

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «Розробка програмно-апаратного комплексу
синтезатора звуку»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело*

_____ Бондар Євген
(підпис) Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав:
здобувач вищої освіти
група ІСДМ-63

Євген БОНДАР

Керівник:
*науковий ступінь,
вчене звання*

Ольга ПОЛОНЕВИЧ
к.т.н., доцент

Рецензент:
*науковий ступінь,
вчене звання*

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою ІІЗАС

_____ Каміла СТОРЧАК

« _____ » _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Бондару Євгену Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка програмно-апаратного комплексу синтезатора звуку

керівник кваліфікаційної роботи Ольга Полоневич к.т.н., доцент,

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «19» 10.2023р. №145

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «29» грудня 2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Розробка програмно-апаратного комплексу синтезатора звуку.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз основних схем складових блоків синтезаторів звуку.

Дослідити та здійснити аналіз проблем при розробці блоків синтезаторів звуку.

Дослідити та здійснити оцінку по основним схемам з'єднань модулів синтезаторів звуку.

Розробити модель стенду синтезатора звуку.

5. Перелік графічного матеріалу: *презентація*

1. Основні компоненти синтезу звуку
2. Модулі VCO, VCF
3. Модулі LFO, VCA
4. Модулі S&H, ADSR
5. Приклади з'єднань основних модулів.

6. Дата видачі завдання «19» жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	19.10-05.11.23	
2	Вивчення матеріалів історії звукового синтезу	05.11-12.11.23	
3	Дослідження основних модулів - секвенсор, VCO, VCF, VCA, ADSR, LFO, S&H	13.11-19.11.23	
4	Детальний аналіз секвенсора евклідового ритму	20.11-25.11.23	
5	Детальний аналіз модуля відтворення звуків ударних інструментів	27.11-03.12.23	
6	Взаємодія між ключовими модулями синтезатора	04.12-10.12.23	
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	11.12-20.12.23	
8	Розробка демонстраційних матеріалів	21.12-29.12.23	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Євген БОНДАР

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

кваліфікаційної роботи

(підпис)

Ольга ПОЛОНЕВИЧ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 86 стор., 64 рис., 23 джерела.

Мета роботи – розробка навчального стенду для вивчення різноманітних модулів, як складових блоків синтезаторів звуку

Об'єкт дослідження – проектування стенду-модульного синтезатора.

Предмет дослідження – аналоговий синтез звуку

Короткий зміст роботи: Аналіз основних схем складових блоків синтезаторів звуку. Проаналізовані проблеми при розробці блоків синтезаторів звуку. Досліджено основні схеми з'єднань модулів синтезаторів звуку. Розроблено модель стенду синтезатора звуку.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДУЛЬНИЙ СИНТЕЗ ЗВУКУ, АНАЛОГОВИЙ СИНТЕЗАТОР ЗВУКУ, ГЕНЕРАТОР КЕРОВАНИЙ НАПРУГОЮ, VCO,VCF,VCA,ADSR,LFO,S&H.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 86 pages, 64 pictures, 23 sources.

The purpose of the work - development of a training stand for studying various modules as constituent blocks of sound synthesizers.

The object of research - design a modular synthesizer stand.

The subject of research - analog sound synthesis.

Summary of the work: Analysis of the main circuits of the component blocks of sound synthesizers. Analyzed problems in the development of blocks of sound synthesizers. The main connection schemes of sound synthesizer modules have been studied. A model of a sound synthesizer stand was developed.

KEYWORDS: MODULAR SOUND SYNTHESIS, ANALOG SOUND SYNTHESIZER, VCO, VCF, VCA, ADSR, LFO, S&H.

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти **Бондара Євгена Юрійовича**

на тему: «Розробка програмно-апаратного комплексу синтезатора звуку».

Актуальність.

Розглянуто ключові відмінності між традиційним синтезатором і модульним синтезатором звуку. Клавішні синтезатори не дають розуміння процесу синтезування звуку, також неможливо змінити схему проходження звукового сигналу. Модульний синтезатор дозволяє доставити необхідний модуль, або змінити комутацію в існуючих модулях для отримання бажаного результату. Може бути використаний як навчальний стенд.

Позитивні сторони.

1. Зміст роботи повністю відповідає завданню, а поставлені задачі виконані у повному обсязі.

2. У роботі виконано аналіз основних схем складових блоків синтезаторів звуку.

3. Досліджено основні схеми з'єднань модулів синтезаторів звуку.

4. Розроблено модель стенду синтезатора звуку.

Недоліки.

1. У роботі потрібно було б більш детально розглянути інші схеми з'єднань модулів, не тільки базові патчі.

2. Доцільно було б більш детально порівняти особливості різних методів синтезу звуку - адитивного та субтрактивного і в чому саме різниця між ними.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної магістерської роботи.

Висновок: *кваліфікаційна магістерська робота заслуговує оцінку "відмінно", а здобувач Бондар Євген Юрійович заслуговує присвоєння кваліфікації: магістр з інформаційних систем та технологій.*

Рецензент:

науковий ступінь, вчене звання

підпис

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	11
1.1 Історія звукового синтезу	11
1.2 Постановка завдання магістерської роботи	24
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ МОДУЛІ РОЗРОБЛЕНОГО РІШЕННЯ	28
2.1 Секвенсор	28
2.2 Генератор керований напругою	31
2.3 Змішувач звукових сигналів	36
2.4 Фільтр керований напругою.....	38
2.5 Підсилювач керований напругою	43
2.6 Генератор огибаючої	44
2.7 CLOCK SYNC LFO	46
2.8 Генератор шуму та S&N	48
РОЗДІЛ 3 ОПИС ДЕЯКИХ МОДУЛІВ, ВИКОРИСТАНИХ В РОБОТІ	51
3.1 Секвенсор евклідового ритму «бСН Trigger Sequenser”	51
3.2 Модуль відтворення звуків ударних інструментів	60
3.3 Взаємодія між ключовими модулями синтезатора	65
3.4 Взаємодія між ключовими модулями драм машини	72
ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	80
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (презентація)	82

ВСТУП

Актуальність. Ключові відмінності між традиційним синтезатором і модульним синтезатором конструктивні. Клавішні синтезатори не дають розуміння процесу синтезування звуку, також неможливо змінити схему проходження звукового сигналу.

Постійно виникає необхідність в пошуку нового інструменту з додатковими властивостями, що призводить до накопичення однотипних інструментів, що мають лише невеликі відмінності. Модульний синтезатор дозволяє доставити необхідний модуль, або змінити комутацію в існуючих модулях для отримання бажаного результату.

Хоча обидва типи синтезаторів мають первинне джерело звуку (генератор) - коли ми хочемо видати звук за допомогою синтезатора з клавішами, ми натискаємо клавішу. Коли ми піднімаємо палець, клавішний синтезатор (зазвичай) перестає видавати звук, що, в свою чергу, не спонукає до розуміння процесу створення звукової хвилі, її обробки і видозмінення у схемі синтезатора всередині.

Генератор в модульному синтезаторі генерує сигнал постійно. Це означає, що замість того, щоб давати команду інструменту для створення звуку, слід дати йому команду, щоб не видавати звук. Також більшість традиційних синтезаторів мають клавіатуру, а модульні синтезатори ні, але можливо знайти модуль клавіатури або інтерфейс з зовнішньою клавіатурою.

Керувати модульними синтезами можливо по-різному, не тільки запуском, зупинкою та формуванням звуку, але й секвенуванням висоти тону. Замість клавіш - визначається послідовність тонів, модульна композиція синтезу, як правило, більш орієнтована на секвенсер.

Функціональність традиційного синтезатора обмежується тим, що знаходиться всередині, а от за допомогою модульного, ми будемо з'єднання кожного разу, коли використовуємо його, це означає ми створюємо новий

синтезатор кожного разу, коли ми створюємо патч, що і є творчим процесом навчання.

Традиційний синтезатор готовий видавати звук при його покупці. Модульні синтезатори вимагають від нас трохи більше роботи: сигнали проходять між компонентами за допомогою спеціальних кабелів патчів, і ми вирішуємо, яким буде шлях сигналу.

Об'єкт дослідження – проектування стенду-модульного синтезатора.

Предмет дослідження – аналоговий синтез звуку.

Мета – розробка навчального стенду для вивчення різноманітних модулів, як складових блоків синтезаторів звуку.

Завдання дослідження – в процесі дослідження вирішувалися наступні завдання:

1. Аналіз основних схем складових блоків синтезаторів звуку.
2. Дослідити та здійснити аналіз проблем при розробці блоків синтезаторів звуку.
3. Дослідити та здійснити оцінку по основним патчам – схемам з'єднань модулів синтезаторів звуку.
4. Розробка моделі стенду синтезатора звуку.

Наукова новизна – розроблено модель стенду модульного синтезатора звуку.

Практична значущість. Основні результати магістерської роботи можуть бути використані при розробці навчальних стендів та готових модульних синтезаторів.

Апробація результатів магістерської роботи: Основні положення і результати магістерської роботи доповідались і обговорювались на I Всеукраїнській науково-технічній конференції «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу».

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Історія звукового синтезу

Людство завжди намагалося фіксувати і зберігати в пам'яті різні історичні події, емоції, настрої для того, щоб потім передавати іншим ці набуті знання. Внаслідок цього з'явилися книги, гравюри, карти, але все ще не було можливості зберігати та передавати емоції та настрої на відстані. Для цього розвивалися різні музичні інструменти – як перетворювачі коливань повітря, натягнутих струн, натагнутої шкіри тварин – в звукові коливання.

І з подальшим розвитком цивілізації настав час появи нових музичних інструментів, що створюють звуки синтетично.

Мета даної роботи дослідити історію появи синтезаторів звуку, дослідити складові елементи типового синтезатора звуку та створити діючий фізичний макет з базовими модулями, що повинні мати можливість комутації між собою.

Унікальність роботи - даний макет допоможе на практиці ознайомитися з принципами побудови синтезаторів звуку та поглибити розуміння процесу саунддизайну.

Наразі існує безліч програм емуляторів, які дозволяють відтворити ті чи інші складові синтезатора звуку та в межах даної програми імітувати з'єднання між окремими модулями, наприклад VCV Rack [12] (Рис.1.1). Компанія VCV була заснована Ендрю Белтом у 2016 році в Теннессі, США. Її флагманський продукт VCV Rack був випущений 10 вересня 2017 року на Knobson після двох років розробки. Він базувався на неопублікованій модульній аудіосистемі C++, написаній Ендрю в 2012 році. VCV співпрацює з Grayscale для розробки плагіна Fundamental, комерційних модулів VCV і дизайну інтерфейсу користувача Rack.

Також існує безліч вже готових синтезаторів звуку як от музичних інструментів, готових до використання з коробки, але, на жаль, немає реальних доступних діючих макетів, на основі яких можливо пересічному користувачеві,

музиканту, студенту перевірити та дослідити взаємодію складових модулів синтезатора звуку на практиці.

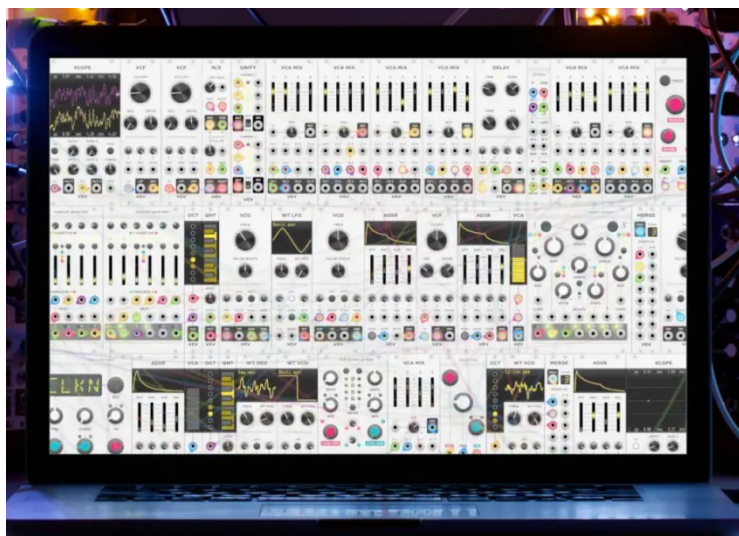


Рисунок 1.1 - VCV Rack.

Звуки відтворені на аналоговому чи цифровому носії можна розділити на такі, що записані за допомогою засобів перетворення звукових коливань в електричні (мікрофонів), та звуки, що синтезовані без процесу запису на носій.

Синтез звуку можна визначити як створення звуку, який виникає в електронному вигляді за допомогою аналогової чи цифрової схеми.

Історія інструментів, які створювали звуки синтетично, починається у 19 столітті. Першим можна вважати електрогармонійний телеграф Еліша Ґрея [11,13,14], який запатентований у 1876 році. Даний прилад генерував звуки від коливальних контурів, керованих клавішами, схожими на фортепіано - було дано кілька публічних концертів (рис.1.2).



Рисунок 1.2 - Електрогармонійний телеграф

У 1895 році Тадеус Кехілл розпочав розробку Телгармоніуму [11,13,14] - 200-тонної системи електричних динамо-машин (рис.1.3). Система генерувала синусоїдні сигнали яких відтворювалися та транслювалися через телефонні дроти. Телгармоніум був встановлений в Телгармоніум-Хол, так і в деяких готелях. Незважаючи на комерційну невдачу, інструмент мав величезний вплив на музичне мислення піаніста/композитора Ферруччо Бузоні, а також на концепцію Едгарда Вареза про «звільнення звуку» через твори Бузоні, зокрема його «Начерк нової естетики музики».

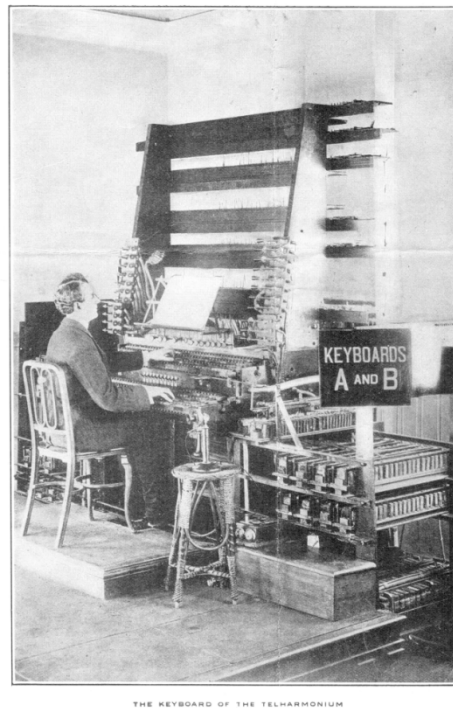


Рисунок 1.3 - Телгармоніум Тадеуса Кехілла

У 1906 році Лі Де Форест винайшов тріодну вакуумну лампу- Audion. (Рис.1.4).

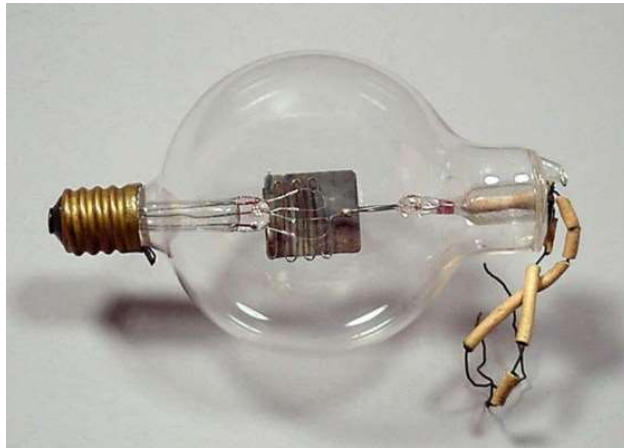


Рисунок 1.4 – Audion

Лі Де Форест визнав, що лампа може використовуватись не тільки для бездротового радіо, підсилення та, а також для генерування звукового сигналу. Де Форест продемонстрував глядачам Аудіон [11,13,14] у 1915 році. Audion визнано однією з перших спроб використання електроніки для створення музики. Примітно, що Де Фореста, прийнято також вважати "батьком" електронної трубки. Так з'явився клавіатурний інструмент – Audion Piano. (Рис1.5). Винайдений у 1915 році, простий клавіатурний інструмент Де Фореста використовував електронні труби в ланцюжках, які називаються "осциляторами", які виробляли електромагнітні хвилі на певній частоті. Хвилі були подані гучномовцю, щоб зробити їх чутними.

У піаніно Audion кожна "октава", або набір з восьми нот на клавіатурі, мала одну електронну трубку, присвячену їй, так що за раз можна було відтворювати лише одну ноту на октаву. Отже, хоча аудіо піаніно не могло грати звичайні акорди (додаткові набори клавіш), як звичайне піаніно, воно виробляло деякі цікаві музичні звуки. Насправді, оскільки хвиля коливань може бути модифікована так, щоб підібрати гравця, піаніно може виробляти багато різних видів звуків. Де Форест описав звук піаніно як "нагадування скрипки, віолончелі, дерев'яного вітру, приглушеної латуні", або навіть як абсолютно новий звук, який ніколи раніше не був можливим з звичайними інструментами.

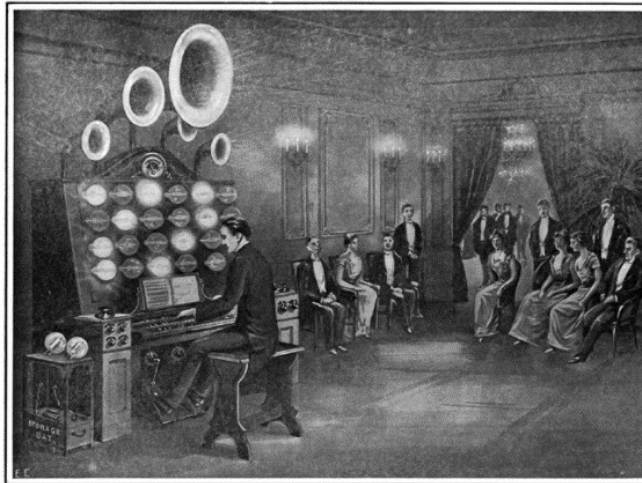


Рисунок 1.5 - Audion Piano

У 1922 році Леон Термен розробив Терменвокс [11,13,14] (рис.1.6). Використано властивість гетеродинування - отримання різницевих тонів із надвисокочастотних сигналів. Конструкція складається з коробки з двома металевими антенами які створюють електромагнітне поле. Музикант стоїть перед інструментом і рухає руками в близькості двох антен, створюючи конденсатор між його руками і антенами. Ємність електромагнітного поля змінюється на відстань між гравцем і інструментом. Верхня антена контролює висоту тону, тобто змінює частоту генератора. Коли права рука наближається до антени, висота стає більшою. Коли рука віддаляється від неї, висота знову опускається. Маленькі, швидкі рухи правої руки можуть створити вібрато. Інша антена контролює гучність. Отже, ліва рука відповідає за динаміку та

артикуляцію.

