**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**

**Кафедра електроніки, інформаційних систем**
**та програмного забезпечення**
(повна назва кафедри )

# Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти )

на тему Розробка пристрою для обробки звуку в реальному часі

Виконав: студент II курсу, групи 8.1711
спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Електроніка
(код і назва освітньої програми)

Черноязов К.О
(ініціали та прізвище)

Керівник Шапій С.И
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С.А
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)
Освітня програма Електроніка
(код і назва)
Спеціалізація _____

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри Критська Т.В.
"6" Вересня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я**
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Чернотазов К.О
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Розробка приладу для обробки звуку в реальному часі

керівник роботи К.Т.Н.Доц. Шпаніс С.И
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання),
затверджені наказом ЗНУ від "02" червня 2022 року № 597-с

2 Строк подання студентом роботи _____

3 Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Принципи перетворення сигналів, Обробка динамічного діапазону звуку, Розробка тестів приладу для звукових ефектів на мові Matlab Конструкторсько-технологічна частина Характеристика небезпечних факторів на робочому місці, Економічне обґрунтування.

# РЕФЕРАТ

Сторінок 86 , 25 рис., 18 табл., 16 джерел.

МІКРОКОНТРОЛЕР, MATLAB, ПРИЛАД ЗВУКОВИХ ЕФЕКТІВ

Мета роботи - розробити сучасний цифровий прилад для звукових ефектів, дослідити ринок звукових пристроїв та розробити актуальне рішення для аудіо інженерів.

В дипломному проекті розглядаються питання розрахунку та розробки приладу для звукових ефектів. В даному приладі реалізований еффект “Компресії”. Це ефект динамічної обробки звуку - він може нормалізувати середню квадратичну гучність звуку, вирівняти піки звукової хвилі, або навпаки, збільшити різницю між піковою та середньо квадратичною гучністю - цей ефект протилежний компрессору й називається експандером - але механізм роботи в цих ефектів однаковий.

ЗМІСТ


| | |
|---|---|
| Вступ | 5 |
| 1 Принципи перетворення сигналів | 7 |
| 1.1 Типи перетворень звуку | 7 |
| 1.2 Фільтрація звуку. | 8 |
| 1.3 Каскад посилення | 21 |
| 2 Обробка динамічного діапазону звуку | 24 |
| 2.1 Середньоквадратичний детектор | 26 |
| 2.2 Піковий детектор | 27 |
| 2.3 Детектори піків з корекцією рівня | 30 |
| 2.4 Детектори плавних піків | 31 |
| 3 Розробка моделі приладу для звукових ефектів на мові MatLab | 33 |
| 3.1 Алгоритми | 54 |
| 4 Конструкторсько-технологічна частина | 57 |
| 4.1 Технології розробки друкованих плат | 57 |
| 5 Характеристика небезпечних факторів на робочому місці | 60 |
| 5.1 Електробезпека | 60 |
| 5.2 Пожежна безпека | 64 |
| 5.3 Загальні положення з пожежної безпеки | 64 |
| 5.4 Організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки | 68 |
| 5.5 Розрахунок заземлення | 70 |
| 6 Економічне обгрунтування | 79 |
| 6.1 Визначення стадій розробки | 79 |
| 6.2 Розрахунок заробітної плати | 81 |
| 6.3 Розрахунок кошторису витрат | 82 |
| Висновок | 84 |
| Список використаних джерел | 85 |

# ВСТУП

В сучасній музичній індустрії повсюдно використовуються різні звукові ефекти, які збагачують палітру музичних творів і додають до них додаткові фарби. Ефекти можуть використовуватися не тільки при обробці музичних творів, а й при відтворенні мовного матеріалу для зниження монотонності при прослуховуванні тривалих фрагментів.

Обробити звук на високому рівні можна програмним способом. Існує безліч різних звукових редакторів, що дозволяють робити зі звуком значно складніші речі, ніж це дозволяють робити навіть найскладніші ефект-процесори. Крім того, ефект-процесори часто емулюються в віртуальних WT-синтезаторах, а також знаходять програмну реалізацію в спеціальних програмах для обробки звуку в режимі реального часу.

Апаратну реалізацію звукові ефекти знаходять в цифрових сигнальних процесорах (DSP). Будь-MIDI-синтезатор має вбудований ефект-процесор тієї чи іншої складності (ефект-процесор представляє собою один або кілька DSP). Складні ефект-процесори "вміють" накладати на звуковий сигнал відразу кілька різних ефектів, причому, окремо для кожного каналу, дозволяючи регулювати параметри ефектів в режимі реального часу. Однак вартість таких ефект-процесорів надзвичайно висока (як і вартість будь-якого іншого високопродуктивного мікропроцесора), тому професійні DSP встановлюються тільки на якісну музичну апаратуру. На більш-менш дешевих звукових платах часто встановлюється DSP зі спрощеним набором можливостей: накладення одного або декількох ефектів на всі канали одночасно.

Більшість апаратних рішень звукових приладів на даний момент є транзисторними або побудованими на інтегральних мікросхемах. Не менш популярними є лампові прилади ефектів, які часто за розмірами більше транзисторних і, як правило, вимагають зовнішнього джерела живлення, але при цьому вони видають більш «теплий» звук, будучи гарною підмогою гітаристу при відсутності лампового комбопідсилювача. З початком століття

електроніки, з'явилися також цифрові гітарні процесори ефектів, розмір і функціональність яких варіюється від звичайної транзисторної «примочки» до величезного педалборд.

Але транзисторні та лампові прилади є дуже дорогими та складними в проектуванні та виробництві, тому темою диплому є розробка цифрового приладу на основі Arduino Nano R3, схема якого буде в рази простіше ніж транзисторні та лампові аналоги, а також набагато дешевше і матиме можливість для модернізації її параметрів за допомогою зміни програмного коду.

Розробка приладу для звукових ефектів важливе завдання, тому як є багато причин для того, щоб зібрати свій прилад ефектів: ціна, пошук потрібного звуку, якісь особливі шляху проходження сигналу або проста цікавість.

Такий прилад буде актуальним для музикантів у процесі студійної роботи, живих виступів, для дикторської роботи, запису звуку для кіновиробництва тощо.

Основна перевага цього приладу полягає у тому, що він дешевий, простий у виготовленні, гнучкий у роботі так як дозволяє кардинально змінювати свої характеристики без зміни схеми, а також прилад мобільний і дозволяє використовувати “свій звук” де завгодно.

Проект присвячено розробці приладу для звукових ефектів, який буде працювати в ланцюзі обробки сигналу синтезатора, гітари та мікрофону. Ціна компонентів для виготовлення приладу досить невисока, тому кінцева ціна буде в рази нижче за брендові прилади, ціна на які формується лише завдяки імені компанії-виробника.

У дипломній роботі передбачена обробка музичних файлів як програмно - на мові Matlab, так і апаратно - на базі Arduino Nano R3.

# 1 ПРИНЦИПИ ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ

## 1.1 Типи перетворень звуку

Всі перетворення звуку зводяться до наступних:

- Амплітудні перетворення.

Виконуються над амплітудою сигналу. Таку процедуру можна виконати двома способами: або множачи амплітуду сигналу на деяке фіксоване число, в результаті чого вийде однакове зміна інтенсивності сигналу на всій його протяжності, тобто посилення або ослаблення, або змінюючи амплітуду сигналу по якомусь закону, тобто множачи амплітуду сигналу на модулирующую функцію. Останній процес називається амплітудною модуляцією.

- Спектральні (частотні) перетворення.

Такі перетворення виконуються над частотними складовими звуку. Фактично сигнал представляється поруч Фур'є, тобто розкладається на найпростіші синусоїдальні коливання різних частот і амплітуд. Потім проводиться обробка необхідних частотних складових (наприклад, фільтрація) і зворотна згортка. На відміну від амплітудних перетворень, ця процедура значно складніша у виконанні, так як сам процес розкладання звуку на найпростіші синусоїдальні коливання дуже трудомісткий.

- Фазові перетворення.

Виконуються або шляхом постійного зсуву фази сигналу, або шляхом накладення деякої фазомодулірующей функції. Такі перетворення, наприклад, стерео сигналу, дозволяють реалізувати ефект обертання або "об'ємності" звуку.

- Тимчасові перетворення.

Реалізуються шляхом накладення на сигнал однієї або декількох його копій, зсунутих в часі. Дозволяють створити ефекти луни або хору. Крім того, тимчасові перетворення можуть впливати на просторові характеристики звуку [1].

- Формантного перетворення.

Виконуються над формантами - посиленими ділянками спектра звуку. Стосовно до звуку, сформованому мовним апаратом людини, змінюючи параметри формант, фактично можна змінювати сприйняття тембру і висоти голосу [1].

1.2 Фільтрація звуку.

До фільтрації вдаються у випадках, коли необхідно обмежити або змінити спектр звукового сигналу в якомусь певному частотному діапазоні. Шляхом фільтрації звуку, можна позбутися, наприклад, від небажаних шумів або перешкод, придушити певні частотні смуги. Існує і ще один важливий аспект застосування фільтрації. Часто пристрої, за допомогою яких проводиться запис і перетворення звукових сигналів, мають нелінійну залежність амплітуди від частоти сигналу. Це означає, що під час запису одні частотні складові звуку можуть бути завищені, а інші занижені. Фільтрація дозволяє нормалізувати частотні складові в необхідному діапазоні.

Таким чином, фільтрацію сигналів можна в цілому класифікувати наступним чином:

- фільтрація, в результаті якої відбувається посилення або ослаблення окремих частотних складових спектра;
- повне придушення частотних складових в певній смузі частот.

Фільтрація реалізується за допомогою різних пристроїв і алгоритмів. Одним з найбільш відомих фільтруючих пристроїв є еквалайзер. Еквалайзер дозволяє регулювати (підсилювати або послаблювати) рівень частотних складових в певній смузі частот, тим самим фактично регулюючи тембр звуку. Стосовно до комп'ютерної техніки, апаратна реалізація фільтруючих пристроїв в достатній мірі утруднена, так як процес фільтрації передбачає розкладання сигналу в ряд Фур'є, що є математично трудомісткою операцією. Однак реалізацію фільтрів тієї чи іншої складності можна знайти в цифрових сигнальних процесорах (DSP - Digital Signal Processor), що використовуються у професійній і напівпрофесійної музичної апаратури (хоча останнім часом

це твердження стало частково ставитися також і до побутових звукових пристроїв). Фільтрація знаходить реалізацію і в різному програмному забезпеченні, призначеному для обробки звуку. В такому випадку процеси фільтрації найчастіше відбуваються не в реальному часі [1].

- Одноразова затримка сигналу

Одним з найпоширеніших класів є звукові ефекти, засновані на затримці сигналу. В реальній ситуації затримка звукового сигналу може виникнути при відображенні звукової хвилі від твердої перешкоди, наприклад, від стіни. Величину виникає при цьому затримки легко визначити, знаючи пройдений звуковою хвилею шлях і з огляду на, що швидкість звуку на рівні моря можна вважати рівною 330 м/с. Таким чином, за одну мілісекунду звукова хвиля проходить 33 сантиметри. Для розрахунків зручніше пам'ятати, що один метр вона проходить за 3 мс.

Розглянемо спочатку реалізацію одноразового відображення звукової хвилі. Цей простий ефект є базовим для реалізації більш складних ефектів, таких, як імітація реверберації і хору.

Як вже говорилося вище, відображення звукової хвилі від твердої перешкоди призводить до появи в точці реєстрації затриманої версії випромінюваного сигналу. До появи цифрових процесорів обробки сигналу і інших цифрових пристроїв для затримки основного сигналу використовувалися спеціальні магнітофони з декількома рухомими головками. При цифрової реалізації лінії затримки вхідних аналоговий сигнал перетвориться в цифрову форму, записується в циклічний або будь-який інший буфер затримки, і сигнал з виходу цього буфера затримки перетвориться назад в аналогову форму і відтворюється.

Блок-схема реалізації одноразової затримки звукового сигналу приведена на рисунку 1.1

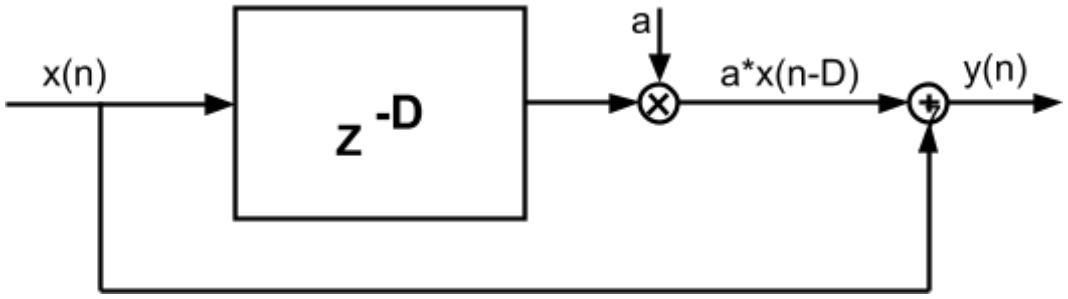


Рисунок 1.1 - Блок-схема реалізації одноразової затримки звукового сигналу

Вхідний сигнал x (n) одночасно надходить на лінію затримки і на суматор, що формує вихідний сигнал. Затриманий на величину D сигнал x (n) множиться на масштабний коефіцієнт a й також надходить на суматор, що формує вихідний сигнал. Перетворення, що здійснюються даною схемою, можуть бути виражені наступною формулою:

$$y(n) = x(n) + ax(n - D)$$

Дана схема є лінійним фільтром з передавальної функцією:

$$H(z) = 1 + az^{-D}$$

Оскільки при будь-якому відображенні звуковий сигнал послаблюється, то -1 <a <1. Негативні значення відповідають відображенню в протифазі. Ця модель є досить грубою, оскільки як поширення звукової хвилі, так і її відображення є частотно-залежними процесами. Однак в більшості випадків ця модель є адекватною. Величина D визначається різницею часу між приходом прямий і відбитої звукової хвилі.

Передатна характеристика є характеристикою гребінчастого фільтру. Відмінною особливістю даного класу фільтрів є виконання для них рівності:

$$H(j\omega) = H(j\omega + \tfrac{2\pi}{D})$$

Одноразова цифрова затримка часто використовується для пожвавлення "сухий" музики. У цьому випадку як основний, так і затриманий аудіосигнали складаються з однаковою амплітудою. Для того щоб при виконанні цієї операції не виникало переповнення розрядної сітки цифрового пристрою, обидва сигналу складаються з коефіцієнтом 1/2. У цьому випадку

використовується затримка порядку 15-40 мс. Введення цієї затримки призводить до появи у слухача враження, що два виконавця грають в унісон. При зменшенні величини затримки нижче 10 мс в сигналі можуть виникнути небажані биття, оскільки сума двох гармонійних сигналів з однаковою амплітудою може бути представлена як амплітудна модуляція гармонійного сигналу з частотою, яка дорівнює сумі частот вихідних сигналів, гармонійним сигналом з частотою, що дорівнює різниці частот вихідних сигналів.

