель фільтру, керованого напругою

VCA - керований напругою підсилювач. Використовують для управління функцією амплітудно-тимчасових характеристик. Як правило, працює разом з генератором ADSR і LFO. Шумові параметри такого підсилювача дуже важливі. Компоненти, що використовують для виготовлення такого підсилювача, повинні бути дуже високоякісні і мати дуже низький коефіцієнт шуму.

RM - балансний модулятор (зазвичай це простий 4 квадрантний перемножувач). Використовують для додання звуку своєрідності і колоритності.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Під час виконання роботи було проведено дослідження відомих методів синтезу та обробки звукового контенту, а також пристроїв, за допомогою яких можна побудувати звуковий тракт синтезу та обробки звуку. Представлені найпопулярніші модулі синтезу, котрі використовують як у студійних умовах, так і для домашнього прослуховування. Було розглянуто елементи, які доцільно обрати як складові модульних синтезаторів, так і автономних пристроїв синтезу та обробки звуку.

Перед проектуванням визначено основні недоліки існуючих пристроїв, що використовують прямий аналоговий синтез:

1. Відсутність можливості зберігання показників елементів синтезу для відтворення синтезованого контенту в майбутньому.
2. Монофонічний тип вихідного сигналу.
3. Відсутність можливості управління по інтерфейсу MIDI.
4. Висока вартість обслуговування.
5. Велика вага та габарити.

Отже, сформовано всю необхідну інформацію щодо складових майбутнього пристрою синтезу та обробки звукового контенту.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ТРАКТУ ЗВУКОВОГО СИГНАЛУ

2.1. Опис предметної області

Тракт звукового сигналу – це шлях звукової хвилі від її синтезу, обробки до відтворення чи запису.

Незалежно від особливостей проекту тракту звукового сигналу, він повинен відповідати таким критеріям як:

- 1) правильність та надійність з'єднання елементів;
- 2) гарантована дія джерела електроживлення.

В контексті даної магістерської роботи тракт звукового сигналу починається з виходу осцилятора, керованого цифровим способом, далі сигнал проходить колом, що містить такі вузли: фільтр, керований напругою (VCF), підсилювач, керований напругою (VCA), елементи динамічних та просторових ефектів.

Вище описану структуру тракту звукового сигналу, у фізичній формі також називають синтезатором. Синтезаторами називають як окремі пристрої, що є основою електронних музичних інструментів, так і власне електронні музичні інструменти. Синтезатор, виконаний у вигляді корпусу із клавіатурою, називають клавішним синтезатором. Синтезатор, виконаний у вигляді корпусу без клавіатури, називають звуковим модулем і він управляється від зовнішніх MIDI-пристроїв (MIDI-клавіатури, секвенсора, або іншого синтезатора). Клавішний синтезатор, облаштований вбудованим секвенсором, називають робочою станцією.

Елементами динамічної та просторової обробки можуть бути такі ефекти як: Delay, Reverb, Compressor, Distortion, Flanger/Phaser. Вони можуть бути вбудовані стаціонарно у синтезатор, або ж підключатись через Insert роз'єми.

Процес синтезу реалізують шляхом підбору параметрів певних елементів синтезатора, задля створення звукового контенту кінцевого призначення.

У даній магістерській роботі основою для проектування є набір технічних принципів побудови аналогових та цифрових пристроїв синтезу звуку, а також суб'єктивний досвід користувачів таких пристроїв, необхідний для їх покращення. Отже, головним завданням є розробка схеми синтезатора та принципів роботи з ним.

2.2. Визначення вимог і завдань

Основними функціями пристрою синтезу є:

- 1) синтез аналогового звукового сигналу;
- 2) можливість обробки сигналу згідно творчого завдання.

Основні вимоги до синтезатора:

- 1) можливість зберігання попередніх налаштувань у пам'ять пристрою;
- 2) зрозумілий та ергономічний інтерфейс;
- 3) охоплення широкого кола потенційних користувачів.

2.3. Опис можливих елементів тракту

VCO (Осцилятор керований напругою)

Осцилятор, керований напругою - це генератор з вихідним сигналом, вихід якого може змінюватися в діапазоні, який контролюється вхідною напругою постійного струму. Це генератор, вихідна частота якого безпосередньо пов'язана з напругою на його вході. Частота коливань коливається від декількох герц до сотень гігагерц. Змінюючи вхідну напругу постійного струму, регулюють вихідну частоту синтезованого сигналу.

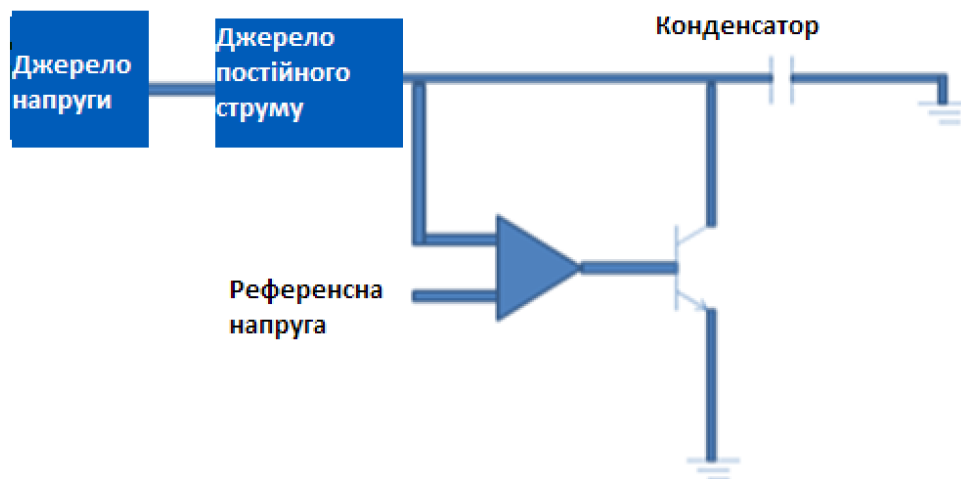


Рисунок 2.1 Схематична будова осцилятора, керованого напругою

Для осцилятора, керованого напругою (рис. 2.1), що генерує пилкоподібну форму хвилі, основним компонентом є конденсатор, який заряджається і розряджається і тим вирішуючи питання формування вихідного сигналу. На вхід подають напругу управління. Цю напругу подають на конденсатор. Коли струм проходить через конденсатор, він починає заряджатися, і напруга починає збільшуватись на ньому. Оскільки конденсатор заряджається і напруга на ньому поступово зростає, напруга порівнюється з еталонною напругою за допомогою компаратора.

Коли напруга конденсатора перевищує еталонну напругу, компаратор генерує високий логічний вихід, який спрацьовує на транзистор, і конденсатор підключається до землі і починає розряджатися. Таким чином, вихідна форма сигналу, яку він генерує, є поданням процесу заряду і розряду конденсатора, а частоту регулюють вхідною напругою постійного струму [5].

VCF (фільтр, керований напругою)

У незалежності від елементів вибраних при побудові схеми зазвичай VCF блок має набір конкретних підключень та змінних параметрів (рис. 2.2).

Має два входи та один вихід:

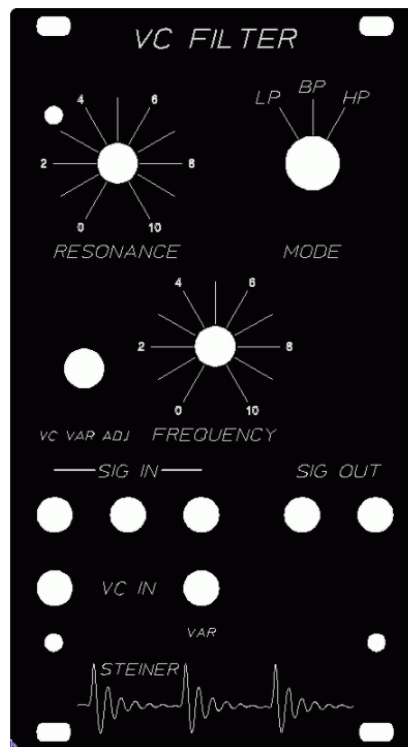


Рисунок 2.2 Елементи управління VCF

- Signal in – вхід сигналу, який потрібно відфільтрувати.
- VC In - частоту відсікання можна керувати напругою на цих входах. Початковий VC In має фіксоване відстеження. VC Var підсумовується з VC In, але має панельний тример або потенціометр, щоб встановити спосіб його відстеження. Оскільки ці два сигнали входів підсумовують (разом із частотою), ним можна створити кілька різних ефектів [6].

Ручки:

1. Частота - встановлює початкову частоту відсічення. Цей параметр визначають два входи VC;
2. Резонанс - цей фільтр вносить зворотний зв'язок в конструкцію, що додає позитивний коефіцієнт посилення гармонік на частоті відсікання;
3. Режим - цей фільтр є багаторежимним фільтром і цією ручкою, трипозиційним поворотним перемикачем, який вибирає тип фільтру - Low Pass, High Pass або Band Pass режими;
4. VC Var Adj - є два входи VC. Цією ручкою регулюють відстеження для входу VC "VAR".

LFO (низькочастотний осцилятор)

Модуль LFO має такі параметри (рис. 2.3), що впливають на вихідні квадратну та трикутну форми сигналу: частота, форма хвилі. Також є вхід синхронізації та тумблер перемикання діапазону керуючої частоти [9].

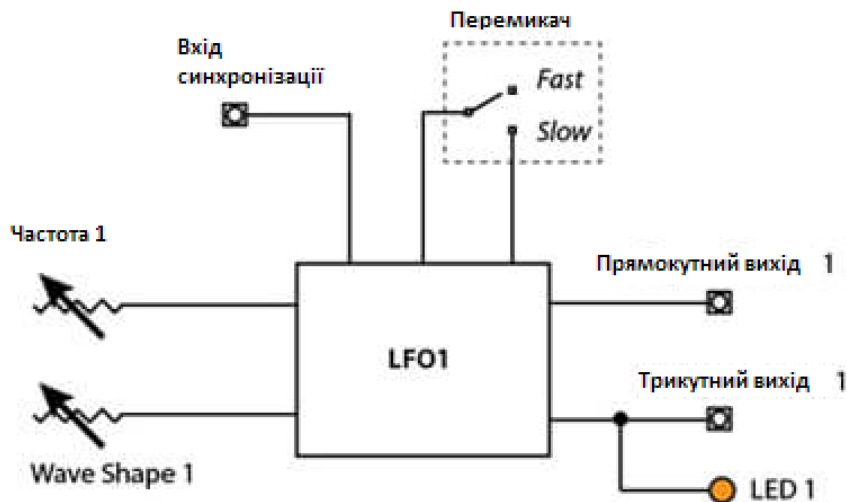


Рисунок 2.3 Зв'язок між різними входами, виходами та елементами управління LFO

Звичайний діапазон частот для LFO становить:

- Від 0,15 Гц до 25 Гц для трикутника та квадратної хвилі
- Від 0,15 Гц до 1 кГц для пилкоподібного, рампа та імпульсу

ADSR Envelope Generator (генератор обвідної)

ADSR генератор обвідної може керувати як параметрами VCF так і параметрами VCA модулів (рис. 2.4).

Генератори обвідних забезпечують джерело напруги, яке має форму загальної амплітудної характеристики. Вхід затвора використовується для початку роботи модуля ADSR. Далі передбачається, що ворота підтримуються протягом циклів атаки, занепаду та підтримки. Огинаюча напруги піднімається від 0 В до 10 В під час циклу атаки зі швидкістю, встановленою контролером Attack. На піку циклу атаки (10 В) вводиться цикл спаду.

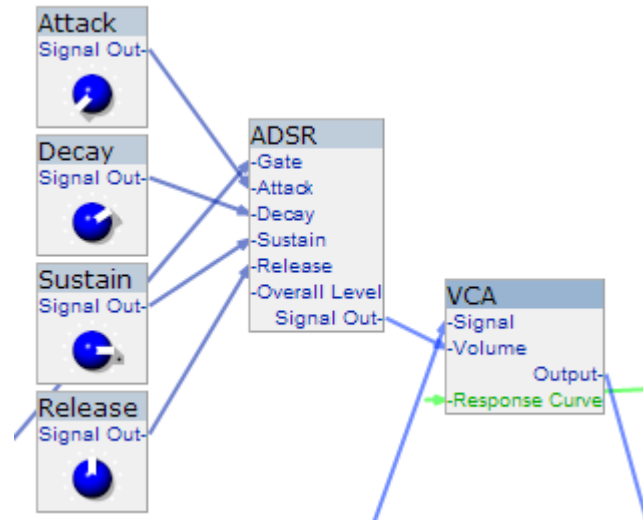


Рисунок 2.4 Приклад підключення ADSR модуля до звукового тракту

Напруга падає до рівня підтримки (від 0 В до 10 В залежно від налаштування регулятора) зі швидкістю, визначеною регулятором загасання. Коли затвор відпущений, вводиться цикл зникання, і напруга падає до 0 В зі швидкістю, визначеною налаштуванням контролю випуску. Якщо затвор у будь-який час протягом циклу А, D або S знімається затвор, стан відпуску негайно вводиться. Вхід тригера, який використовується окремо, може ініціювати цикл вивільнення атаки. При використанні разом із затвором тригер може повторно ініціювати цикл атаки, коли це відбувається під час циклів спаду або підтримки [7].

VCA (підсилювач керований напругою)

VCA або підсилювач, керований напругою, дозволяє використовувати напругу для контролю кількості сигналу, який пропускається на вихід модуля. Чим вище керуюча напруга, тим більше сигналу передається. На якомусь рівні напруги пропускається весь сигнал.