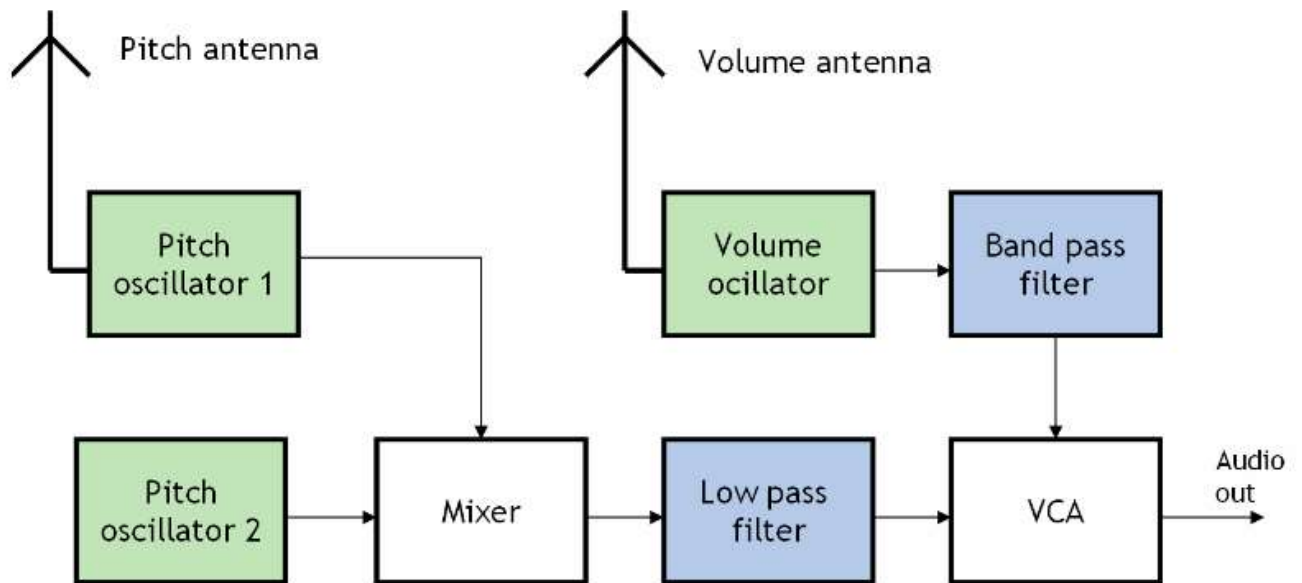


Рисунок 1.6 - Терменвокс

У 1945 році Ле Кейн побудував Electronic Sackbut [11,13,14] (рис.1.7). Це був перший синтезатор, керований напругою. На відміну від електромеханічних інструментів, таких як орган Гаммонда (з яким був знайомий Ле Кейн), Electronic Sackbut використовував зовсім інший метод генерації звуку та контролю, відомий як контроль напруги. Пізніше цей метод став стандартним підходом в електронній музиці. Оскільки він був піонером цієї техніки, Sackbut вважається першим синтезатором. Electronic Sackbut видавав лише одну ноту за раз, але його системи контролю цього єдиного звуку були надзвичайними: клавіатура була чутлива до вертикального тиску, тож зміна тиску викликала зміни гучності, а також вона була чутливою до боків, так що рух із боку в бік

викликав ледве помітні (або різкі) ковзаючі зміни у висоті звуку. Поки права рука грала на клавіатурі, вибираючи ноти та контролюючи гучність і вібрато, ліва рука керувала інноваційним пристроєм керування формою хвилі, який міг постійно змінювати чотири різні аспекти текстури звуку. Саме за цю універсальність у висоті та тембрі Ле Кейн назвав свій інструмент sackbut, на честь предка сучасного тромбона, що датується епохами Відродження та Бароко.



Рисунок 1.7 - Electronic Sackbut

У 1955 році було побудовано перший повністю інтегрований ламповий синтезатор Columbia-Princeton RCA Mark II Electronic Music Synthesizer [11,13,14] (Рис.1.8). Даний музичний інструмент вже міг оперувати такими параметрами, як: висота тону, тембр, огинаюча, фільтр.

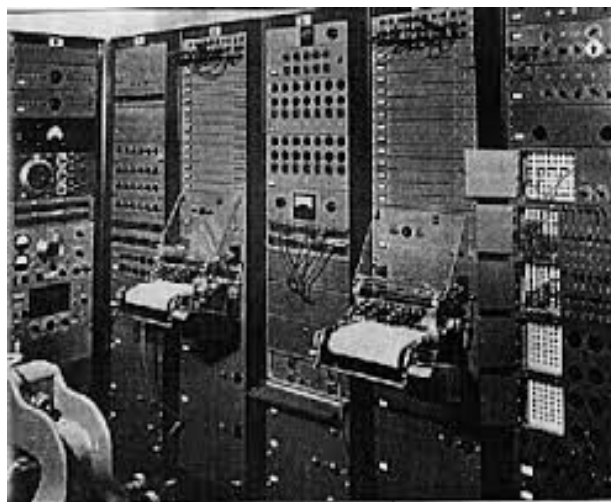


Рисунок 1.8 - Синтезатор Columbia-Princeton RCA Mark II Electronic Music Synthesizer

У 1960-х роках Роберт Муг [11,13,14] зробив синтез, керований напругою, доступним для багатьох університетських студій випустивши серію автономних модульних інструментів. (Рис.1.9).



Рисунок 1.9 – Синтезатори розроблені Робертом Мугом.

Історія успіху Роберта Муга, який народився у Флашингу, штат Нью-Йорк, у 1934 році, починається з абсолютно іншого інструменту: Themerin. Розроблений росіянином Левом Терменом, інженер-електрик Роберт Муг також дізнався про безконтактний інструмент наприкінці 1940-х років. Муг вивчав фізику та електротехніку, але завжди цікавився музикою. Коли він виявив Themerin, він написав статтю для професійного журналу і незабаром запропонував свої перші набори, перш ніж вони з батьком почали масове виробництво Themerin 1954 році.

Через десять років Роберт Муг познайомився на шкільному музичному ярмарку з авангардним композитором Гербертом Дойчем, який був одним із перших художників, які спробували електронну обробку звуків. У той час це означало трудомісткий процес гри на скрипці, під час якого звуки змінювалися

в електронному вигляді, але потім могли бути оброблені лише шляхом повторного дубляжу стрічок. У результаті Дойч шукає простіший і швидший метод, і Муг одразу його розуміє.

Того ж року вони двоє розробили перший синтезатор Моог, замінивши електронну лампу транзистором і таким чином створивши зручніший пристрій, ніж усі попередні розробки електронного музичного інструменту. Синтезатор все ще розміром з настінний блок, на якому прикріплено незліченну кількість транзисторів, фільтрів, генераторів і підсилювачів. Що особливого: клавіатура - звуки створюються вже не постійним, майже незрозумілим переставлянням, а грою на клавіатурі. Ніхто ніколи раніше не чув шумів, створюваних різним чином модифікованими електричними коливаннями. Вони звучать по-іншому і нагадують майбутнє – відповідне космічній ері, яка тільки починається.

Незабаром після цього Герберт Дойч використав пристрій для свого першого живого концерту з New York Improvisation Quartet. У той же час Муг створив Moogtonium разом з композитором Максом Брандом. Чотири роки потому Вальтер Карлос інтерпретував музику композитора Йоганна на Альбом Switched-On Bach Себастьян Бах використав синтезатор Моог таким новим способом, що альбом майже три роки залишався на першому місці в чартах класичної музики Billboard. У тому ж році Джордж Гаррісон з колективу «The Beatles» також використовував Моог для свого альбому Electronic Sound, а трохи пізніше синтезатор можна почути також у творах Since і Here Comes The Sun з альбому його групи Abbey Road .

Також на початку 1960-х років Дональд Бухла [11,13,14], тісно співпрацював з Мортоном Суботніком і музичним центром San Francisco Tape, та створив власний модульний синтезатор. Одного разу Дону спало на думку побудувати інструмент, насправді призначений для виконання електронної музики. Він створив систему «Modular Electronic Music System» (1963) (рис.1.10).

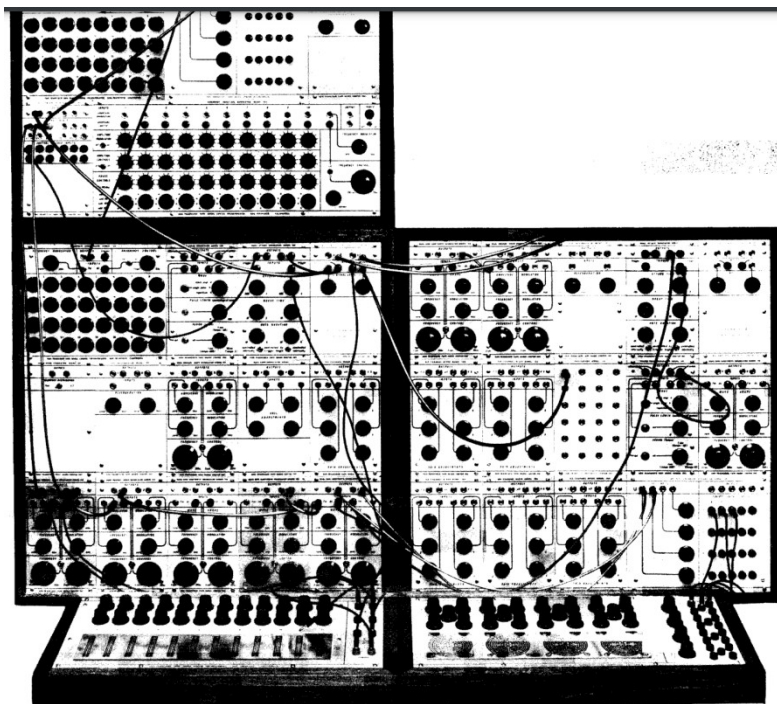


Рисунок 1.10 – «Modular Electronic Music System».

А через кілька років (1970) — «Electric Music Box» (рис.1.11).



Рисунок 1.11 – «Electric Music Box».

Мінікомп'ютери стали доступними, і Дон побудував перший гібрид (цифрово керований аналоговий синтезатор) - серія 500 (1971) (рис.1.12).



Рисунок 1.12 – «серія 500».

Для своїх друзів, що грають на клавіатурі, Дон створив Touché (1978) (рис.1.13).



Рисунок 1.13 – «Touché».

Завдяки Дональду Бухла та Роберту Мугу з'явилася низка невеликих, доступних клавішних інструментів із можливістю поліфонії – одночасному звучанні декількох нот.

Починаючи з середини 70-х років стали популярними гібридні інструменти, що мали можливість перетворення цифрового сигналу в напругу для зберігання послідовностей напруги, які можна було застосувати до висоти тону, фільтрів або будь-якого входу керування напругою.

Цікавість до настроюваних аналогових і гібридних модульних синтезаторів повертається в Європі з системами Euro rack, а десятки компаній і винахідників створюють все більше і більше типів модулів, що ніколи не існувало.

«Euro rack» відноситься до стандартизованого формату для створення модулів для модульних синтезаторів, які сумісні один з одним. Формат Euro rack (рис. 1.14) був представлений світові в 1996 році компанією Doerfer Musikelektronik [15] з Німеччини, і в наступні роки його поступово перейняли інші виробники.



Дітер Допфер

Рисунок 1.14 – «Euro rack».

Зараз існує кілька сотень компаній із серіями модулів і власною філософією продукту.

Дана тенденція зацікавленості до модульного синтезу звуку також прослідковується на території України, єдиний чинник (головний на мою думку), що стримує розвиток модульного синтезу звуку в Україні – це вартість готових промислових модулів, що занадто висока для пересічного користувача. Наприклад навіть базовий промисловий набір для самостійної збірки, для дослідження модульного синтезу коштує від 500 євро, що є зависоко для пересічного українського споживача.

Так наприклад компанія Erica Synth [16] з Латвії пропонує навчальний набір mkixes.EDU DIY System (рис.1.15).



Рисунок 1.15 - mki x es.EDU DIY System

1.2 Постановка завдання магістрської роботи

Враховуючи представлені вище чинники, єдиним способом дослідження в Україні – є самостійне виготовлення стенду синтезатору звуку.

Перший етап – дослідження методів синтезу звуку [1,2,6,10]. Зараз існує два види синтезу звуку Субтрактивний (принцип вирізання) та Адитивний (принцип додавання).

У субтрактивному синтезі генератор VCO зазвичай знаходиться на початку звукового ланцюга. Вихідний сигнал VCO потрапляє на фільтр VCF. Фільтр VCF «віднімає» або змінює частоти в спектрі.

Адитивний синтез ґрунтується на використанні декількох VCO, з'єднаних разом, кожен з яких зазвичай генерує синусоїдальний тип сигналу, а їх вихідні сигнали підсумовуються, щоб створити тембр з нуля.

Обидва методи все ще широко використовуються в програмах цифрового синтезу, та буде продемонстровано в даній роботі.

Другий етап – проектування блок-схеми (рис.1.16). базового синтезатору звуку(з можливістю реалізації різних комбінацій з'єднань – патчів), проектування типів основних модулів , вибір схеми живлення, вибір типових розмірів модулів та самого стенду.

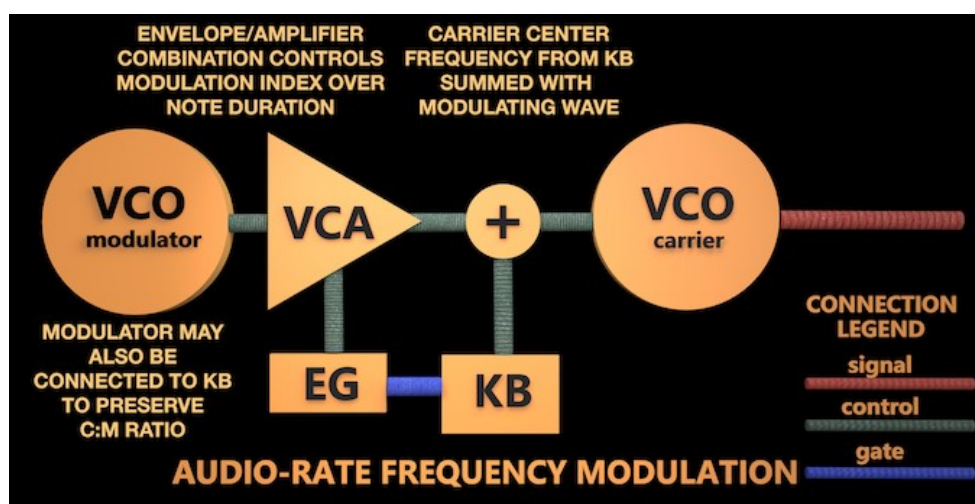


Рисунок 1.16 - блок-схема базового синтезатору звуку (типовий патч)

Було взято за основу розміри модулів формату Euro rack [17], так як на сьогоднішній момент це самий компактний форм-факторв даному сегменті: розміри передньої панелі вказано в U та HP. Один U або німецькою мовою HE (höhen einheit) дорівнює 1,75 дюйма, що відповідає 44,45 мм.

Висота панелей становить 5,25 дюйма (133,35 мм) за вирахуванням припуску на монтажний фланець рейки.

Деталі конструкції системи Euro rack показано на (рис.1.17).

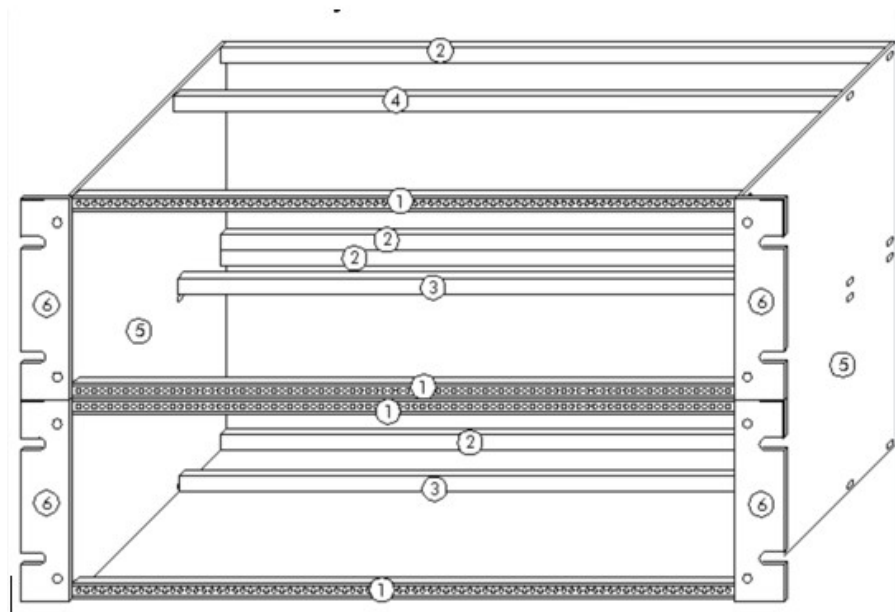


Рисунок 1.17 - Деталі конструкції системи Euro rack

Стелажна система бНУ складається з наступних компонентів:

- (1) передня рейка версія 1 (з кромкою), з різьбовими вставками (для монтажу модуля)
- (2) передня рейка версія 1 (з губою), з ковзними гайками (для кріплення задніх кришок)
- (3) версія передньої рейки 2 (без кромки), з ковзними гайками (для кріплення до шини)
- (4) передня рейка версії 2 (без губи), лише для підвищення стабільності
- (5) бічна пластина

(6) 19" монтажний фланець

Стандартний блок живлення повинен видавати напругу +12 В і -12 В і повинен видавати максимальний струм, що перевищує сумарний струм споживання всіх модулів разом.

Третій етап - проведення дослідження проектів на таких ресурсах як github, Youtube, та персональні сайти розробників окремих модулів, що викладають принципові схеми для загального використання.

Дослідивши типовий набір [3,4,7,18] було виділено наступні базові модулі, які мають бути основними в стенді:

1. Секвенсор – модуль генерації послідовності керуючих значень напруги.
2. VCO (Voltage controlled oscillator) Генератор керований напругою – генератор сигналів звукової частоти
3. MIXER – Змішувач сигналів
4. VCF (Voltage controlled filter) - Фільтр керований напругою
5. VCA (voltage controlled Amplifier) – підсилювач керований напругою
6. Генератор шуму
7. Envelope – генератор огибаючої.
8. CLOCK SYNC LFO (Low Frequency Oscillator) - генератор наднизької частоти з можливістю синхронізації від зовнішнього джерела тактової частоти на базі Arduino nano.

Четвертий етап – виготовлення стенду (рис. 1.17а).

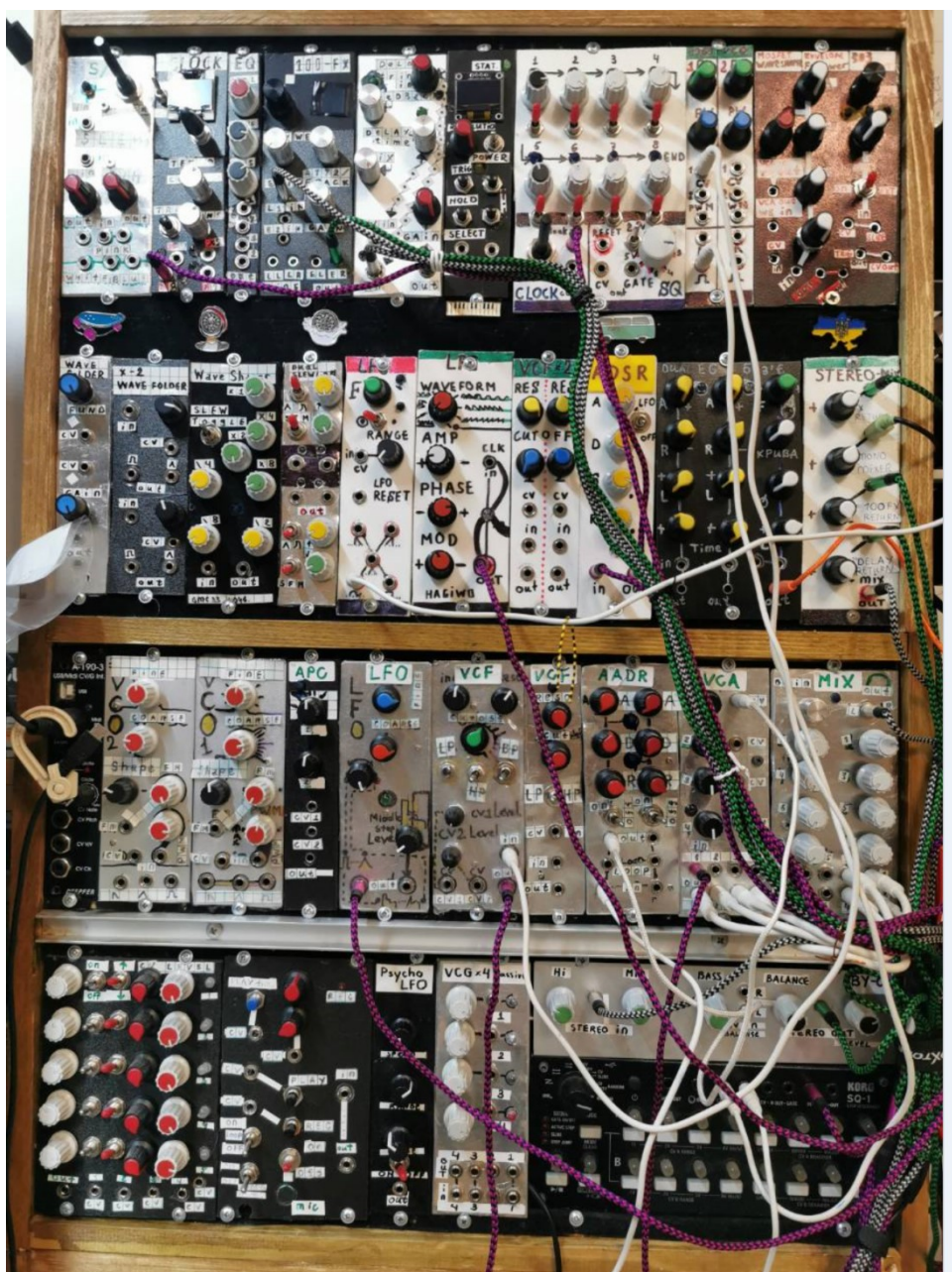


Рисунок 1.17а – стенд модульного синтезатора звукової частоти.