Область використання одноразових затримок сигналу дуже обмежена, оскільки в реальному житті рідко зустрічається ситуація, коли в акустичному полі присутній тільки одна поверхня, що відбиває. Крім того, як зазначалося вище, навіть в цьому випадку для підвищення адекватності моделі необхідно використовувати формує фільтр, що враховує частотну характеристику відбиває і, можливо, частотну характеристику середовища поширення сигналу. Для моделювання акустичних полів з кількома відбивають світло і обліку частотних характеристик процесів відображення і поширення звукової хвилі використовуються багаторазові затримки [1].

- Багаторазова затримка сигналу

Багаторазова затримка сигналу може бути досягнута двома шляхами: доступом до різних елементів, що зберігаються в одній лінії затримки, або створенням декількох окремих ліній, що мають різний час затримки. Перший спосіб використовується в цифровій обробці сигналів і в магнітофонах з декількома прочитуючими головками, а другий - при використанні механічних і електричних ліній затримки.

Багаторазова затримка сигналу може бути реалізована як з використанням трансверсальних (з кінцевою імпульсною характеристикою), так і з використанням рекурсивних фільтрів (з нескінченною імпульсною характеристикою).

Багаторазова затримка з використанням трансверсального фільтра

Різницеве рівняння трансверсального фільтра може бути записано у вигляді:

$$y(n) = x(n) + \sum_{i=1}^{L} a_i x(n - \sum_{k=1}^{i} D_k)$$

У даному фільтрі використовуються різні величини затримок вхідного сигналу, що не дозволяє вважати цей фільтр гребінчастим. Використання кінцевого числа ліній затримки дає можливість врахувати вплив обмеженого числа відображають поверхонь.

Оскільки в трансверзальному фільтрі може бути враховано тільки обмежене число відображень сигналу, то його не можна використовувати для моделювання перевідбиттів звукової хвилі. Для цього слід використовувати рекурсивні фільтри.

- Багаторазова затримка з використанням рекурсивного фільтра

Блок-схема реалізації багаторазової затримки з використанням найпростішого рекурсивного фільтра наведена на рисунку 1.2.

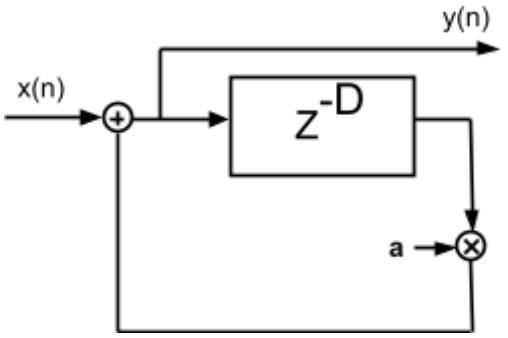


Рисунок 1.2 - Блок-схема багаторазової затримки з використанням рекурсивного фільтра

Цей фільтр може бути використаний для опису перевідбиттів звукової хвилі між двома нескінченними паралельними стінами, на одній з яких розташований випромінювач плоскої хвилі. Приймач може розташовуватися на будь-який з стін. При відображенні від стіни енергія звукової хвилі падає в a раз. Імпульсна характеристика даного фільтра є послідовність одиночних імпульсів, розташованих на відстані D відліків один від одного, причому імпульс з номером n має амплітуду an.

Даний фільтр описується різницевим рівнянням:

$$y(n) = a\ y(n - D) + x(n)$$

і має передавальну функцію:

$$H(z) = \frac{1}{1-az^{-D}}$$

- Більш складні звукові ефекти

Крім описаних вище найпростіших звукових ефектів існують і більш складні, засновані на переміщенні спектральних складових вихідного сигналу. Такий ефект може бути, наприклад, досягнутий при зміні величини затримки сигналу за певним законом в базовій блок-схемі, наведений на рисунку 1.3

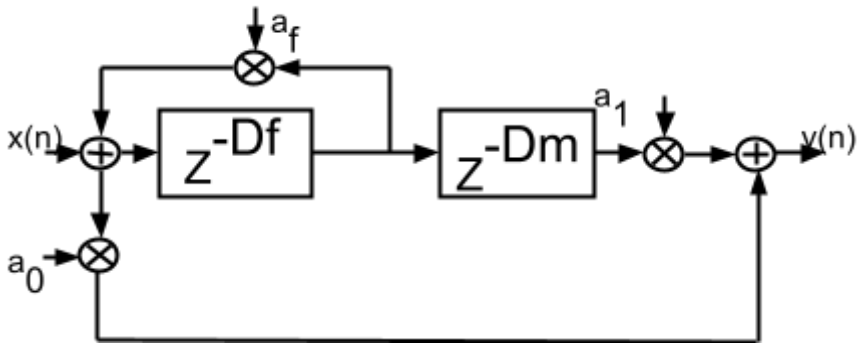


Рисунок 1.3 - Базова блок-схема

У цій блок-схемі величина $D_f$ є постійною, а величина $D_т = f_m$ (t) являє собою деяку функцію часу. Тому дана блок-схема реалізує гребінчастий фільтр зі змінною в часі частотної характеристикою. Ця блок-схема має занадто складну структуру, щоб описати її одним різницевим рівнянням. Вибір закону зміни величини $D_{m,}$ а також значення постійних величин $a_{0,}a_{1,}a_f$ і $D_f$ дозволяють реалізувати різні ефекти [1].

- Ефект детонації

Ефект детонації був відкритий при спробі використання вихідних сигналів з двох котушкові магнітофонів для створення ефекту хору, який буде описаний нижче. В результаті виник ефект, що нагадує звук злітаючого реактивного літака.

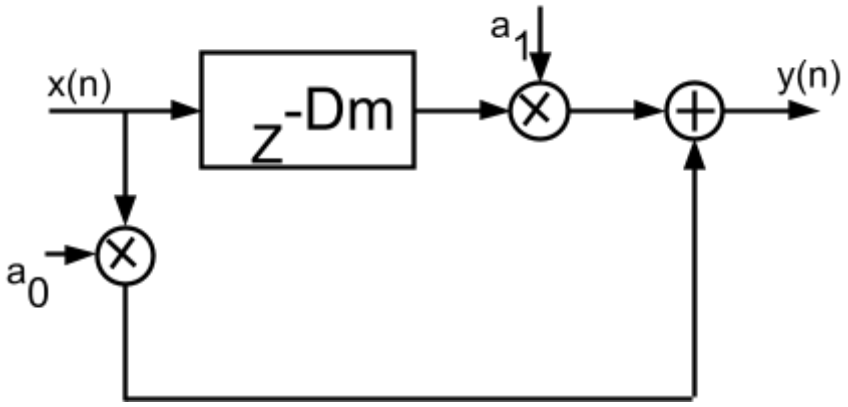


Рисунок 1.4 - Блок-схема пристрою, що реалізує ефект детонації

Для реалізації ефекту детонації в цифрових пристроях може бути використаний пристрій, блок-схема якого приведена на рисунку 1.4.

Як видно з рисунку 1.4, ця блок-схема є окремим випадком базової блок-схеми, зображеної на рисунку 1.4. Даною блок-схемі відповідає наступне різницеве рівняння:

$$y(n) = a_0 x(n) + a_1 x(n + f(n))$$

де

$$f(n) = \frac{D}{2}\left[1 + cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right)\right]$$

Для запобігання виникнення переповнення розрядної сітки при обчисленні вихідного значення коефіцієнт $a_0$ вибирається рівним 0,5, а коефіцієнт $a_1$ вибирається від -0,5 до 0,5. Значення параметра D, що визначає діапазон зміни затримки, зазвичай обирається від 0.25 до 25 мс. Значення параметра N, що визначає частоту детонації, вибирається виходячи з вимог, що пред'являються до вихідному сигналу.

Зменшення довжини лінії затримки призводить до пропорційного підйому частот спектральних складових вихідного сигналу, а її зменшення - до зниження цих частот [1].

- Ефект хорусу

Іншим ефектом, збагачує звукову палітру твору, є ефект хору. Він дозволяє створити у слухача ілюзію, що даний твір одночасно виконується на декількох однакових музичних інструментах. Хоча музиканти намагаються грати синхронно, вони не можуть уникнути невеликих відхилень від загального темпу. Крім того, неминучі відмінності в налаштуванні окремих інструментів і в гучності виконання.

Для створення ефекту одночасного виконання твору на M інструментах може бути використаний пристрій, блок-схема якого приведена на рисунку 1.5.

Як правило, всі коефіцієнти при реалізації ефекту затримки вибираються рівними (1 / M), а самі величини затримки не перевищують 15-35 мс. Природно, що кожна лінія затримки повинна змінювати свої параметри незалежно від всіх інших.

При такому виборі коефіцієнтів моделюються тільки відмінності в темпі виконання твору і в налаштуванні інструментів. Те що ці відмінності пов'язані один з одним, на слух не визначається, оскільки в реальній ситуації така залежність відсутня, і слух не пристосований для її виділення. Для моделювання різного рівня відтворення досить зробити змінними коефіцієнти фільтра, додавши до їх постійного значення деякий випадковий низькочастотний сигнал низького рівня, оскільки виконавці намагаються зберігати середній рівень гучності при відтворенні. Для простоти в якості випадкового низькочастотного сигналу може бути використаний той же самий сигнал, що і в лініях затримки [1].

Даній блок-схемі відповідає наступне різницеве рівняння:

$$y(n) = a_0 x(n) + \sum a_i x(n + f_i(n))$$

де

$$f(n) = \frac{D}{2}\left[1 + cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right)\right]$$

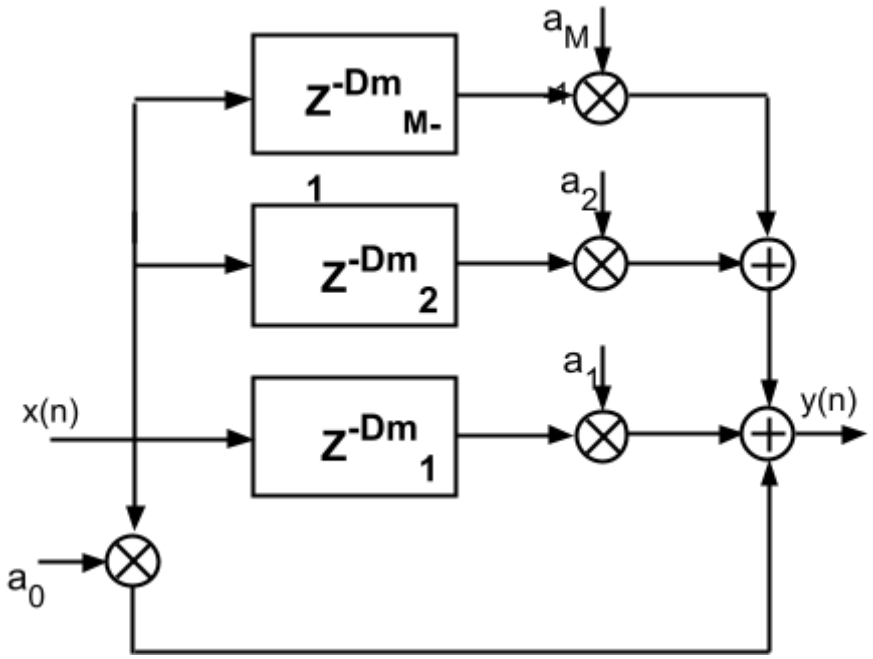


Рисунок 1.5 - Блок-схема пристрою, що реалізує ефект хору

- Эфект вібрато

Ефект вібрато імітує вібрато людських голосів, що визначає їх тембр, теплоту і виразність, і відповідний прийом виконання на струнних музичних інструментах, періодично змінює в невеликих межах висоту звуків. Ефект вібрато може бути отриманий в пристроях, що реалізують ефекти детонації і хору при повному видаленні вхідного сигналу з вихідного. Величина затримки при цьому вибирається таким чином, щоб частотний зсув основних спектральних складових сигналу становив кілька герц. Цей ефект часто плутають з ефектом тремоло, де сигнал піддається не частотної, а амплітудної модуляції. Обидва ефекти використовують однаковий сигнал, що модулює.

Блок-схема пристрою, що реалізує ефект вібрато, наведена на рисунку 1.6:

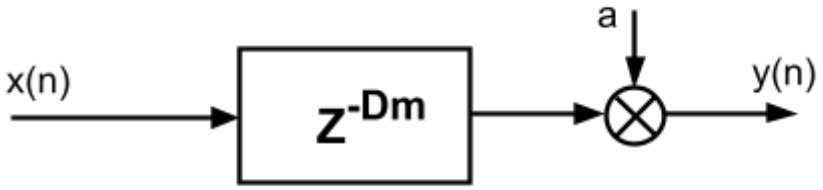


Рисунок 1.6 - Блок-схема пристрою, що реалізує ефект вібрато

Пристрій, блок-схема якого приведена на рисунку 1.6, може використовуватися також і для зміни основного тону диктора (наприклад, щоб зробити голос мовця невпізнанним). У цьому випадку величина затримки змінюється від нуля до деякої граничної величини за лінійним законом. Після досягнення затримки своєї граничної величини вона скидається в нуль, і процес відновлюється. Зміна затримки за таким законом дозволяє забезпечити роботу пристрою в реальному часі, але в момент обнулення величини затримки чути клацання. Справа в тому, що якраз в цей момент відбувається розрив відтвореного сигналу при переході до повторного відтворення деякого його ділянки.

Якщо необхідно не підвищити, а знизити частоту основного тону, то величина затримки постійно зменшується і при досягненні нуля встановлюється в своє максимальне значення. При такому переході втрачається частина вхідного сигналу. Для усунення клацань, що виникають при зміні величини затримки, рекомендується використовувати фільтри нижніх частот [1].

Більш простим способом усунення клацань є використання двох подібних пристроїв, фази пилкоподібних модулюють сигналів яких зрушені на половину періоду. При цьому необхідно задати вагове вікно (наприклад, вікно Ханна) на періоді модулюючого сигналу. Вихідні сигнали кожного пристрою множаться на відлік вагової функції, відповідний поточної довжині лінії затримки, і складаються один з одним, що забезпечує усунення клацань при переходах. Якщо позначити період модулюючого сигналу як N, відлік модулюючого сигналу як ft (п), а відлік вагової функції як W (п), то, з

використанням функції отримання залишку від цілочисельного ділення числа M на число N, що позначається як modN (M), процедура перетворення основного тону може бути записана у формі наступного різницевого рівняння:

$$y(n) = ax(n + f(n)) \text{ де,}$$
$$f(n) = \frac{D}{2}\left[1 + cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right)\right]$$

- Зміна динамічного діапазону: компресори та експандери

Компресори та експандери використовуються для зміни динамічного діапазону сигналу, тобто для зменшення відмінності рівнів тихого і найгучнішого сигналів. Для цього при перевищенні поточного значення сигналу деякого порога встановлюється коефіцієнт передачі, менший, ніж використовуваний до перевищення порога. Ставлення старого коефіцієнта передачі нового називається послабленням.