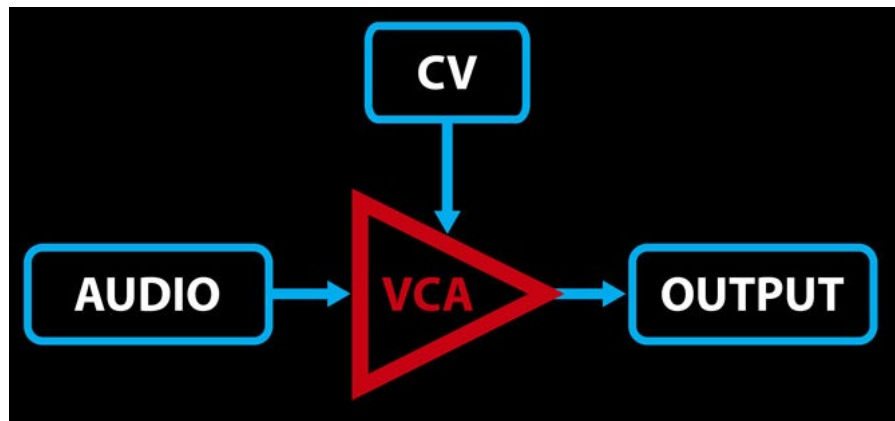


Рисунок 2.5 Включення VCA у тракт

Більшість VCA можна більш точно назвати “Атенюаторами, керованими напругою”, оскільки вони знижують рівень сигналу (залежно від вхідного CV), а не підсилюють його.

Коли керуюча напруга дорівнює 0 В (або нижче), сигнал не передається, і вихід безшумний.

VCA мають досить багато застосувань:

Регулювання гучності

Можна використовувати VCA, щоб перетворити практично будь-який пристрій який має CV вхід, на регулятор гучності.

Формування огинаючої

Одним із найпоширеніших способів використання VCA є формування огинаючої. Можна використовувати VCA у поєднанні з генератором огинаючих, щоб досягти ефекту фортепіано на клавішах синтезатора.

Напруга, що генерує EG, відповідає закону, за яким амплітуда змінювалась з часом. Якщо підключено вихід EG до входу CV – підсилювача, керованого напругою, то це призведе до того, що амплітуда натиснутої ноти зникне, як нота фортепіано.

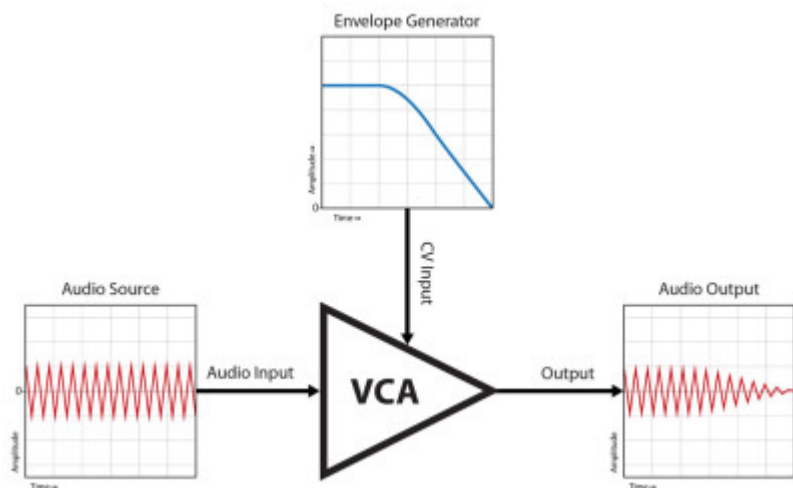


Рисунок 2.6 Вплив підключеного ADSR модуля до VCA

Tremolo

Низькочастотна хвиля, генерована у LFO модулі та спрямована до входу CV підсилювача VCA, змінить звуковий сигнал, що проходить через нього (рис. 2.7). Амплітуда буде змінюватись в часі відповідно синусоїді, яку використовують для її модуляції. Цей ефект називають тремоло.

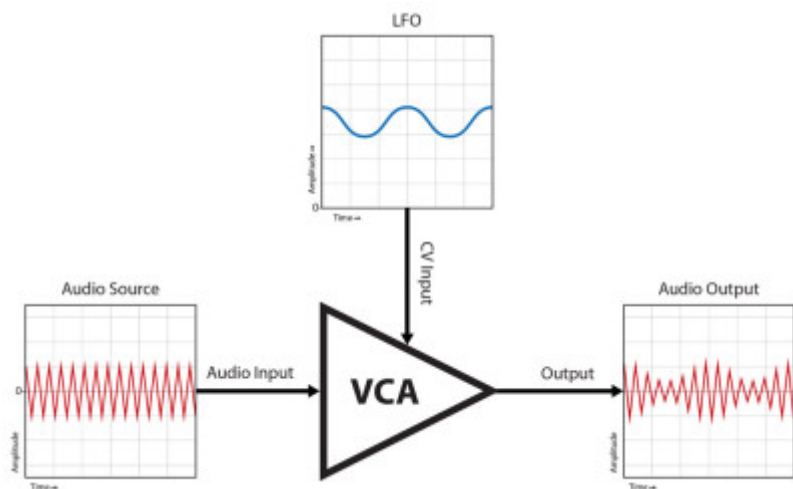


Рисунок 2.7 Вплив синусоїдного сигналу напруги, створеного LFO на сигнал, що проходить через VCA

Амплітудна модуляція

Ефект Tremolo вимагає повільну (наприклад, 3 Гц) хвилю для модуляції амплітуди аудіосигналу. Якщо збільшити частоту модуляції, то зі зміною форми хвилі з'являються нові частоти.

На рис. 2.8 по центру видно оригінальний сигнал носія. Також є два менших чигнали, вище і нижче частоти носія. Їх називають побічними, і вони представляють суму та різницю між частотою носія та модулюючої хвиль. Частота верхньої бічної смуги дорівнює сумі частоти сигналів носія та модульованої хвиль. Частота нижньої бічної смуги дорівнює їх різниці [8].

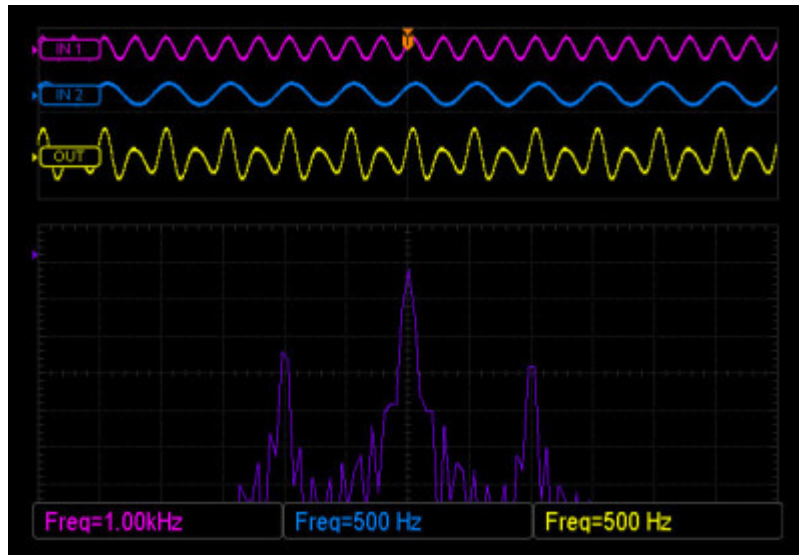


Рисунок 2.8 Форми сигналів та спектр результуючої хвилі при амплітудній модуляції.

Rind Modulator (кільцевий модулятор)

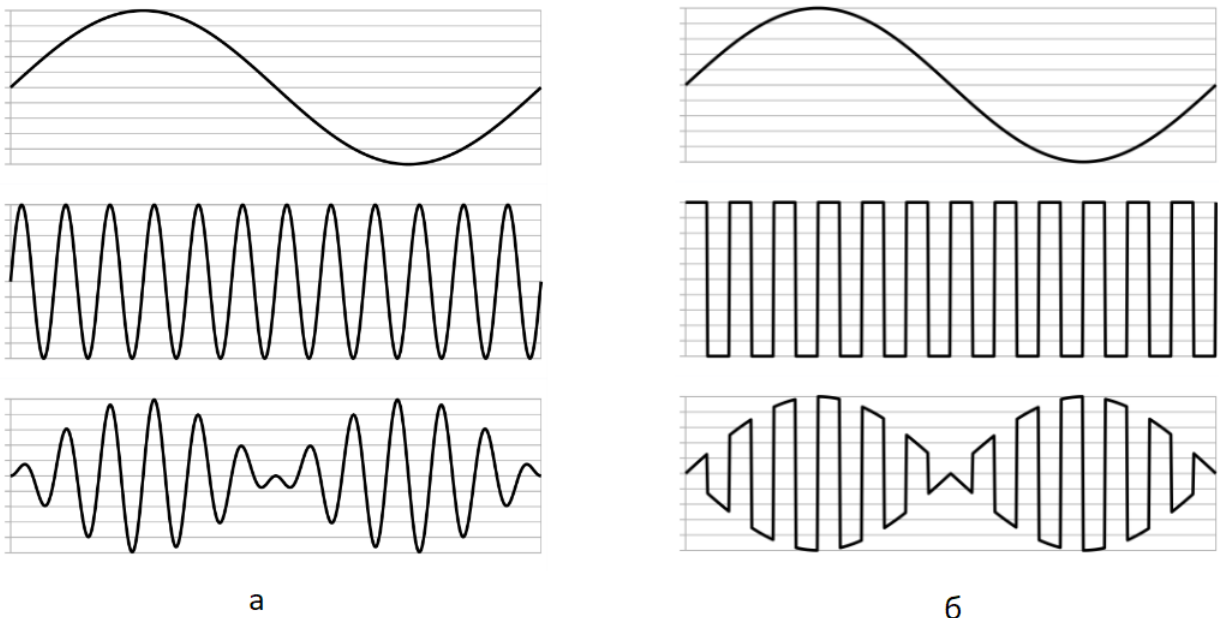


Рисунок 2.9 Приклад кільцевої модуляції на синусоїдальних частотах x Гц (зверху) та $12x$ Гц синусоїдної (а) та прямокутної (б) форм хвилі (по середині), створюючи коливання амплітуди частоти, подібної до хвилі $12x$ Гц (внизу).

В електроніці, кільцевою модуляцією є функція обробки сигналу, яку реалізовано на змішуванні частот, виконано шляхом створення декількох частот від тих, де однією зазвичай є синусоїдна хвиля або інша проста форма хвилі, а інший сигнал є модулюючим. Кільцевий модулятор можливо використовувати в стаціонарних синтезаторах та як блок ефектів у модульних. Функція отримала свою назву від того, що аналогова схема з діодів, спочатку використовуваних для реалізації цього методу, приймає форму кільця. Схема схожа на мостовий випрямляч, за винятком того, що замість діодів, спрямованих ліворуч або праворуч, вони спрямовані за годинниковою стрілкою або проти.

Кільцевий модулятор має два входи – у один спрямована хвиля сигналу носія, а у інший - модулююча. Добуток двох вхідних сигналів є бічними смугами, що складаються з суми та різниці частот, точно так само, як і для амплітудної модуляції. Різниця з кільцевою модуляцією полягає в тому, що жоден із вхідних сигналів, носія чи модулюючих, відсутні на виході. Отже, кільцева модуляція двох синусоїд, що мають частоти 1500 Гц і 400 Гц, давала б два сигнали: один на 1900 Гц і один на 1100 Гц [10].

Distortion (спотворення)

Спотворення та надмірне підсилення - це форми обробки звукового сигналу, що використовують для зміни звуку посиленних електричних музичних інструментів, як правило, за рахунок збільшення їх коефіцієнта посилення, створюючи "нечіткий", "бурчачий" або "крихкий" сигнал. Спотворення найчастіше застосовано з електричною гітарою, але також може використовуватися з іншими електричними інструментами, такими як бас-гітара, електричне піаніно чи будь-який синтезатор [11].

Ось найпоширеніші типи ефектів спотворення:

1) Перевантажувальні транзистори

Для того щоб створити ефект перевантаження, транзистори. Це створює неприємний, спотворений тон. Зазвичай в пультових коробках

використовуються надпровідні транзистори. Різні типи транзисторів по-різному спотворюють. Кремнієві транзистори видають неприємний металевий звук. Германієві транзистори мають більш плавний звук.

2) “Жорстке” відсікання діодів

Це дуже поширений спосіб створити спотворення. Два діоди, які з'єднують шунтом на заземлення у протилежному напрямі, обрізають піки сигналу і, таким чином, створюють спотворення. Зазвичай виготовляють з кремнієвими діодами.

3) “М'яке” відсікання діодів

Ще один дуже поширений метод. Це створює звук, подібний до перевантаження, ніж "жорсткі" спотворення відсікання. Два діоди з'єднані на шляху зворотного зв'язку операційного підсилювача або транзистора, завдяки цьому, піки сигналу обрізаються «м'якше» і забезпечується невеликий ламповий тон.

4) Спеціальні методи

Існують також різні методи створення спотворень. Якщо згадати декілька, існують відсікання стабілітронів та інверторів CMOS. Обидва зазвичай використовуються для лампових тонів. Лампове спотворення AMZ використовує відсікання стабілітрона на шляху зворотного зв'язку.

Delay (ефект затримки)

Аналогова затримка має виходи контролю напруги часу затримки, зворотного зв'язку та опрацьованого сигналу. Перемикач bypass дозволяє швидко вмикати та вимикати затримку. Нижче описані функції кожного елементу, зображеного на рис. 2.10 [13].



Рисунок 2.10 Передня панель модуля Delay

Основний регулятор частоти / Частота входу CV:

Час затримки контролюється в середині модуля VCA. Основний регулятор частоти керує час затримки, виробляючи контрольну напругу 0 – 5 В, яка контролює частоту VCA. Вхідна частота CV приймає сигнали 0 – 5 В. Вхідна напруга додається до напруги, що виробляється зміною положення основного регулятора частоти, для того щоб визначити час затримки сигналу.