П'ятий етап – демонстрація роботи стенду, створення типових патчів.

2 ОСНОВНІ МОДУЛІ РОЗРОБЛЕНОГО РІШЕННЯ

2.1 Секвенсор

Секвенсор [3,4,7,18,19] (рис.2.1). – модуль генерації послідовності керуючих значень напруги, та сигналів Gate. Контрольна напруга CV - це напруга, яка використовується для керування певним параметром модуля синтезатора. Наприклад VCO генератор має декілька входів контрольної напруги.

Контрольна напруга CV, що походить від секвенсера, часто використовується для контролю висоти тону VCO генератора - чим вища напруга керування – тим вища висота тону (частота генератора).



Рисунок 2.1 - Секвенсор

CV-послідовність – це ряд дискретних рівнів напруги (рис.2.2).

Як працює – кожному значенню з послідовності можливо задати значення напруги за допомогою потенціометра в діапазоні від 0 до 5В (або від 0 до 2.5В,

якщо переключено відповідний тумблер зміни діапазону). Під кожним кроком послідовності є також тумблер вимкнення напруги, що дає можливість вимикати «звучання» керованого секвенсором VCO генератора.

Для запуску зміни послідовності рівнів напруги секвенсора необхідно на його вхід подати сигнал від генератора тактової частоти Clock (рис.2.2). Такий генератор є або вбудованим в секвенсор, або передбачається вхід тактової частоти Clock in від зовнішнього генератора тактової частоти. Також передбачено вихід Clock out для передачі сигналу тактової частоти на інші модулі.

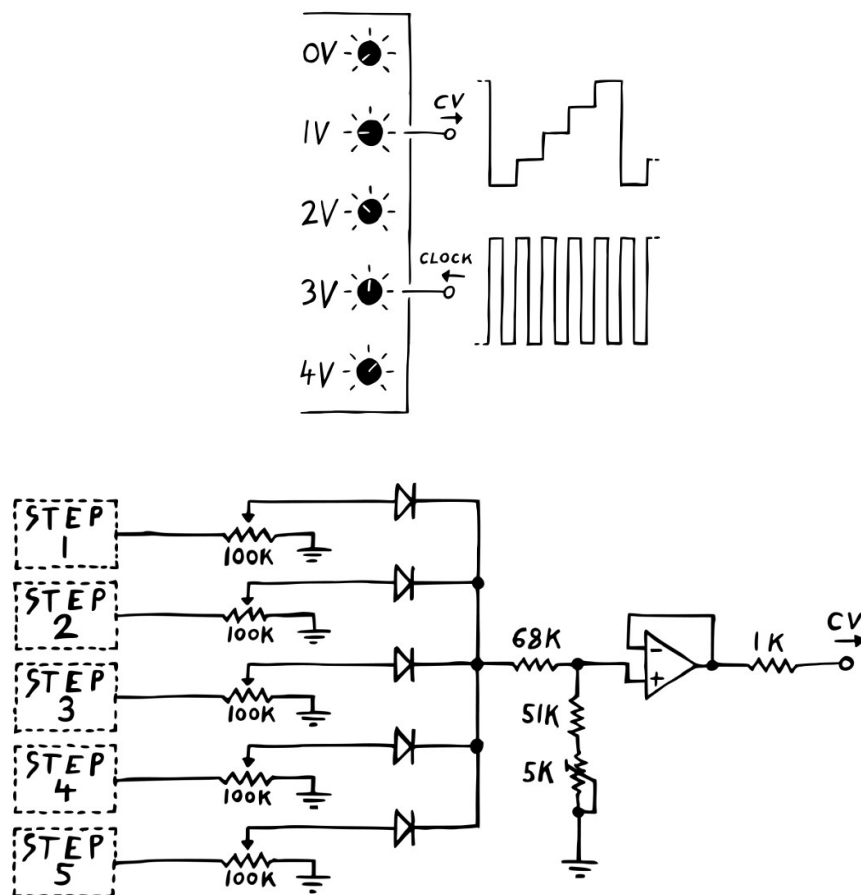


Рисунок 2.2 – CV, Clock.

Також передбачено вхід Reset для скидання послідовності в початкове положення, що відповідає першому кроку послідовності.

Сигнал Clock - це квадратна хвиля, що з'являється і зникає у стабільному темпі. Секвенсор буде переходити до наступного кроку кожного разу, коли сигнал Clock змінює значення від 0В до +5В (або від значення по напрузі „низький" до „високий"). Швидкість вихідної послідовності – це як швидко відбувається перемикання з кроку на крок. Після проходження останнього кроку послідовність почнеться спочатку, що дає нескінченну восьми ступінчасту петлю.

Сигнал Gate, на виході Gate out – це напруга, що йде від низького до високого значення і назад до низького - це по суті цифровий сигнал. Значення GATE ON – напруга є, GATE OFF – напруга відсутня. За допомогою Gate out сигналу можливо керувати: VCF (Voltage controlled filter) - Фільтром керованим напругою, VCA (voltage controlled Amplifier) – підсилювачем керованим напругою, Генератором огинаючої, відповідно вмикати або вимикати проходження аудіо сигналу через керовані модулі.

Фактично на виході секвенсора ми отримуємо два типи сигналу CV та Gate, що дозволяє додати ритм (Gate) і динаміку (CV) до налаштованої послідовності (мелодії). (рис.2.3).

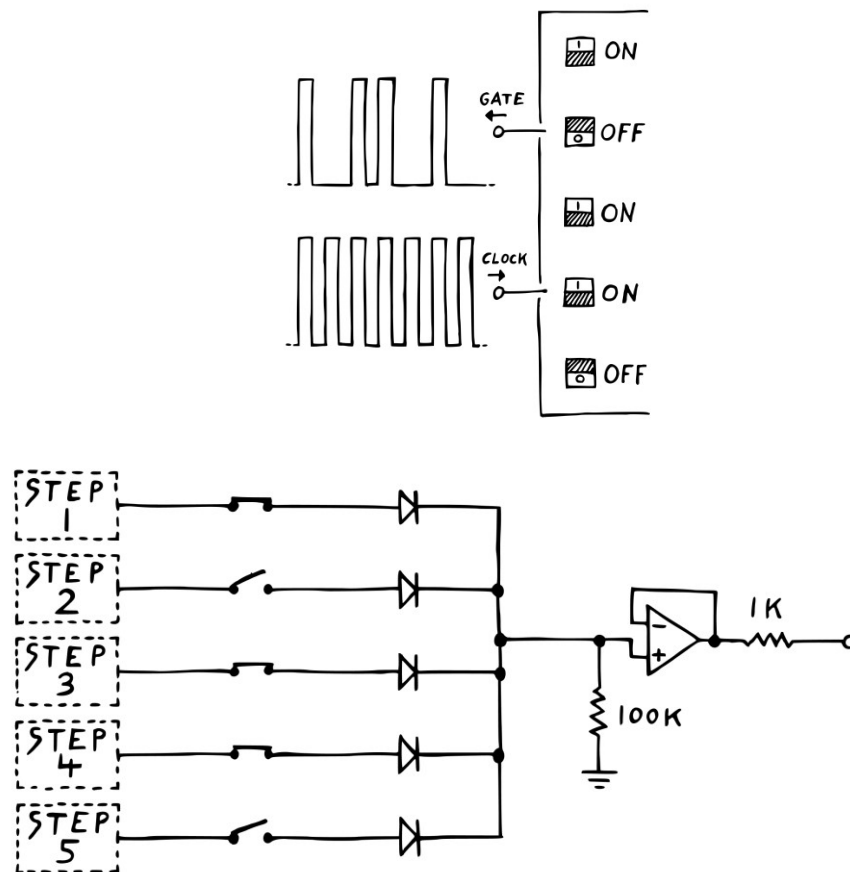


Рисунок 2.3 – Gate, Clock in.

2.2 Генератор керований напругою

Осцилятор, керований напругою [3,4,7,18,19] (VCO) - це пристрій, який створює такий коливальний вихідний сигнал, частоту якого можна регулювати або змінювати вхідною напругою постійного струму.

Іншими словами, ми можемо сказати, що VCO генерує вихідний сигнал, що має регульований діапазон частот, який контролюється вхідною напругою постійного струму. Це тип осцилятора, в якому отримана вихідна частота є функцією вхідного сигналу.

VCO може бути у формі LC коливального контуру, кристалічного генератора, RC генератора або мультивібратора.

Для генератора типу RC частота задана як,

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

У випадку генератора типу LC частота вказана як,

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Таким чином можна побачити обернену залежність між f і C .

Тому будь-яке збільшення керуючої напруги призведе до зменшення ємності. Це зменшення ємності призведе до збільшення частоти системи.

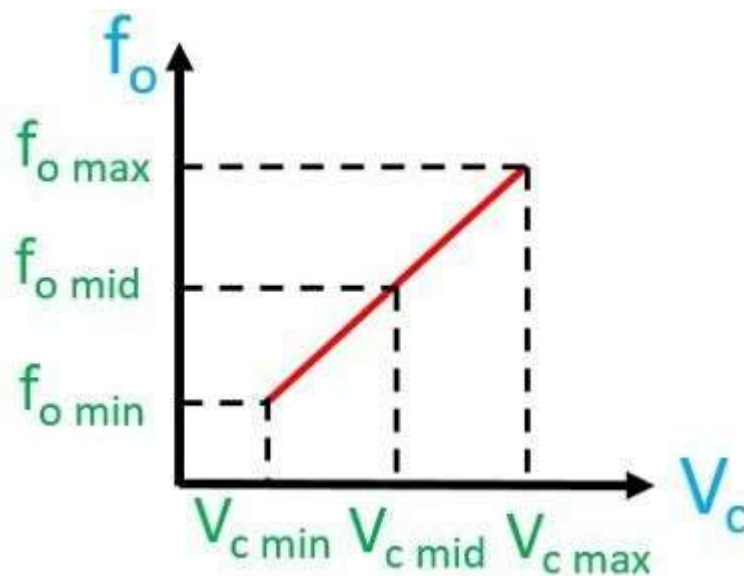


Рисунок 2.4а – залежність ємності та напруги.

При збільшенні керуючої напруги частота генератора збільшується. У VCO генератор працює на своїй звичайній частоті при застосуванні номінальної керуючої напруги V_c . Частота осцилятора зростає зі збільшенням V_c вище номінального і зменшується зі зменшенням V_c нижче номінального. Отже, щоб мати змінну напругу в основному, використовуються варактори.

VCO категорії

- Лінійний VCO або гармонічний генератор

У цьому типі осциляторів для забезпечення синусоїдальної форми сигналу використовуються ланцюги LC коливального контуру. Його робота полягає в тому, що ємність варакторного діода змінюється залежно від напруги на діоді.

Таким чином, ємність системи LC змінюється через варактори, що в кінцевому підсумку викликає зміну частоти. Ця категорія генераторів забезпечує набагато кращу частоту шуму та температурну стабільність.

- Осцилятор релаксації

Ця категорія сигналу генерує трикутну або пилкоподібну форму сигналу. Цей тип в основному показує його застосування як нестабільний мультівібратор або тригер Шмітта. Необхідно застосовувати схеми стабілізації температури.

Застосування VCO

- Використання в генераторах функцій.
- VCO є елементарним будівельним блоком контурів фазового автопідстроювання частоти.
- У техніках частотної маніпуляції.
- В частотній модуляції.
- В тон-генераторах.

Широкий діапазон робочих частот забезпечується релаксаційним генератором.

В роботі побудовано VCO (Voltage controlled oscillator) генератор керований напругою – генератор сигналів звукової частоти - має 3 виходи звукових сигналів: сигнал типу «Зуб», прямокутний сигнал, Трикутний сигнал.

На рисунку зображено два ідентичних модулі (рис.2.4б).



Рисунок 2.4б – 2 модулі VCO

Генератор має два потенціометри Fine (точно) та Coarse (грубо) налаштування Частоти в Діапазоні від 20 Гц до 20000 Гц, є також можливість відхилення в Ультразвуковий та інфразвуковий діапазони (така функція дозволяє використовувати VCO як LFO), також передбачено вхід для CV сигналу зовнішнього керування параметрами Fine (точно) та Coarse (грубо).

Для звукової хвилі типу прямокутний імпульс – є можливість регулювати ширину імпульсу потенціометром Shape (видозміна), також є вхід для CV сигналу зовнішнього керування параметром Shape.

Генератор має вхід частотної модуляції FM-in з можливістю регулювання опору по входу, для частотної модуляції сигналу VCO зовнішнім джерелом сигналу.

Остаточна схема представлена на рисунку (рис. 2.5).

Питання стабілізації частоти VCO генераторів актуальне з моменту створення аналогових синтезаторів звуку, на даний момент існують різні методи запобігання дрейфу частоти:

1. Термостабілізація коливального контуру - найпростіший але не самий оптимальний (саме цей метод обраний в даній роботі для виготовлення аналогових VCO модулів).

2. Цифрова стабілізація разом з термостабілізацією - досить ефективний метод але складний в реалізації (Не використовується в даній роботі)

3. Використання DCO (Digital controlled oscillator) - використання цифрових образів аналогових сигналів, або “віртуал-аналогові рішення” - самий точний метод отримати стабільний сигнал на виході (Не використовується в даній роботі, так як це є фактично цифрове відображення аналогово сигналу).

Так як будь-який коливальний контур є чутливим до зміни температури навколишнього середовища, що призводить до плавного дрейфу напруги, що в свою чергу призводить до плавного дрейфу частоти VCO генератора в цілому - на етапі розробки приділено увагу термостабілізації коливального контуру “діод - тригер Шмідта” [9].

Всі елементи коливального контуру та терморезисторів 10К розміщені в безпосередній близькості один до одного та залито термопастою. Таким чином дана система реагує на зміну температури навколишнього середовища повільніше . Також використання терморезисторів 10К на схемі запобігає дрейфу частоти коливального контуру модуля VCO.

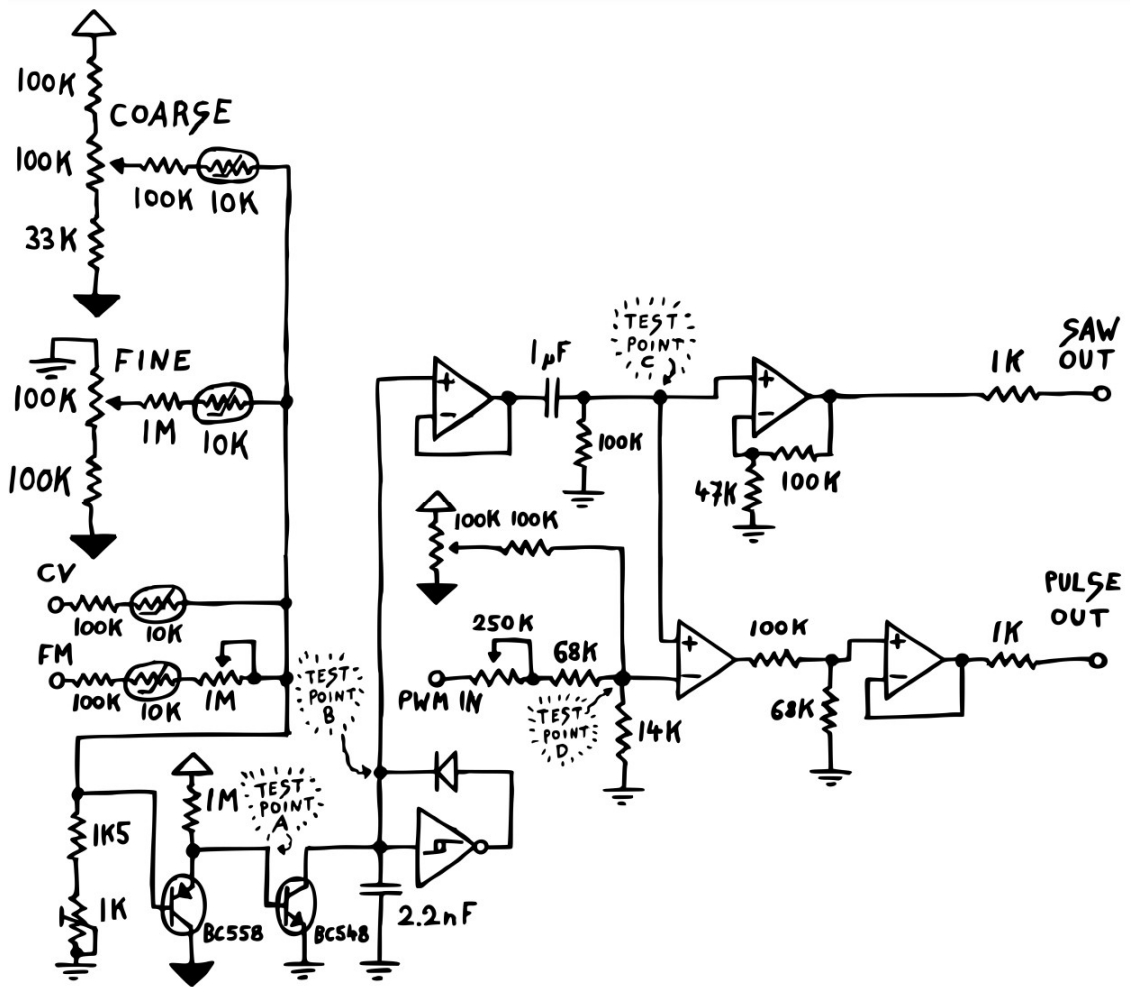


Рисунок 2.5 – Принципова схема генератора VCO.

2.3 Змішувач звукових сигналів

Міхер [3,4,7,18,19] – змішувач звукових сигналів, що має $1+N$ входів з окремим регулюванням затухання на кожному вході, та один вихід з регулюванням підсилення Gain (рис. 2.6) та інвертованим виходом.



Рисунок 2.6 – Міксер – змішувач сигналів.

Змішування - корисна функція в модульному синтезаторі. Дозволяє одночасно виводити на підсилювач два і більше сигналів від VCO генераторів, або VCF фільтрів. Одночасне звучання декількох генераторів дає можливість збагатити додатковими тембрами вихідний сигнал синтезатора. Принципова схема змішувача сигналів показана нижче (рис.2.7).

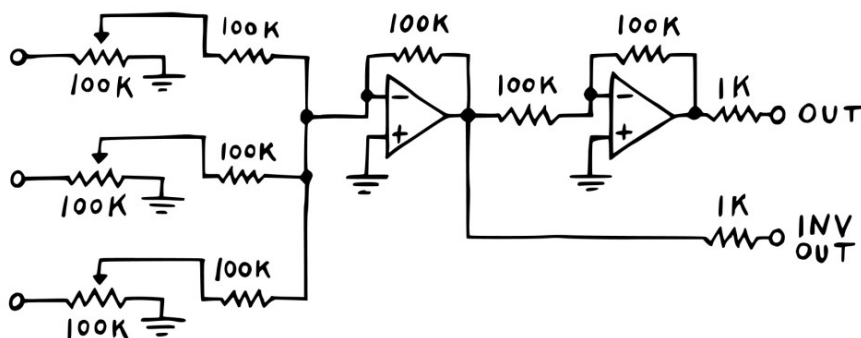


Рисунок 2.7 – принципова схема змішувача сигналів.