Усі коефіцієнти передачі задаються у логарифмічній шкалі. Тобто при ослабленні 2:1 збільшення вхідного сигналу на 20 дБ відповідатиме збільшення вихідного сигналу на 10 дБ.

Застосування компресорів дозволяє передавати лініями зв'язку сигнали, що мають більший динамічний діапазон, ніж канал, що передає. На приймальному кінці цієї лінії встановлюється експандер, що має передатну характеристику, зворотну характеристику компресора.

Інший сферою застосування компресорів є звукозаписна промисловість і радіомовлення. Річ у тім, що з запису музичних творів для більш точної передачі звучання всіх груп інструментів оркестру встановлюється кілька мікрофонів. Звуковий тиск створює на виході мікрофона електричний сигнал, що має динамічний діапазон 60-70 дБ. Однак більшість каналів нездатна передати весь діапазон зміни сигналу внаслідок обмежень, що накладаються перешкодами в каналі та його нелінійності. Тому виникає завдання стиснути вихідний динамічний діапазон сигналу до динамічного діапазону каналу, що зазвичай становить близько 40 дБ.

При рівні ослаблення вище 10:1 компресор перетворюється на обмежувач. Його основна відмінність полягає в тому, що застосування компресора передбачає подальше використання експандера, а після обмежувача будь-які розмови про відновлення сигналу, як правило, безглузді. Тому найчастіше використовуються обмежувачі з рівнем ослаблення ∞ : 1, що відповідає обмеження сигналу лише на рівні порога.

Оскільки передавальні характеристики компресорів та експандерів відрізняються великою нелінійністю, їх використання призводить до суттєвого спотворення сигналу. Так, наприклад, при використанні аналогових компресорів та експандерів неминуче виникає питання про забезпечення рівності амплітуд сигналу, що передається і приймається, оскільки в іншому випадку точки зміни коефіцієнтів передачі компресора і експандера не співпадуть, що призведе до виникнення нелінійних спотворень. Як зазначалося вище, у часто необхідно робити компресію сигналу з випередженням, тобто. до фактичного перевищення сигналом граничного рівня. В цьому випадку при повільному зростанні або спаді сигналу невідповідність точок зміни коефіцієнтів передачі призведе до розтягування у часі описаних вище нелінійних спотворень.

Компресор має набір елементів керування, безпосередньо пов'язаних з параметрами компресора, за допомогою яких можна налаштувати ефект. Найчастіше використовувані параметри компресора можуть бути визначені в такий спосіб:

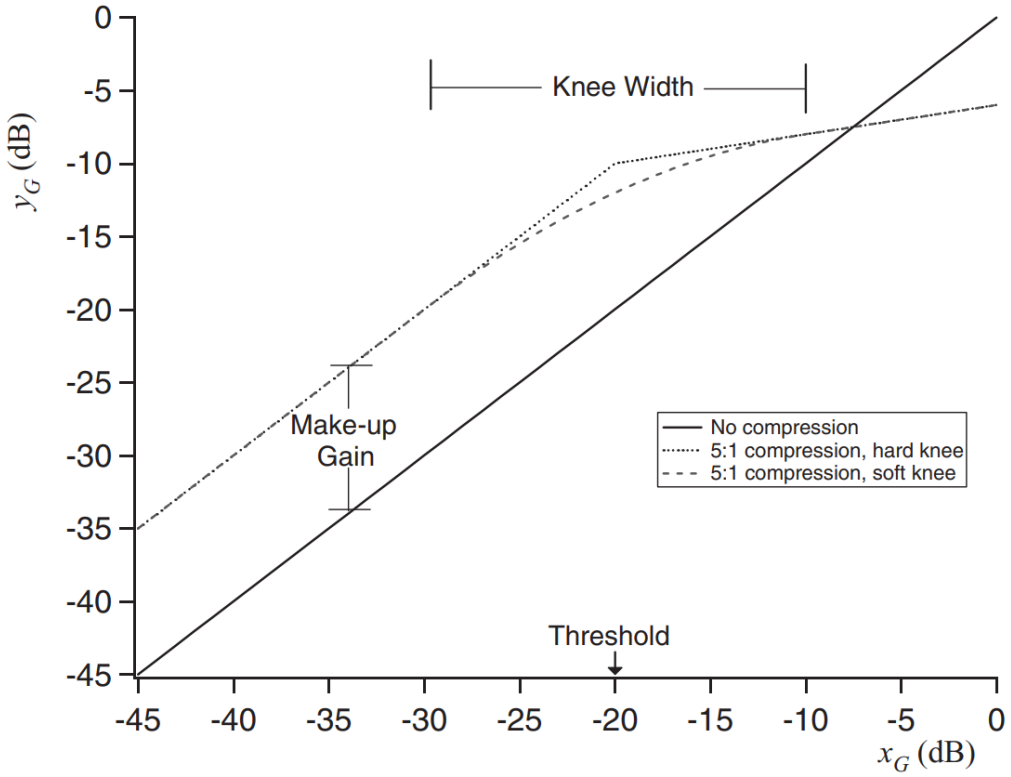


Рисунок 1.7 - Характеристика статичного стиснення з підвищенням гейну, твердим та м'яким коліном.

Поріг (Threshold) визначає рівень, вище якого починається стиск починається. Будь-який сигнал, що перевищує пороговий рівень, буде зменшено за рівнем.

Ratio керує співвідношенням вхід/вихід сигналів, що перевищують пороговий рівень. Він визначає ступінь компресії. Час атаки та час відпускання забезпечують контроль над тим. наскільки швидко діє компресор. Вони також відомі як тимчасовими константами, хоча остання зазвичай позначається як дБ, що позначають зниження посилення дБ, яке компресор буде застосовуватися для заданого часу атаки та протилежне значення для час відпускання. Миттєве спрацювання компресора, як описано в [2], небажано, оскільки воно вносить спотворення сигналу. у сигнал. Час

атаки визначає час, який потрібний компресору. щоб зменшити посилення до рівня, що визначається співвідношенням

щойно сигнал перевищить поріг. Час відпускання визначає час, необхідний для повернення посилення до нормального рівня після того, як сигнал впаде нижче за поріг. На виході компресора зазвичай є регулятор посилення (Make-Up Gain). Компресор зменшує рівень (посилення) сигналу; тому застосування до сигналу коефіцієнта посилення підживлення дозволяє узгодити рівень вхідної та вихідної гучності.

Параметр Knee Width (Ширина коліна) визначає, чи буде вигин у характеристики компресії (див. рис. 1) має гострий кут або закруглений край. Коліно – це визначена порогом точка, в якій співвідношення вхід-вихід змінюється від одиниці до заданого співвідношення. Різкий перехід називається жорстким коліном і забезпечує більш помітний стиск. М'якіший перехід коли відношення поступово збільшується від 1:1 до заданого значення області переходу по обидва боки від порога, називається М'яке коліно. Він робить ефект стиснення менш відчутним. Залежно від сигналу можна використовувати жорстке або м'яке коліно, причому останнє краще, коли ми хочемо отримати менш очевидну (прозору) компресію. Компресор має набір додаткових регуляторів, більшість із яких які є у більшості сучасних моделей компресорів. Ці включають параметр Hold, фільтрацію Side-Chain, LookAhead та багато інших.

### 1.3 Каскад посилення

Сигнал, що надходить компресор, розділяється на дві копії. Одна йде на підсилювач зі змінним коефіцієнтом посилення (каскад посилення) а інша - в побічний ланцюг, де комп'ютер посилення, схема, керована рівнем вхідного сигналу, застосовує підсилювач. схема, керована рівнем вхідного сигналу, застосовує необхідне зниження підсилення каскаді посилення. Копія сигналу, що надходить у побічний ланцюг, має свою біполярну амплітуду перетворюється на однополярне уявлення рівня. Коли рівень сигналу

визначається його абсолютним значенням (миттєвий рівень сигналу) це відомо як пік-сенсинг. Альтернативою є використання RMS-сенсингу та визначення рівня сигналу за його середньоквадратичним значенням. рівень сигналу за середньоквадратичним значенням (СКО).

Каскад посилення відповідає за ослаблення вхідного сигналу сигналу різну кількість децибел (дБ) з часом. Сайт серцем кожного компресора є елемент, який застосовує це зменшення посилення: підсилювач, керований напругою (VCA), який послаблює вхідний сигнал відповідно до зовнішньої напругою, що управляє (тут і далі позначається c), що надходить з бічного ланцюга. Створення VCA з аналоговими компонентами є нетривіальним завданням і тому було застосовано безліч підходів. Оптичні компресори, такі як Teletronix LA-2A, використовують світлозалежний резистор (LDR) як нижню ногу дільника напруги, розташованого в дорозі сигналу.

Керуюча напруга використовується для управління джерелом світла, яке потім - зі збільшенням яскравості - знижує опір резистора. яскравість - знижує опір LDR і, отже, знижує опір LDR та, отже, застосовує необхідне зменшення посилення. Аналогічний підхід використаний в компресорі Universal Audio 1176, але замість використання LDR, вони використовували опір між стоком і витоком польового транзистора (FET компресора).

Керуюча напруга може бути прикладена до виведення затвора для того. щоб зменшити опір FET [3]. Ще більш ранній підхід, що використовується в так званих компресорах зі змінним мю, таких як Fairchild 6704, використав той факт, що зміна напруги сітка-токатод змінює коефіцієнт підсилення підсилювача лампи. Більш сучасні конструкції компресорів використовують спеціалізовані вбудовані схеми VCA. Вони набагато більш передбачувані, ніж ранні підходи, і пропонують покращені характеристики (такі як менші гармонічні спотворення та більш високий корисний динамічний діапазон). У виключно цифровій конструкції можна змоделювати ідеальний VCA як множення вхідного сигналу на напругу управління, що надходить з побічного ланцюга. Якщо x[n] позначає вхідний сигнал, y[n] вихідний сигнал, а c[n] -

напруга, що управляє, то y[n] = c[n]-x[n]. Крім того, коефіцієнт підсилення підживлення часто використовується для додавання постійного коефіцієнта підсилення сигналу, щоб узгодити вихідний і вхідних рівнів. У цифровому компресорі ми можемо легко реалізувати коефіцієнт посилення підживлення, помноживши вихід компресора вихідний сигнал постійний коефіцієнт, відповідний бажаному значення коефіцієнта посилення. Таким чином, представляючи сигнали в децибелах, де M - коефіцієнт посилення підживлення:

$$yd\,B[n] \;=\; xd\,B[n] \;+\; cd\,B[n] \;+\; M \quad (1)$$

# 2 ОБРОБКА ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ ЗВУКУ

Обчислювач посилення – це компресорний каскад, який генерує керуюча напруга. Керуюча напруга визначає коефіцієнт посилення зменшення посилення, що має бути застосоване до сигналу. Цей етап включає в себе поріг T, співвідношення R і ширина коліна W. Ці визначають статичну характеристику стиснення на вході та виході. Як тільки рівень сигналу перевищує граничне значення, він послаблюється відповідно до коефіцієнта. Коефіцієнт компресії визначається як обернена величина від нахилу відрізка лінії вище порогового значення, тобто:

$$R = \frac{x_G - T}{y_G - T} \quad for \quad x_G > T \tag{2}$$

статична характеристика стиснення описується наступним співвідношенням:

$$y_G = \begin{cases} x_G & x_G \le T \\ T + (x_G - T)/R & x_G > T \end{cases} \tag{3}$$

Для того щоб згладити перехід між стисненням і відсутністю стиснення в пороговій точці, ми можемо пом'якшити коліно компресора. Ширина W коліна (децибелах) рівномірно розподіляється з обох боків від порога. На рис. 1 представлена крива посилення компресії з м'яким коліном. Щоб реалізувати це, ми замінюємо характеристику жорсткого коліна, яка використовується в рівнянні (3), характеристикою м'якого коліна, даючи наступну шматково-безперервну функцію,

$$y_G = \begin{cases} x_G & 2(x_G - T) < -W \\ x_G + (1/R - 1)(x_G - T + W/2)^2/(2W) & 2|(x_G - T)| \le W \\ T + (x_G - T)/R & 2(x_G - T) > W \end{cases} \tag{4}$$

Коли ширина коліна встановлена на нуль, гладке коліно є ідентично жорсткому коліну.

Етап визначення рівня використовується для забезпечення плавного подання рівня сигналу та може застосовуватися у різних місцях бокового ланцюга. Поступова зміна посилення відбувається за рахунок часу атаки та

відпускання. Процес правильного налаштування цих часів має вирішальне значення для роботи компресора, оскільки неприємні артефакти часто пов'язані з вибором цих параметрів компресора параметрів. Часи атаки та відпускання зазвичай вводяться через детекторний фільтр, що згладжує. Ми можемо змоделювати поведінка фільтра в часовій області в цифровій області за допомогою цифрового однополюсного фільтра,

$$s[n] = \alpha s[n-1] + (1-\alpha) r[n] \quad (5)$$

де α - коэфіцієнт фільтра, r[n] - вхід, а s[n] - вихід.

Ступінчаста характеристика цього фільтра має вигляд:

$$s[n] = 1 - \alpha n \; for \; x[n] = 1, \; n \geq 1. \quad (6)$$

Постійна часу τ визначається як час, необхідний для того, щоб цій системі досягти $1 - 1/e$ свого кінцевого значення, тобто $s[\tau f_s] = 1 - 1/e$. Таким чином, з (6) випливає, що

$$\alpha = e^{-1/(\tau f_s)} \quad (7)$$

Часто використовуються альтернативні визначення для постійного часу [5]. Наприклад, якщо вважати, що час наростання для ступінчастої відгуку від 10% до 90% кінцевого значення

$$0.1 = 1 - \alpha^{\tau_1 f_s}, \; 0.9 = 1 - \alpha^{\tau_2 f_s} \rightarrow \tau_2 - \tau_1 = \tau \ln 9 \quad (8)$$

В аналогових детекторах фільтр зазвичай реалізується як простий послідовний резисторно-конденсаторний ланцюг, з τ = RC. Рівняння. (5) та (7) можуть бути знайдені шляхом цифрового моделювання з використанням ступінчастого інваріантного перетворення. Перевага цього підходу в порівнянні з іншими методами цифрового моделювання, такими як білінійне перетворення, полягає в тому, що ми зберігаємо топологію аналогового фільтра з напруга конденсатора як змінний стан. Таким чином, ми не будемо відчувати жодних клацань і бавовни, коли почнемо змінювати коефіцієнти фільтра з часом.