Ручка управління зворотним зв'язком / введення CV зворотного зв'язку:

Регулятор управління зворотним зв'язком визначає кількість повторень обробленого сигналу. Ручка атенюатора зворотного зв'язку контролює кількість повторень, генеруючи напругу керування 0 В – 5 В для управління VCA зворотного зв'язку. CV - вхід зворотного зв'язку приймає сигнали від 0 В до 5 В. Вхідну напругу додають до напруги, що визначена ручкою управління зворотним зв'язком, щоб задати кількість повторень.

Ручка керування Wet сигналом / вхід Wet CV:

Регулятор Wet послаблює оброблений сигнал, доступний для виходу зворотного зв'язку та виходу змішування. Кількість Wet сигналу, доступного для виходів, контролюється внутрішньо за допомогою VCA. Ручка атенюатора

контролює рівень вихідної потужності, виробляючи напругу керування від 0 В до 5 В для управління Wet VCA. Wet CV вхід приймає сигнали 0 – 5 В. Вхідну напругу додають до напруги, що визначена поворотом ручки Wet атенюатора, щоб отримати величину Wet сигналу, доступного для виходів.

Ручка управління Dry:

Регулятор керування послаблює кількість необробленого сигналу, доступного на виході Mix.

Вихід зворотного зв'язку / вихід Mix:

Вихід зворотного зв'язку - це вихід Wet сигналу, прийнятого після VCA. Вихід зворотного зв'язку - це той самий сигнал, який надсилають на вихід Mix. Вихід змішування - це вихід Wet сигналу, прийнятого після VCA, і Dry сигналу, прийнятого після ручки управління Dry.

Voltage Controller Arpeggiator (арпеджіо контрольований напругою)

Арпеджіатор — функція, доступна на багатьох апаратних та програмних синтезаторах, що дозволяє автоматично програмувати послідовності нот від введеної виконавцем (як правило з MIDI-клавіатури) за певним алгоритмом, утворюючи в результаті арпеджіо. Отримані послідовності можуть бути записані у секвенсорі для подальшого редагування.

Як правило, арпеджіатор має кілька параметрів, що дозволяють виконавцеві керувати порядком та швидкістю відтворення нот. Деякі арпеджіатори дозволяють продовжувати відтворення після відпускання клавіші, завдяки цьому можна запрограмувати структуру послідовності, натискаючи декілька клавіш одна за одною. Як правило, арпеджіатори дозволяють відтворювати послідовності у висхідному, низхідному та випадковому порядку. Більш «просунуті» арпеджіатори дозволяють запрограмувати й складніші послідовності, або відтворювати декілька арпеджіо одночасно [14].

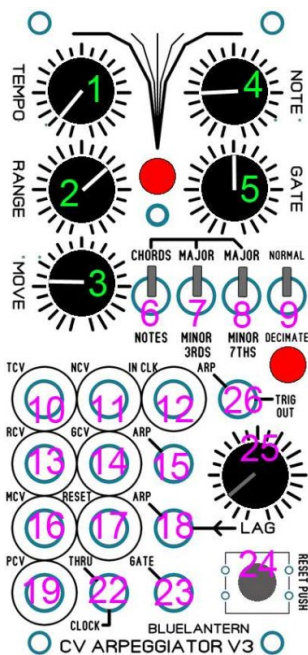


Рисунок 2.11 Передня панель модуля Arpeggio для модульних синтезаторів

1. Ручка темпу регулює швидкість внутрішнього лічильника. Коли зовнішній лічильник підключений до гнізда „in clk“, ручка Tempo стає дільником лічильника. Світлодіод використовують, щоб відобразити частоту ділення.

2. Ручка діапазону встановлює діапазон октави арпеджіо.

3. Ручка руху регулює те, як генератор перебирає набір нот.

4. Ручка ноти керує визначенням музичних нот, що містяться в арпеджіо. Перемикачі №6, 7 та 8 використовують разом із цим регулятором.

5. Ручка затвору керує тривалістю затвору або імпульсу.

6. Перемикач акордів використовується для перемикання між нотами за замовчуванням або акордами: 3-й та 7-й (мажор та мінор).

7. Перемикач тризвуків : перемикає між мажор або мінор.

8. Перемикач септакордів: перемикання між мажор або мінор.

9. Перемикач децимації: цей параметр використовують, щоб увімкнути цифрове згладжування для вихідного гнізда «arp». Це створює склоподібний ефект, коли VCO відправляють з гнізда 15 на вхід VCO CV.

10. TCV: Темп CV. За допомогою цього входу можна контролювати напругу на ручці Tempo.

11. NCV: CV нота. За допомогою цього входу можна контролювати напругу на ручці Note.

12. IN CLK: Цей роз'єм використовують для зовнішніх тактових сигналів. Можна використовувати зовнішній LFO. Краще, щоб ручка темпу була повністю встановлена проти годинникової стрілки при першому підключенні до цього гнізда.

13. RCV: CV діапазон. Це гніздо використовують для управління напругою регулятора діапазону.

14. GCV: CV Gate. Це гніздо використовують для контролю ширини імпульсу Gate [15].

2.4. Проектування пристрою синтезу та обробки у віртуальному редакторі SynthEdit

Перед початком конструювання необхідно побудувати віртуальний макет пристрою синтезу. Для цього користувано програму SynthEdit, яка дозволяє моделювати інструменти, з можливістю подальшого використання як VST плагіни.

Для початку необхідно створити головний блок (рис. 2.12) із джерелом вхідної інформації (MIDI-In), виходами (Sound Out 1-12) та безпосередньо самим пристроєм синтезу та обробки, який розміщується у блоці Container.

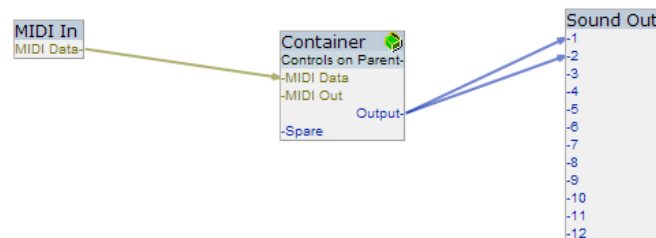


Рисунок 2.12 Головний блок створеного інструменту

Натиснувши на контейнер інструменту, відкрилось вікно (рис. 2.13), у якому був розташований блок IO Mod, який необхідний для ініціювання входів до контейнеру, та виходів з нього.

Розмістивши всі блоки обробки та синтезу, побудовано тракт сигналу таким чином, щоб він задовольняв потреби користувача. Для побудови запропоновано використати такі пристрої синтезу та обробки:

1. 2 осцилятори, керовані напругою;
2. LFO1&2, необхідний для керування обвідної напруги, яку подають на осцилятори, підсилювач та фільтри;
3. Генератори ADSR обвідної для фільтра та підсилювача;
4. Фільтр VCF, типу Моог з попередньо підключеним підсилювачем, необхідним для керування обвідною;
5. Підсилювач VCA;
6. Блок кільцевої модуляції з перемикачем, що контролює його роботу.

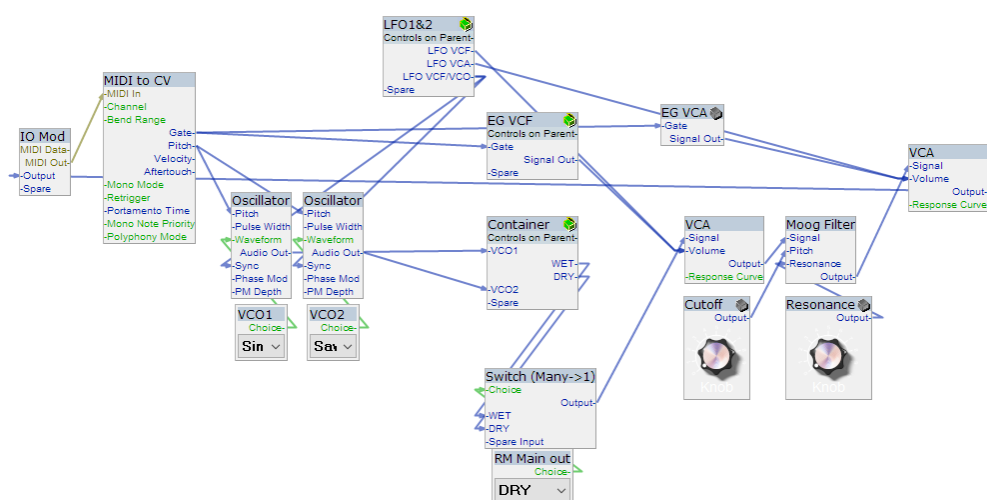


Рисунок 2.13 Комутовані блоки тракту синтезу звукового сигналу

Як наведено на рис.2.13, такі блоки як LFO1&2 (низькочастотний осцилятор контролю), EG VCA (генератор обвідної для підсилювача керованого напругою), EG VCF (генератор обвідної для фільтра керованого напругою), RM (кільцевий модулятор), також сховані у контейнери, для зручності комутації та відповідності до фізичних блоків пристрою синтезу.

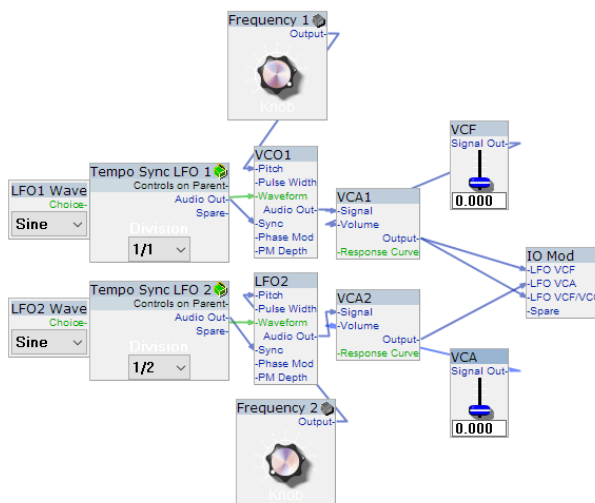


Рисунок 2.14 Контейнер LFO1&2

У контейнері LFO1&2 (рис. 2.14) розташовано два осцилятори низької частоти, блоки синхронізації генерації хвилі відносно заданого темпу. Також були виведені регулятори значень амплітуди сигналу для VCF та VCA модулів.

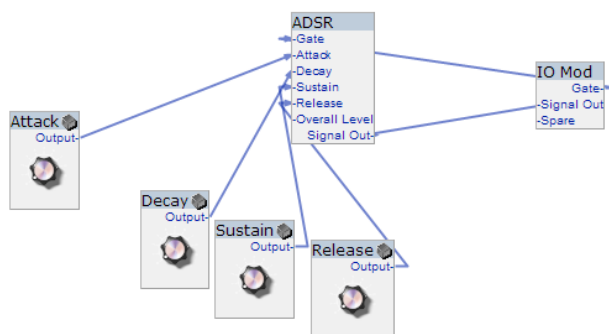


Рисунок 2.15 Набір елементів у блоках EG VCA та EG VCF

У контейнері (рис. 2.15) розміщені регулятори атаки, спаду сигналу, рівня утримання та регулятора часу загасання.

У контейнері кільцевої модуляції (рис. 2.16) розташовано 4 перемикачі, для пропускання кожного окремого сигналу осциляторів через RM, а також обох відразу

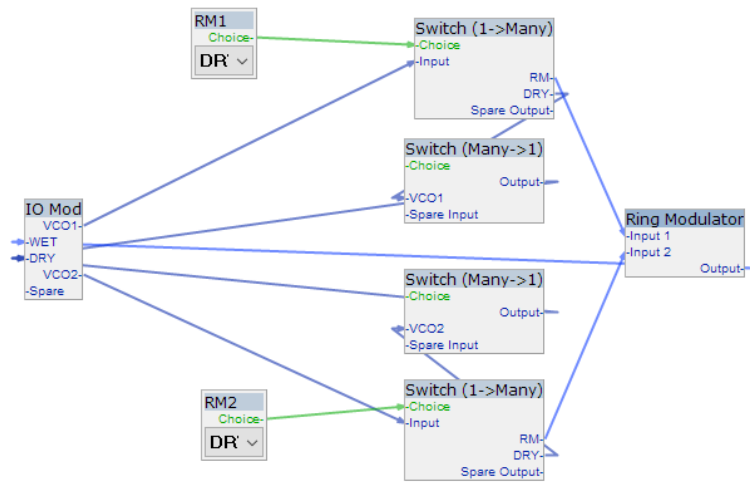


Рисунок 2.16 Контейнер кільцевої модуляції

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

В цьому розділі наведено опис предметної області завдання, проведенню формування основних вимог та базового інструментарію для розроблюваного пристрою. Визначені особливості всіх можливих допоміжних пристроїв синтезу, динамічної та просторової обробки.

Після проведеного аналізу та передпроекування пристрою був побудований віртуальний прототип синтезатора у програмі SynthEdit. При побудові були визначені основні вимоги, які обов'язково необхідні для реалізації:

- 1) Стабільність налаштування ладу осциляторів.
- 2) Наявність двох модулів LFO та ADSR генераторів обвідних.
- 3) Можливість підключення додаткових ефектів.
- 4) Наявність ШІМ (широтно-імпульсної модуляції) для осциляторів.

Ці вимоги були опрацьовані та визначені на базі проектування пристрою, та порівнянні із вже наявними пристроями синтезу та обробки звукового контенту. Врахування цих особливостей на етапі проектування зробить подальшу розробку більш простою та надасть змогу запобігти виникненню небажаних помилок під час роботи пристрою.

Була спроектована віртуальна модель синтезатора у середовищі програмного забезпечення SynthEdit.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ

3.1. Вибір технологічного базису та його обґрунтування

3.1.1. Вибір середовища для розробки синтезуючого блоку

Виходячи з поставлених цілей, для їх виконання необхідна програма, що дозволяє моделювати схеми з подальшим дизайном друкованих плат, для подальшої пайки елементів на них.