2.4 Фільтр керований напругою

VCF (Voltage controlled filter) - Фільтр керований напругою (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Фільтр керований напругою

Задача фільтра керованого напругою [3,4,7,18,19] вирізати небажані частоти та виділяти частоти, що необхідно. Базові параметри будь-якого фільтру є : частота зрізу Cutoff, резонанс Resonance, підсилення Gain, та режим роботи, що переключаються за допомогою перемикачів (LP – пропускання низьких частот Low Pass, BP – пропускання смуги частот Band Pass, HP – пропускання високих частот High Pass) (рис.2.9a).

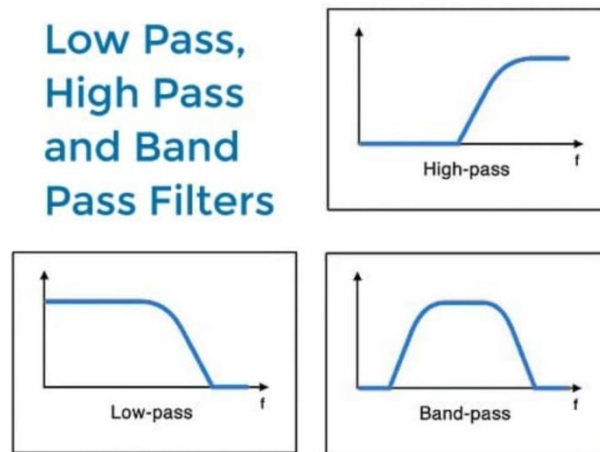


Рисунок 2.9а – режими роботи фільтра керованого напругою.

Фільтр низьких частот low pass filter пропускає (дозволяє) частоти нижче певної точки, відомої як частота зрізу. Частоти вище граничної частоти блокуються. Цей фільтр дозволяє усунути високий рівень сигналу або позбутися гармонік.

Смуговий фільтр band pass filter пропускає частоти навколо граничної частоти, але блокує ті, що знаходяться вище та нижче. Він пропускає лише вузьку смугу частот. Це корисно, якщо ви намагаєтеся виділити певну частоту.

Фільтр високих частот high pass filter пропускає частоти вище граничних частот і блокує нижчі. Це дозволяє вирізати низький рівень сигналу або пропускати лише гармоніки.

Дані властивості фільтрів використовують також при обробці сигналів звукової частоти, згенерованими генераторами VCO.

У фільтра є Вхід IN, вихід OUT. Також є можливість керувати інтенсивністю параметру Cutoff (зміна ширини смуги зрізу частоти).

Частота зрізу

Наведені вище описи є лише узагальненнями; сигнали зазвичай не повністю пропускаються або блокуються по обидва боки від частоти зрізу.

Коефіцієнт посилення фактично починає зменшуватися, а потім поступово падає. Давайте розглянемо фільтр низьких частот як приклад:

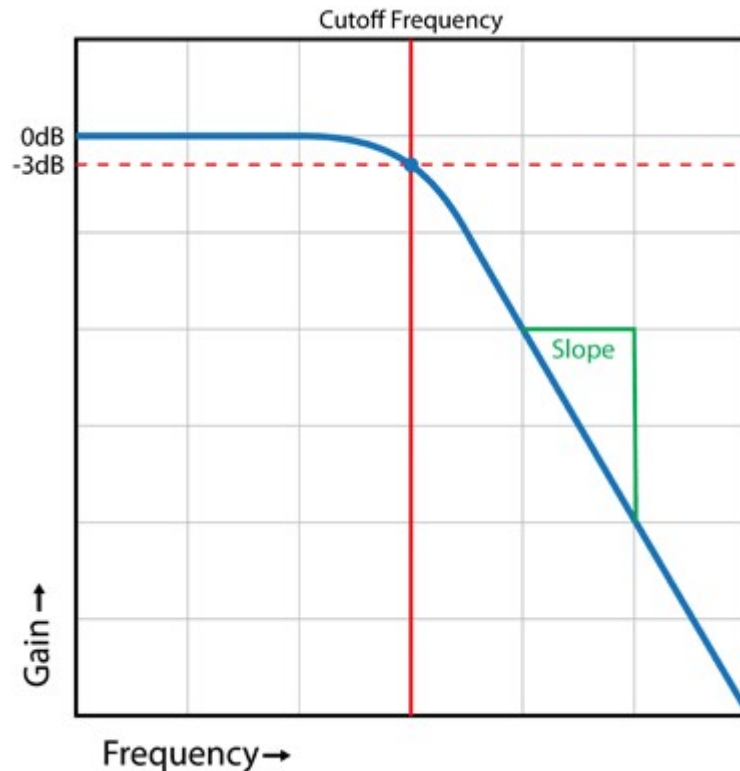


Рисунок 2.96 – режими роботи фільтра керованого напругою - Схил.

Гранична частота не є точкою, де фільтр починає впливати на посилення. Це точка, де посилення становить -3 дБ (половина).

Частоту зрізу можна регулювати майже на всіх VCF за допомогою ручки або контрольної напруги. Фільтр можливо використовувати для створення більш динамічних звуків. Можливо, щоб частота зрізу була досить високою, коли вперше грається нота, а потім вона падає, коли нота утримується. Це дає ноту, яка стає яскравою під час першого удару та стає більш тьмяною з часом, так само як і на багатьох акустичних інструментах під час гри на них.

Схил

Швидкість, з якою посилення падає після вигину на частоті зрізу, відома як нахил фільтра. Як правило фільтр має характеристики нахилу, як 12 дБ/октаву або 24 дБ/октаву. Це означає, що кожного разу, коли частота

подвоюється (підвищується на октаву), посилення падає на 12 або 24 дБ відповідно.

Іноді нахил описують у «полюсах», де кожен полюс дорівнює 6 дБ. 2-полюсний фільтр матиме нахил 12 дБ/октаву, 4-полюсний фільтр матиме нахил 24 дБ/октаву тощо.

6 дБ – це не дуже крутий схил для фільтра. Його можливо використовувати, щоб зробити свій звук яскравішим або каламутнішим, але насправді він не обрізає жодні частоти настільки, щоб їх не чути зовсім.

12 дБ відфільтрує більшу частину звуку, але все одно можна чути його частину.

24 дБ – це досить круто. Ви можете використовувати 4-полюсний фільтр, щоб зменшити небажані частоти до точки, де ви їх не помітите.

Резонанс

Збільшення регулятора резонансу (або збільшення напруги керування) на фільтрі підвищує частоти прямо біля частоти зрізу. Він також має тенденцію послаблювати нижні частоти (деякі фільтри компенсують це, щоб не втрачати низькі частоти, коли посилюється резонанс). Ширина піку, де частоти підвищуються, називається «Q».

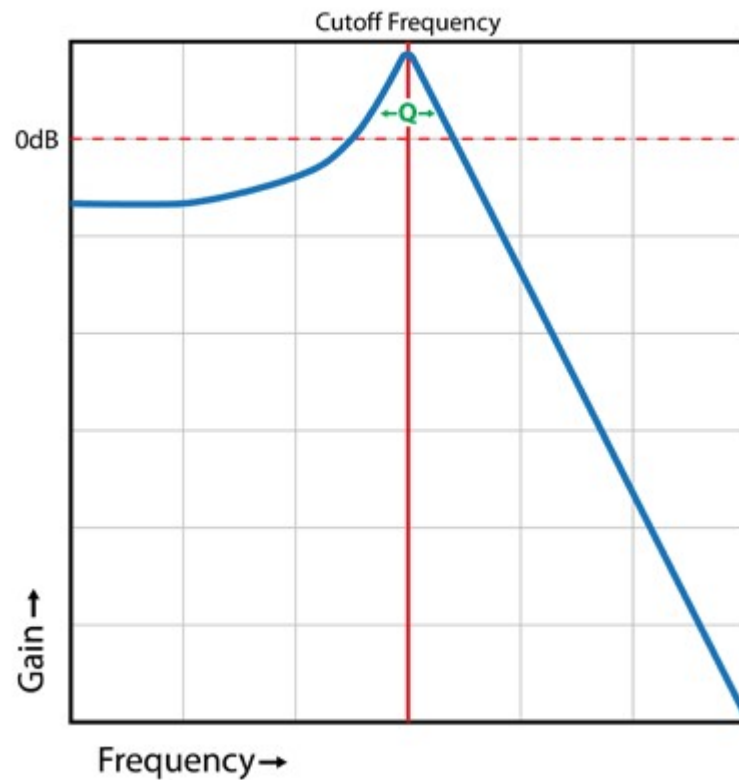


Рисунок 2.9с – режими роботи фільтра керованого напругою - Резонанс.

Коли збільшується резонанс, звук почне трохи дзвонити навколо резонансної частоти. Якщо збільшити резонанс ще більше (якщо фільтр це дозволить), тоді фільтр почне автоколиватися, і ми отримаємо синусоїду на виході.

Пік настільки високий і вузький, що дуже мало вхідного сигналу буде проходити через нього. Якщо фільтр відкалібрований таким чином, щоб він відстежував клавіатуру, можна використовувати його як синусоїдний VCO.

Хоча їх можна використовувати таким чином, VCF не дуже добре замінюють VCO. Осцилятори дуже чутливі до змін температури, і справжній VCO має додаткові схеми, щоб компенсувати це та зробити його більш стабільним. VCF цього не роблять, тому вони не дуже добре залишаються в гармонії. На деяких з них можна різко змінити висоту звуку, просто подувши на їх плату.

2.5 Підсилювач керований напругою

VCA (voltage controlled Amplifier) [3,4,7,18,19] – підсилювач керований напругою (рис.2.10). VCA є одним з фундаментальних будівельних блоків будь-якого модульного синтезатора. Цей модуль контролює амплітуду сигналу, що проходить через нього, посилюючи або ослаблюючи вхідний сигнал у відповідь на окремий вхід контрольної напруги CV. Найчастіше підсилювач керований напругою використовується як останній етап в звуковому тракті, він безпосередньо впливає на те, коли ми чуємо чи не чуємо звук, який виробляє синтезатор в цілому.



Рисунок 2.10 – VCA

СА має 4 входи і 4 виходи для звукових сигналів. Також є 4 входи для CV сигналів з можливістю регулювання інтенсивності впливу CV сигналу на кожен із 4 входів. Принципова схема VCA представлена нижче (рис.2.11).

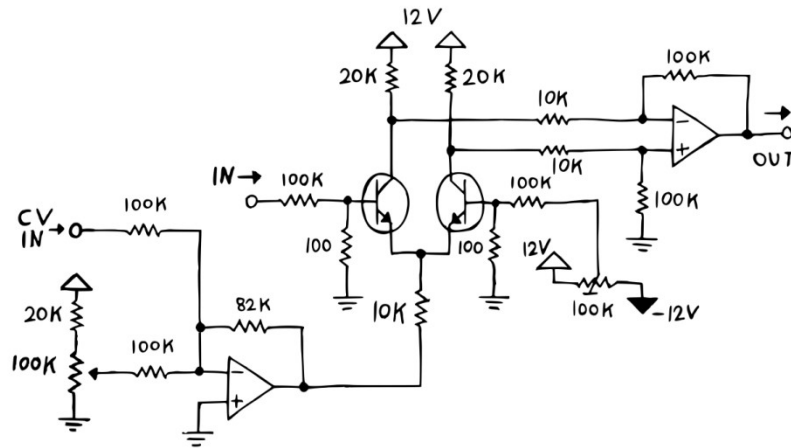


Рисунок 2.11 Принципова схема VCA

VCA мають багато інших способів використання в патчі, оскільки вони дозволяють контролювати рівень віртуального сигналу, що рухається всередині патча. Наприклад, можна маршрутизувати LFO через VCA, а потім керувати VCA за допомогою генератора огибаючої, дозволяючи глибині LFO підніматися і падати разом з огибаючою.

2.6 Генератор огибаючої

Envelope – генератор огибаючої (рис.2.12). Генератор огибаючих [3,4,7,18,19] є одним з найважливіших джерел напруги керування в будь-якому модульному синтезаторі. Хоча він не генерує звукові сигнали сам, такі знакові звуки, як стиснуті лінії басів, незграбні техно ударні барабани були б неможливими, якби не генератори огибаючих.



Рисунок 2.12 Envelope – генератор огинаючої

Стандартний ADSR генератор, оптимізовано - тому він має лише 3 елементи керування ASR (attack/sustain/release) (атака/підтримка/випуск), а коли підтримка встановлено на мінімум, він стає AD (атака/випуск), який ігнорує довжину звучання; Відпуск і розпад (Release/Decay) контролюються однією ручкою. Функція циклу та інвертований вивід роблять модуль більш гнучким для складних патчів.

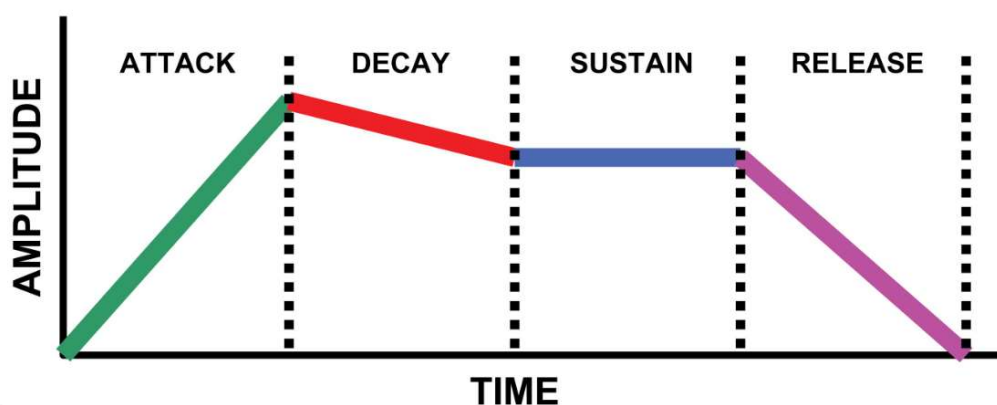


Рисунок 2.13 - принцип роботи Envelope – генератора огинаючої.

Принципова схема модуля ADSR представлена на рисунку нижче (рис.2.1).

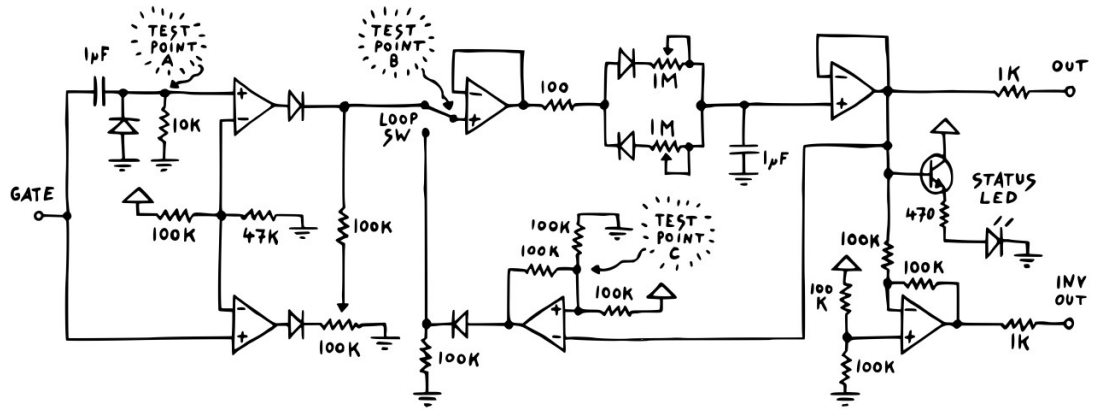


Рисунок 2.14 - принципова схема Envelope – генератора огибаючої.

2.7 CLOCK SYNC LFO

LFO - це низькочастотний генератор, вбудований в синтезатори, електронні інструменти або пристрої ефектів. LFO створює рух звуку, роблячи його більш живим. LFO дозволяє звукам «дихати». За допомогою LFO звуковий параметр постійно та ритмічно модулюється відповідно до повторюваного шаблону (типу сигналу).

Реалізовано проект CLOCK SYNC LFO (Low Frequency Oscillator) [3,4,7,18,19,20]- генератор наднизької частоти на базі Arduino nano (проект HAGIWO) (рис.2.15).



Рисунок 2.15 - CLOCK SYNC LFO генератор наднизької частоти.

Перелік параметрів, та входів/виходів модуля:

- керування підсилювачем AMP. Зміна вихідної напруги в межах 0-5В.
- Контроль фази PHASE в діапазоні 0-360°.
- Керування формою сигналу WAVE FORM, дозволяє вибрати тип сигналу (шум, синусоїда, трикутна хвиля, квадратна хвиля, випадкова, постійна напруга).
- Модуляція MOD, створення складних форм сигналу.(Складні сигнали можуть бути створені шляхом застосування внутрішньої модуляції. Оскільки внутрішня модуляція також пов'язана зі значенням фази, можливо створити нескінченну кількість форм хвилі, комбінуючи ручку MOD і ручку WAVE FORM.
- Якщо обертати лише ручку WAVE FORM, форма хвилі буде дещо передбачуваною, але якщо ви додаєте ручку MOD , вона стане хаотичною.
- CLK in: Clock IN.(Має функцію SYNC регулювання частоти . Частота LFO синхронізується із зовнішньою частотою CLOCK. Якщо CLK IN не

буде введено протягом 8 секунд, він автоматично переключиться на внутрішній генератор).

- OUT – Вихід.

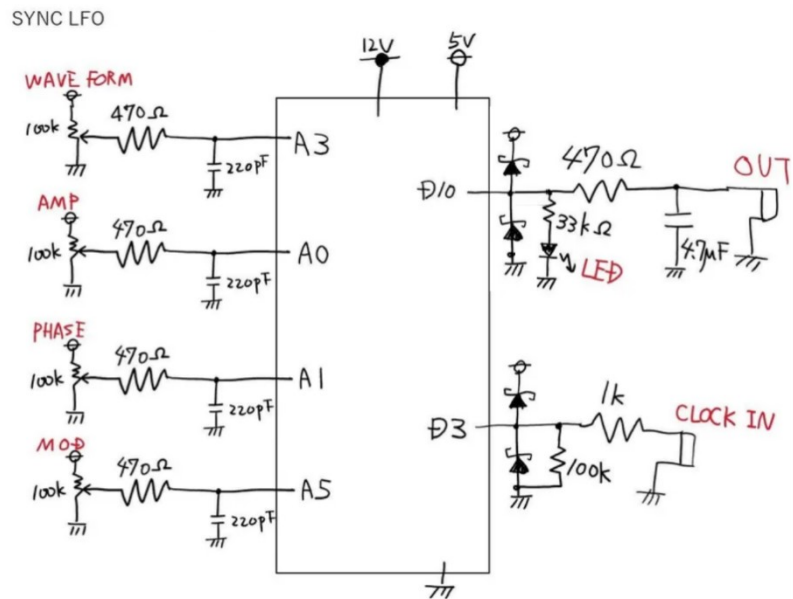


Рисунок 2.16 - Принципова схема LFO генератора наднизької частоти на базі Arduino nano.

2.8 Генератор шуму та S & N

Зразок і Утримання S&N [3,4,7,18,19] (рис.2.17) - це схема, яка використовується для прийняття змінного аналогового сигналу і буквально утримання його так, щоб наступна схема або система, така як ADC, (Аналогово цифровий конвертер) мала необхідний час для його обробки.



Рисунок 2.17 - Генератор шуму та S & H

Схема зразка і утримання є конденсатором і перемикачем. Конденсатор використовується для зберігання аналогової напруги протягом короткого часу, а електронний перемикач використовується для попереминого підключення та від'єднання аналогового входу до конденсатора. Коли перемикач закривається, конденсатор заряджається або розряджається до вхідної напруги. Це функція вибірки. Після відкриття перемикача напруга на конденсаторі залишається сталою, оскільки жоден струм не може протікати через нескінченний опір, створений відкритим перемикачем (утримання). Але напругу на виході все ще можна виміряти. У реальному світі опір ніколи не може бути нескінченним, таким чином напруга, що зберігається в конденсаторі, повільно знижується. Якість схеми вибірки і утримання вимірюється швидкістю зменшення напруги.