2.1 Середньоквадратичний детектор

Виявлення рівня може бути засноване на вимірі середньоквадратичного значення (СКО) вхідного сигналу [6-7], яке визначається як

$$y_L^2[n] = \frac{1}{M} \sum_{m=-M/2}^{M/2-1} x_L^2[n-m] \qquad (9)$$

Середньоквадратичний детектор корисний, коли нас цікавить згладжене середнє значення сигналу. Інша мотивація для використання середньоквадратичного детектора полягає в тому, що він більш тісно пов'язаний з сприймається гучністю сигналу. Однак цей метод, як правило, не підходить для реалізації в реальному часі, оскільки він забезпечує затримку M/2 вибірок. При реалізації ефектів реального світу цей вимір часто апроксимується шляхом фільтрації квадратичного вхідного сигналу низькочастотним фільтром першого порядку IBP-фільтром першого порядку та вилученням квадратного кореня з вихідного сигналу [5]. Цей також часто зустрічається в аналогових компресорах на основі середньоквадратичних значень [9-10]. Різнисне рівняння RMS-детектора з коефіцієнтом згладжування стає:

$$y_L^2[n] = \alpha y_L^2[n-1] + (1-\alpha) x_L^2[n] \qquad (10)$$

Середньоквадратичний детектор тісно пов'язаний із вимірником одиниці гучності (VU). Однак вимірник VU не вимірює середньоквадратичні значення значення безпосередньо. Натомість він множить середнє випрямлене значення вхідного сигналу на коефіцієнт форми синусоїдальної хвилі $\pi/\sqrt{2}$ [5]. Тому вихідний сигнал вимірювача VU дорівнює лише істинного середньоквадратичного значення для синусоїдальних хвиль. Крім того середній фільтр вимірювача VU трохи загасає, що призводить до надмірного коливання голки після перехідних процесів. У деяких компресорах детектори RMS можна знайти в на початку ланцюжка і перед перетворенням на децибели. У [6] було показано, що рівняння (10) дає поведінку в цілому еквівалентне рівнянню (5), за винятком масштабування

тимчасової константи. Тому ми зосередимося на різних варіантах для пікового детектора.

2.2 Піковий детектор

Аналогова схема пікового детектора, як завжди зустрічається в аналогових регуляторах динамічного діапазону, наведена на Рис. 2. Якщо нам не потрібно моделювати конкретний тип діод, ми можемо ідеалізувати його, припустивши, що він може забезпечити нескінченний струм, коли напруга на діоді стає рівною

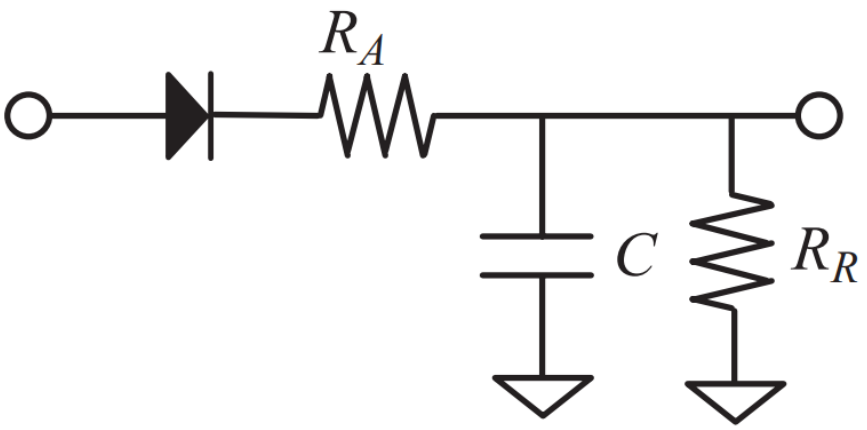


Рисунок. 1.2 - Схема пікового детектора

та повністю блокується при зворотному зміщенні. Цей значно полегшує розрахунок.

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{\max(V_{in} - V_C, 0)}{R_A C} - \frac{V_C}{R_R C} \qquad (11)$$

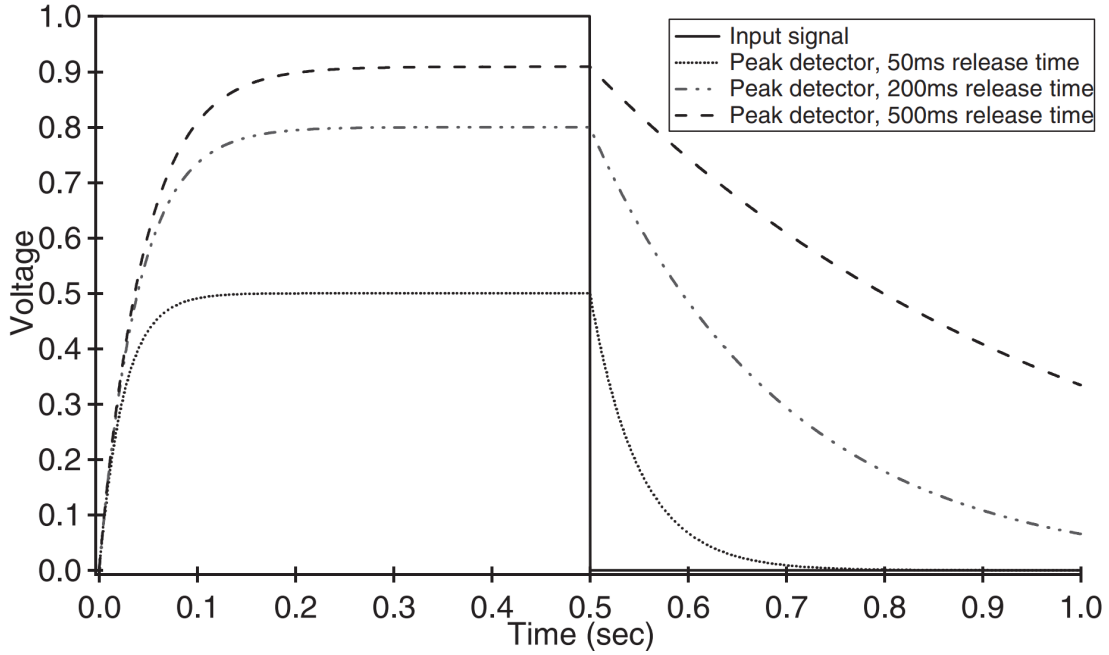


Рисунок 1.3 - Вихід схеми пікового детектора для різних констант часу вивільнення константи часу. Час атаки = 50 мс.

Конденсатор заряджається через резистор RA відповідно позитивною напругою на діоді, але постійно розряджається через резистор RA відповідно до позитивної напруги на діоді $R_R$ Приймаючи $\alpha_A$ як коефіцієнт атаки та $\alpha_R$ як коефіцієнт викиду, розраховані відповідно до рівняння. (7) з часів атаки та викиду $\tau A = R_A C$ та

$\tau_R = R_R C$), ми можемо змоделювати ідеальний аналоговий піковий детектор:

$$y_L[n] = \alpha_R y_L[n-1] + (1-\alpha_A)\max(x_L[n] - y_L[n-1], 0) \quad (12)$$

Хоча ця схема використовується в багатьох аналогових компресорах і деяких цифрових конструкціях [8], вона має кілька проблем. Коли $x_L[n] \geq y_L[n-1]$, ступінчаста характеристика дорівнює:

$$y[n] = (1-\alpha_A)\sum_{m=0}^{n-1}(\alpha_R + \alpha_A - 1)^m \rightarrow \frac{1-\alpha_A}{2-\alpha_R-\alpha_A} \approx \frac{\tau_R}{\tau_R+\tau_A} \quad (13)$$

де ми використовували серійне розкладання експонентної функції. Рівняння (13) має на увазі, що ми отримуємо правильну оцінку піку тільки тоді, коли постійна часу вивільнення значно більша ніж постійна атака часу. Іншим побічним ефектом є те, що час атаки також злегка масштабується часом вивільнення: час атаки буде швидше, ніж очікувалося, коли ми використовуємо швидкий час визволення. Обидві проблеми проілюстровано на рис. 3. Щоб домогтися програмно-залежної поведінки під час відпускання (автоматичного відпускання), деякі аналогові компресори використовують комбінацію двох постійних часу відпускання у своїх пікових детекторах. Одна з таких конструкцій зустрічається у знаменитому SSL Stereo Bus Compressor

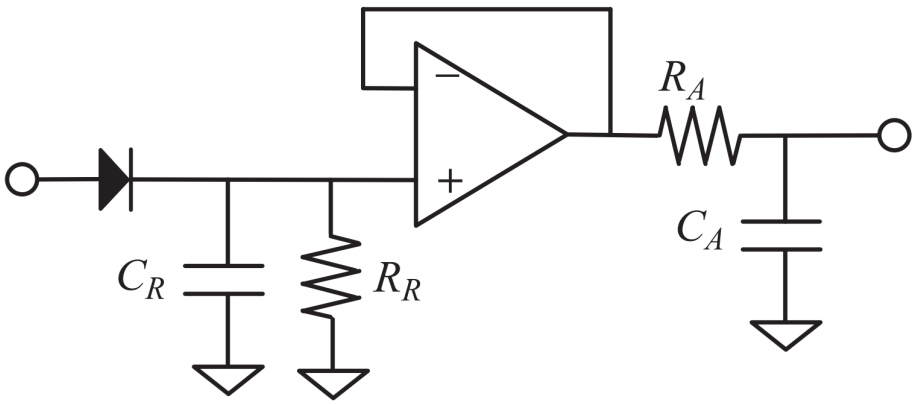


Рисунок 1.4 - Схема пікового детектора з розв'язкою.

У ньому використовуються дві мережі випуску, покладені одна на одну. Ранні компресори Fairchild та аналогічні лампові компресори використовували подібні конструкції. Коли використовується в компресорі, піковий детектор з подвійною постійною часом константою автоматично збільшує час випуску, коли стиснення продовжується протягом тривалого часу. Це дає бажану властивість коротшого часу відпускання після стиснення перехідних процесів і більш тривалого часу відпускання для стійкого стану стиснення. Однак, цей тип пікового детектора страждає від тих самих проблем із рівнем.

2.3 Детектори піків з корекцією рівня

На рис. 4 показаний альтернативний піковий детектор, в якому підсхеми для атаки та викиду повністю розв'язані. Вхідний сигнал спочатку подається через піковий детектор з миттєвою атакою. Результатом є максимально швидка оцінка піку, який буферизується і згладжується фільтром низьких частот першого порядку. фільтр низьких частот. Перевага цього методу полягає в тому, що детектор не страждає від різниці в рівні, викликаної різними постійними часами, яку демонструє стандартна схема пікового детектора. схема. Використовуючи похідні для аналогового пікового детектора, можна розробити цифрова реалізація розв'язаного пікового детектора є проста.

$$\begin{aligned} y_1[n] &= \max\left(x_L[n], \alpha_R y_1[n-1]\right) \\ y_L[n] &= \alpha_A y_L[n-1] + (1-\alpha_A) y_1[n] \end{aligned} \tag{14}$$

Однак огинаюча атака тепер також накладається на огинаючу відпускання. Добру оцінку фактичного часу відпускання можна отримати, просто додавши відповідну константу часу атаки до константи часу відпускання. постійного часу атаки до постійного часу відпускання. У виключно цифровому середовищі ми можемо ефективно вирішити цю проблему це, додавши гілка до різницевого рівняння стандартного пікового детектора.

$$y_L[n] = \begin{cases} \alpha_A y_L[n-1] + (1-\alpha_A) x_L[n] & x_L[n] > y_L[n-1] \\ \alpha_R y_L[n-1] & x_L[n] \le y_L[n-1] \end{cases} \tag{15}$$

Додана гілка гарантує, що змінна стан розряджається тільки розряджається лише під час фази звільнення. Такий піковий детектор був описаний у [10, 15]. На рис. 5 зображено вихід розв'язаної та розгалуженої схеми пікового детектора, рівняння (14) та (15) відповідно, для різних постійних часу вивільнення. Детектор розгалуженого піку видає передбачувану постійну часу вивільнення, тоді як розв'язаний піковий детектор робить вимірювану постійну часу приблизно τR+τA. В ідеальному

випадку розв'язаний пік детектор слід використовувати із заміною $\tau_R$ на $\tau_A + \tau_R$. Натомість час атаки часто додається до часу вивільнення. для детектора пік розгалуження. У цьому випадку жоден з жоден з детекторів піків не показує точних постійних часу, але траєкторії вивільнення приблизно узгоджуються, і це гарантує, що що час вивільнення ніколи не може бути коротшим за час атаки часу.

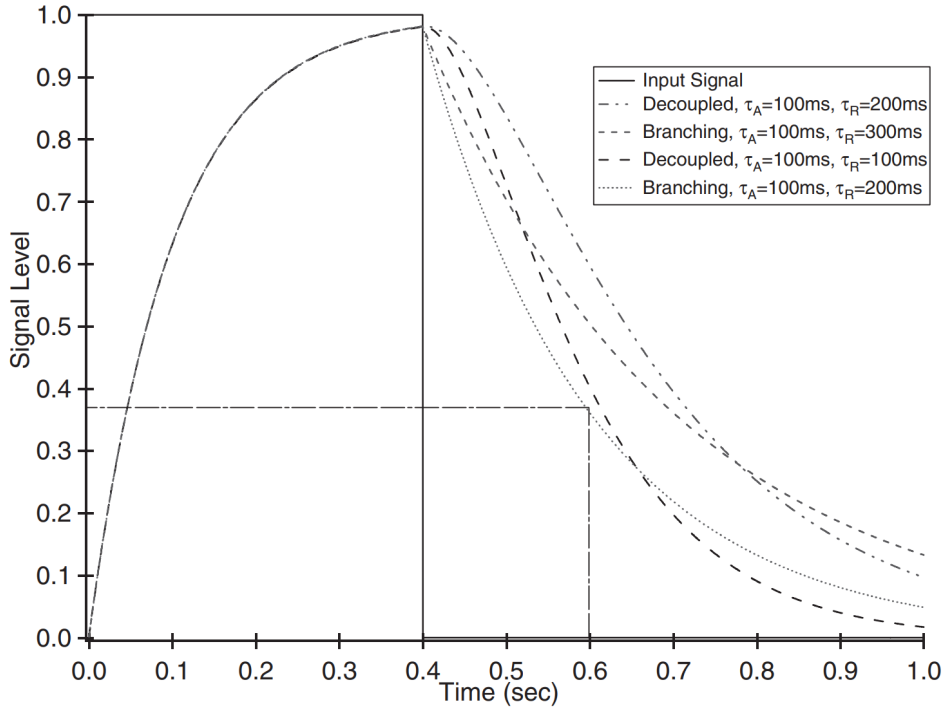


Рисунок 1.5 - Вихід розв'язаного та розгалуженого пікового детектора схеми для різних постійних часу вивільнення. Розгалужений піковий детектор розгалуженого піку видає передбачувану постійну часу вивільнення, тоді як розв'язаний піковий детектор видає постійну виміряну часу приблизно

$$\tau_A + \tau_R.$$

2.3 Детектори плавних піків

Всі аналогові конструкції використовують повний час визволення лише в тому випадку, якщо вхід повертається нанівець після піку. Однак, коли сигнал натомість осідає на проміжному плато, огинаюча викиду просто зупиняється в цій точці і час відпускання набагато коротший, ніж можна було

б очікувати. Раптова зупинка створює уривчастість на виході огинаючої. Ми можемо налаштувати детектор піків розгалуження для того, щоб щоб гарантувати, що він завжди буде використовувати повний час вивільнення час.

$$y_L[n] = \begin{cases} \alpha_A y_L[n-1] + (1-\alpha_A)x_L[n] & x_L[n] > y_L[n-1] \\ \alpha_R y_L[n-1] + (1-\alpha_R)x_L[n] & x_L[n] \leq y_L[n-1] \end{cases} \quad (16)$$

Цей піковий детектор, також використаний у [1, 15], тепер просто перемикає коефіцієнти між атакою та звільненням фази. Таку ж модифікацію можна внести до механізму звільнення розв'язаного пікового детектора, рівняння (14), якщо потрібний безперервний механізм вивільнення. Таким чином, замість розряду конденсатора на землю через розділовий резистор, він може розряджатися на вхідний сигнал, таким чином:

$$\begin{aligned} y_1[n] &= \max(x_L[n], \alpha_R y_1[n-1] + (1-\alpha_R)x_L[n]) \\ y_L[n] &= \alpha_A y_L[n-1] + (1-\alpha_A)y_1[n] \end{aligned} \quad (17)$$

# 3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРИЛАДУ ДЛЯ ЗВУКОВИХ ЕФЕКТІВ НА МОВІ MATLAB

Компресор System object™ стискає динамічний діапазон аудіо сигналу незалежно для кожного вхідного каналу. Компресія динамічного діапазону послаблює гучність гучних звуків, що перетинають заданий поріг. Він використовує заданий час атаки та відпускання для досягнення плавної кривої посилення. Властивості об'єкта compressor System визначають тип компресії динамічного діапазону.