Найбільш доцільним для виконання цього завдання є програмне забезпечення KiCad. KiCad — розповсюджуваний за ліцензією GNU General Public License програмний комплекс класу EDA з відкритим кодом, призначений для розробки електричних схем і друкованих плат [16].

Програми, що входять до KiCad

1. kicad — менеджер проєктів;
2. eeschema — редактор електричних схем;
3. вбудований редактор символів (бібліотечних компонентів);
4. pcbnew — редактор друкованих плат;
5. вбудований редактор футпринтів (бібліотечних компонентів);
6. 3D Viewer — 3D-переглядач друкованих плат на базі OpenGL (частина pcbnew);
7. gerbview — переглядач файлів Gerber (фото-шаблонів);
8. cvpcb — програма для вибору футпринтів відповідних компонентів на схемі;
9. wyoeditor — текстовий редактор для перегляду звітів.

Функції компонент KiCad

Eeschema (рис. 3.1) забезпечує:

- створення однолистових та ієрархічних схем;
- перевірку їх коректності ERC (контроль електричних правил);
- створення netlist для pcbnew або Spice;
- доступ до документації на електронні компоненти, що використовуються у схемі (Datasheet).

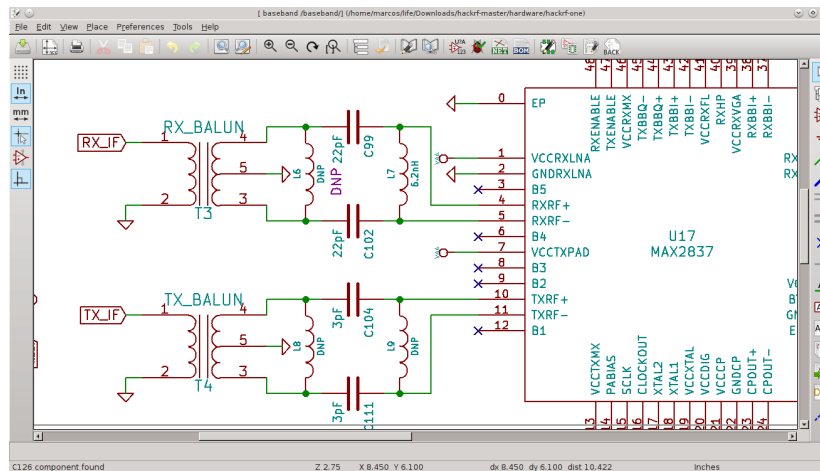


Рисунок 3.1 Вікно компоненти eeschema

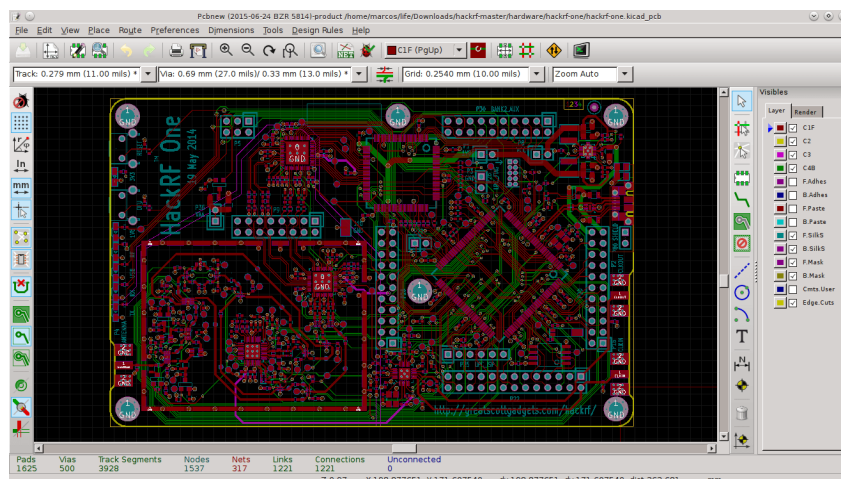


Рисунок 3.2 Вікно компоненти pcbnew

Pcbnew (рис. 3.2) забезпечує [16]:

- розробку плат, що містять від 1 до 16 шарів міді і до 12 технічних шарів (шовкографія, паяльна маска тощо);

- генерацію технологічних файлів для виготовлення друкованих плат (Gerber-файли для фото-плотерів, файли свердловок та файли розміщення компонентів);
- друк шарів у форматі PostScript.

gerbview дозволяє переглядати Gerber-файли.

Бібліотеки електронних компонентів

У складі KiCad поставляють бібліотеки електронних компонентів (звичайних і SMD). Для багатьох бібліотечних компонентів є 3D-моделі, створені в Wings3D.

Компоненти і футпринти можна асоціювати з документацією, ключовими словами і здійснювати швидкий пошук компонента за функціональним призначенням.

Та перш ніж розпочинати роботу над розробкою блоку аналогового синтезу пристрою, необхідно окреслити інші компоненти, з якими наш блок буде комутований.

3.1.2 Додаткові блоки пристрою синтезу. Опис процесу генерації управляючої прямокутної хвилі

Зчитування даних клавіатури та регулятора тону

Процесор IC56 на платі процесора застосовує дані послідовного сканування адресного декодера IC50, встановлюючи відповідний вихідний штифт низьким. Кожен штифт буде підключений до порту 1 через замкнуті контакти перемикача та через інвертори IC53 та IC57. Комбінація максимумів і мінімумів на порту 1 (штифти) повідомляє процесору, яку клавішу натискати, не натискати або в якому встановлений регулятор тону.

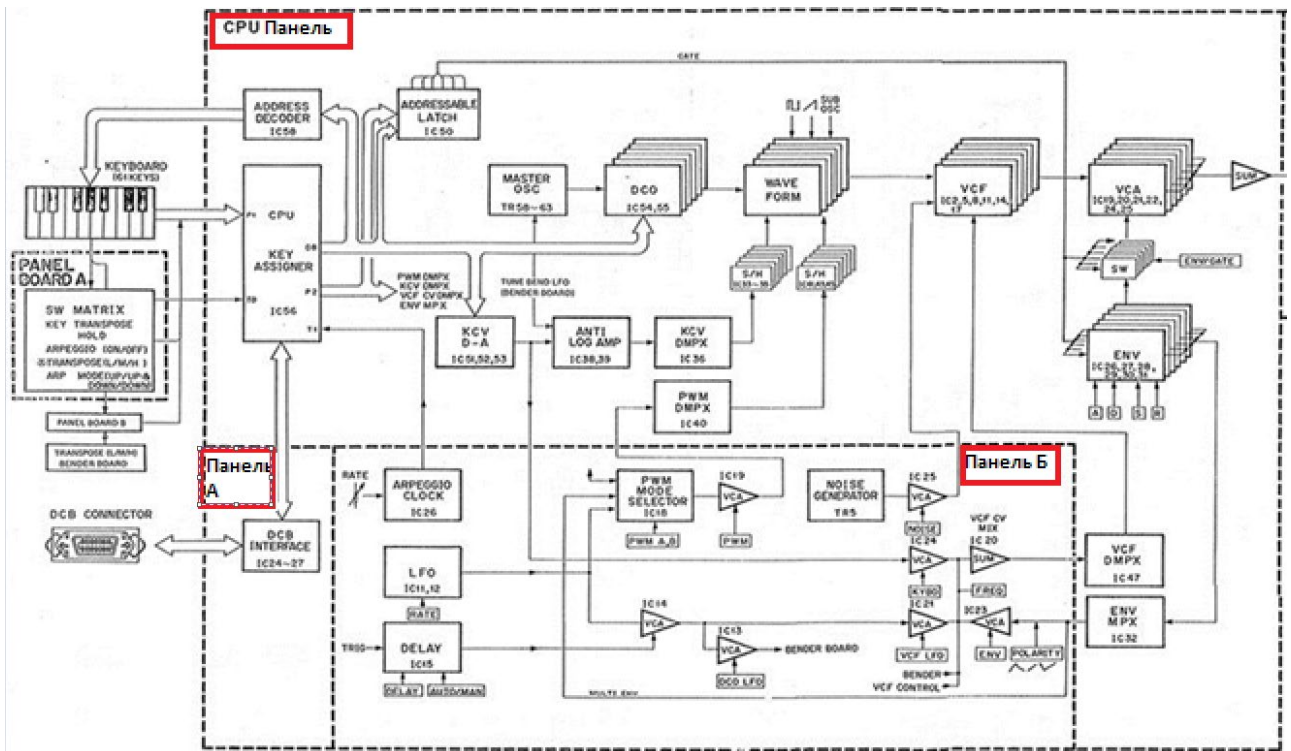


Рисунок 3.3 Діаграма будови пристрою синтезу

Джерело звуку

Коли клавіша відтворюється на клавіатурі, центральний процесор надає набір незалежних даних - дільник для програмованих лічильників та CV для Waveform та VCF, щоб голоси звучали однаково з різницею висоти тону, що відповідає утримуваній клавіші.

Для наочності на рис. 3.4 показана спрощена блок-схема системи джерела звуку.



Рисунок 3.4 Спрощена блок-схема системи джерела звуку

Основні генератори

LC-генератор, що має діод змінної ємності, на який подають керуючі напруги від BENDER, LFO і TUNE, - загальні для всіх VCO.

Змінний діапазон:

PITCH BENDER ± 700 одиниця логарифмічної шкали відносної висоти звуку (центів)

LFO + 300 центів

TUNE + 50 центів

Коли ці напруги підсумовано, максимальний діапазон перемикавання головного генератора становить +1050 центів або від 1 МГц до 3,5 МГц з центральною частотою приблизно 1,9 МГц. Вихідний сигнал направляється на програмовані лічильники.

Програмовані лічильники

Програмований лічильник, що містить три 16-бітові лічильники, здатний ділити високочастотні сигнали, що генеруються на головному генераторі, на 65535. Припустимо, що головний генератор працює на частоті 1902810 Гц, а дільник дорівнює 4305, лічильник видає прямокутні сигнали 442 Гц.

Кожного разу, коли відтворюються клавіші, центральний процесор вибирає дані розподілу для цього ключа із внутрішньої PROM і доставляє їх до DATA IN лічильників у форматі 8 біт x 2.

Перетворення сигналу

Генератор пилкоподібної хвилі

Аналогові напруги (серія з 6 керуючих напруг для 6 каналів) від цифрового перетворювача змінюють з кроком 0,48 В/октаву, коли будуть відтворюватися різні клавіші. KCV поєднують з напругами від TUNE, а також LFO і BENDER (рис. 3.5), якщо такі є, і подають на підсилювач. Підсумована напруга збільшується або зменшується з кроком 1 В/октаву на виході підсилювача, який передають одному з S/H, вибраному аналоговим

демультиплексором. Конденсатор заряджається (струмом) пропорційно CV, що надходить на інвертуючий вхідний штифт і розряджається через транзистор зі швидкістю прямокутної хвилі, що генерується від програмованого лічильника, підтримуючи постійну амплітуду пилкоподібного сигналу в діапазоні частот.

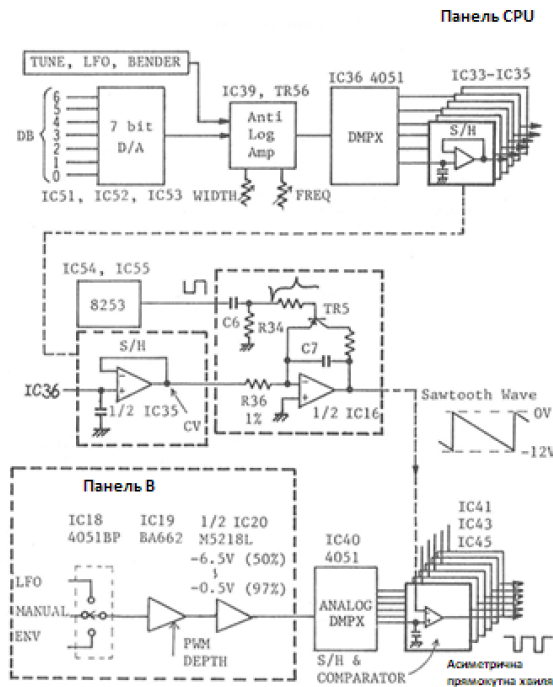


Рисунок 3.5 Шлях перетворення сигналу з цифрового у аналоговий
Sub Oscillator

Прямокутна хвиля з програмованого лічильника надходить на тригер (рис 3.6), де вона ділиться навпіл і її передають на базу транзистора. Амплітуду вихідного сигналу TR4 можна постійно змінювати, встановлюючи SUB VR20 на панелі А.

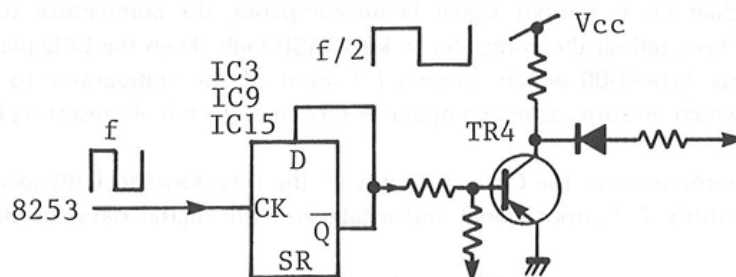


Рисунок 3.6 Блок низькочастотного осцилятора

Контролюючі напруги VCF

Хоча 6 контурних напруг, створених генератором ENV, працюють безпосередньо до спарених VCA на ексклюзивній лінії, їх мультиплексують і вони проходять через загальну шину разом з іншими керуючими сигналами для застосування VCF (рис 3.7). На входному штифті підсумовуючого підсилювача є ще одна мультиплексована напруга (KCV) від ЦАП IC51-IC53 на платі процесора. Ці мультиплексування синхронізовані для стабільного переміщення даних [17].