Швидкість, з якою перемикач відкривається і закривається, є частотою дискретизації системи.

Схеми Зразку і Утримання S & H можна знайти на деяких старих синтезаторах, зроблених Moog і ARP. Приймання випадкового вводу з генератора шуму (рис.2.19) і перетворення його на різноманітні музично корисні ефекти було найпоширенішим використанням розділу S & H (рис.2.18).

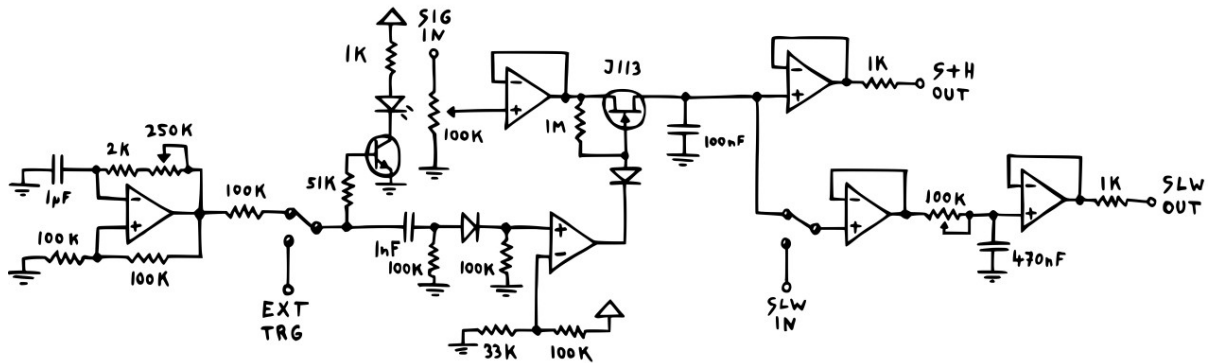


Рисунок 2.18 - Принципова схема S & H

Схема Зразку і Утримання S & H використовується для самосеквенсування, для додавання випадковості до фільтра VCF.

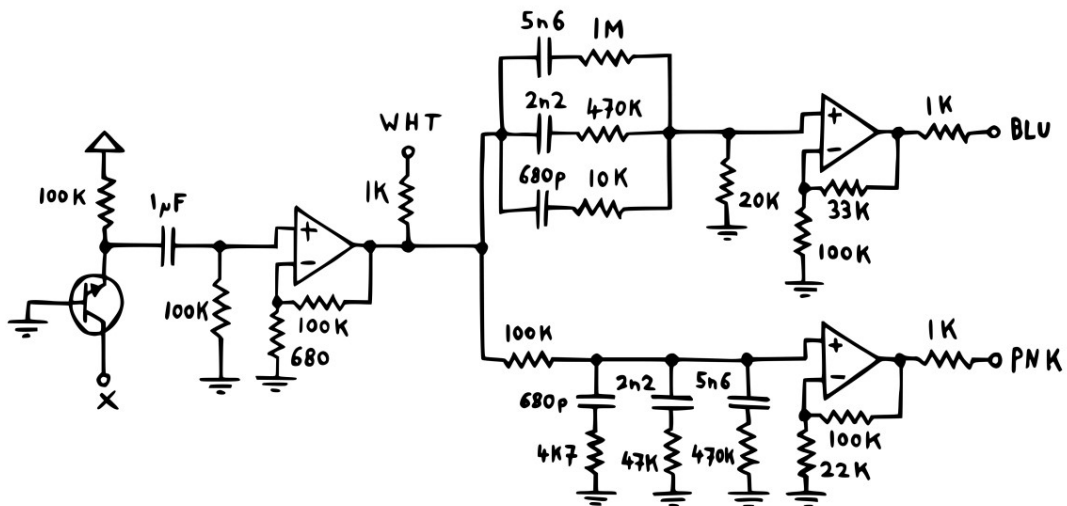


Рисунок 2.19 - Принципова схема Генератора шуму

3 ОПИС ДЕЯКИХ МОДУЛІВ, ВИКОРИСТАНИХ В РОБОТІ

3.1 Секвенсор евклідового ритму "6CH Trigger Sequencer".

Евклідовий ритм [20,21] базується на поєднанні різних ударів, які контролюються трьома параметрами: кроками, імпульсами та зсувом. Евклідові ритми названі на честь великого математика Евкліда, тому що вони використовують алгоритм Евкліда для пошуку способів поділу діапазонів часу на рівні частини.

Евклідові ритми - це нове явище - концепція була розроблена професором McGill Годфрідом Туссейном у 2004 році. Натхнення походить від іспанської музики фламенко, яка використовує коло для виконання своїх ритмів.

Коли Туссейн виявив, що він може використовувати алгоритм Евкліда, щоб рівномірно розділити будь-яку комбінацію ритмів і що Евклідовий алгоритм може бути використаний для пояснення складних африканських ритмів, боса Нова і найпоширеніших ударів, Він вирішив назвати його на честь Евкліда.

Евклідові ритми створюються за допомогою трьох параметрів - кроків, імпульсів і зсуву.

Кроки представляють кількість ударів, які можна відтворити протягом певного інтервалу часу, імпульси представляють кількість кроків, які отримують удар, а зміщення визначає час початку для кожного кроку. Евклідові ритми - це зовсім інший спосіб розуміння ритму.

Особливість використання математичних патернів для проектування ритмів полягає в тому, що існують різні способи їх візуалізації та розуміння, особливо за допомогою сучасних технологій секвенсера.

Параметр кроків контролює кількість ударів, за які інструмент може бути відтворений в межах одного обертання навколо кола - ці кроки розташовуються порівну навколо кола. Якщо інструмент в евклідовій послідовності встановлено у п'ять кроків, то секвенсор буде рівномірно розташовувати п'ять кроків, де можуть відбуватися удари.

Давайте дослідимо визначення поліритмів і дізнаємося деякі прості способи відчуття їх унікальні ритмічні характеристики.

Що таке поліритм? Найпростіший, поліритм - це два або більше ритмів, нашарованих один на одного. Вони граються в одному темпі, але мають різні ритмічні підрозділи. Тобто, поліритм відповідає нерівній кількості ударів, розбитих рівномірно за той самий проміжок часу, або в межах тієї ж міри.

Так наприклад поліритм три на два помістить три такти одного інструмента і два такти іншого в однаковий проміжок часу. Поліритм також називається крос-ритмом або композитним ритмом.

Визначення поліметра та поліритму часто плутаються. Вони використовують деякі схожі ідеї, але вони дуже різні. У музиці поліметр відбувається, коли два або більше ритмічних метрів грають один проти одного, створюючи ефект фазового зсуву.

Приклад - сигнальне світло кожної машини в черзі на поворот, що блимають одночасно але кожна послідовність зсунута по фазі – це поліметр.

Кожна машина має свій імпульс, який входить і виходить з фази з іншими машинами в черзі.

Час від часу імпульс сигналів повороту вишиковується один з одним, коли час кожного автомобіля врешті-решт перетинається.

В основному так працюють поліметри і в музиці! За винятком того, що ви будете рахувати два протилежні часові підписи один проти одного дуже точно, наприклад, $5/4$ проти $4/4$.

Поліритми, ймовірно, виникли в африканській музиці, потім попрямували до західного світу. Музика Латинської Америки та Карибської Америки часто має кілька барабанщиків, які грають різні ритми.

В Америці поліритми є визначальною рисою джазової музики і сьогодні їх можна почути в жанрах від поп до хеві-металу.

Приклади поліритмів існують усюди в музиці, від 40 найкращих чартів до найскладніших авангардних композицій.

Найпростіший поліритм - два на три.

Два на три можуть бути виражені або за $3/4$ часу (потрійний метр) або $2/4$ часу (дуальний метр) - неважливо, який з них ви оберете, але той, який ви оберете, вплине на те, як ви візуалізуєте поліритм і як ваш поліритм вписується в контекст музики, яку ви пишете. Отже, у $3/4$ ви отримаєте чверть ноти удару на кожному з трьох ударів у вимірі.

Поліритми відповідають нерівній кількості ударів, розбитих рівномірно за той самий проміжок часу, є ключовим для розуміння цього та більш розвинутих поліритмів.

Модуль Euclidean rhythm sequencer з одним входом і 6 виходами, на основі Arduino nano. Здатність відтворювати евклідові ритми може бути однією з характеристик модульних синтезаторів.

Як правило ритм-машини не оснащені секвенсорами евклідового ритму. Однак у Eurogask є велика лінійка секвенсорів евклідового ритму тому було вирішено побудувати також цей модуль. Як контролер використано Arduino nano (рис.3.1), поворотний енкодер(рис.3.2), з кнопкою, SSD OLED екран(рис.3.3), та для комутації використані 3.5 мм роз'єми(рис.3.4).

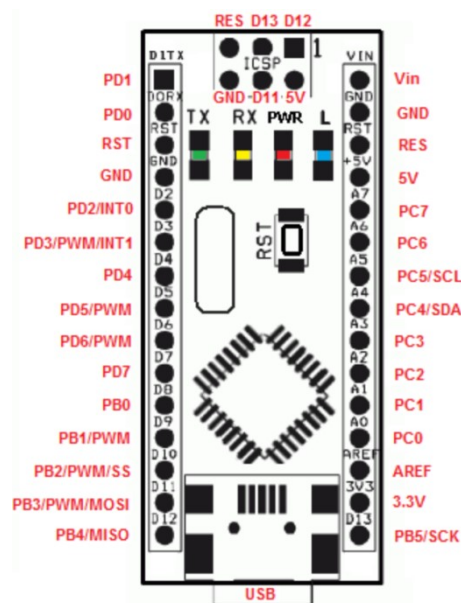


Рис 3.1 - Arduino NANO

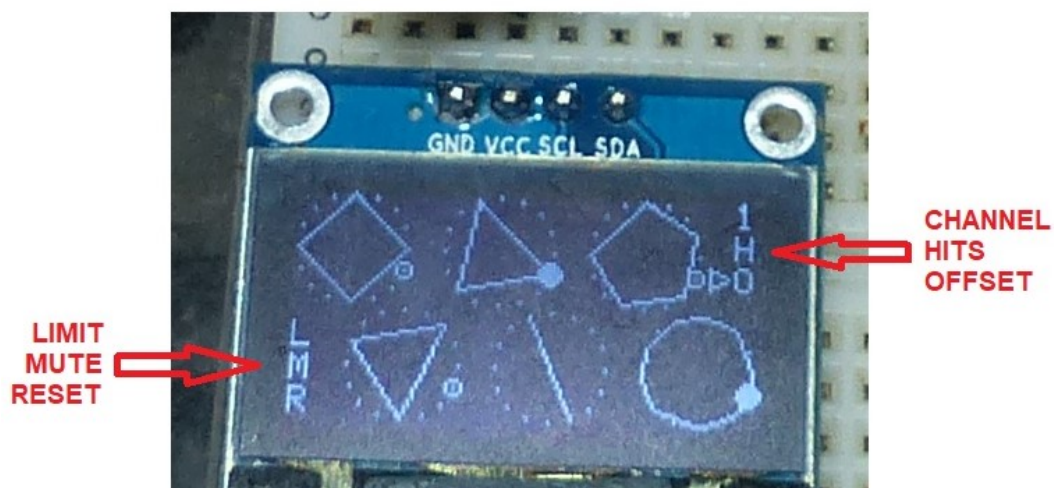


Рис 3.2 - SSD OLED дисплей

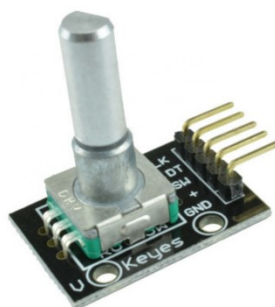


Рис 3.3 - Поворотный энкодер з кнопкою.



Рис 3.4 - 3.5 мм роз'єм.

Технічні характеристики Секвенсора евклідового ритму "6CH Trigger Sequencer":

- Живлення : 37 мА в режимі очікування (при 5 В або 12 В), 100 мА під час роботи (при 5 В або 12 В). Може працювати з одним джерелом живлення 5 В, або від одного джерела живлення 12 В.
- OLED-дисплей: розмір 128 * 64
- Поворотний енкодер: Кнопка вибору параметра з можливістю натискання (PUSH: Зміна/рішення параметра).
- Вихід тригера: 6CH (0-5V)
- Вхід тригера: 1CH (0-5V)

Реалізовано 2 види режимів – ручний режим та випадковий режим.

Ручний режим

Ручний режим дозволяє запрограмувати секвенсор, встановлюючи кожен параметр кожного вихідного каналу довільно.

Параметри, які можна вибрати при ручному режимі наступні:

- HITS : кількість виходів із 16 кроків.
- OFFSET : Зміщує початок ритму.
- LIMIT : Повернення до 1-го кроку, коли тригер вводить встановлене значення.

Наприклад, якщо встановити значення 7, він повернеться до кроку 1 після виведення кроків з 1 по 7. Це можна використовувати в поліритмічних послідовностях.

- MUTE : Виключає тригерний вихід вибраного каналу.
- RESET : При натисканні кнопки енкодера, відбувається повернення до 1-го кроку відтворення всіх каналів.

Випадковий режим

Випадковий режим : Кожен параметр кожного вихідного каналу змінюється випадковим чином кожного разу, коли досягається вказаний удар. Це не зовсім випадково, але є тенденція в значеннях, вибраних кожним каналом. Коли буде досягнуто вказаної кількості КРОКІВ, кожен параметр буде перемикатися випадковим чином. Варіанти: «2, 4, 8, 16», які можна перевірити на панелі в нижній лівій частині екрана.

Програмування

Евклідові ритми отримують шляхом розширених обчислень, але обчислення в програмі не виконуються. Якщо ви обмежите його 16 кроками, буде лише 17 типів ритмічних патернів (від 0 ударів до 16 ударів), тому ритмічні патерни зберігаються в таблиці.


```

const static byte euc16[17][16] PROGMEM = { //euclidian rythm
  {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
  {1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
  {1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
  {1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0},
  {1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0},
  {1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0},
  {1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0},
  {1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0},
  {1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0},
  {1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0},
  {1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1},
  {1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1},
  {1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1},
  {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0},
  {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1}
};

```

Обробка OLED-дисплея

Коли на екрані OLED відображається інформація, у вихідному сигналі тригера виникає затримка. Таким чином, OLED-дисплей оновлюється відразу після завершення виведення тригера. Це незручно, оскільки відображення на екрані не оновлюватиметься, якщо немає тригерного введення, але можливо збільшити частоту оновлень екрана, увімкнувши коментування джерела.

```
// disp_reflesh = 1; //Enable while debugging.
```

Графічне зображення на OLED-дисплеї - це багатокутники, вершини яких з'єднані лініями. Таким чином 3 удари означають трикутник, 4 удари означають квадрат. Програма для відображення цього багатокутника така.

```
for (k = 0; k <= 5; k++) { //ch count
  buf_count = 0;
  for (m = 0; m < 16; m++) {
    if (offset_buf[k][m] == 1) {
      line_xbuf[buf_count] = x16[m] + graph_x[k]; //store active step
      line_ybuf[buf_count] = y16[m] + graph_y[k];
      buf_count++;
    }
  }

  for (j = 0; j < buf_count - 1; j++) {
    display.drawLine(line_xbuf[j], line_ybuf[j], line_xbuf[j + 1], line_ybuf[j + 1],
WHITE);
  }
  display.drawLine(line_xbuf[0], line_ybuf[0], line_xbuf[j], line_ybuf[j], WHITE);
  }
  for (j = 0; j < 16; j++) { //line_buf reset
    line_xbuf[j] = 0;
    line_ybuf[j] = 0;
  }
```

Тимчасово зберігаються координати вершин у буфері для малювання ліній. Після малювання ліній, що з'єднують координати буфер вивільняється. Цей процес повторюється на каналах з 1 по 6.

Схема реалізації Секвенсора евклідового ритму ``6CH Trigger Sequencer'' представлена на рис.3.5.

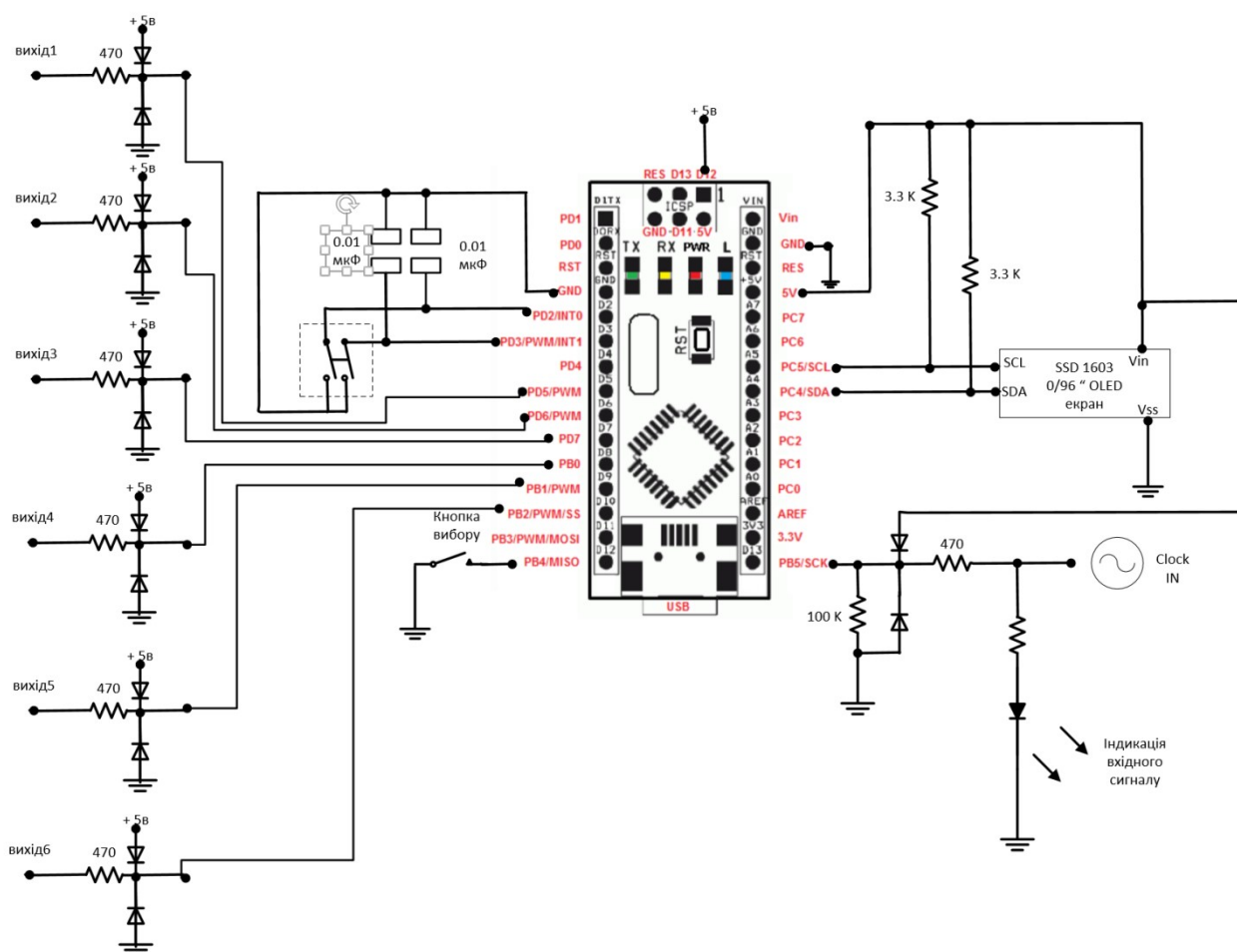


Рис.3.5 - Схема реалізації Секвенсора евклідового ритму ``6CH Trigger Sequencer''

Використано швидкі діоди BAT43 для стабілізації вхідного та вихідних сигналів.