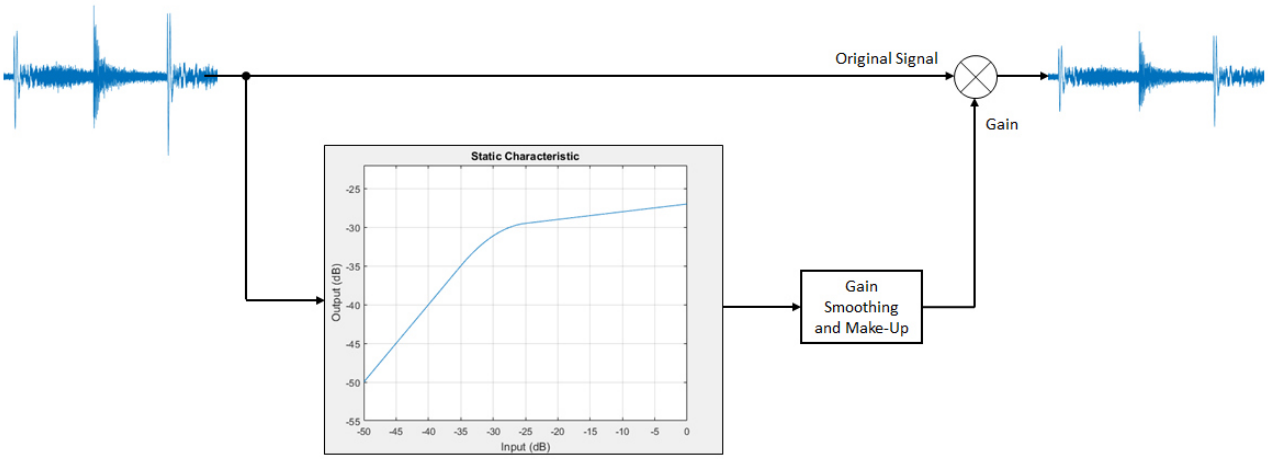


Рисунок 2.1 - схема обробки аудіо сигналу об’єктом компрессора MATLAB

Щоб стиснути динамічний діапазон:

1. Створіть об'єкт компресора та встановіть його властивості.
2. Викличте об'єкт з аргументами, як функцію.

Створення об’єкту

Синтаксис:

```
dRC = compressor
dRC = compressor(thresholdValue)
dRC = compressor(thresholdValue,ratioValue)
dRC = compressor( __ ,Name,Value)
```

Опис

dRC = compressor створює об'єкт System, dRC, який виконує стиснення динамічного діапазону незалежно кожного вхідного каналу з часом.

dRC = compressor(thresholdValue) встановлює властивість Threshold значення threshold Value.

dRC = compressor(thresholdValue,ratioValue) встановлює властивість Ratio в ratioValue.

dRC = compressor(___,Name,Value) встановлює кожну властивість Name у вказане Value. Невизначені властивості мають значення за промовчанням.

Приклад: dRC = compressor('AttackTime',0.01,'Sample Rate',16000) створює об'єкт System, dRC, з часом атаки 10 мс, що працює при частоті дискретизації 16 кГц.

Властивості

Якщо не вказано інше, властивості не налаштовуються, що означає, що ви не можете змінити їх значення після виклику об'єкта. Об'єкти блокуються під час виклику, а функція release розблокує їх.

Якщо властивість настроюється, ви можете змінити його значення в будь-який час.

Поріг (Threshold) - поріг спрацьовування (дБ)

-10 (за замовчуванням) | речова скалярна величина

Поріг спрацьовування у дБ, заданий у вигляді реальноъ шкали.

Поріг спрацьовування - це рівень, вище якого посилення застосовується до вхідного сигналу.

Настроюваний: Так

Типи даних: single | double

Ratio - Коефіцієнт стиснення

5 (за замовчуванням)| реальна скалярна величина

Коефіцієнт стиснення, заданий у вигляді речового скаляра, більшого або рівного 1.

Коефіцієнт стиснення - це співвідношення вхід/вихід для сигналів, що перевищують поріг спрацьовування.

У припущенні, що характеристика жорсткого коліна та стійкий стан входу такі, що x[n] дБ > порога, коефіцієнт стиснення визначається як:

$$R = \frac{(x[n] - T)}{(y[n] - T)}$$

- R – коефіцієнт стиснення.
- x[n] - вхідний сигнал у дБ.
- y[n] - вихідний сигнал у дБ.
- T – поріг у дБ.

Настроюваний: Так

Типи даних: single | double

KneeWidth - ширина коліна (дБ) - 0 (за замовчуванням) | реальний скаляр

Ширина коліна в дБ, задається у вигляді речового скаляра, більшого або рівного 0.

Ширина коліна - це область переходу у характеристиці стиснення. Для характеристик з м'яким коліном область переходу визначається співвідношенням:

$$y = x + \frac{\left(\frac{1}{R} - 1\right) \times \left(x - T + \frac{W}{2}\right)^2}{(2 \times W)}$$

для діапазону:

$$(2 \times |x - T|) \leq W$$

- y - вихідний рівень у дБ.
- x - вхідний рівень у дБ.
- R – коефіцієнт стиснення.
- T – поріг у дБ.
- W – ширина коліна в дБ.

Настроюваний: Так

Типи даних: single | double

AttackTime - час атаки (секунди) - 0.05 секунди (за замовчуванням) | реальна скалярна величина

Час атаки в секундах задається у вигляді речовинного скаляра, більшого або рівного 0.

Час атаки - це час, протягом якого коефіцієнт посилення компресора збільшується з 10% до 90% від свого кінцевого значення, коли вхідний сигнал перевищує порогове значення.

Налаштовується: Так

Типи даних: single | double

ReleaseTime - Час визволення (секунди) - 0.2 секунди (за замовчуванням) | речова скалярна величина

Час вивільнення в секундах задається у вигляді речовинного скаляра, більшого або рівного 0.

Час вивільнення - це час, необхідний компресору зниження посилення з 90% до 10% від кінцевого значення, коли вхідний сигнал стає нижче порогового.

Налаштовується: Так

Типи даних: single | double

MakeUp Gain Mode - Режим посилення гучності

'Property' (за замовчуванням) | 'Auto'

Режим посилення підживлення, заданий як 'Auto' або 'Property'.

- 'Auto' -- Коефіцієнт посилення застосовується на виході динамічного діапазону компресора таким чином, що в стаціонарному стані вхідний сигнал 0 дБ має вихідний сигнал 0 дБ.
- 'Property' -- Посилення підживлення встановлюється на значення, вказане у властивості MakeUp Gain.

Настроюється: Ні

Типи даних: char | string

MakeUpGain - Коефіцієнт підсилення (дБ) - 0 (за замовчуванням)| реальний скаляр

Коефіцієнт підсилення дБ, заданий у вигляді речовинного скаляра.

Коефіцієнт підсилення компенсує посилення, втрачене під час стиснення. Воно застосовується на виході динамічного динамічного діапазону компресора.

Налаштовується: Так

Залежності

Щоб увімкнути цю властивість, встановіть MakeUpGainMode в 'Property'.

Типи даних: single | double

SampleRate - Частота дискретизації вхідного сигналу (Гц) - 44100 Гц (за замовчуванням) | позитивний скаляр

Вхідна частота дискретизації Гц, задана у вигляді позитивного скаляра.

Налаштована: Так

Типи даних: single | double

Enable Sidechain - Увімкнути вхід sidechain ланцюга - false (за замовчуванням) | true

Включення вхід sidechain , задається як true або false. Ця властивість визначає кількість доступних входів об'єкті компресора.

- false -- Введення бічного ланцюга вимкнено, і об'єкт компресора приймає один вхід: дані audioIn, що підлягають стиску.
- true - Вхід бічного ланцюга включений, і об'єкт компресора приймає два входи: дані audioIn, що підлягають стиску, і вхід бічного ланцюга, що використовується для обчислення коефіцієнта посилення стиснення.

Тип даних бічного ланцюга та довжина (кадра) повинні бути такими ж, як і у audioIn.

Кількість каналів входу sidechain має дорівнювати кількості каналів audioIn або дорівнювати одиниці. Якщо кількість каналів sidechain дорівнює одиниці, посилення, обчислене на основі цього каналу, застосовується до всіх каналів audioIn. Якщо кількість каналів sidechain дорівнює кількості каналів audioIn, посилення, обчислене для кожного каналу sidechain, застосовується до відповідного каналу audioIn.

Налаштовується: Ні

Використання

Синтаксис

```
audioOut = dRC(audioIn)
[audioOut,gain] = dRC(audioIn)
```

Пояснення

audioOut = dRC(audioIn) виконує стиск динамічного діапазону вхідного сигналу, audioIn, і повертає стислий сигнал audioOut. Тип стиснення динамічного діапазону визначається алгоритмом і властивостями об'єкта системи компресора, dRC.

[audioOut,gain] = dRC(audioIn) також повертає застосований коефіцієнт посилення дБ для кожного вхідного зразка.

Вхідні аргументи

audioIn - аудіовхід для компресора | матриця

Аудіовхід компресора, заданий у вигляді матриці. Стовпці матриці розглядаються як незалежні аудіоканали.

Типи даних: single | double

Вихідні аргументи

audioOut - аудіовиход компресора | матриця (matrix)

Аудіовиход із компресора, що повертається у вигляді матриці того ж розміру, що і audioIn.

Типи даних: single | double

gain - Посилення, застосовуване компресором (дБ) | матриця (matrix)

Посилення, яке застосовується компресором, повертається у вигляді матриці того ж розміру, що і audioIn.

Типи даних: single | double

Функції Об’єкту

Щоб використовувати функції об’єкту, вкажіть об'єкт System як перший вхідний аргумент. Наприклад, щоб звільнити системні ресурси об'єкта System з іменем obj, використовуйте наступний синтаксис:

release(obj)

Специфічні для компресора

| | |
|---|---|
| visualize | Visualize static characteristic of dynamic range controller |
| staticCharacteristic | Return static characteristic of dynamic range controller |
| createAudioPluginClass | Create audio plugin class that implements functionality of System object |
| parameterTuner | Tune object parameters while streaming |

Загальні для всіх системних об'єктів

| Property | Range | Mapping | Unit |
|---|---|---|---|
| Threshold | [–50, 0] | linear | dB |
| Ratio | [1, 50] | linear | none |
| KneeWidth | [0, 20] | linear | dB |
| AttackTime | [0, 4] | linear | seconds |
| ReleaseTime | [0, 4] | linear | seconds |
| MakeUpGain (available when you set MakeUpGainMode to 'Property') | [–10, 24] | linear | dB |

Приклади

Стиснення аудіосигналу

Використовуйте стиск динамічного діапазону, щоб зменшити гучність гучних звуків.

Встановіть системні об'єкти dsp.AudioFileReader та audioDeviceWriter™.

```
frameLength = 1024;
fileReader = dsp.AudioFileReader( ...
    'Filename','RockDrums-44p1-stereo-11secs.mp3', ...
    'SamplesPerFrame',frameLength);
deviceWriter = audioDeviceWriter( ...
    'SampleRate',fileReader.SampleRate);
```

Налаштуйте компресор на поріг (Threshold) -15 дБ, коефіцієнт (Ratio) 7 та ширину коліна (Knee width) 5 дБ. Використовуйте частоту дискретизації пристрою для читання аудіо файлів.

```
dRC = compressor(-15,7, ...
    'KneeWidth',5, ...
    'SampleRate',fileReader.SampleRate);
```

Налаштуйте область охоплення для візуалізації вихідного аудіосигналу, стисненого аудіосигналу та коефіцієнта посилення компресора.

```
scope = timescope( ...
    'SampleRate',fileReader.SampleRate, ...
    'TimeSpanSource','Property','TimeSpan',1, ...
    'BufferLength',44100*4, ...
    'YLimits',[-1,1], ...
    'TimeSpanOverrunAction','Scroll', ...
    'ShowGrid',true, ...
    'LayoutDimensions',[2,1], ...
    'NumInputPorts',2, ...
    'Title', ...
    ['Original vs. Compressed Audio (top)' ...
    ' and Compressor Gain in dB (bottom)']);
scope.ActiveDisplay = 2;
scope.YLimits = [-4,0];
scope.YLabel = 'Gain (dB)';
```

Відтворіть оброблений звук та візуалізуйте його на екрані.

```
while ~isDone(fileReader)
    x = fileReader();
    [y,g] = dRC(x);
    deviceWriter(y);
    scope([x(:,1),y(:,1)],g(:,1))
end

release(dRC)
release(deviceWriter)
release(scope)
```