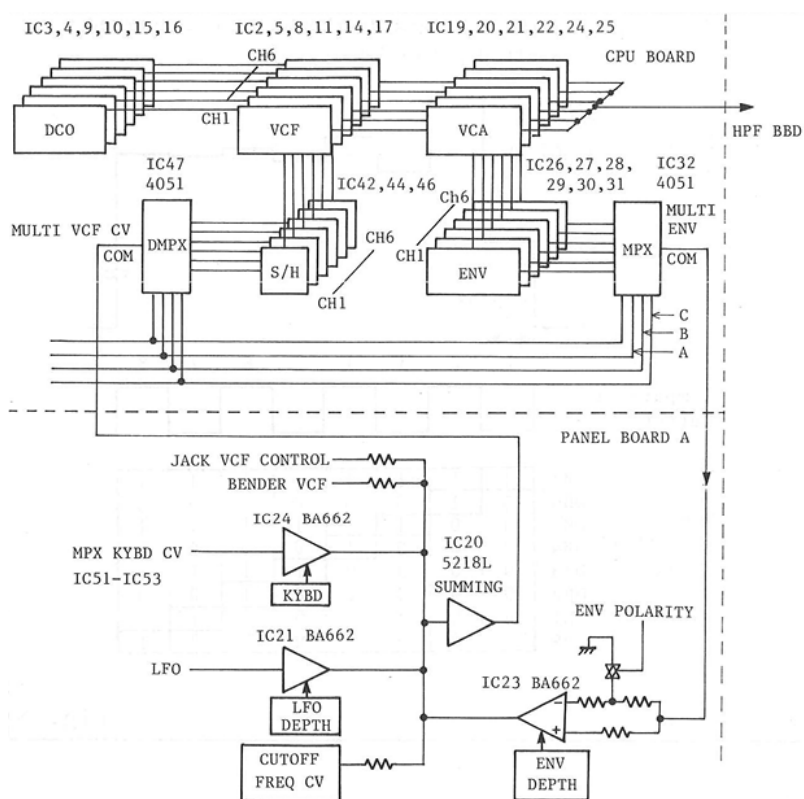


Рисунок 3.7 Використання блоку VCF у схемі пристрою

3.2. Основні рішення з реалізації пристрою та його компонентів

Розроблювальний проект можна умовно розділити на такі групи:

1. Визначення пристрою підсилювача контрольованого напругою та підключення його у схему блока синтезу аналогового сигналу;
2. Визначення фільтру керованого напругою та підключення його у схему;
3. Підключення операційних підсилювачів;
4. Розробка схеми електричної принципової (Додаток 1).

3.2.1. AS3360 (VCA)

Особливості

- два незалежних VCA в одному 14-контактному блоці;
- простий у використанні - потрібно небагато зовнішніх компонентів;
- винятково низький рівень проходу без обрізки: 10 мВ максимум з 10 В;
- низький рівень шуму: -110 дБ;
- обрізка не потрібна;
- підсумовування вхідних сигналів вузлів;
- поточні виходи, здатні коливатися з точністю до 1,5 В від кожного джерела живлення;
- лінійне та експоненціальне управління;
- керуючі напруги, віднесені до заземлення;
- широкий діапазон живлення: від ± 3 В до ± 12 В або $+ 15$ В, - від 3 В до - 9 В.

Загальний опис

AS3360 - це подвійний загальнопромисловий підсилювач, керований напругою, призначений для таких застосувань, як підсилювачі, фільтри та

генератори сигналів з керованою напругою. Кожен підсилювач незалежно забезпечує як лінійне, так і експоненціальне управління в діапазоні більше 100 дБ. У комплекті з віртуальними підсумовуючими входами, широкими виходами струму, що відповідають напрузі, і входами управління, що відносяться до землі, AS3360 вимагає надзвичайно мало зовнішніх компонентів і надзвичайно простий у використанні. Через властивий йому наднизький рівень проходження управління, обрізка не потрібна. До цих функцій додаються винятково низький рівень шуму, широка смуга пропускання та робота до ± 3 В, що робить застосування AS3360 доцільним з реальною економією коштів у більшості додатків, що потребують підсилювачів змінної провідності. У таблиці 3.1 вказані позначення штифтів блоку, а на рис. 3.8 відповідно блок-діаграма підключень [18].

Таблиця 3.1 Визначення підключень

| PDIP-14 SOIC-14 | Назва штифтва | Опис |
|-----------------|---------------|-------------------------|
| 1 | GND | Ground |
| 2 | I_{O1} | Signal Output |
| 3 | V_{E1} | Exp. Control Voltage 1 |
| 4 | V_{O1} | Log Converter Output 1 |
| 5 | V_{C1} | Linear Control Input 1 |
| 6 | I_{I1} | Current Input 1 |
| 7 | V_{EE} | Negative Supply Voltage |
| 8 | V_{REF} | Reference Voltage |
| 9 | I_{I2} | Current Input 2 |
| 10 | V_{C2} | Linear Control Input 2 |
| 11 | V_{O2} | Log Converter Output 2 |
| 12 | V_{E2} | Exp. Control Voltage |
| 13 | I_{O2} | Signal Output 2 |
| 14 | V_{CC} | Positive Supply Voltage |

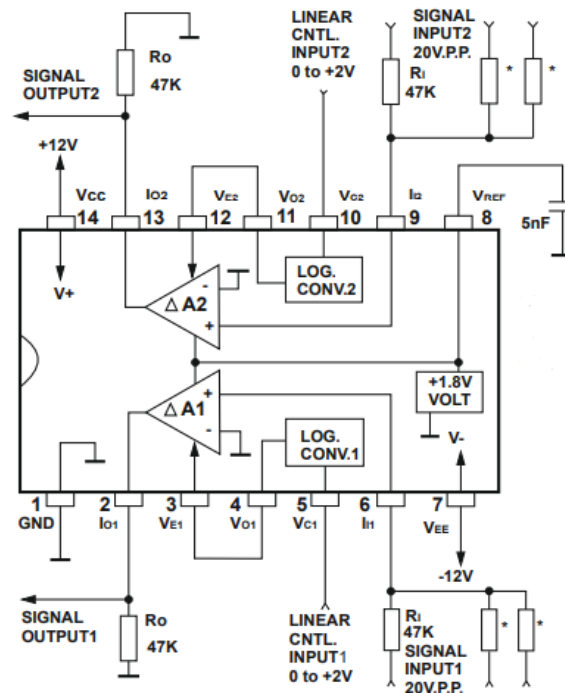


Рисунок 3.8 Блок-діаграма підключень AS3360

3.2.2. AS3320 (VCF)

Особливості

- регульована частота напруги у діапазоні 12 октав;
- регульований напругою резонанс від нуля до коливань;
- точна експоненціальна шкала частоти;
- точна лінійна резонансна шкала;
- проникнення низької напруги управління -45 дБ;
- фільтр, що налаштовується на lpf, hpf, all pass тощо;
- низький рівень шуму: -86 дБ;
- низькі спотворення в смузі пропускання - 0,1%;
- низький дрейф нагрівання.
- управляє осцилятором із синусоїдною хвилею, керований напругою низьких спотворень;
- пропускна здатність до 800 кГц.

Загальний опис

AS3320 - це високоефективний чотиризмуговий фільтр, керований напругою, з вбудованою в мікросхему регульованою резонансною мікросхемою. Чотири незалежні секції можуть бути з'єднані між собою, щоб забезпечити широкий спектр типу фільтра, таких як ФНЧ, ФВЧ, смуговий ттощо. Один вхід експоненційно управляє частотою більше, ніж у діапазоні десяти октав, з невеликим проникненням контрольної напруги. Інший вхід керує резонансом модифікованим лінійним способом від нуля до коливань з низькими спотвореннями. Для цих дій, передбачено можливість обрізки для поліпшення відхилення контрольної напруги. Кожна секція фільтра має комірку зі змінним коефіцієнтом посилення, яка повністю компенсує температуру, демонструє краще співвідношення сигнал/шум і генерує свої низькі спотворення переважно на другій гармоніці. Пристрій містить регулятор – 2 В для забезпечення низького розсіювання потужності і, як наслідок, низького дрейфу розігріву. Блок живлення значно покращує термостабільність параметрів AS3320F [19].

У таблиці 3.2 вказані підключення, а на рисунку 3.9 вони показані на блок діаграмі AS3320F.

Таблиця 3.2 Визначення підключень

| PDIP-18, SOICW-18 Pin No | QFN-24L Номер | Назва | Опис |
|--------------------------|---------------|-----------|-------------------|
| 1 | 4 | IN_1 | Input Stage 1 |
| 2 | 5 | IN_2 | Input Stage 2 |
| 3 | 7 | GND | Ground |
| 4 | 8 | Cap_2 | Capacitor Stage 2 |
| 5 | 9 | Cap_1 | Capacitor Stage 1 |
| 6 | 11 | Out_2 | Output Stage 2 |
| 7 | 12 | Out_1 | Output Stage 1 |
| 8 | 14 | V_{res} | Resonance Input |
| 9 | 15 | I_{res} | Resonance Control |
| 10 | 16 | Out_4 | Output Stage 4 |

| | | | |
|----|-----------|-----------|-------------------|
| 11 | 17 | Cap_4 | Capacitor Stage 4 |
| 12 | 19 | V_{CFI} | Voltage Control |
| 13 | 20 | V_{ee} | Negative power |
| 14 | 22 | V_{cc} | Positive power |
| 15 | 23 | Out_3 | Output Stage 3 |
| 16 | 24 | Cap_3 | Capacitor Stage 3 |
| 17 | 2 | IN_3 | Input Stage 3 |
| 18 | 3 | IN_4 | Input Stage 4 |
| - | Power pad | Power pad | Don't connect |

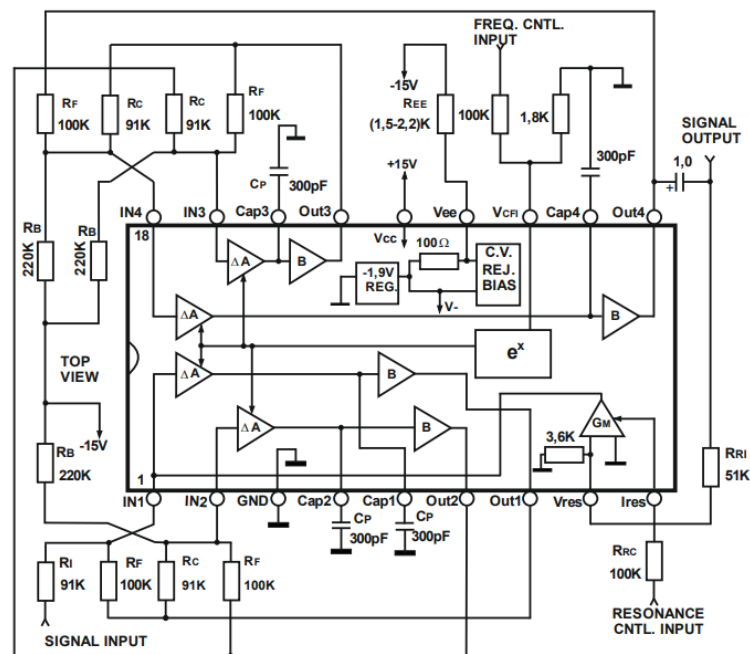


Рисунок 3.9 Блок-діаграма підключень AS3320F

3.2.3. Операційний підсилювач та варіанти його використання у схемі

Джерело струму

Операційний підсилювач при певному включенні може працювати як джерело струму. Джерело струму підтримує постійний струм незалежно від величини опору навантаження (в ідеальному джерелі навантаження може бути взагалі будь-яка, в реальному - максимум будь-якої величини, пропорційної максимально можливої напруги, яке може сформувати на ній джерело струму). Можливі як мінімум дві схеми джерела струму на операційному підсилювачі: з

зваженим навантаженням і з заземленим навантаженням. Схема джерела струму з зваженим навантаженням гранично проста і її наведено на рис. 3.10.

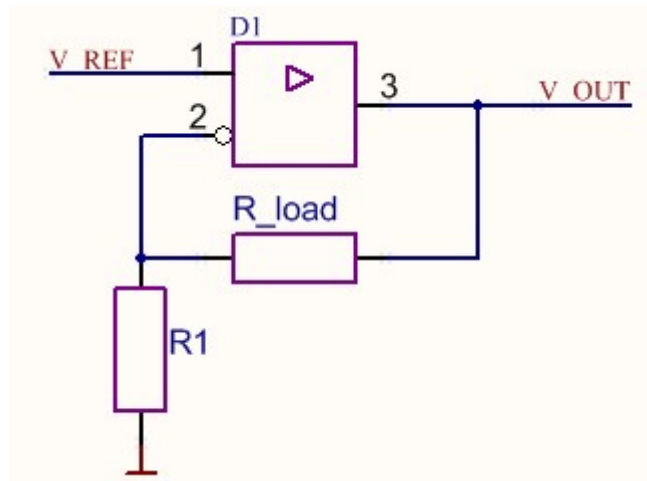


Рисунок 3.10 Підключення операційного підсилювача як джерело струму

Зазначимо, що на неінвертуючий вхід подають опорну напругу, а в ролі навантаження виступає один з елементів зворотного зв'язку.

Неінвертуючий підсилювач

Неінвертуючий підсилювач - напевно, найбільш часто застосовна схема включення операційного підсилювача, її наведено на рис. 3.11.