3.2 Модуль відтворення звуків ударних інструментів

Модуль відтворення звуків ударних інструментів [22] — це електро перкусійний модуль із записаними звуками, що має 6 окремих виходів та побудований на базі контролера ATmega328p рис 3.6. Щоб використати всю корисну пам'ять контролера - програмування відбувалось за допомогою Arduino UNO.

Технічні характеристики та особливості:

- 6 класичних звуків барабанів
- 6-голосна поліфонія
- Змішувач гучності з 6 поворотними потенціометрами
- 6 регуляторів частоти дискретизації 4-40 кГц
- 6 окремих барабанних виходів
- 1 змішаний моно вихід

Код для ATmega програмується за допомогою Arduino IDE, а також працює без змін на Arduino Uno та Nano.

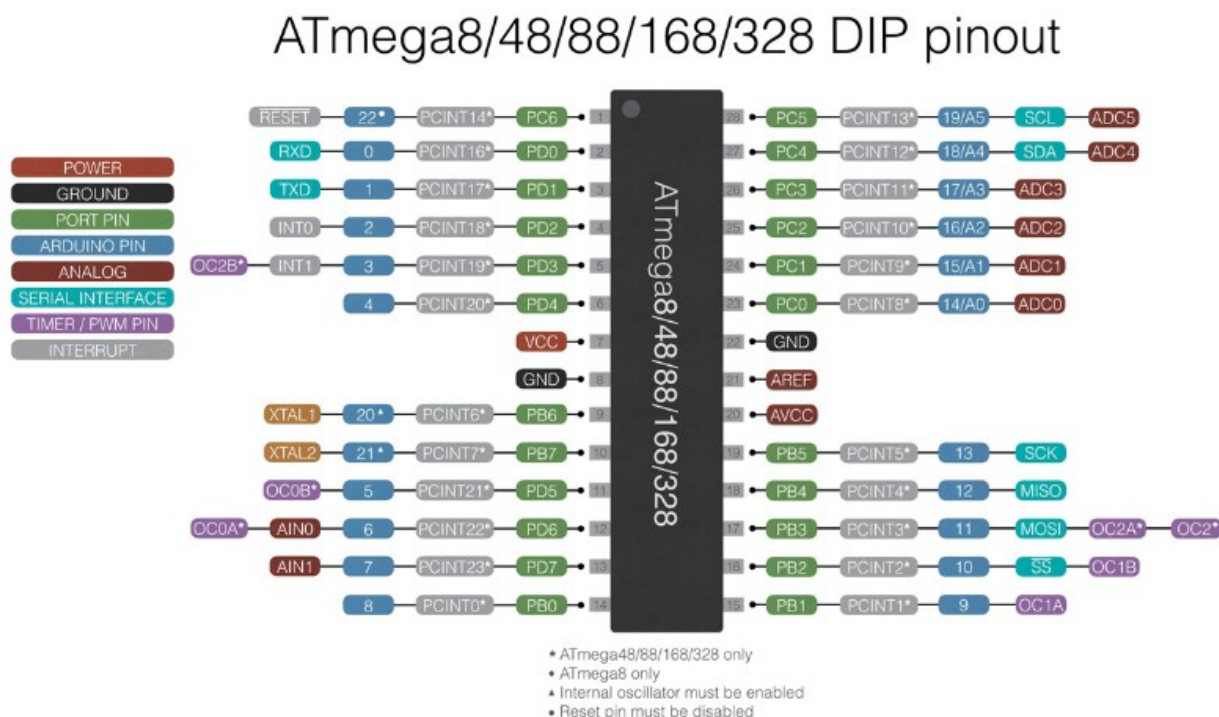


Рис.3.6 - Контролер ATmega328p

Для програмування контролера ATmega328p використано Arduino UNO [23] в якості внутрішньо схемного програматора ISP (In-System Programmer).

Більшість плат Arduino оснащені таким роз'ємом з виводами 2×3, який використовується для однієї з різновидів ISP — внутрішньо схемного послідовного програмування ICSP (in-circuit serial programming).

Роз'єм містить 3 виводи інтерфейсів SPI – MOSI (D11), MISO (D12), SCK (D13) і виводи живлення і землі (VCC, GND), а також вивід скидання (Reset). Через ці виводи і проводиться завантаження програми в мікроконтролер на платі Arduino. Через ці виводи (рис. 3.6) до мікроконтролера ATmega328P, ми зможемо записати в його пам'ять початковий завантажувач (Boot Loader) Arduino.

Використані виводи з Arduino UNO показані на рисунку 3.7.

Arduino	Atmega328P
D13	Pin 19
D12	Pin 18
D11	PIN 17
D10	Pin 1 (reset) (no Capacitor needed)
VCC	5V
GND	GND

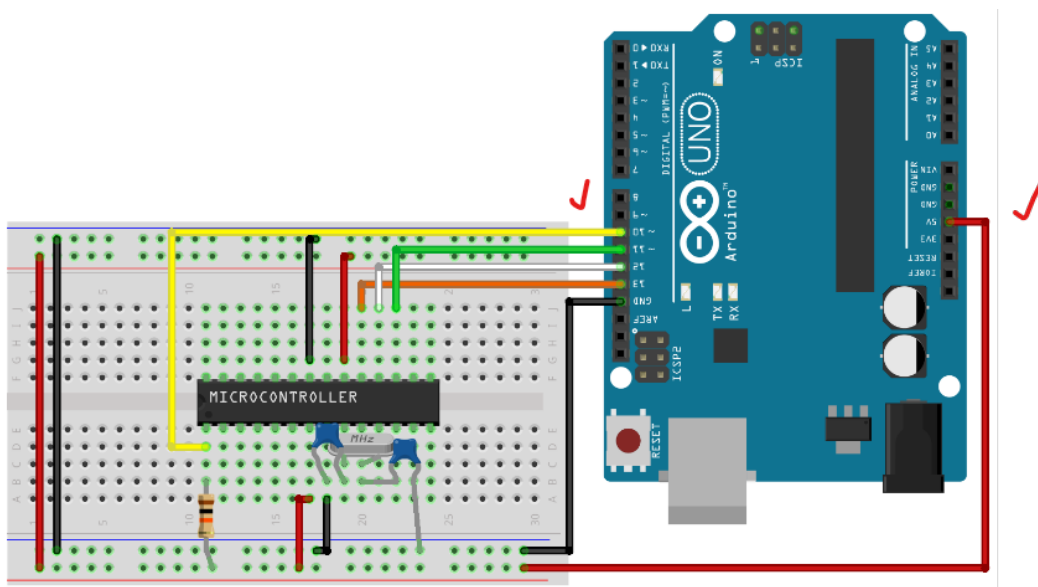


Рис.3.7 - Програмування контролера ATmega328P за допомогою Arduino UNO.

У середовищі розробки Arduino IDE [23] є готовий приклад Arduino як ISP (рис.3.8), який, якщо його завантажити в плату Arduino UNO, перетворює її у внутрішньо схемний програматор.

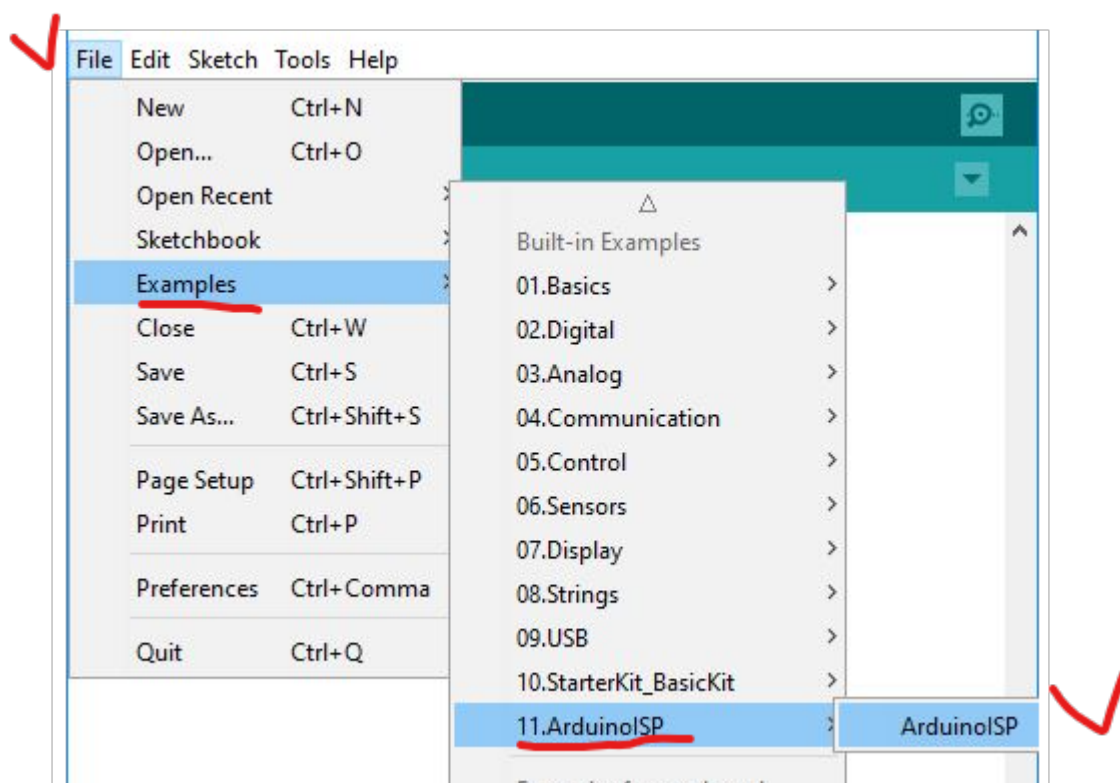


Рис.3.8 - Програмування контролера АТmega328Р за допомогою Arduino UNO.

Для перетворення Arduino UNO в програматор в Arduino IDE, вибираємо в меню Інструменти > Плата (Інструменти > Плата) пункт Arduino Uno. Потім у меню «Інструменти» > «Програматор» («Інструменти» > «Програматор») встановлюємо Arduino як ISP (рис.3.9).

Після цього записуємо завантажувач, пункт меню Інструменти > Записати завантажувач (Інструменти > Записати завантажувач). Середовище знаходиться в папці, що відповідає вибраній платі, текстовий файл board.txt для завантажувача.

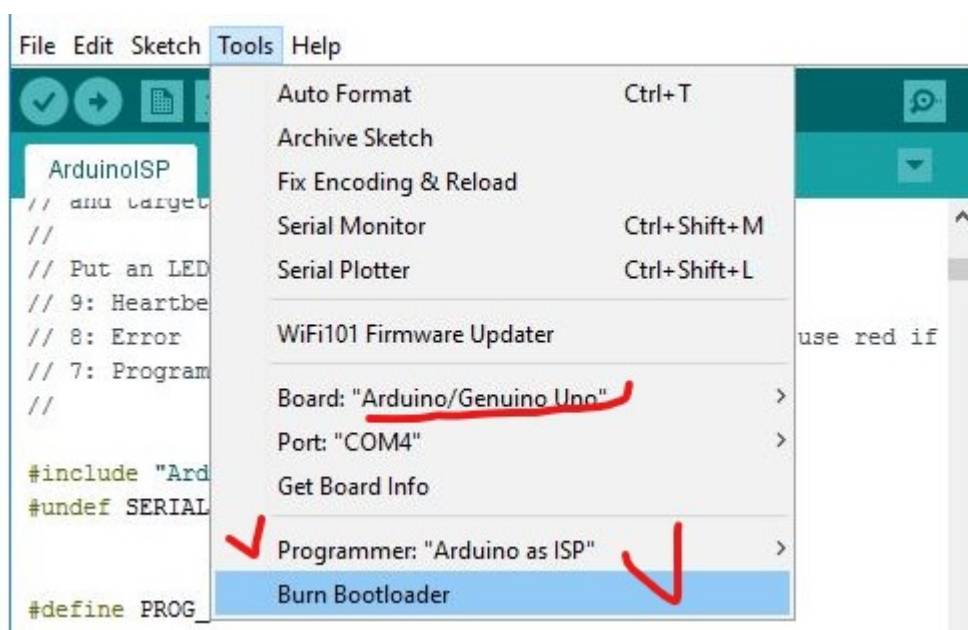


Рис.3.9 - Запис завантажувача в АТмега328Р за допомогою Arduino UNO.

Схема готового модуля відтворення звуків ударних інструментів показана на рисунку 3.10.

Встановлений в корпус модуль відтворення звуків ударних інструментів показана на рисунку 3.11.

3.3 Взаємодія між ключовими модулями синтезатора.

Компоненти субтрактивного синтезатора [1,2,3,4,10] - передня панель більшості субтрактивних синтезаторів містить аналогічні модулі генерації та обробки сигналів у поєднанні з рядом модулів модуляції та керування. Модулі генерації та обробки сигналу зазвичай працюють зліва направо, віддзеркалюючи потік сигналу синтезатора (рис.312).

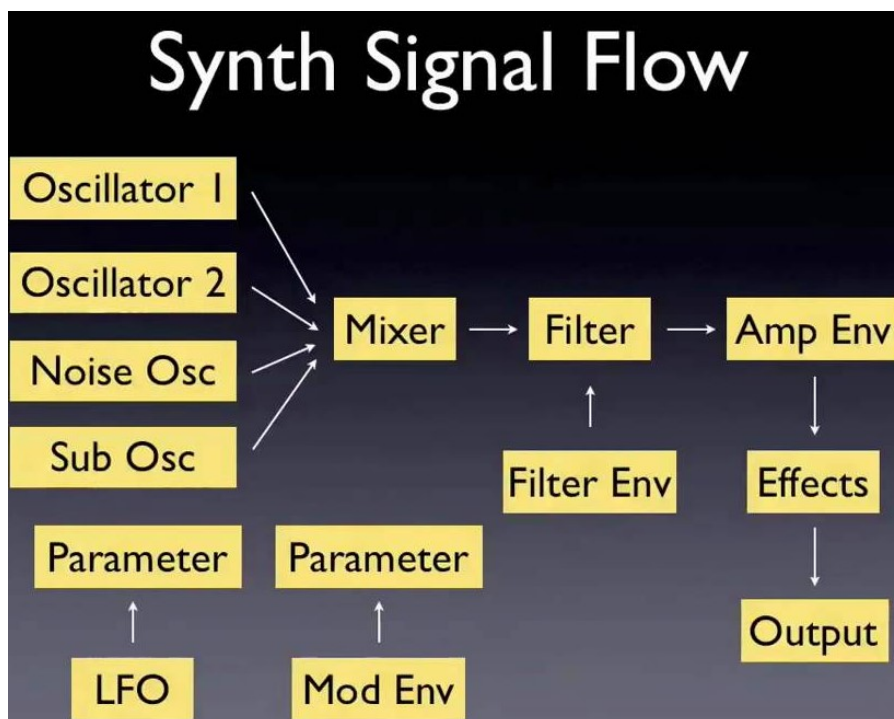
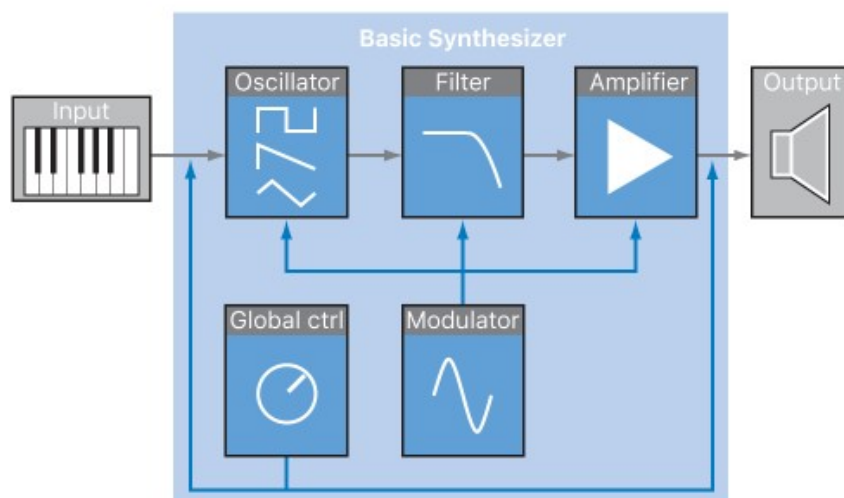


Рис.3.12 - Компоненти генерації та обробки сигналів

Компоненти генерації та обробки сигналів:

- VCO генератори (осцилятори): генерують основний сигнал. Зазвичай це хвиля, багата на гармоніки. Багато синтезаторів забезпечують більше одного генератора, і майже всі генератори синтезатора можуть генерувати кілька типів сигналу.
- Секція фільтра VCF: використовується для зміни основного сигналу шляхом фільтрації (видалення) частин частотного спектру. Багато синтезаторів мають єдиний фільтр, який універсально застосовується до всіх сигналів генератора. Синтезатори, що містять декілька VCO відповідно можуть мати кілька фільтрів VCF, що дозволяє фільтрувати кожен сигнал осцилятора іншим способом.
- Секція підсилювача VCA: використовується для контролю рівня сигналу в часі. Підсилювач має модуль, відомий як генератор огинаючої ADSR, який розділений на кілька елементів, які забезпечують контроль рівня для початкової, середньої та кінцевої частин вашого звуку. Прості синтезатори зазвичай мають одну огинаючу, яка використовується для керування осцилятором VCO (і фільтром VCF) у часі. Складніші синтезатори можуть забезпечувати кілька ADSR огинаючих.

Компоненти модуляції та керування:

- Модулятори: використовуються для модуляції компонентів, що генерують і обробляють сигнали. Модуляції можуть бути машинними — автоматично генерованими компонентом синтезатора — або можуть бути активовані вручну, наприклад, за допомогою колеса модуляції (рис.3.13). Більшість синтезаторів мають компонент, який називається LFO (низькочастотний генератор), щоб забезпечити форму хвилі, яка модулює сигнал.
- Глобальні елементи керування: установлюють загальні характеристики звуку вашого синтезатора, наприклад налаштування, ковзання між нотами, зміни висоти та монофонічне або поліфонічне відтворення.



Рис.3.13 - Колесо модуляції.

Як приклад використаємо базовий патч для мініатюрної системи A-100 (A-100BSM), який можна використовувати як відправну точку для інших патчів (рис.3.14).

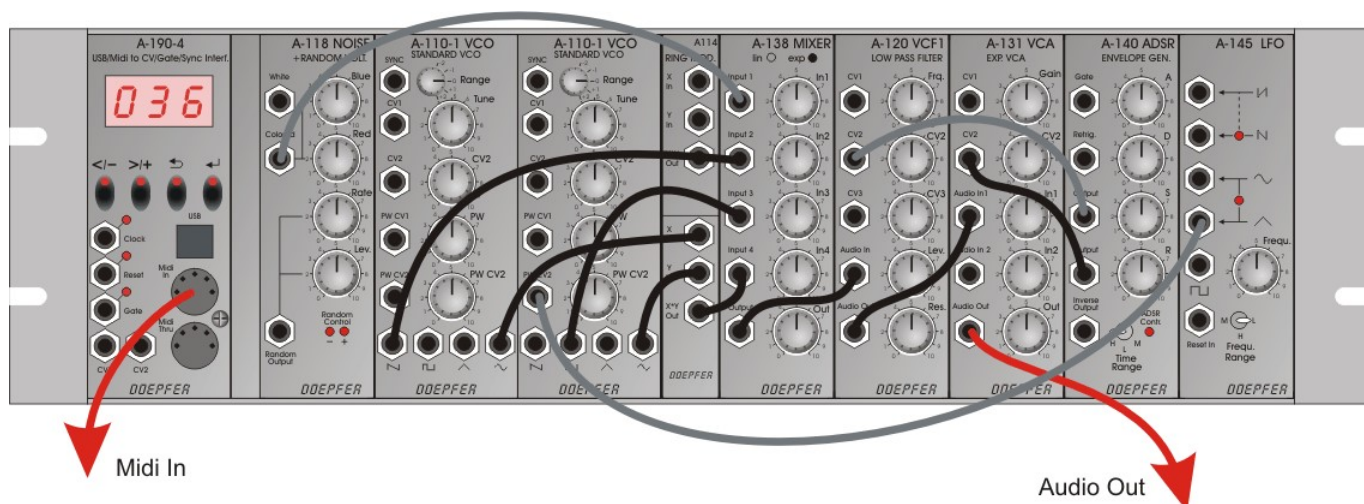


Рис.3.14 - Базовий патч.