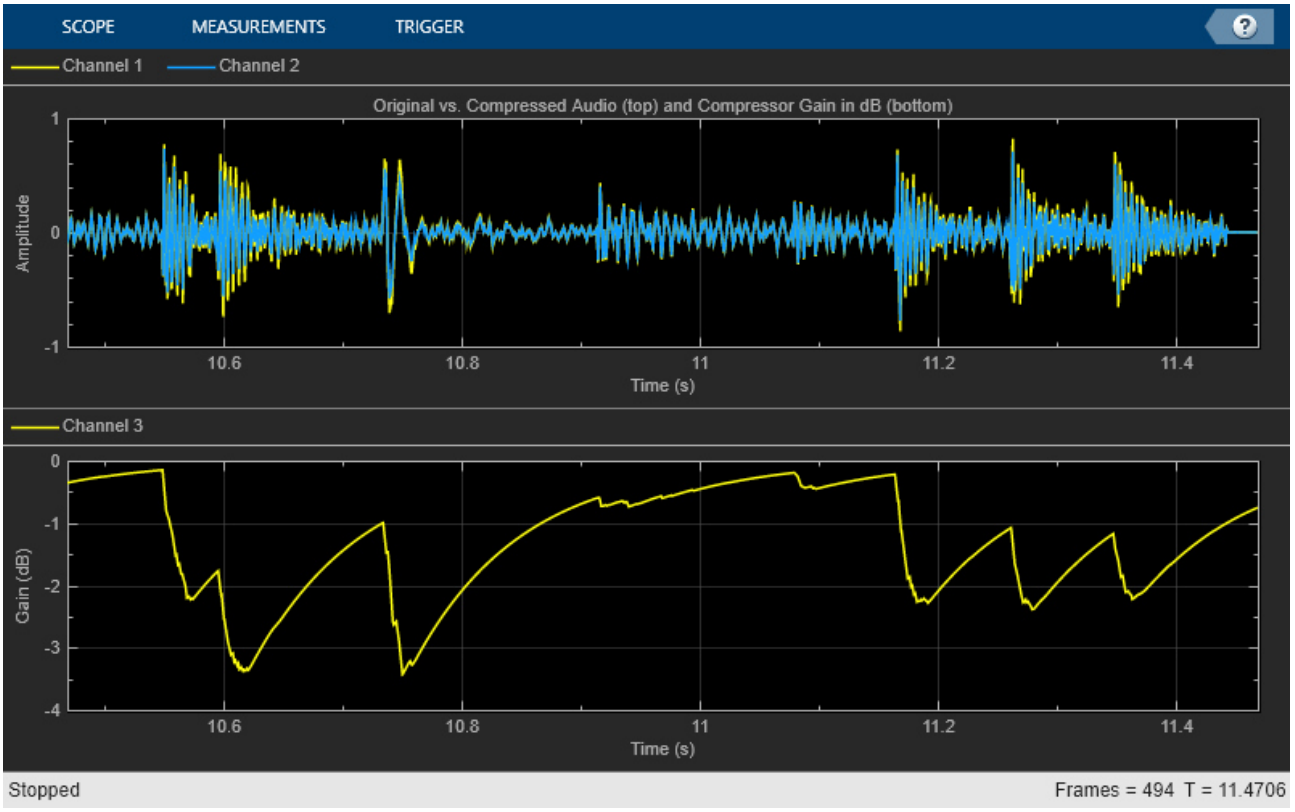


Рис 2.2 - візуалізація аудіо сигналу після компресії та огинаюча роботи компрессора

Порівняння лімітера та компресора динамічного діапазону

Лімітер динамічного діапазону – це особливий тип компресора динамічного діапазону. У лімітерах рівень, який перевищує робочий поріг, жорстко обмежується. У найпростішій реалізації лімітера ефект еквівалентний кліпування аудіосигналу. У компресорах рівень вище робочого порога знижується з допомогою заданого коефіцієнта стиснення.

Використання коефіцієнта стиснення призводить до більш плавної обробки сигналу.

Порівняння лімітера та компресора, застосованих до синусоїди

Створіть об'єкт Limiter System™ та об'єкт compressor System. Встановіть властивості AttackTime та ReleaseTime обох об'єктів на нуль. Створіть системний об'єкт audioOscillator для створення синусоїди з частотою 5 і амплітудою 0,1.

```
dRL = limiter('AttackTime',0,'ReleaseTime',0);
dRC = compressor('AttackTime',0,'ReleaseTime',0);

osc = audioOscillator('Frequency',5,'Amplitude',0.1);
```

Створіть тимчасову область для візуалізації згенерованої синусоїди та обробленої синусоїди.

```
scope = timescope( ...
    'SampleRate',osc.SampleRate, ...
    'TimeSpanSource','Property','TimeSpan',2, ...
    'BufferLength',osc.SampleRate*4, ...
    'TimeSpanOverrunAction','Scroll', ...
    'ShowGrid',true, ...
    'LayoutDimensions',[2 1], ...
    'NumInputPorts',2);
scope.ActiveDisplay = 1;
scope.Title = 'Original Signal vs. Limited Signal';
scope.YLimits = [-1,1];
scope.ActiveDisplay = 2;
scope.Title = 'Original Signal vs. Compressed Signal';
scope.YLimits = [-1,1];
```

У циклі аудіопотоку візуалізуйте вихідну синусоїду та синусоїду, оброблену лімітером та компресором. Для ілюстрації ефекту збільште амплітуду синусоїди.

```
while osc.Amplitude < 0.75
    x = osc();

    xLimited    = dRL(x);
    xCompressed = dRC(x);

    scope([x xLimited],[x xCompressed]);

    osc.Amplitude = osc.Amplitude + 0.0002;
end
release(scope)
```

Рисунок 2.3 - Вихідна синусоїда та синусоїда, оброблена лімітером та компресором. Для ілюстрації ефекту збільшена амплітуда синусоїди

Порівняйте дію лімітера та компресора на аудіосигнал

Порівняння дії лімітерів та компресорів динамічного діапазону на доріжці ударних. Створіть системний об'єкт dsp.AudioFileReader та системний об'єкт audioDeviceWriter для читання звуку з файлу та запису на пристрій виведення звуку. Щоб підкреслити ефект керування динамічним діапазоном, встановіть робочий поріг лімітера та компресора на -20 дБ.

```
dRL.Threshold = -20;
dRC.Threshold = -20;

fileReader = dsp.AudioFileReader('FunkyDrums-44p1-stereo-25secs.mp3');
deviceWriter = audioDeviceWriter('SampleRate',fileReader.SampleRate);
```

Прочитати послідовні кадри з аудіофайлу у циклі. Прослухати та порівняти вплив обмеження динамічного діапазону та стиснення динамічного діапазону на аудіосигнал.

```
numFrames = 300;

fprintf('Now playing original signal...\n')
```

```
Now playing original signal...
```

```
for i = 1:numFrames
    x = fileReader();
    deviceWriter(x);
end
reset(fileReader);

fprintf('Now playing limited signal...\n')
```

```
Now playing limited signal...
```

```
for i = 1:numFrames
    x = fileReader();
    xLimited = dRL(x);
    deviceWriter(xLimited);
end
reset(fileReader);

fprintf('Now playing compressed signal...\n')
```

```
Now playing compressed signal...
```

```
for i = 1:numFrames
    x = fileReader();
    xCompressed = dRC(x);
    deviceWriter(xCompressed);
end

release(fileReader)
release(deviceWriter)
release(dRC)
release(dRL)
```

Зменшення кількості плюзивів у мовному сигналі

Плозиви - це приголосні звуки, що виникають внаслідок раптового випуску повітряного потоку. Вони найчастіше вимовляються в словах, що починаються зі звуків p, d та g. Плозивні звуки можуть бути підкреслені в

процесі запису та часто неприємні на слух. У цьому прикладі ви мінімізуєте плюсиви у мовному сигналі, застосувавши фільтрацію високих частот та низькосмугову компресію.

Створіть об'єкт dsp.AudioFileReader та об'єкт audioDeviceWriter для читання аудіосигналу з файлу та запису аудіосигналу на пристрій. Відтворіть необроблений сигнал. Потім звільніть об'єкт для читання файлу та запису пристрою.

```
fileReader = dsp.AudioFileReader('audioPlosives.wav');
deviceWriter = audioDeviceWriter('SampleRate',fileReader.SampleRate);

while ~isDone(fileReader)
    audioIn = fileReader();
    deviceWriter(audioIn);
end
release(deviceWriter)
release(fileReader)
```

Розробіть фільтр високих частот із крутим спадом усіх частот нижче 120 Гц.

Використовуйте об'єкт dsp.BiquadFilter для реалізації конструкції фільтра високих частот. Створіть кросоверний фільтр із одним кросовером на 250 Гц. Кросоверний фільтр дозволяє виділити цікаву для вас смугу для обробки. Створіть компресор динамічного діапазону, щоб стиснути динамічний діапазон плозивних звуків. Щоб не підсилювати підживлення, встановіть для MakeUpGainMode значення "Property" і використовуйте значення властивості MakeUp Gain за замовчуванням 0 дБ. Створіть часову шкалу для візуалізації обробленого та необробленого аудіосигналу.

```
[B,A] = designVarSlopeFilter(48,120/(fileReader.SampleRate/2),"hi");
biquadFilter = dsp.BiquadFilter( ...
    "SOSMatrixSource","Input port", ...
    "ScaleValuesInputPort",false);

crossFilt = crossoverFilter( ...
    "SampleRate",fileReader.SampleRate, ...
    "NumCrossovers",1, ...
    "CrossoverFrequencies",250, ...
    "CrossoverSlopes",48);

dRCompressor = compressor( ...
    "Threshold",-35, ...
    "Ratio",10, ...
    "KneeWidth",20, ...
    "AttackTime",1e-4, ...
    "ReleaseTime",3e-1, ...
    "MakeUpGainMode","Property", ...
    "SampleRate",fileReader.SampleRate);

scope = timescope( ...
    "SampleRate",fileReader.SampleRate, ...
    "TimeSpanSource","property","TimeSpan",3, ...
    "BufferLength",fileReader.SampleRate*3*2, ...
    "YLimits",[-1 1], ...
    "ShowGrid",true, ...
    "ShowLegend",true, ...
    "ChannelNames",{'Original','Processed'});
```

У циклі аудіопотоку:

1. Зчитування у кадрі аудіофайлу.
2. Застосуйте фільтрацію високих частот за допомогою фільтра біквадратного.
3. Розділіть аудіосигнал на дві смуги.
4. Використовуйте стиск динамічного діапазону до нижньої смуги.
5. Перемішайте канали.
6. Запишіть оброблений аудіосигнал на аудіопристрій для прослуховування.
7. Візуалізуйте оброблений та необроблений сигнали на часовій шкалі.

Як найкращу практику звільніть об'єкти після завершення роботи.

```
while ~isDone(fileReader)
    audioIn = fileReader();
    audioIn = biquadFilter(audioIn,B,A);
    [band1,band2] = crossFilt(audioIn);
    band1compressed = dRCompressor(band1);
    audioOut = band1compressed + band2;
    deviceWriter(audioOut);
    scope([audioIn audioOut])
end
```

```
release(deviceWriter)
release(fileReader)
release(crossFilt)
release(dRCompressor)
release(scope)
```

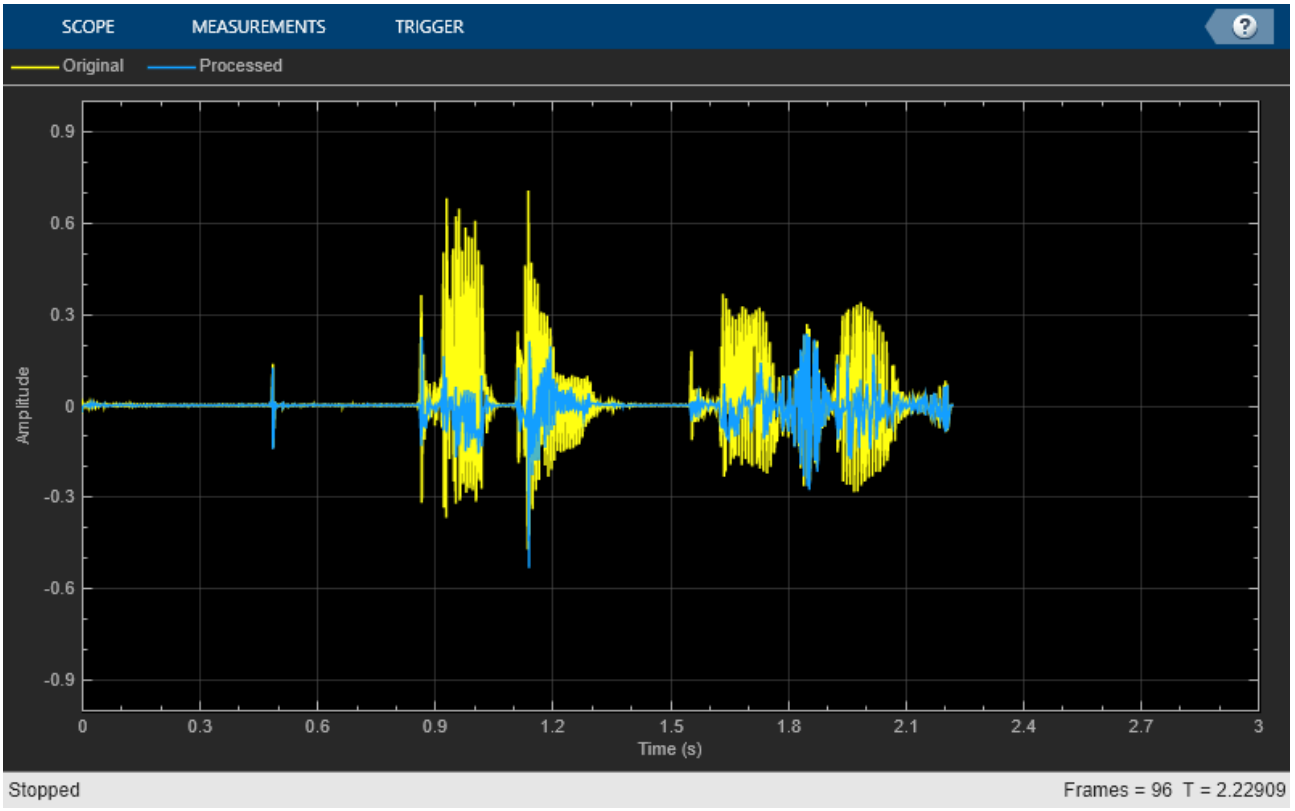


Рисунок 2.4 - Візуалізація сигналу до та після роботи компрессора по зменшенню кількості плюзивів у мовному сигналі

Налаштування параметрів компрессора

Створити dsp.AudioFileReader для покадрового читання аудіо. Створіть audioDeviceWriter, щоб записувати звук на звукову карту. Створіть компресор для обробки аудіо даних. Викличте visualize для побудови графіка статичної характеристики компресора.

```
frameLength = 1024;
fileReader = dsp.AudioFileReader('RockDrums-44p1-stereo-11secs.mp3', ...
    'SamplesPerFrame',frameLength);
deviceWriter = audioDeviceWriter('SampleRate',fileReader.SampleRate);

dRC = compressor('SampleRate',fileReader.SampleRate);
visualize(dRC)
```