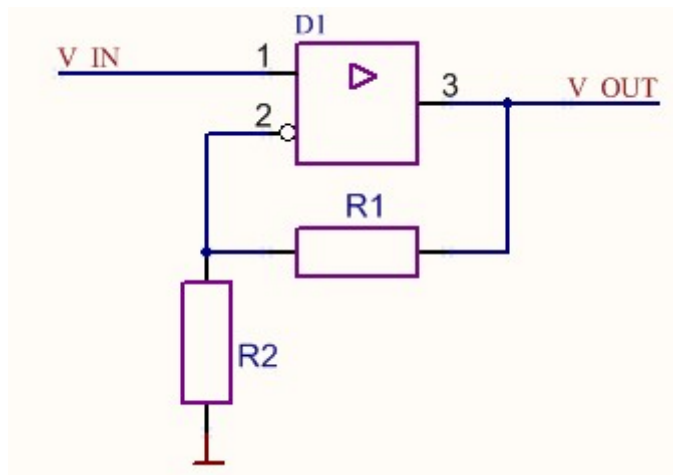


Рисунок 3.11 Схема неінвертуючого підсилювача

У цій схемі підсилений сигнал подають на неінвертуючий вхід операційного підсилювача, а сигнал з виходу через діляник напруги потрапляє на інверсний вхід.

Розрахунок цієї схеми простий, він будується виходячи з того, що операційний підсилювач, охоплений петлею зворотного зв'язку, відпрацьовує

вхідний вплив таким чином, щоб напруга на вході, що інвертує, дорівнювала напрузі на вході, що не інвертує:

$$V_{IN} = V_{OUT} \frac{R2}{R1 + R2}$$

Повторювач

Включення операційного підсилювача за схемою повторювача - це граничний випадок неінвертуючого підсилювача, коли один з резисторів має нульовий опір. Схему повторювача наведено на рис. 3.12.

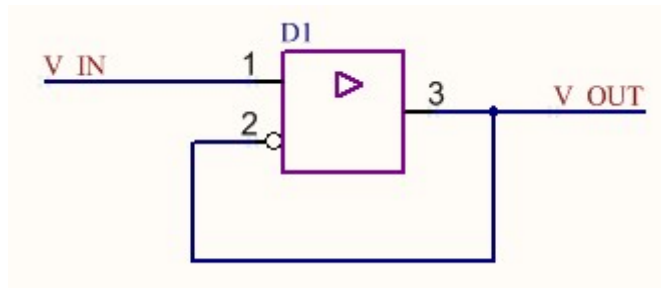


Рисунок 3.12 Схема повторювача на операційному підсилювачі

Коефіцієнт передачі для повторювача дорівнює одиниці, тобто вихідний сигнал в точності повторює вхідний. Він потрібен як буфер, що має високий вхідний опір і маленький вихідний. Це потрібно тоді, якщо існує якесь джерело сигналу з великим вихідним опором і необхідно цей сигнал без спотворення передати на відносно низькоомне навантаження. Якщо це зробити безпосередньо, без якихось буферів, то неминуче втратимо якусь частину сигналу.

Інвертуючий підсилювач (класична схема)

У схемі інвертуючого підсилювача вхідний сигнал подають на інвертуючий вхід мікросхеми, на нього ж заведений і зворотний зв'язок. Неінвертуючий вхід при цьому підключають до землі (іноді до джерела зміщення). Типову схему інвертуючого підсилювача наведено на рис. 3.13.

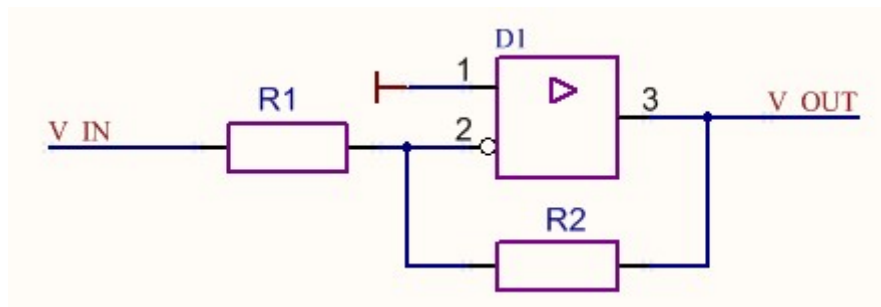


Рисунок 3.13 Схема інвертуючого підсилювача

Інвертуючий суматор

Операційний підсилювач можна використовувати для підсумовування різних сигналів. За допомогою резисторів можна задавати «вагу» кожного сигналу в загальній сумі. Схему інвертуючого суматора наведено на рис. 3.14.

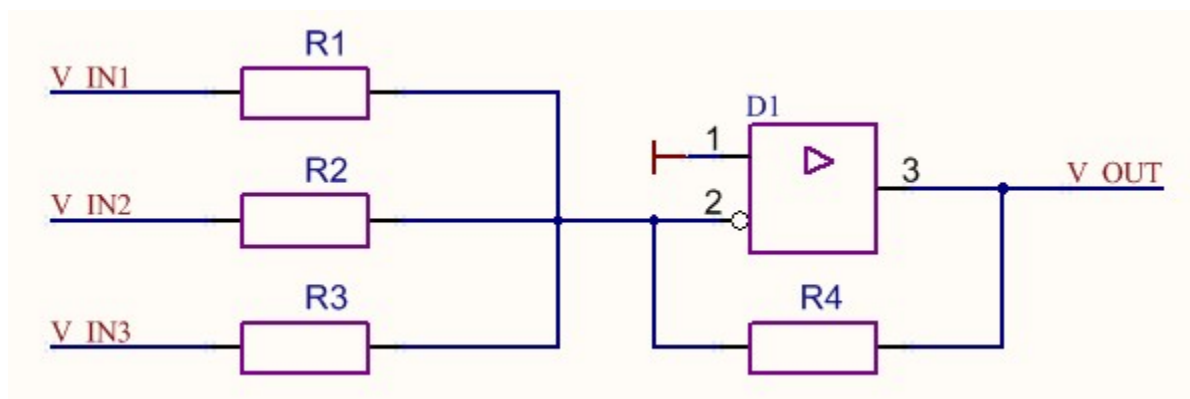


Рисунок 3.14 Інвертуючий суматор

Інтегратор

Схема інтегратора наведено на рис. 3.15. В разі подання на вхід напруги $U_{\text{вх1}}(t)$ струм через резистор R_0 дорівнює $U_{\text{вх1}}(t)/R_0$. Цей струм заряджає конденсатор C і створює на ньому напругу, одночасно є відповідним до вихідного:

$$U_{\text{вих}}(t) = -\frac{1}{C} \int_0^t I_{\text{вх}}(t) dt = -\frac{1}{R_0 C_0} \int_0^t U_{\text{вх1}}(t) dt.$$

Очевидно, що при подачі на вхід інтегратора постійної напруги на виході напруга буде змінюватися лінійно відповідно до рівняння:

$$U_{\text{вих}}(t) = -\frac{U_{\text{вх}} \cdot t}{R_1 \cdot C}$$

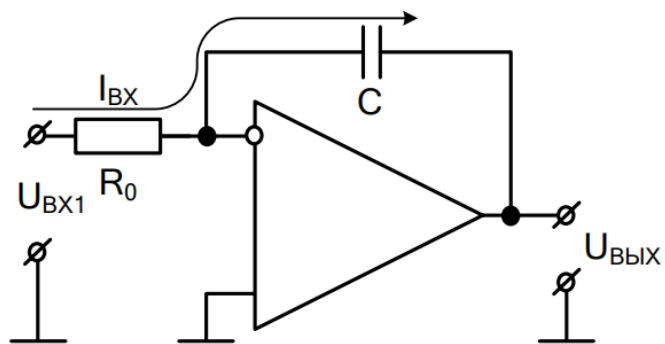


Рисунок 3.15 Схема інтегратора

Ця властивість формування лінійно змінної напруги використовують в різних схемах генераторів пилкоподібного і трикутного сигналу [20].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

В цьому розділі магістерської дисертації обґрунтовано вибір технологічних елементів та програмного забезпечення для розробки прогнозованого блоку аналогового синтезу. Наведено аналіз особливостей моделей операційних підсилювачів, перемикачів, фільтрів та підсилювачів контрольованих напругою. Серед них відібрані елементи останніх років випуску, що мають низьке співвідношення сигнал/шум. При розробці аналогового блоку синтезатора, було враховано, що він буде контрольований цифровим способом. Для цього було взято модуль центрального процесора з синтезатора Roland Juno 60. Він достатньо точно генерує прямокутну хвилю, яка у свою чергу визначає частоту генерації хвиль аналоговим способом.

Було проведено узагальнення основних рішень щодо реалізації проекту. Спроектовано та розроблено схему аналогового синтезу, інтегровану у структуру так званого синтезатора на базі DCO з опцією розширення у майбутньому.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

У даному розділі наведено аналіз та розробка стартап-проекту згідно з темою дисертації.

4.1. Опис ідеї проекту

В табл. 4.1 приводиться зміст головної ідеї проекту, потенційні шляхи практичного застосування продукту та базові привілеції, які користувач зможе отримати при використанні.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

| <i>Зміст ідеї</i> | <i>Напрямки застосування</i> | <i>Вигоди для користувача</i> |
|--|-----------------------------------|---|
| Розробка блоку аналогового синтезу для DCO синтезатора | Продюсування музики, живі виступи | Низьке відношення сигнал/шум. Стабільність у роботі. Можливість простого ремонту. |

Наступним етапом буде з'ясування та проведення аналізу технічно-економічного потенціалу та параметрів розробки та подальше порівняння з конкурентними системами. Основними конкурентами є HR Electronics, Behringer, Roland.

Таблиця. 4.2.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| № | Техніко-економічні характеристики проекту | Мій проект | Конкуренти | | | W | N | S |
|---|---|------------|------------|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | | | |
| 1 | Низька вартість деталей | + | + | - | - | | | + |
| 2 | Низьке відношення сигнал/шум | + | + | - | - | | + | |
| 3 | Стабільність частоти | + | + | + | + | | + | |
| 4 | Наявність MIDI контролю | + | + | + | - | | | + |

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Тепер проведемо аудит технологічних засобів, за використанням яких буде реалізовано проект. Результати наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

| <i>№</i> | <i>Ідея проекту</i> | <i>Технології для реалізації</i> | <i>Наявність технологій</i> | <i>Доступність технологій</i> |
|----------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1 | Інтегрована система | КМОН | У наявності | У відкритому доступі |
| 2 | аналогового синтезу | ТТЛ | У наявності | У відкритому доступі |
| 3 | | KiCad | У наявності | У відкритому доступі |

Як видно з результатів, усі технології для реалізації є в вільному доступі.

4.3. Аналіз ринкового потенціалу для старту стартап-проекту

Наступним кроком стане аналіз ринку, що наведений у табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| <i>№</i> | <i>Показники стану ринку</i> | <i>Характеристика</i> |
|----------|---|--|
| 1 | Кількість головних гравців, од | 5-7 |
| 2 | Загальний обсяг продажу, грн/ум.од | Середня ціна за ліцензію на використання складає 10-20 тис. доларів |
| 3 | Динаміка ринку | Постійний ріст |
| 4 | Наявність обмежень для входу | Середній рівень конкуренції, при виборі рішення з безпеки довіряють в основному компаніям з репутацією |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Не передбачено чинним законодавством |

У таблиці 4.5 наведено можливі користувацькі групи, їх вимоги та потреби від додатку.

Табл. 4.5 Характеристика можливих користувачів стартапу

| <i>№</i> | <i>Потреба формуюча ринок</i> | <i>Цільова аудиторія проекту</i> | <i>Різниця поведінки цільових груп</i> | <i>Вимоги користувачів до розробки</i> |
|----------|---|--|---|---|
| 1 | Потреба у якості аналогового звуку. Низька ціна для користувача | Незалежні продюсери звукового контенту та любительські конструкторські групи | Необхідність задоволення стандартів якості звучання та низької ціни | Фактичні вимоги простоти у освоєнні та використанні блоку аналогового синтезу |

Після визначення можливих цільових груп користувачів ринок було проаналізовано на наявність факторів загроз (табл. 4.6) та можливостей (табл. 4.7).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

| <i>№</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст загрози</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|----------|------------------------------|--|--|
| 1 | Можлива конкуренція | Наявність на ринку синтезаторів з використовуваними технологіями | Розширення функціоналу стартап-проекту |
| 2 | Не велика потреба у програмі | Можливість важкого старту запуску технології у масове використання | Проведення маркетингової компанії та демонстрація корисності синтезатора |

Таблиця 4.7 Фактори можливостей

| <i>№</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст можливості</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|----------|----------------------|--|---|
| 1 | Залучення інвестицій | Можливість залучення інвестицій від інвестиційних фондів та інших компаній | Можливість розширення штату розробників |

Загальні фактори конкуренції приводяться у таблиці 4.8.

В даній таблиці демонструється, що наявність конкуренції на міжнародному ринку невисока.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції ринку

| <i>Специфіка конкурентного становища</i> | <i>Проява характеристики</i> | <i>Вплив на вектор дій компанії (потенційні кроки для підтримки конкурентоспроможності)</i> |
|---|---|---|
| 1. Тип конкуренції: чиста | Наявність незалежної конкуренції на ринку | Націлення на технології та стрімкий розвиток |
| 2. Рівень конкуренції: міжнаціональна | Конкуренція з міжнародними компаніями | Робота на міжнародному ринку |
| 3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева | Випуск широкодоступного пристрою | Фокусування на ринку конструювання пристроїв синтезу |
| 4. Конкуренція товарним видом: товарно-видова | Наявність відомих конкурентів у сфері | Отримання авторитету влаштовуючи спеціалістів сфери поточного проекту |
| 5. За інтенсивністю: марочна | Наявність відомих конкурентних брендів | Створення власного відомого та визнаваного бренду продукту |

Виконаємо аналіз конкурентних умов по моделі М. Портера (табл. 4.9).