Патч утворює голос класичного синтезатора: два генератора VCO, вихід кольорового шуму шумового модуля і вихід кільцевого модулятора змішуються разом у модулі мікшера. Вихід модуля змішувача обробляється фільтром VCF і підсилювачем VCA. Виходи огинаючої ADSR використовуються для керування як частотою фільтра, так і гучністю. Трикутний вихід генератора наднизьких частот LFO використовується для

керування шириною імпульсу другого VCO. Тому використовується прямокутний вихід другого VCO. Виходи обох VCO з типом сигналу “синус” є входами кільцевого модулятора .

В даному прикладі Midi-інтерфейс використовується для керування модулями VCO через Midi. Немає необхідності підключати CV і Gate на передній стороні від A-190-4 до A-110-1/A-140-1, оскільки ці сигнали доступні на внутрішній шині A-100. Інтерфейс Midi (A-190-4) "надсилає" CV і Gate на шину, а VCO (A-110-1) і ADSR (A-140-1) "підбирають" CV і Gate з шини - якщо що на всіх розглянутих модулях встановлені відповідні перемички.

Можливі інші зміни та доповнення до базового патчу:

- Інше використання LFO (наприклад, керування висотою тону VCO або частотою VCF або гучністю VCA або для запуску ADSR)
- Використання виходу VCO для модуляції частоти другого VCO (FM синтез)
- Використання виходу VCO для модуляції частоти VCF (FM синтез)
- Використання виходу VCO для модуляції гучності VCA (FM синтез)
- Використання виходу ADSR для керування висотою або шириною імпульсу VCO
- Використання випадкового виходу шумового модуля для керування іншими параметрами (наприклад, висота VCO, ширина імпульсу VCO, частота VCF, гучність VCA)
- Використання другого аудіовходу VCA для аудіосигналу, який не обробляється VCF (наприклад, підключіть VCO або модулятор шуму або кільця безпосередньо до VCA)
- Використання VCA перед VCF і мікшером, у цьому випадку VCF використовується як останній модуль у звуковому ланцюзі, а VCA можна використовувати, наприклад, для обробки одного з VCO або модулятора шуму чи кільцевого модулятора перед тим, як сигнал буде додано до змішувача.

Мінімалістичний патч:

Це мінімальний патч (рис.3.15) для розуміння базової функції аналогового синтезатора. За аудіовиходом VCO слідує VCA. VCA керується сигналом огибаючої, який генерується генератором ADSR.

Висота VCO контролюється виходом CV інтерфейсу USB/Midi-to-CV (A-190-3 у цьому прикладі). Сигнал для ADSR генератора також генерується інтерфейсним модулем. Патч можна розширити за допомогою VCF, який вставляється між VCO та VCA, а частотою фільтра можна керувати вручну та/або за допомогою другого виходу ADSR. Можна пограти з різними налаштуваннями керування, іншими вихідними сигналами VCO.

Патч також працює з іншими VCO, іншими VCA, іншими генераторами огибаючої та іншими інтерфейсами CV.

Модулі, показані в цьому патчі, є лише заступниками для функцій VCO, VCA, ADSR генератора та інтерфейсу USB/Midi-to-CV.

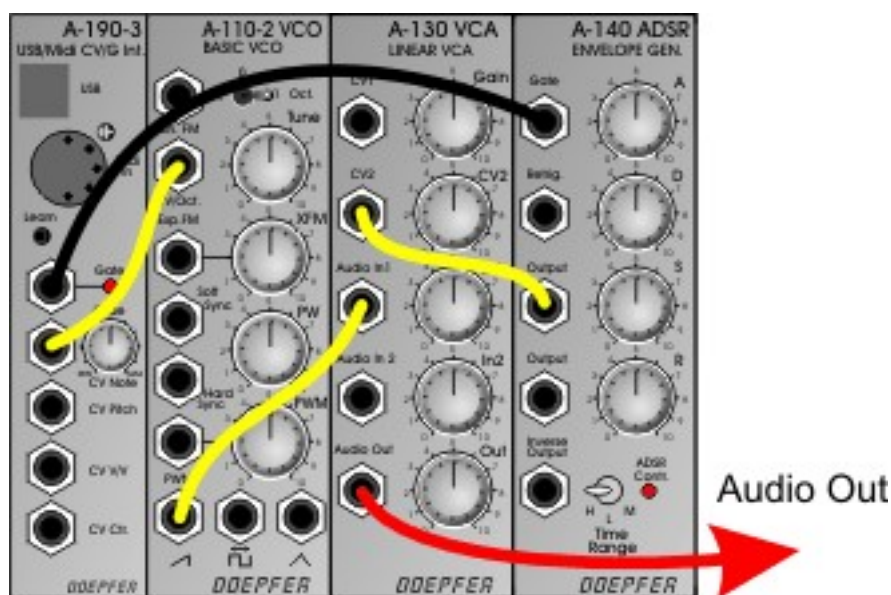


Рис.3.15 - Мінімалістичний патч.

Приклад створення звуків малих барабанів за допомогою синтезатора та базових модулів:

Створити тембр електронного малого барабана [5] за допомогою модульного синтезатора не так складно (рис.3.16). Додамо трохи тонального білого шуму. Деренчання фізичного малого барабана має досить високу та яскраву тональність, яку можна імітувати за допомогою білого шуму. Малі акустичні барабани не сильно змінилися протягом багатьох років.

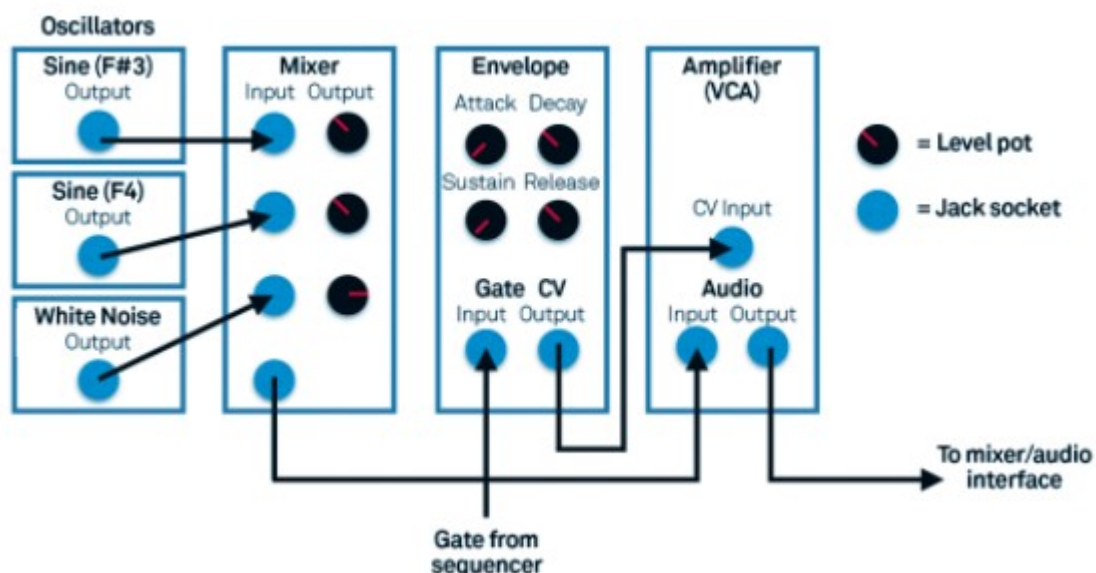


Рис.3.16 - Патч малих барабанів .

Типовий акустичний малий барабан (рис.3.17) складається з круглого металевого кільця шириною (висотою) від трьох до восьми дюймів. Зверху та знизу ви знайдете шкіру, яка відома як «голова», і якщо її вдарити, вона створить будь-який звук, від глухого звуку до чогось досить тонального.



Рис.3.17 - Малий барабан.

Фактор, який визначає висоту (частоту) цього тону, полягає в тому, наскільки голова розтягнута по поверхні, у поєднанні з глибиною самого барабана. Хитрість полягає в тому, щоб налаштувати барабан так, щоб коли ви вдаряєте по верхній голові, тон звучав вірно в усіх областях, маючи на увазі, що навколо краю є кілька точок голови, де її можна додатково стягнути та розтягнути.

З нижньою головою з'єднана складова малого барабана. Це набір щільно згорнутих пружин, які стикаються з нижньою головою під час вібрації. Малий барабан вібує з досить високими і яскравими тональними кольорами, які можна порівняти з білим шумом.

На цьому етапі, щоб зробити щось переконливе як акустичну модель, нам знадобляться два джерела звуку; осцилятори VCO, які здатні створювати тони, подібні до синусоїди або трикутника, і генератор білого шуму.

Якщо немає, наприклад, осцилятора VCO з синусоїдними виходами, можна скористатися фільтром VCF, щоб або відфільтрувати насичену форму сигналу, або підвищити резонанс і використовувати його в режимі автоколиваний. Також знадобиться принаймні один генератор огибаючої ADSR з миттєвим фронтом, а також мікшер і VCA.

Вихід синуса (або щось відфільтроване, якщо немає синуса) підключаємо у мікшер. Встановлюємо частоту синуса десь приблизно на середньому значенні на звичайному піаніно. Якщо немає доступу до настроєного інструменту, вибираємо середнє значення. Білий шум підключаємо в мікшер.

Вихідний сигнал міксера надходить до VCA з увімкненим наскрізним відтворенням, повинні почути щось, що складається з білого шуму та тону. Змішуємо два сигнали за рівнем гучності, білий шум має бути голоснішим за тон.

На даний момент це не дуже схоже на звук барабану, тому, щоб перейти до наступного етапу, нам потрібно буде використати генератор огибаючої ADSR і дати йому довгий перехідний процес спереду, схожий на удар барабанною паличкою .

Зберігаючи фазу атаки короткою, а фазу спаду досить короткою, надсилаємо CV генератора огинаючої ADSR в напрямку VCA, і ми повинні почути щось більше схоже на удар. Варто також зазначити, що сусейн огинаючої має бути встановлений на нуль, і залежно від характеру тригера, реліз може знадобитися вкоротити або подовжити, щоб створити бажаний ефект.

3.4 Взаємодія між ключовими модулями драм машини.

Для генерування ритмічних малюнків або повторюваних послідовностей ударних звуків необхідно наступні компоненти системи [1,2,3,4,5,10] (рис.3.18а, рис.3.18б):

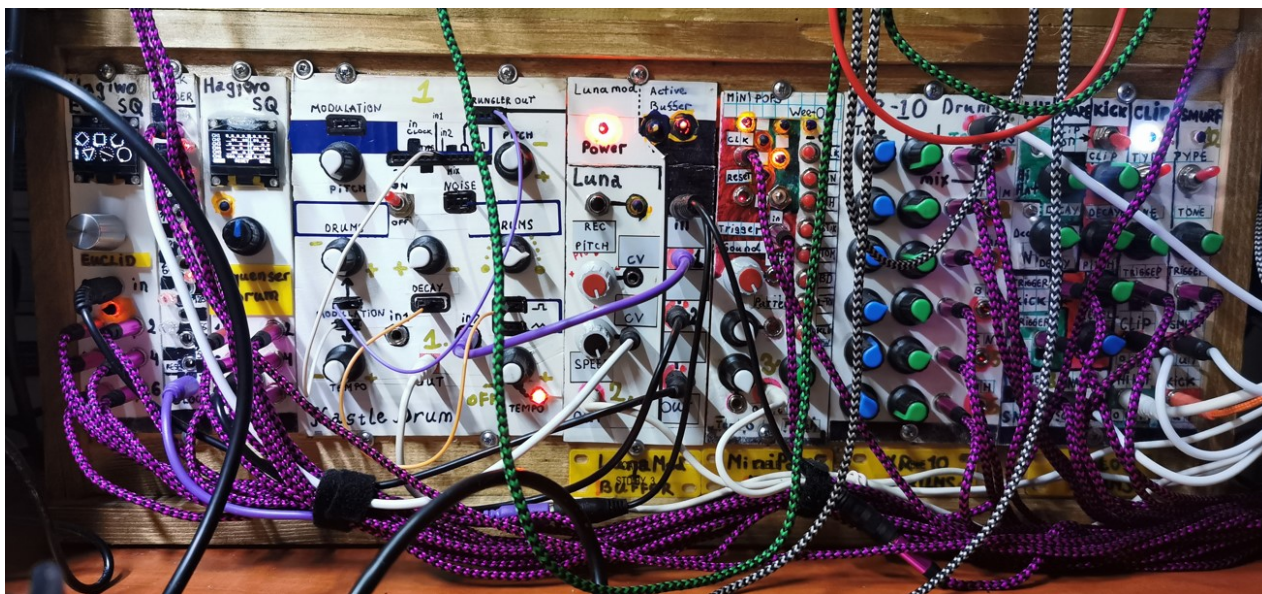


Рис.3.18а - Драм машина.



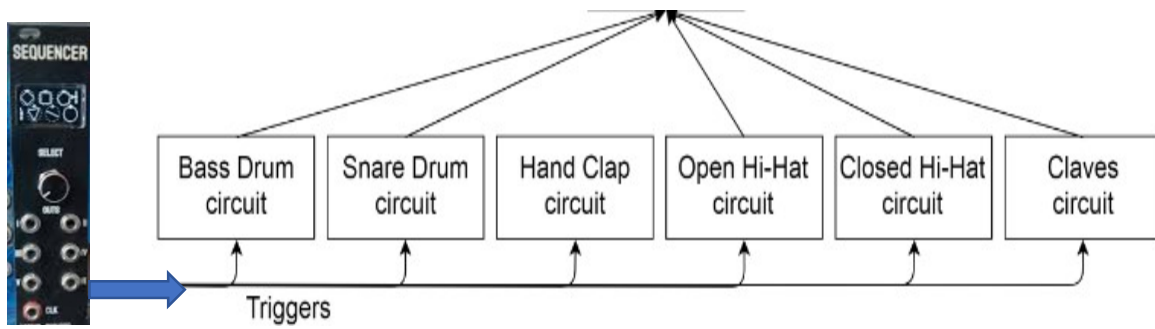


Рис.3.186 - Ключові модулі драм машини.

- Секвенсор, що генеруватиме імпульси - тригери запуску сигналів (рис.3.19)
- Генератор тактової частоти (3.21).
- Модулі відтворення звуків ударних з тригерними входами (рис.3.21)
- Мікшер для змішування всіх сигналів на один аудіовихід
- Патч кабелі для посилення аудіо та тригерних сигналів.

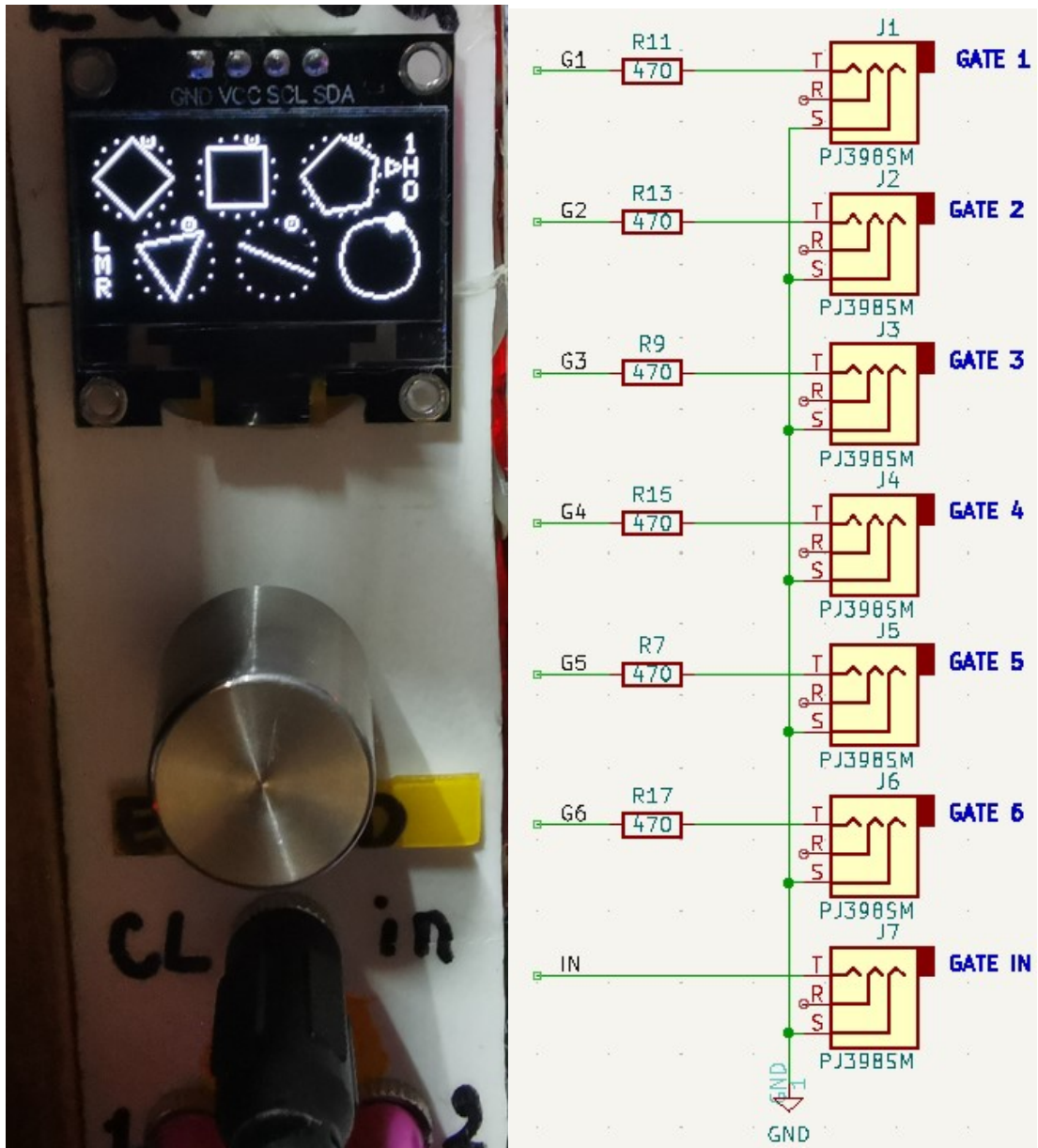


Рис.3.19 - Секвенсор та його тригерні виходи.