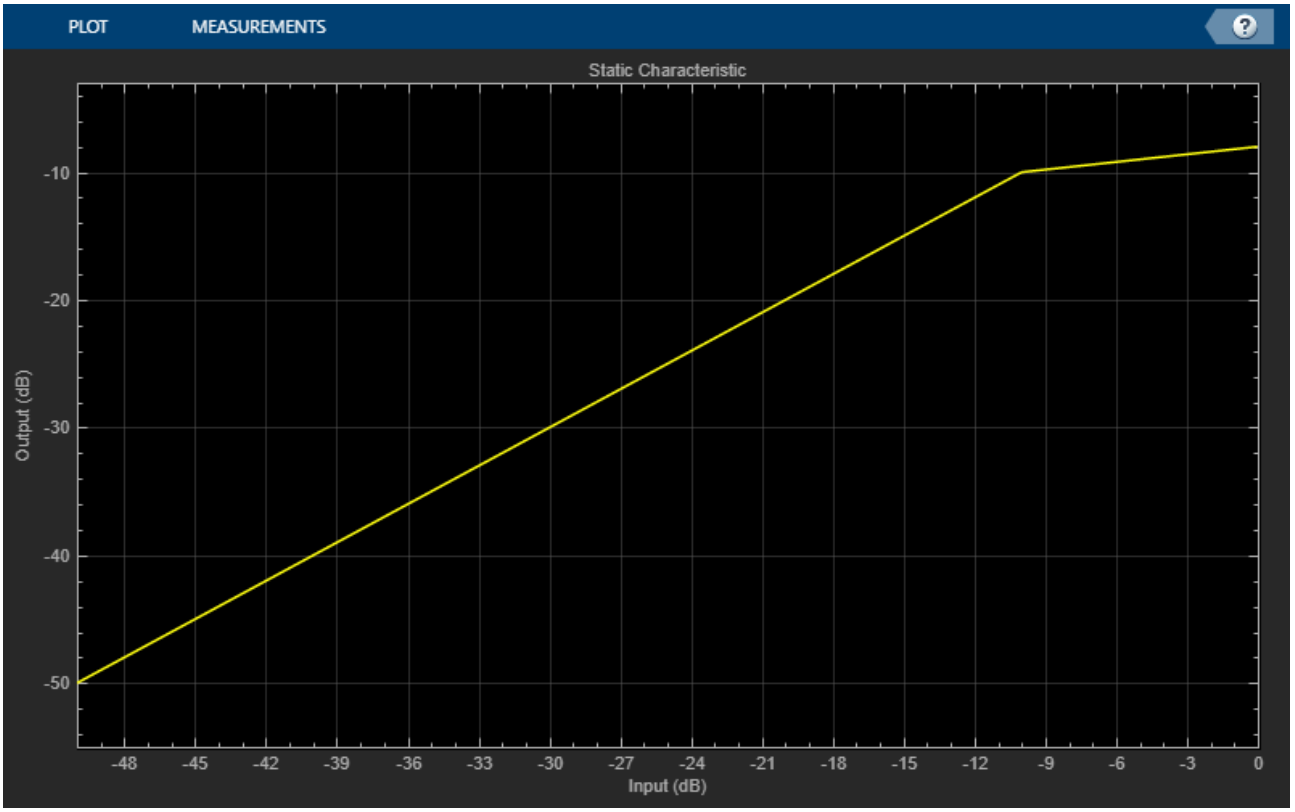


Рисунок 2.5 - Огинаюча роботи компрессора

Створіть часову шкалу для візуалізації вихідного та обробленого аудіо.

```
scope = timescope( ...
    'SampleRate',fileReader.SampleRate, ...
    'TimeSpanSource','property',...
    'TimeSpan',1, ...
    'BufferLength',fileReader.SampleRate*4, ...
    'YLimits',[-1,1], ...
    'TimeSpanOverrunAction','Scroll', ...
    'ShowGrid',true, ...
    'LayoutDimensions',[2,1], ...
    'NumInputPorts',2, ...
    'Title','Original vs. Compressed Audio (top) and Compressor Gain in dB (bottom)');
scope.ActiveDisplay = 2;
scope.YLimits = [-4,0];
scope.YLabel = 'Gain (dB)';
```

Викличте parameter Tuner, щоб відкрити інтерфейс користувача для налаштування параметрів компресора під час потокової передачі.

```
parameterTuner(dRC)
```

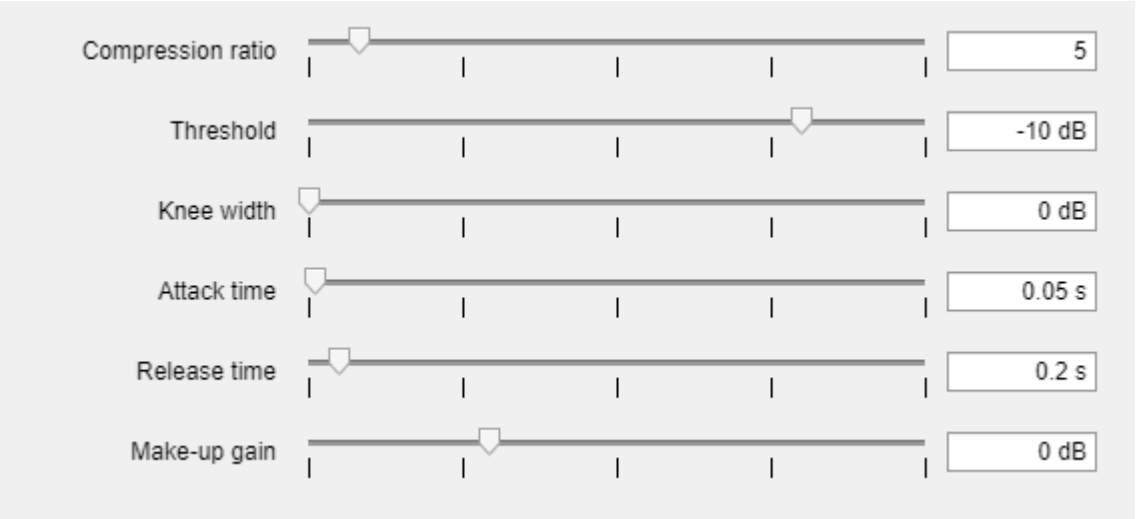


Рисунок 2.6 - Інтерфейс користувача для налаштування параметрів компресора під час потокової передачі

У циклі аудіопотоку:

1. Зчитування аудіо кадру з файлу.
2. Використовуйте стиск динамічного діапазону.
3. Запишіть аудіокадр на аудіопристрій для прослуховування.
4. Візуалізуйте вихідний звук, оброблений звук та застосоване посилення.

Під час потокової передачі настройте параметри компресора динамічного діапазону та прослухайте ефект.

```
while ~isDone(fileReader)
    audioIn = fileReader();
    [audioOut,g] = dRC(audioIn);
    deviceWriter(audioOut);
    scope([audioIn(:,1),audioOut(:,1)],g(:,1));
    drawnow limitrate % required to update parameter
end
```

Як найкраща практика - звільняйте свої об'єкти після завершення роботи.

```
release(deviceWriter)
release(fileReader)
release(dRC)
release(scope)
```

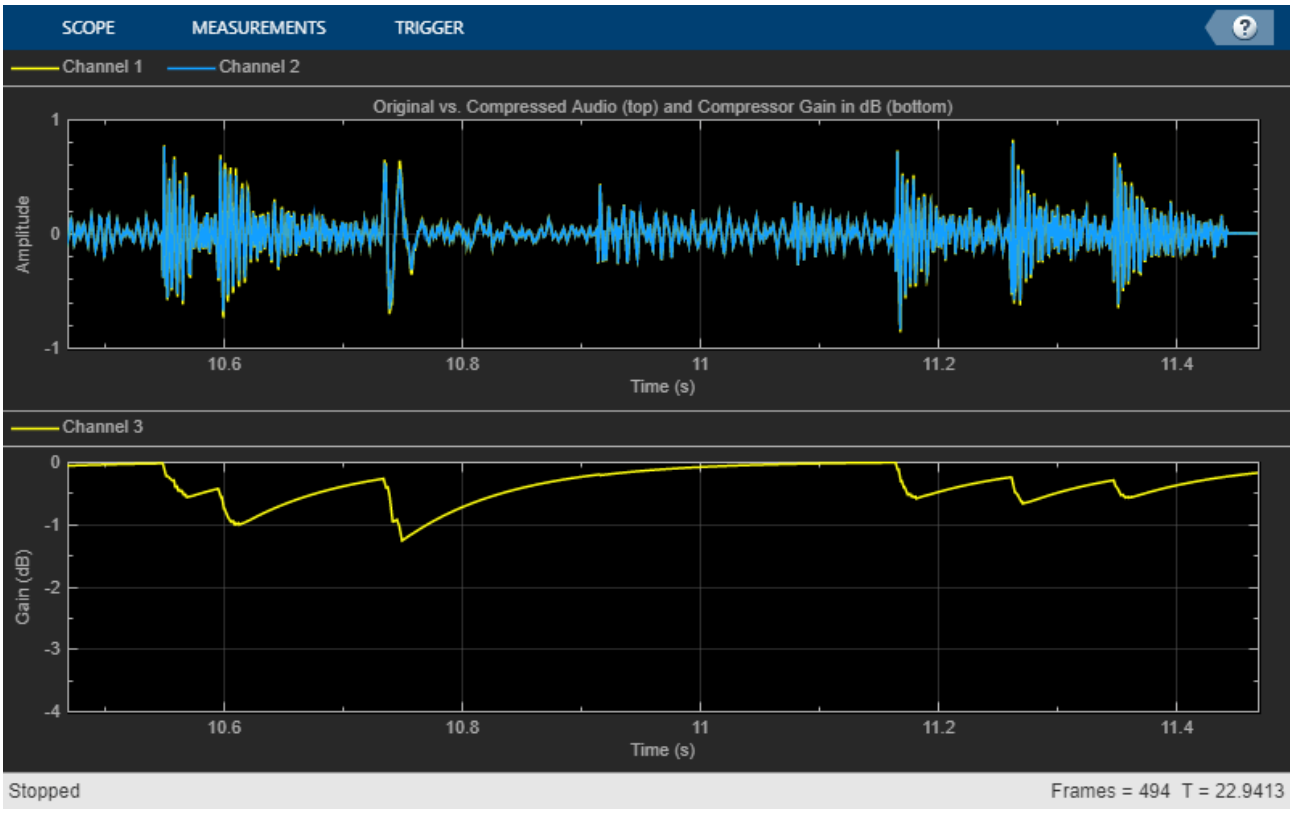


Рисунок 2.7 - Візуалізація стиску динамічного діапазону

Sidechain Ducking за допомогою компресора

Для зниження рівня амплітуди окремого аудіосигналу використовуйте вхід Enable Sidechain об'єкта компресора. Сигнал бокового ланцюга управляє компресією вхідного аудіосигналу. Коли сигнал бічного ланцюга перевищує поріг компресора, компресор активується та зменшує амплітуду вхідного сигналу. Коли рівень сигналу бічного ланцюга падає нижче порога, вхідний аудіо сигнал повертається до своєї амплітуди без стиснення.

Підготовка аудіофайлів

У цьому розділі ви виконаєте ресемплювання та обнулення мовного файлу,

щоб використовувати його як вхідний сигнал для властивості EnableSidechain вашого об'єкта компресора.

Передискретизуйте аудіосигналвідповідно до частоти дискретизації вхідного аудіосигналу (44,1 кГц).

```
targetFs = 44100;
[originalSpeech,originalFs] = audioread('Rainbow-16-8-mono-114secs.wav');
resampledSpeech = resample(originalSpeech,targetFs,originalFs);
```

На початок повторно дискретизованого сигналу 10 секунд нулів. Це дозволяє чітко чути вхідний аудіо сигнал до стиснення.

```
resampledSpeech = [zeros(10*targetFs,1);resampledSpeech];
```

Запис повторно дискретизованого, з нульовою поправкою та нормалізованого сигналу бічного ланцюга у файл.

```
audiowrite('resampledSpeech.wav',resampledSpeech,targetFs);
```

Конструювання аудіо об'єктів

Створіть об'єкт dsp.AudioFileReader для вхідного сигналу та сигналу збоку. Використовуючи властивість ReadRange об'єкта AudioFileReader, виберіть для відтворення другий куплет вхідного сигналу та перші 26,5 секунди сигналу бічного ланцюга. Щоб сценарій міг виконуватися нескінченно, змініть змінну playbackCount з 1 на Inf.

```
inputAudio = 'SoftGuitar-44p1_mono-10mins.ogg';
sidechainAudio  = 'resampledSpeech.wav';
playbackCount = 1;
inputAudioAFR = dsp.AudioFileReader(inputAudio,'PlayCount',playbackCount,'ReadRange',...
    [115*targetFs round(145.4*targetFs)]);
sidechainAudioAFR = dsp.AudioFileReader(sidechainAudio,'PlayCount',playbackCount,...
    'ReadRange',[1 round(26.5*targetFs)]);
```

Створіть об'єкт компресора. Використовуйте великий показник Ratio, швидкий (маленький) показник Attack Time і помірно повільний Release Time. Ці параметри ідеально підходять для роботи з закадровим голосом. Швидкий час атаки забезпечує стиск вхідного аудіо майже відразу після того,

як сигнал бокового ланцюга перевищить поріг компресора. Повільний час відпускання забезпечує тривалість компресії вхідного аудіосигналу через можливі короткі ділянки тиші сигналу бічного ланцюга.

```
iAmYourCompressor = compressor('EnableSidechain',true,...
                'SampleRate',targetFs,...
                'Threshold',-40,...
                'Ratio',8,...
                'AttackTime',0.01,...
                'ReleaseTime',1.5);
```

Створіть об'єкт audioDeviceWriter для відтворення бокового ланцюга та вхідних сигналів.

```
afw = audioDeviceWriter;
```

Створіть об'єкт timescope для перегляду вхідного сигналу, стисненого вхідного сигналу.

```
scope = timescope('NumInputPorts',3,...
                    'SampleRate',targetFs,...
                    'TimeSpanSource','property',...
                    'TimeSpan',5,...
                     'TimeDisplayOffset',0,...
                    'LayoutDimensions',[3 1],...
                    'BufferLength',targetFs*15,...
                    'TimeSpanOverrunAction','Scroll',...
                    'YLimits',[-1 1],...
                    'ShowGrid',true,...
                    'Title','Uncompressed Input Audio - Guitar');
scope.ActiveDisplay = 2;
scope.YLimits = [-1 1];
scope.Title = 'Sidechain Audio - Speech';
scope.ShowGrid = true;
scope.ActiveDisplay = 3;
scope.YLimits = [-1 1];
scope.ShowGrid = true;
scope.Title = 'Compressed Input Audio - Guitar';
```

Створення потокової петлі аудіо

Вважайте кадр аудіо з вхідного сигналу та сигналу sidechain. Обробіть вхідні сигнали та сигнали бокового кола за допомогою об'єкта компресора.

Відтворіть оброблені аудіосигнали та відобразіть аудіодані за допомогою об'єкта timescope.