Серед існуючої конкуренції на ринку було виділено продукцію HR Electronics та Behringer, котрі володіють значною частиною ринку та є найбільшою загрозою для подальшого розвитку.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| <i>Складові аналізу</i> | <i>Прямі конкуренти на ринку</i> | <i>Можливі конкуренти на ринку</i> | <i>Постачальники</i> | <i>Клієнти</i> | <i>Товари-замінники</i> |
|-------------------------|--|--|---|--|---|
| | HR Electronics, Behringer | HR Electronics, Behringer | HR Electronics, Behringer | Середні та малі компанії | Немає |
| <i>Висновки</i> | Достатня інтенсивність конкурентної боротьби | Конкуренція на ринку має місце за умови підтримки конкурентоздатних умов | Постачальники диктують значну вартість ліцензій | Значні клієнтські вимоги до виробників | Відсутність товарів для заміни продукту |

Функціонування на ринку має можливість, але для цього слід забезпечити конкурентну вартість та перелік можливостей розробленого продукту.

Узагальнення конкурентоспроможних аспектів показано у табл. 4.10.

Таблиця 4.10. Узагальнення аспектів конкурентоспроможності

| <i>№</i> | <i>Аспект конкурентоспроможності</i> | <i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i> |
|----------|--|--|
| 1 | Низьке відношення сигнал/шум | Використання елементів у схемі, що мають стабільну роботу та характеристики, що дозволяють зменшити поріг шуму |
| 2 | Можливість використання шляхом інтегрування у існуючі пристрої | Розробка блоку базувалась як на використанні у існуючій системі синтезу так і у інших системах синтезу на основі DCO |
| 3 | Ціна деталей | Встановлення рентабельної ціни у порівнянні із потенційними конкурентами |

Наступним кроком проведемо зіставлення сильних та слабких сторін проекту порівняно із конкуруючими розробками, його наведено в табл. 4.11.

Таблиця 4.11. Зіставлення сильних та слабких сторін продукту

| <i>№</i> | <i>Аспект конкурентоспроможності</i> | <i>Бали 1-20</i> | <i>Рейтинг товарів-конкурентів</i> | | | | | | |
|----------|--|------------------|------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | <i>-3</i> | <i>-2</i> | <i>-1</i> | <i>0</i> | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> |
| 1 | Низьке відношення сигнал/шум | 19 | | | | | | x | |
| 2 | Можливість використання шляхом інтегрування у існуючі пристрої | 18 | | x | | | | | |
| 3 | Ціна деталей | 15 | | | x | | | | |

Фінальним кроком є SWOT-аналіз (табл. 4.12).

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

| | |
|---|--|
| Сильні сторони: Низьке відношення сигнал/шум | Слабкі сторони: менший функціонал пристрою у порівнянні із конкуруючими продуктами |
| Можливості: проста інтеграція у існуючі системи синтезу | Загрози: відчутна ринкова конкуренція |

Базуючись на проведеному аналізі були сформовані альтернативні варіанти дій на ринку та заходи їхньої інтеграції (рис. 4.13).

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| <i>№</i> | <i>Альтернативний варіант ринкової стратегії</i> | <i>Шанс отримати ресурси</i> | <i>Термін впровадження</i> |
|----------|--|--|----------------------------|
| 1 | Зацікавлення проектів інших компаній на ринку | Продаж розробки або її поглинання зацікавленими особами | Декілька років |
| 2 | Перетворення розробки на лад проекту із відкритим вихідним кодом | Потенціал залучення розробників та експертів з області схемотехніки | Менше одного року |
| 3 | Продаж реалізованих у проекті технологій та рішень | Надання можливості розвитку на платформах, не підтримуваних конкурентами нижчою вартістю | Кілька місяців |

Зазначимо обрану альтернативу: продаж реалізованих у проекті технологій та рішень.

4.4. Розробка ринкової стратегії стартап-проекту

В табл. 4.14 наведено опис цільових груп потенційних споживачів продукту. Такими групами стали малий, середній та великий бізнес у різних галузях інформаційних технологій.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

| <i>№</i> | <i>Опис основної маси клієнтів</i> | <i>Готовність клієнтів до сприйняття продукту</i> | <i>Очікуваний попит основної групи</i> | <i>Рівень конкуренції у сфері ринку</i> | <i>Простота входу у сферу ринку</i> |
|--|------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------|
| 1 | Малий бізнес | Готові | Високий попит | Достатня | Проста |
| 2 | Середній бізнес | Готові | Високий попит при встановленні помірної ціни | Середня | Середня |
| 3 | Великий бізнес | Не готові | Високий, необхідний більш високий рівень складності та розвитку розроблюваного проекту та застосованих технологій | Висока | Складна |
| <p>Проаналізувавши отримані результати було прийнято рішення для розвитку обрати групи малого та середнього бізнесу, так як у масштабі великого бізнесу рішення приймаються повільно та вимагають підписань багатьох паперів, що буде складно в процесі масштабування та підтримки розробки.</p> | | | | | |

Для нормального функціонування в обраних ринкових сегментах слід обрати основну стратегію розвитку (табл. 4.15).

Проаналізувавши отримані результати було прийняте рішення, альтернативним шляхом буде продажу своєї реалізації та технологій за меншою рентабельною ціною.

Таблиця 4.15. Обрання основної ринкової стратегії

| <i>№</i> | <i>Обрана альтернатива розвитку</i> | <i>Стратегія захоплення ринку</i> | <i>Ключові конкурентні позиції згідно з обраною альтернативою</i> | <i>Базова стратегія розвитку</i> |
|----------|---------------------------------------|--|--|----------------------------------|
| 1 | Продаж своїх реалізацій та технологій | Зниження ціни та подальша співпраця з платформами меншої конкуренції | Зниження собівартості розробки та фокус на потреби широкого спектру користувачів | Концетрований маркетинг |

У таблиці 4.16 сформовано основну концепцію конкурентоспроможного розвитку розроблюваного проекту.

Таблиця 4.16. Формування основної концепції конкурентного розвитку

| <i>№</i> | <i>Чи виступає проект «першопрохідцем» на ринку?</i> | <i>Чи буде компанія знаходити нових користувачів, або відбирати у конкурентів їх аудиторію?</i> | <i>Чи буде компанія використовувати напрацювання конкуруючих розробок?</i> | <i>Стратегія конкурентної поведінки</i> |
|----------|--|---|--|---|
| 1 | Так | Пошук нових користувачів серед цільової аудиторії | Ні, лише власні розробки | Заняття конкурентної ніші |

Базуючись на основних вимогах користувачів до розроблюваного продукту, обраній стратегії конкурентної поведінки на ринку та основній концепції конкурентного розвитку розробки визначимо стратегію позиціонування (табл. 4.17).

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

| <i>№</i> | <i>Потреби цільової аудиторії</i> | <i>Основна стратегія розвитку</i> | <i>Основні конкурентоздатні аспекти розроблюваного проекту</i> | <i>Параметри, що формують комплексну позицію розробки</i> |
|----------|---|--|--|---|
| 1 | Навчальний функціонал розроблюваного продукту | Залучення до розробки прогресивних спеціалістів в області схемотехніки | Невелика ціна ліцензії на використання | Доступність, простота у використанні та низька ціна |

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

На старті слід розробити маркетингову концепцію розробки, отримуваної користувачем. Отримані результати аналізу наведені в таблиці 4.18.

Очевидно що ринок не володіє сильним конкурентним продуктом, що спрямований на розвиток навчальної складової у області застосування нейронних мереж та доповненої реальності, оскільки переважна більшість гравців на ринку використовують дані технології переважно з метою створення продукту, основна ціль якого розважати користувача, а не навчати його, на відміну від розроблюваного продукту. Таким чином розроблюваний проект є у своєму роді першопрохідцем на ринку

Таблиця 4.18. Узагальнення переваг концепції розроблюваного продукту

| <i>№</i> | <i>Запит</i> | <i>Корисність товару для користувача</i> | <i>Основні переваги перед конкурентами</i> |
|----------|--------------|--|--|
| 1 | DIY | Наукова та професійна складова товару | Новизна напрямку використання технологій |

Створимо трирівневу маркетингову модель товару (таблиця 4.19.)

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

| <i>Рівні</i> | <i>Сутності та складові</i> |
|-----------------------------|--|
| 1. Задум товару | Розвиток напрямку конструювання інженерами любителями |
| 2. Реальне виконання товару | Комплект схеми із інструкціями по конструюванню та пайці |
| | Якість: тестування з використанням юніт та інтеграційних тестів вздовж розробки продукту |
| | Пакування: присутнє мінімальне пакування із відповідним маркуванням деталей |
| | Марка: назва організації-розробника + назва товару |
| 3. Підкріплення товару | До продажу: комплект DIY |
| | Після продажу: модуль аналогового синтезу |

У таблиці 4.20 було встановлено цінові рамки, що стануть ключовими аспектами при ціноутворенні продукту.

Таблиця 4.20. Визначення цінових рамок

| <i>№</i> | <i>Діапазон цін товарів-замінників</i> | <i>Діапазон цін товарів-аналогів</i> | <i>Рівень прибутку основної групи споживачів</i> | <i>Верхня та нижня межа ціноутворення на товар/послугу</i> |
|----------|--|--------------------------------------|--|--|
| 1 | \$2000-6000 | \$1000-1500 | >\$40000 | \$0-\$8000 |

Систематику збуту наведено у таблиці 4.21. Було прийнято рішення проводити збут власними силами.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

| <i>№</i> | <i>Особливості ринкової поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Функції збуту постачальника товару</i> | <i>Глибина каналу збуту</i> | <i>Оптимальна система збуту</i> |
|----------|---|---|-----------------------------|--|
| 1 | Купівля укомплектованих деталей та інструкції для створення блоку аналогового синтезу | Підписання контрактів на збут | Однорівневий | Вертикальна, згідно з якою право власності на розробку залишається у розробника поточного продукту |

Останнім етапом є визначення концепції маркетингових комунікацій на ринку, що наведено у таблиці 4.22.

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій на ринку

| <i>№</i> | <i>Особливості поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Канали зв'язку, що будуть використовуватись цільовою клієнтурою</i> | <i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i> | <i>Основна ціль рекламної кампанії</i> | <i>Концепція рекламної кампанії</i> |
|----------|--|--|---|--|--------------------------------------|
| 1 | Одноразове придбання шляхом купівлі | Сарафанне радіо, розміщення реклами | Навчання конструювання пристрою синтезу | Демонстрація прикладних можливостей продукту | Виділення продукту серед конкурентів |

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У даному розділі описано та проведено документування та аналіз стартап- проекту, визначено та продемонстровано потенційно слабкі та сильні сторони ідеї, визначено потенційну технічну можливість його розробки.

Було з'ясовано, що ринок володіє високим рівнем конкуренції з боку великої кількості компаній, однак ціна комплекту DIY є достатньо високою.

Був проведений аналіз потенційної стратегії ринку орієнтуючись на малий та середній бізнес, відкидаючи варіант націлення на великий бізнес через вже існуючі їх взаємодії із бувалими гравцями на ринку.

Згідно із стратегією позиціонування було зроблено висновок, що існує необхідність сфокусуватись на розвитку та розширенні навчального потенціалу конструювання пристроїв з готових деталей і плати, а також існує необхідність установлення рентабельної низької ціни на продукт для успішного та швидкого входу на ринок та підтримання здорової чесної конкуренції.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було запропоновано створення аналогового блоку синтезу звукової хвилі. Були проаналізовані недоліки КМОН логіки, наприклад, регулювання частоти у низьковольтному аналоговому генераторі з КМОН елементами є надзвичайно складним завданням через його вкрай нелінійні характеристики та через низьку напругу, що робить його чутливим до напруги джерела живлення, стану заземлення та рівня шуму. У такому випадку з низькою напругою живлення страждає не тільки динамічний діапазон сигналу, але також підвищується рівень шуму, що спричиняє ще більш серйозне погіршення відношення сигнал/шум.

З плином часу просування технологій КМОН вдосконалює DCO до високого рівня продуктивності, і це завдяки повному контролю осцилятора цифровим інтенсивним методом. DCO працює краще за критерієм споживання енергії та діапазону налаштування частоти. DCO забезпечує лінійну настройку, особливо на музичних інструментах, однак, він може застосовуватись у радіочастотних приймачах, якщо треба досягти широкого діапазону настройки та роздільної здатності з малою частотою. Таким чином, DCO буде вдосконалюватися в майбутньому відповідно до передової технології КМОН для кращої роботи. Оскільки прогрес зменшення розмірів транзисторів у технології КМОН дозволяє використовувати менші транзистори, то спосіб побудови DCO необхідно вибирати саме з критеріїв компактності та стабільності роботи. Насамперед можна окреслити таку перевагу розробленої схеми, як те що при генерації хвилі та проходження її через весь тракт, відношення рівнів сигнал/шум залишаються на рівні 95 дБ, що менше, порівняно з аналогами.

Список використаної літератури

1. Э. И. Вологдин. Динамический диапазон цифровых аудиотрактоов. – 2012 р. – 18 с.
2. Загуменов А.П. Запись и редактирование звука. Музыкальные эффекты. – НТ Пресс. – 2005 р. – 186 с.
3. Trevor J. Pinch, Frank Trocco. Analog Days: The Invention and Impact of the Moog Synthesizer. – 2004 р. – 384 с.
4. Simon Cann. How to make a Noise – 2007 . – 288 р.
5. Стаття: «Voltage Controlled Oscillator – Usage of VCO, Working and Application»
URL: <https://www.elprocus.com/voltage-controlled-oscillator-working-application/>
6. Стаття: «SP – Voltage Controlled Filter – VCF»
URL: <http://analoguerealities.com/projects/voltage-controlled-filter/> (дата звернення: 13.09.2020 р.)
7. Стаття: «Ray Wilson. ADSR Envelope Generator»
URL:
http://musicfromouterspace.com/analogsynth_new/ADSR001/ADSR001.html
(дата звернення: 21.11.2020 р.)
8. Стаття: «Scott Rise. Voltage-Controlled Amplifier (VCA)»
URL: <http://synthesizeracademy.com/voltage-controlled-amplifier-vca/> (дата звернення: 15.11.2020 р.)
9. Стаття: «Dual LFO and VCA. – 2014 р.»
URL: https://ajhsynth.com/Dual_LFO.html (дата звернення: 18.10.2020 р.)
- 10.Стаття: «Ring modulation – 2020 р.»
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ring_modulation
- 11.Стаття: «Distortion (music)»
URL [https://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_\(music\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_(music))
- 12.Стаття: «Rikupetteri Salminen. Design Your Own Distortion»

URL <http://www.generalguitargadgets.com/how-to-build-it/technical-help/articles/design-distortion/> (дата звернення: 14.09.2020 р.)