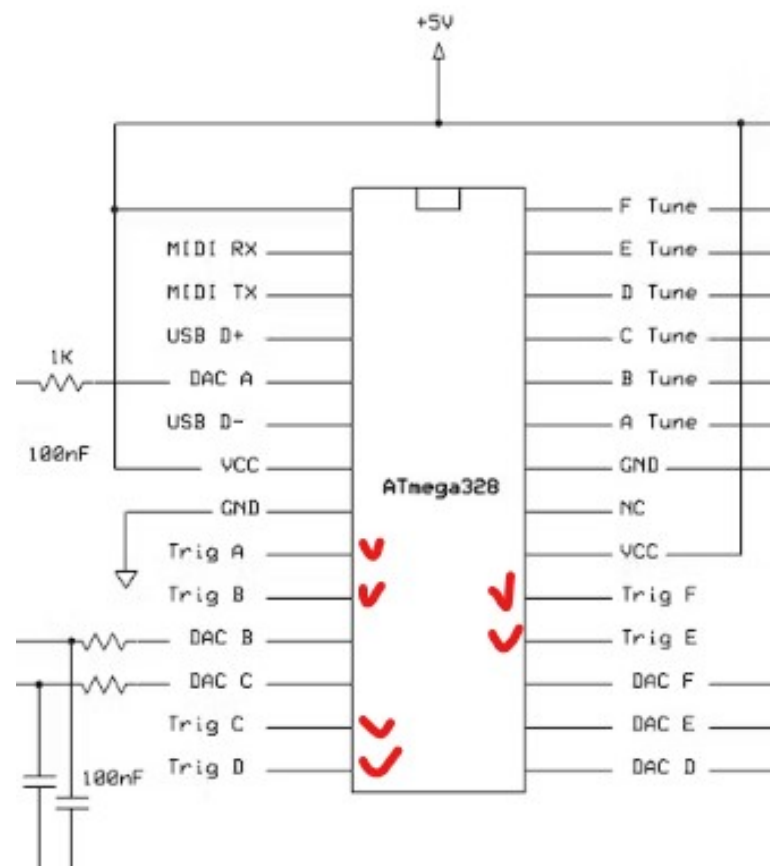
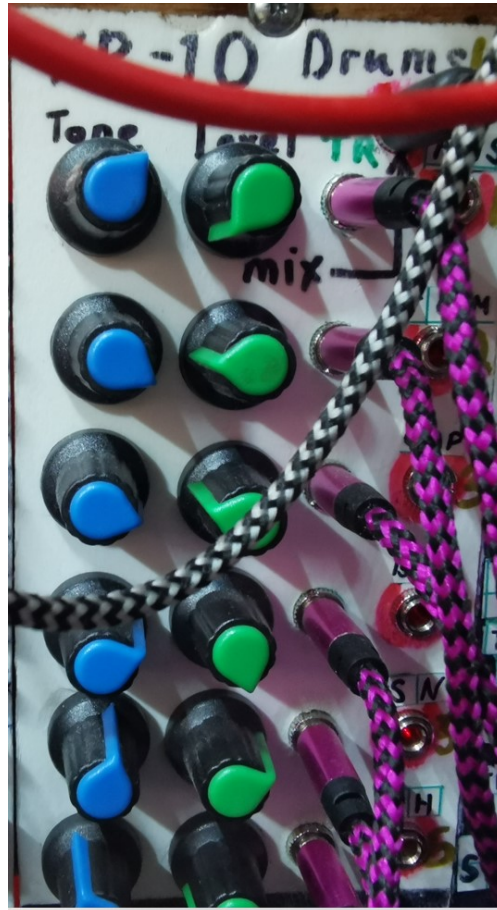


Рис.3.20 - Тригерні входи модуля відтворення звуків ударних .

Система працює наступним чином - генератор тактової частоти постійно подає імпульсні сигнали на вхід секвенсора, таким чином підтримує його в запущеному стані. Ми можемо регулювати темп змінюючи частоту імпульсів на виході генератора (рис.3.21) за допомогою потенціометрів Tempo Coarse, Fine.

Також, для зручності, в генератор вбудовано дільник частоти з виходами на: 4, 2,8,1. Можливо регулювати ширину імпульсу для використання секвенсорів з різною чутливістю.



Рис. 3.21 - Генератор тактової частоти.

Секвенсор задає для кожного з виходів послідовність імпульсів, яка є запрограмованою.

Далі кожна окрема послідовність імпульсів запускає відтворення сигналу на генераторах звуків ударних.

Мікшер в кінцевому етапі - змішує всі виходи з генераторів ударних звуків в один прямий моно вихід, що потім подається на підсилювач та на акустичні системи або навушники, чи вхід записуючого пристрою (аудіоінтерфейс комп'ютера).

Слід зауважити, що може бути також інверторний вихід мікшеру - дозволяє обернути на 180 градусів по фазі вихідний сигнал. Використовується при створенні комутації сигналів керування, коли є необхідність створення одночасно прямого та оберненого по фазі сигналу.

Наприклад: подаємо синусоїдний сигнал на вхід такого мікшеру - один вихід видає напівперіод синусоїди зі значенням >0 , в той же час інверторний вихід видає напівперіод синусоїди зі значенням <0 . Це дозволяє одночасно керувати наприклад двома параметрами фільтра VCF - прямий сигнал повільно спочатку збільшує та повільно зменшує інтенсивність закриття фільтру (параметр cutoff) а, наприклад, інвертований сигнал повільно початку зменшує та повільно збільшує інтенсивність резонансу фільтру (параметр resonance)

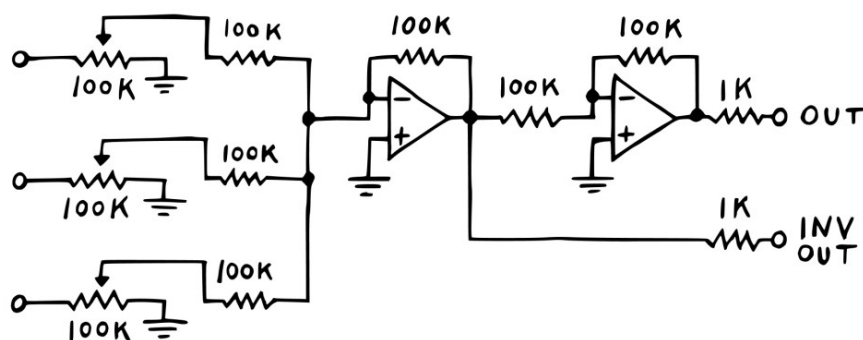


Рисунок 3.22 – Приклад схеми змішувача сигналів на 3 входи та прямий та інверторний виходи .



Рисунок 3.23 - Stereo та моно патч кабелі для комутації та розгалуження аудіо та тригерних сигналів.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання даної роботи було виготовлено проект стенду-модульного синтезатора для дослідження аналогового синтезу звуку.

В повній мірі було досягнуто мети даної роботи, а саме - розроблено навчальний стенд для вивчення різноманітних модулів, як складових блоків синтезаторів звуку. Перевірено і втілено можливість виготовлення такого стенду використовуючи наявні в продажі комплектуючі елементної бази (цифрові та аналогові).

В процесі дослідження було виконано наступні завдання:

1. Проаналізовано основні схеми складових блоків синтезаторів звуку.
2. Виконано пошук оптимальних та простих в збиранні, схематичних рішень окремих модулів для об'єднання в діючий стенд.

2. Досліджено та здійснено аналіз проблем при розробці блоків синтезаторів звуку - вибір корпусу, вибір комплектуючих елементної бази, методи термостабілізації генераторів звукового сигналу.

3. Досліджено та здійснено оцінку ефективності по основним базовим патчам – схемам з'єднань модулів синтезаторів звуку.

4. Втілюючи ідею спрощення та здешевлення процесу виробництва - було прийнято рішення використати деревну сировину для елементів конструкції корпусу стенду. Так для зменшення вартості виробництва та зручності адаптації конструкції в подальшому - розроблено та виготовлено модель стенду синтезатора звуку в дерев'яному корпусі.

Хоча такий варіант виконання має певні технологічні недоліки на відміну від готових промислових рішень напів-модульних та модульних синтезаторів (збільшена вага конструкції, що унеможливує часте переміщення стенду та проблеми з екрануванням) - він є більш оптимальним для виготовлення саме стенду для навчання, враховуючи вартість комплектуючих та зручність обробки сировини.

Основний результат магістерської роботи - розроблено модель стенду модульного синтезатора звук, з можливістю комутації за допомогою стандартних стерео комутаційних кабелів (роз'єми типу 3.5 мм stereo) так і спеціалізованих моно кабелів (роз'єми типу 3.5 мм mono) - що дозволяє уніфікувати використання з даним стендом фактично будь-яких кабелів, що є наявності в побутовому використанні та у продажу. Комутація модулів між собою можлива за допомогою 3.5 мм роз'ємів на лицевій панелі - це дозволяє, не виймаючи модуль, виконувати комутацію аудіо та сигналів керування параметрами модулів.

Використання уніфікованих рівнів сигналів керування параметрами модулів та використання уніфікованих типів роз'ємів - дозволяє розширити в подальшому взаємодію з іншими стендами або готовими напів-модульними синтезаторами промислового виробництва.

Дана робота може бути використана як навчальний матеріал для ознайомлення з методами синтезу звуку, та при розробці інших навчальних стендів або готових модульних чи напів-модульних синтезаторів звуку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <https://support.apple.com/uk-ua/guide/logicpro/lgsife41985b/mac>
2. <https://unison.audio/subtractive-synthesis/>
3. <https://synthesizeracademy.com/voltage-controlled-filter-vcf/>
4. <https://www.pluginator.com/low-frequency-oscillation-lfo/>
5. <https://musictech.com/tutorials/modular-eurorack-snare-tutorial/>
6. <https://splice.com/blog/understanding-synthesizers/>
7. <https://electronicscoach.com/voltage-controlled-oscillator.html>
8. https://doepfer.de/a100s_d.htm
9. <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/schmitt-trigger/>
10. <https://cloud.waldorfmusic.com/index.php/s/kxS8Qn5ftR9Wa7w/download>
11. Бондаренко А. І. Сучасне музичне мистецтво і комп'ютерні програми Ліра-К. ISBN: 978-617-520-216-6, 2022 С. 13 - 21.
12. <https://vcvrack.com/manual/About>
13. Даюк Ж. Історичні етапи виникнення та розвитку звукозапису / Ж. Даюк, В. Дмитрак // Нова педагогічна думка. - 2018. - № 4. - С. 147-149.
14. <https://hub.yamaha.com/keyboards/synthesizers/history-of-the-synthesizer-part-1/>
15. https://www.doepfer.de/home_e.htm
16. <https://www.ericasynths.lv/about/>
17. A-100 Analog Modular System - Housings Overview
https://www.doepfer.de/home_e.htm
18. <https://www.ericasynths.lv/shop/diy-kits-1/mki-x-esedu-diy-system/>
19. <https://www.eddybergman.com/2019/12/synthesizer-build-part-8-8-step.html>
20. HAGIWO https://note.com/solder_state/

21. S. Gorokhovskiy i A. Laiko, «Алгоритм Евкліда для створення звуку», NRPCOMP, т. 4, с. 48–51, Груд 2021.
22. XR10 Open Source Drum Module <https://www.hackster.io/janost/xr10-open-source-drum-module-6b2b3f>
23. <https://www.arduino.cc/en/Guide>

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
На тему:
«Розробка програмно-апаратного комплексу
синтезатора звуку»

Виконав студент гр.ІСДМ-63
Бондар Є.Ю.
Керівник: к.т.н., доцент Полоневич О.В.

ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Мета роботи - в процесі дослідження вирішити наступні завдання:

1. Аналіз основних схем складових блоків синтезаторів звуку.
2. Дослідити та здійснити аналіз проблем при розробці блоків синтезаторів звуку.
3. Дослідити та здійснити оцінку по основним патчам – схемам з'єднань модулів синтезаторів звуку.
4. Розробити модель стенду синтезатора звуку.

Об'єкт дослідження – проектування стенду-модульного синтезатора.

Предмет дослідження – аналоговий синтез звуку.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті виконання даної роботи було виготовлено проект стенду-модульного синтезатора для дослідження аналогового синтезу звуку.

Розроблено навчальний стенд для вивчення різноманітних модулів, як складових блоків синтезаторів звуку. Перевірено і втілено можливість виготовлення такого стенду використовуючи наявні в продажі комплектуючі елементної бази (цифрові та аналогові).

Основні компоненти звуко синтезу

З моменту появи аналогових синтезаторів для створення звуку завжди були потрібні три основні компоненти.

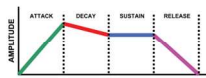
1. Осцилятор VCO, щось, що генерує звукові хвилі.



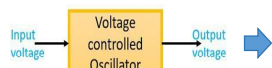
2. Фільтр VCF, щоб маніпулювати звуком.



3. Підсилювач VCA, щоб посилити звук.



4. Додаткові компоненти маніпулювання звуком (LFO, ADSR).



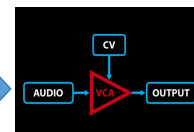
Осцилятор — залежно від синтезатора, який використовується, може мати різні параметри типу сигналу. Деякі популярні з них - це пилкоподібні хвилі, синусоїди та прямокутні хвилі.
 На деяких сучасних синтезаторах (наприклад, програмний синтезатор Xfer's Serum) має розширені можливості з розділом осцилятора через Wavetables.
 Ці хвильові таблиці діють як надскладні моделі осциляторів і можуть створювати неймовірні звуки, особливо в поєднанні.

Фільтр є наступним основним компонентом будь-якого синтезатора. Класичні фільтри низьких частот, високих частот і смугових фільтрів. Ці фільтри зазвичай контролюють діапазон частот генератора і тому дозволяють регулювати тембр інструменту.

Це чудовий засіб для створення «приглушеного» або «віддаленого» звуку, зменшуючи високі частоти. Можна створити ефект розгортки за допомогою смугового фільтра.

Останнім компонентом є секція підсилювача. Зазвичай тут містяться елементи керування огинаючою: атака, загасання, підтримка та звільнення (ADSR).

Огинаюча звуку визначатиме, як синтезатор реагує на гру. Довга (або повільна) атака зробить його менш різким і створить «здуття» на початку ноти. Довге відпускання змусить ноти лунати навіть після того, як відпустити клавіші. Маніпулюючи цими елементами керування, можливо створювати різноманітні відчуття та звуки.



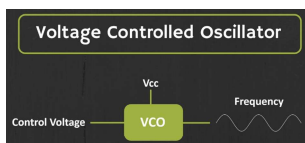
VCO (Voltage controlled oscillator)

Осцилятор, керований напругою (V C O) - це пристрій, який створює такий коливальний вихідний сигнал, частоту якого можна регулювати або змінювати вхідною напругою постійного струму.

VCO генерує вихідний сигнал, що має регульований діапазон частот, який контролюється вхідною напругою постійного струму.

Генератор керований напругою – генератор сигналів звукової частоти - має 3 виходи звукових сигналів:

1. сигнал типу «Зуб»,
2. прямокутний сигнал,
3. Трикутний сигнал.



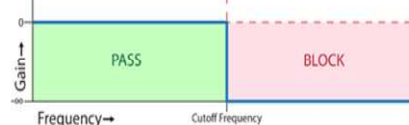
VCF (Voltage controlled filter) - Фільтр керований напругою

Задача фільтра керованого напругою вирізати небажані частоти та виділяти частоти, що необхідно.

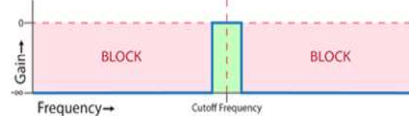
Базові параметри будь-якого фільтра є :

1. частота зрізу Cutoff,
 2. резонанс Resonance,
 3. підсилення Gain,
 4. та режим роботи, що переключуються за допомогою перемикачів:
- (LP – пропускання низьких частот Low Pass,
 - BP – пропускання смуги частот Band Pass,
 - HP – пропускання високих частот High Pass)

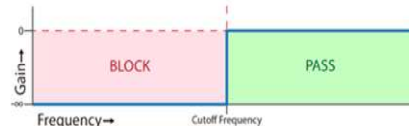
LP – пропускання низьких частот Low Pass



BP – пропускання смуги частот Band Pass



HP – пропускання високих частот High Pass

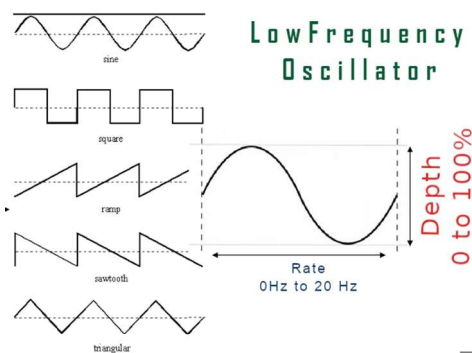


LFO

Низькочастотний генератор, вбудований в синтезатори, електронні інструменти або пристрої ефектів.

LFO створює рух звуку, роблячи його більш живим. LFO дозволяє звукам «дихати».

За допомогою LFO звуковий параметр постійно та ритмічно модулюється відповідно до повторюваного шаблону (типу сигналу).

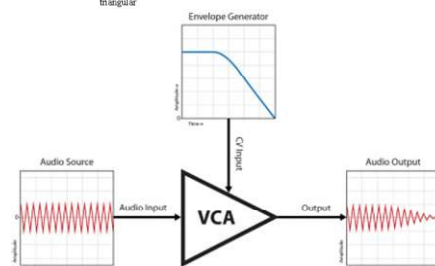


VCA (voltage controlled Amplifier)

Підсилювач керований напругою. VCA є одним з фундаментальних будівельних блоків будь-якого модульного синтезатора.

Цей модуль контролює амплітуду сигналу, що проходить через нього, посилюючи або ослаблюючи вхідний сигнал у відповідь на окремий вхід контрольної напруги CV.

Найчастіше підсилювач керований напругою використовується як останній етап в звуковому тракті, він безпосередньо впливає на те, коли ми чуємо чи не чуємо звук, який виробляє синтезатор в цілому.

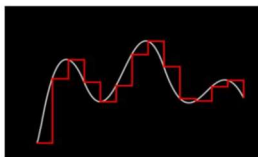


Зразок і Утримання S&H

Використовується для прийняття змінного аналогового сигналу і буквально утримання його так, щоб наступна схема або система, така як ADC, (Аналогово цифровий конвертер) мала необхідний час для його обробки.

Sample and Hold

- Uses an internal clock to capture a voltage level of the signal and hold it.



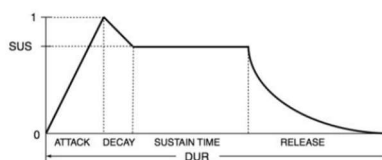
Envelope – генератор огинаючої ADSR.

Генератор огинаючих є одним з найважливіших джерел напруги керування в будь-якому модульному синтезаторі.

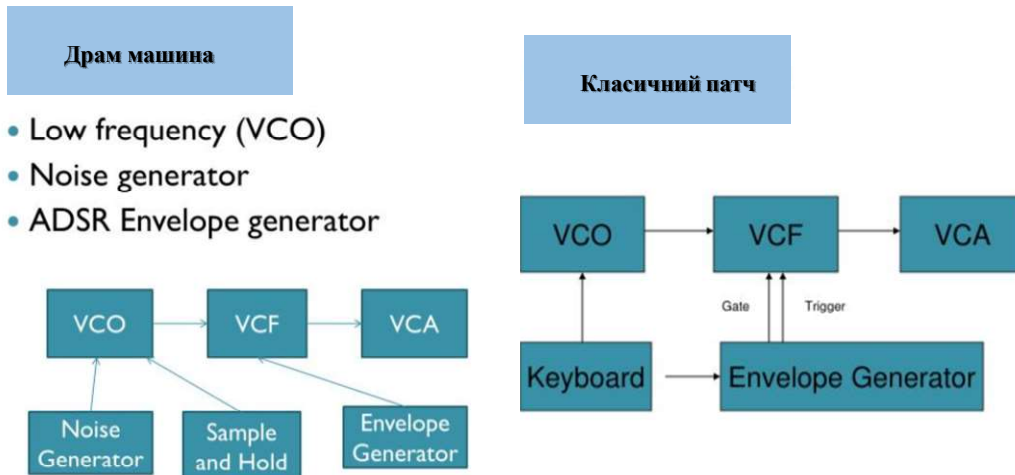
Хоча він не генерує звукові сигнали сам, такі знакові звуки, як стиснуті лінії басів, незграбні техно ударні барабани були б неможливими, якби не генератори огинаючих.

Envelop Generator

- Trigger and Gate signals
- Attack Decay Sustain Release (ADSR)



Приклади з'єднань основних модулів.



ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано основні схеми складових блоків синтезаторів звуку.
2. Виконано пошук оптимальних та простих в збиранні, схематичних рішень окремих модулів для об'єднання в діючий стенд.
3. Досліджено та здійснено аналіз проблем при розробці блоків синтезаторів звуку - вибір корпусу, вибір комплектуючих елементної бази, методи термостабілізації VCO генераторів звукового сигналу .
4. Досліджено та здійснено оцінку ефективності по основним базовим патчам – схемам з'єднань модулів синтезаторів звуку.
5. Втілюючи ідею спрощення та здешевлення процесу виробництва - було прийнято рішення використати деревну сировину для елементів конструкції корпусу стенду.
6. Використання уніфікованих рівнів сигналів керування параметрами модулів та використання уніфікованих типів роз'ємів - дозволяє розширити в подальшому взаємодію з іншими стендами або готовими напів-модульними синтезаторами промислового виробництва.