13.Стаття: «Analog Delay»

URL <https://pittsburghmodular.com/analog-delay> (дата звернення: 15.09.2020 р.)

14.Стаття: «Арпеджіатор»

URL

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D0%B6%D1%96%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80>

15.VC ARPEGGIATOR V3 Quick Start & Reference Guide – 2018 р. – 15 с.

16.Стаття «About Kicad»

URL: <https://kicad.org/about/kicad/>

17.Roland Juno 60 Service Manual – 1976 р. – 28 с.

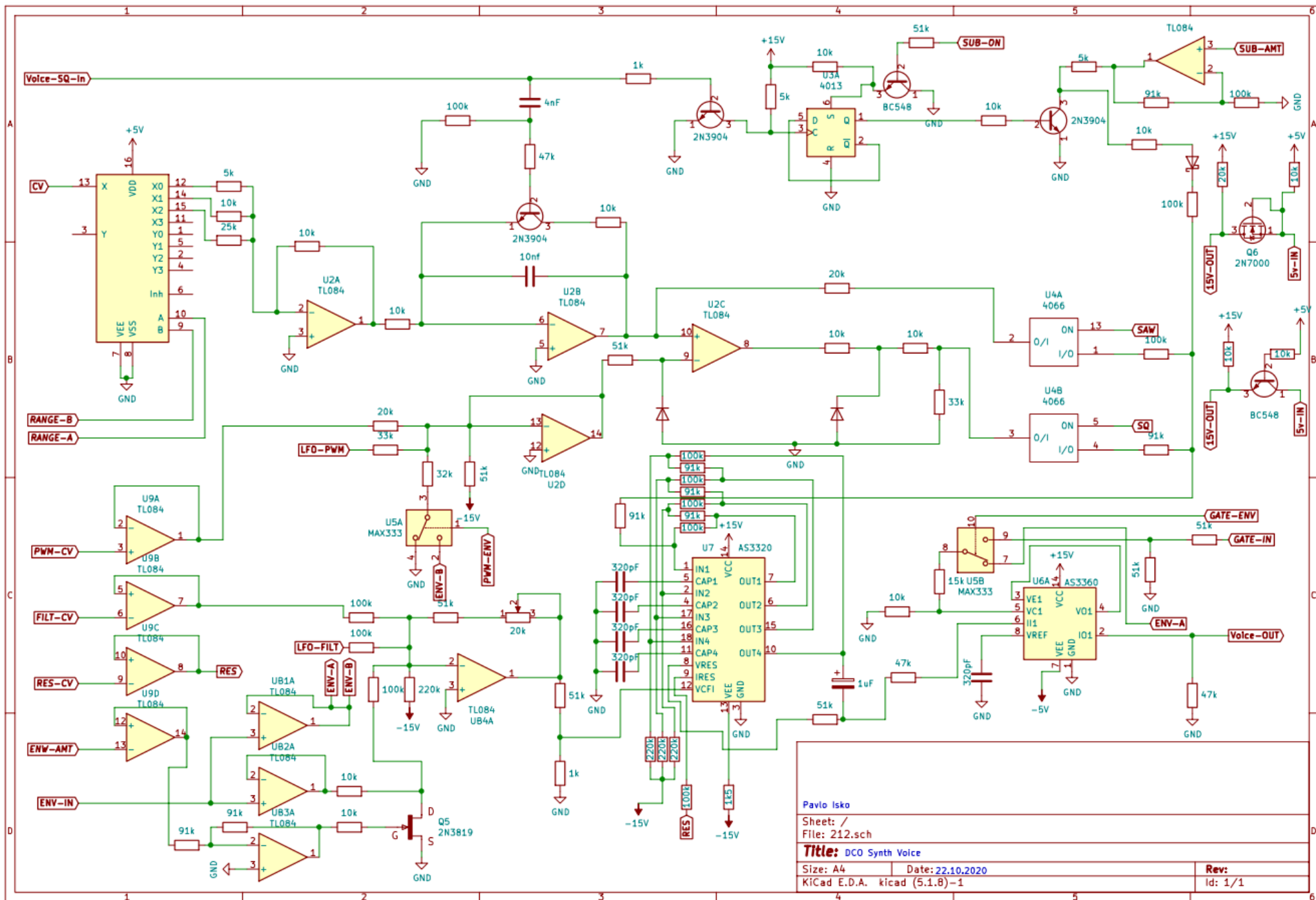
18.Joint Stock Company AS3360 - Dual Voltage Controlled Amplifier (VCA)
Datasheet – 2020р – 6 с.

19.Joint Stock Company ALFA. AS3320 - Voltage controlled filter (VCF)
Datasheet – 2020р – 6 с.

20.К.Д. Абрамов, С.К. Абрамов. СХЕМОТЕХНИКА УСТРОЙСТВ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ— 2008. — 78 с.

ДОДАТОК А

СХЕМА АНАЛОГОВОГО СИНТЕЗУ DCO



| | | |
|-------------------------------|------------------|---------|
| Pavlo Isko | | |
| Sheet: / | | |
| File: 212.sch | | |
| Title: DCO Synth Voice | | |
| Size: A4 | Date: 22.10.2020 | Rev: |
| KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1 | | Id: 1/1 |

ДОДАТОК Б

ABSTRACT

The modern audio content industry has many different sound synthesis and processing devices. Many of them are combined, and have the ability not only to create a sound signal, but also to process. They exist as built on a VCO (Voltage Controlled Oscillator), using analog filters and attenuators, which adds a round sum to the cost. What to say about "pure" analog synthesizers, ie those that do not have digital components in their structure. After all, these devices have distinguished themselves in the history of sound synthesis as "reference" in sound.

This work aims to solve the problem of high cost devices for synthesis and processing of audio content. Therefore, the idea of using DCO (Digital Controlled Oscillator) as a replacement for VCO was proposed.

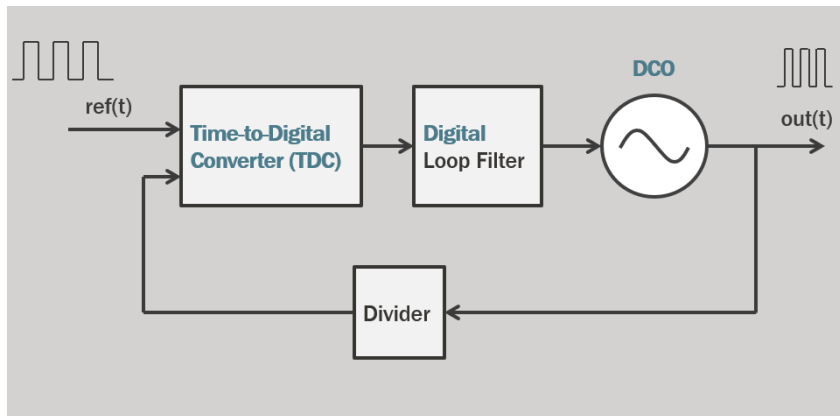


Figure 1. – Block diagram of the generative unit DCO of the synthesizer

A digitally controlled generator, or DCO, is an oscillating circuit that generates an analog signal, but the frequency is controlled

by a digital control input. DCO first appeared in

the 1980s as a kind of intermediate step between fully analog VCOs and later digital implementations. There are several designs of the DCO circuit, but most work by synchronizing the analog core with a digital countdown timer controlled by a high-frequency, high-precision counter. The value loaded in the countdown timer determines the output frequency.

The main feature of DCO is the presence of an analog wave shaper, the frequency of which is controlled by digital. Waveshaper (from the English. Waveshaper - "forms a wave") - is a generator of waveform, that is, in fact, it is the oscillator.

DCO consists of a "counter" and a wave shaper. When you press the key, the microprocessor-controlled counter receives a signal from the clock generator and produces a pulsating signal at the output with the desired frequency for this note. The exact frequency is set by so-called dividers, which, in particular, allow the use of several voices, which are subject to a common digital frequency generator. The wave shaper receives a pulsating signal and with a similar frequency generates a wave in the form of a saw, a meander, and so on (depending on the characteristics of a particular generator).

The frequency of the pulsation, which should give the meter, depends not only on the key pressed, but also on other controls of the synthesizer - oscillator adjustment knobs, LFO and portamento. After the counter has given a pulse, the further formation of a sound occurs completely in an analog way.

Digital control of the generator gave an important advantage - a stable system, but it also had a lot of critics. In particular, one of the important disadvantages of DCO is the inability to move away from the "standard" waveforms that were characteristic of voltage-controlled oscillators (VCOs).

The generators are designed to oscillate the frequency range used in synthesizers. The oscillation frequency should be regulated by the input signal at will depending on the respective applications. In analog PLLs (phase-locked loops), the frequency of oscillations is regulated by the input voltage, which is in analog form. This form of generator is called a voltage controlled generator (VCO). VCOs are widely used in CMOS technology (complementary structure metal-oxide-semiconductor; CMOS, Complementary-symmetry / metal-oxide semiconductor).

KMON has become very cumbersome to implement in the traditional form of VCO using passive devices. This problem was provoked by the fact that its nonlinear frequency characteristics compared to voltage and low voltage power reserve make it susceptible to noise. Thus, low-voltage frequency tuning for the KMON generator was very difficult to access. In addition, reducing the size of the

CMON also reduces the supply voltage, but this is inevitable to avoid breakdowns and reliability problems. In addition, the extremely high cost and energy consumption forced manufacturers to deal with high risk at the time.

To overcome these problems, a digital approach to frequency control in the deep CMON process can be implemented. Finally, the VCO was replaced by the DCO. The only change in the DCO is that the comparator in the VCO ramp core is replaced by reset pulses generated by the counter or microprocessor. DCO produces a stable digital frequency with smooth tuning. The trend of using DCO, which is a completely digital approach, is becoming more and more popular from time to time.

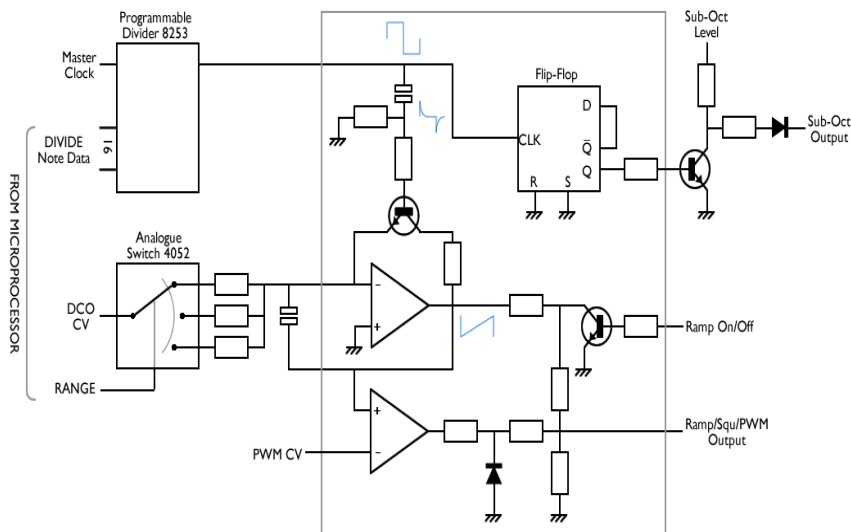


Figure 2. – DCO design scheme

Digital circuits are better than analog ones because they are well suited for the CMOS process. The introduction of a fully digital approach gives

CMON advantages in terms of cost, size, flexibility, reliability and energy consumption. DCO allows you to effectively implement direct frequency modulation with a fully digital circuit of phase-locked loop (ADPLL) with digital control. Programmability of digital circuits is highly desirable for software-defined radio stations, discrete time receivers for Bluetooth radio stations and transmitters for mobile phones.

VCO and DCO have the same limited range of oscillograms and the same ramp core. The analog waveform in DCO was the same as in VCO, but there was great simplicity and arbitrary waveforms in digital systems, such as direct digital synthesis. Then this development led to the widespread use of fully digital

generator designs in musical instruments. To date, the design of the digital baseband (DBB) is constantly moving to the most advanced of the available deep submicro-level digital processes, which usually does not offer analog extensions and has a very limited voltage margin.

CMOS processes with a deep submicro level represent new opportunities for integration, on the one hand, but on the other hand complicate the implementation of traditional analog circuits. For example, frequency control of a low-voltage CMOS analog generator is an extremely difficult task due to its extremely non-linear frequency versus voltage characteristics and low voltage, which makes it susceptible to power / ground and noise. In such a case, with a low supply voltage, not only does the dynamic range of the signal suffer, but the noise level also increases, causing an even more serious deterioration in the signal-to-noise ratio.

ДОДАТОК С

СЕРТИФІКАТ КОНФЕРЕНЦІЇ

CERTIFICATE

is awarded to

Isko Pavlo

for being an active participant in

III International Scientific and Practical Conference

“PRIORITY DIRECTIONS OF SCIENCE

TECHNOLOGY DEVELOPMENT

24 Hours of Participation

KYIV

22-24 November 2020



sci-conf.com.ua