На верхній панелі часової шкали відображається несжатий вхідний аудіосигнал, а на середній панелі - аудіосигнал бокового ланцюга. На нижній панелі з'являється стислий вхідний аудіосигнал. Зверніть увагу, що амплітуди сигналів у верхній та нижній панелях ідентичні доти, доки не ввімкнеться сигнал бічного ланцюга. Як тільки сигнал бокового кола активується, амплітуда сигналу на нижній панелі стискається. Після закінчення сигналу бічного ланцюга амплітуда сигналу на нижній панелі починає повертатися до свого рівня без стиснення.

```
while ~isDone(inputAudioAFR)
   inputAudioFrame = inputAudioAFR();
   sideChainAudioFrame = sidechainAudioAFR();
   compressorOutput  = iAmYourCompressor(inputAudioFrame,sideChainAudioFrame);
   afw(sideChainAudioFrame+compressorOutput);
   scope(inputAudioFrame,sideChainAudioFrame,compressorOutput);
end
```

Звільніть свої об'єкти.

```
release(inputAudioAFR)
release(sidechainAudioAFR)
release(iAmYourCompressor)
release(afw)
release(scope)
```

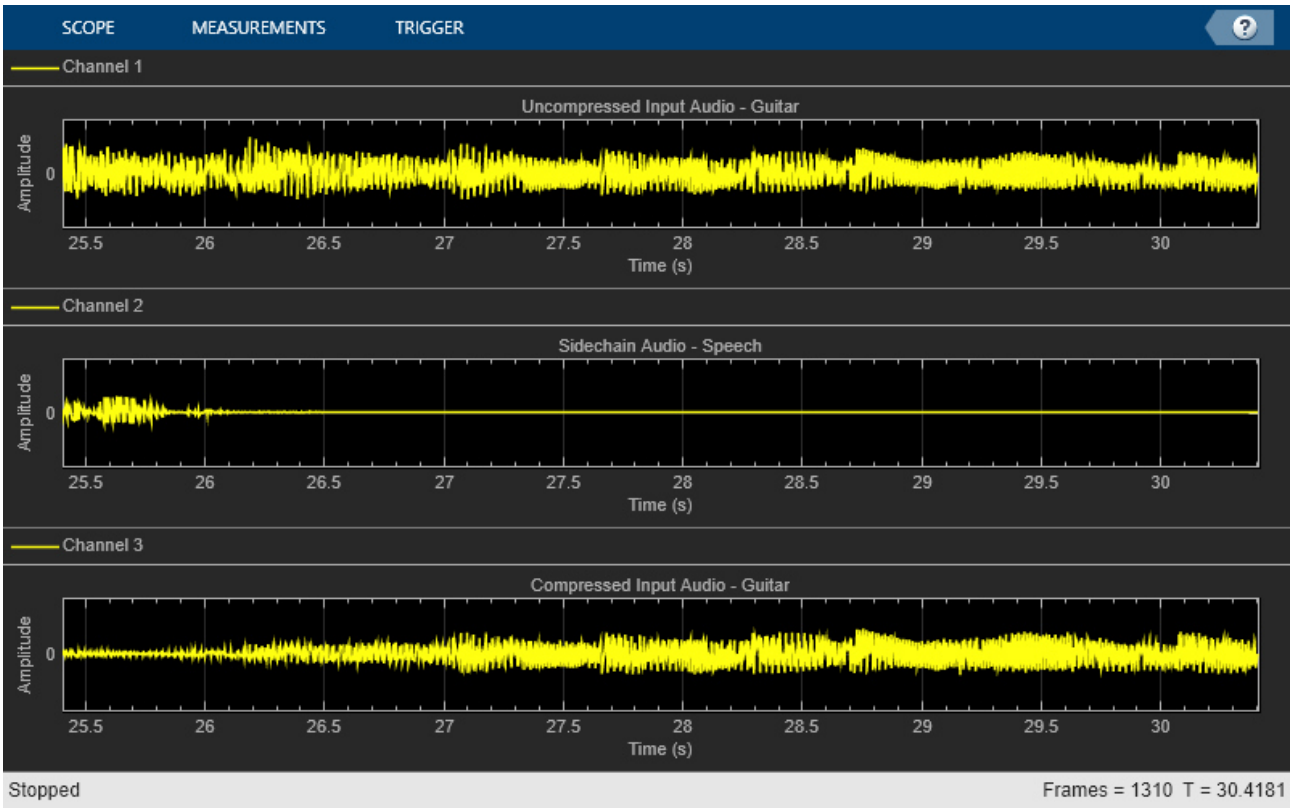


Рисунок 2.8 - Візуалізація аудіо сигналу після Sidechain Ducking

3.1 Алгоритми

Об'єкт compressor System обробляє сигнал кадр за кадром і елемент за елементом.

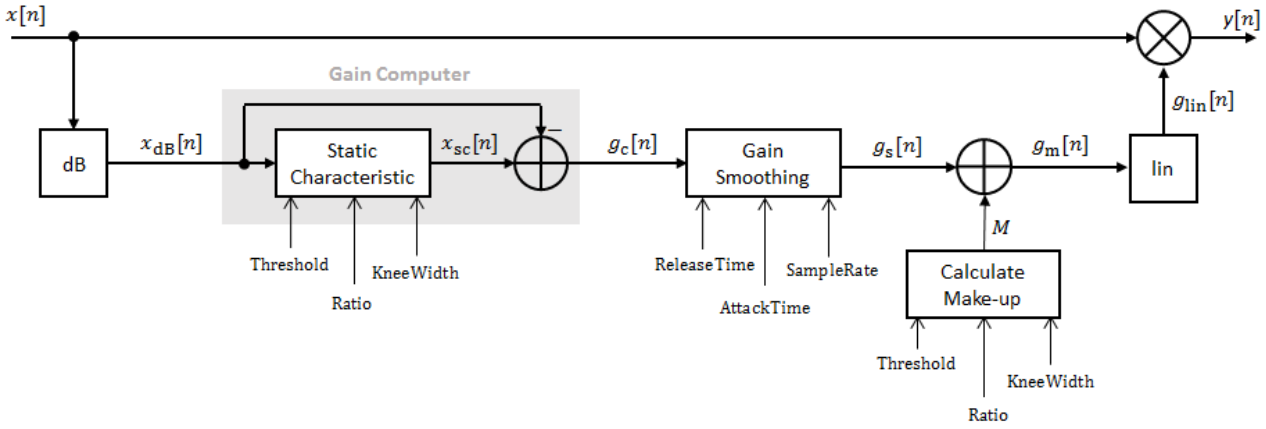


Рисунок 3.1 - Алгоритм роботи компресора

Перетворення вхідного сигналу на дБ

Сигнал з N точками, x[n], перетворюється на децибели:

$$x_{\mathrm{dB}}[n] = 20 \times \log_{10}|x[n]|$$

Обчислювач посилення

xdB[n] проходить через комп'ютер посилення. Обчислювач підсилення використовує властивості статичної характеристики динамічного діапазону компресора для ослаблення посилення, яке вище порога.

Якщо ви задали м'яке коліно, комп'ютер посилення має наступну статичну характеристику:

$$x_{sc}(x_{dB}) = \begin{cases} x_{dB} & x_{dB} < \left(T - \frac{W}{2}\right) \\ x_{dB} + \frac{\left(\frac{1}{R} - 1\right)\left(x_{dB} - T + \frac{W}{2}\right)^2}{2W} & \left(T - \frac{W}{2}\right) \le x_{dB} \le \left(T + \frac{W}{2}\right) \\ T + \frac{(x_{dB} - T)}{R} & x_{dB} > \left(T + \frac{W}{2}\right) \end{cases}$$

де T – поріг, R – коефіцієнт, а W – ширина коліна.

Якщо ви задали жорстке коліно, комп'ютер посилення має наступну статичну характеристику:

$$x_{sc}(x_{dB}) = \begin{cases} x_{dB} & x_{dB} < T \\ T + \frac{(x_{dB} - T)}{R} & x_{dB} \ge T \end{cases}$$

Обчислений коефіцієнт посилення, gc[n], розраховується як

$$g_c[n] = x_{sc}[n] - x_{dB}[n]$$

Сглажування посилення

$g_c[n]$ згладжується з використанням заданих властивостей часу атаки та часу відпускання:

$$g_s[n] = \begin{cases} \alpha_A g_s[n-1] + (1 - \alpha_A) g_c[n], & g_c[n] \le g_s[n-1] \\ \alpha_R g_s[n-1] + (1 - \alpha_R) g_c[n], & g_c[n] > g_s[n-1] \end{cases}$$

Коефіцієнт часу атаки, αA, розраховується як

$$\alpha_A = \exp\left(\frac{-\log(9)}{Fs \times T_A}\right)$$

Коефіцієнт часу вивільнення, αR, розраховується як

$$\alpha_R = \exp\left(\frac{-\log(9)}{Fs \times T_R}\right)$$

TA – період часу атаки, що задається властивістю AttackTime. TR - період відпускання, що задається властивістю Release Time. Fs – частота дискретизації вхідного сигналу, що задається властивістю SampleRate.

Обчислення та застосування коефіцієнта посилення підживлення

Якщо режим MakeUp Gain Mode встановлено за умовчанням 'Auto', коефіцієнт підсилення підживлення розраховується як негативне значення коефіцієнта підсилення для входу 0 дБ,

$$M = -x_{sc}|_{x_{dB}=0}.$$

При вхідному сигналі 0 дБ ця конфігурація досягає встановленого вихідного сигналу 0 дБ. Коефіцієнт посилення підживлення визначається властивостями Threshold, Ratio та KneeWidth. Воно залежить від вхідного сигналу.

Коефіцієнт підсилення підживлення, M додається до згладженого коефіцієнта підсилення, $g_s[n]$:

$$g_m[n] = g_s[n] + M$$

Обчислення та застосування лінійного коефіцієнта посилення

Розраховане посилення в дБ, $g_m[n]$ переводиться в лінійну область:

$$g_{lin}[n] = 10^{\left(\frac{g_m[n]}{20}\right)}$$

Вихідний сигнал компресора динамічного діапазону має вигляд

$$y[n] = x[n] \times g_{lin}[n]$$

# 4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 4.1 Технології розробки друкованих плат

Простий і зручний EasyEDA не вимагає часу на освоєння і відмінно підходить для невеликих електронних виробів. Програма складається з наступних модулів:

- редактор принципових схем;
- редактор друкованих плат;
- SPICE-симулятор;
- редактор електронних компонентів;
- генератор файлів формату GERBER;
- програма перегляду файлів формату GERBER;
- система управління проектами;
- система замовлення виготовлення друкованих плат;
- хмарне сховище файлів.

Даний онлайн-сервіс підтримує імпорт файлів з САПР LTSpice , Eagle , Kicad і Altium Designer . Редактор електричних схем має потужні інструменти для малювання нових проектів з використанням існуючих бібліотек. Підтримується створення і редагування, як окремих компонентів схем, так і ієрархічних схем і подсхем SPICE-моделей. Розробка власних елементів виконується або шляхом копіювання і зміни існуючих, або їх малюванням «з нуля». Особливістю програмного забезпечення також є те, що крім бібліотек звичайних «2D» графічних символів компонентів, є бібліотека їх «3D» зображень [6].

Spice-симулятор проводить різні аналізи (Transient, DC Transfer, DC sweep, AC Analysis, DC on pnt) аналогових, цифрових та змішаних ланцюгів. Є широкі налаштування відображення результатів симуляції - областей, графіків, кольору фону, сітки і т.д. Питання, що виникають в ході моделювання помилки виводяться у вигляді повідомлень в окремому вікні в текстовій формі. Результати симуляцій можна експортувати в файли формату CSV для обробки в пакетах сторонніх виробників [6].

Редактор друкованих плат формує макети плат на основі електричних схем. Є інструменти розміщення і редагування компонентів, прокладки доріжок, перевірки правил дизайну DRC, створення моделей посадочних місць. EasyEDA за замовчуванням підтримує до 6 шарів друкованих плат, а розмір їх практично необмежений - можливі конструкції більш 100x100 см. Списки з'єднань (netlist) можуть бути експортовані у формати програм Protel, Kicad і PADS , а файли друкованих плат - в формат Gerber. Крім того, виготовлення друкованих плат можна замовити безпосередньо через меню EasyEDA.

Серед інших можливостей веб-додатки варто відзначити підтримку використання гарячих клавіш, створення специфікацій матеріалів (BOM), онлайн-обмін і спільну роботу над схемами і макетами друкованих плат. Результати робіт можна експортувати в файли форматів SVG, PDF і PNG [4].

EasyEDA була написана невеликою групою незалежних розробників, які називають себе «The Team». Робота над онлайн-додатком зайняла у них більше трьох років. За словами авторів ПО їх основною метою було створити зручний, простий в освоєнні і безкоштовний мультиплатформенний інструмент для проектування електронних пристроїв.

Сервіс EasyEDA безкоштовний і не має обмежень. Почати роботу з онлайн-системою автоматизованого проектування можна після переходу за посиланням «Launch EasyEDA Editor» на стартовій сторінці. Для створення власних проектів в програмі необхідно зареєструватися. На сайті є докладний підручник по роботі з даним продуктом. Крім того, і сама програма EasyEDA, і сайт, присвячений їй, має безліч прикладів схем.

Додаток включає англійську, польську, китайську, японську, французьку, іспанську, німецьку та шведський варіанти інтерфейсу. Російського серед них немає, проте мовний файл програми в форматі TXT знаходиться у вільному доступі, і автори EasyEDA пропонують всім бажаючим допомогти їм в перекладі додатки на їх рідну мову

Онлайн-сервіс не вимогливий до апаратних ресурсів користувачів,

необхідно лише наявність швидкісного підключення до Інтернету. EasyEDA відкривається в будь-якому сучасному браузері і у всіх операційних системах, а робочі проекти зберігаються на віддаленому сервері [7].

# 5 ХАРАКТЕРИСТИКА НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

При розробці, проектуванні й виробництві імпульсних джерел струму для світлодіодних світильників присутні наступні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

– підвищений рівень шуму на робочому, що виникає від установки штучної вентиляції, паяльної станції та роботи комп'ютеру;

– погана освітленість робочої зони;

– пил, та мікрочастинки склотекстоліту, які з'являються під час механічної обробки друкованої плати;

– підвищена температура при роботі з паяльниками та паяльними станціями;

– небезпека ураження електричним струмом;

– вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин, які утворюються під час пайки [7].

## 5.1 Електробезпека

У лабораторії основне обладнання являє собою електроустановки (персональні комп'ютери, паяльна станція, принтери, система освітлення), які представляють реальну небезпеку ураження електричним струмом.

Згідно з вимогами нормативних документів, безпеку електроустановок забезпечується наступними основними заходами:

1) недоступністю струмоведучих частин;

2) належної, а в окремих випадках підвищену (подвійний) ізоляцією;

3) заземленням або занулением корпусів електрообладнання та елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою;

4) надійним і швидкодіючим автоматичним захисним відключенням;

5) застосуванням знижених напружень (42 В і нижче) для живлення переносних струмоприймачів;

6) захисним розділенням ланцюгів;

7) блокуванням, попереджувальною сигналізацією, написами і

плакатами;

8) застосуванням захисних засобів і пристосувань;

9) проведенням планово-попереджувальних ремонтів і профілактичних випробувань електрообладнання, апаратів і мереж, що знаходяться в експлуатації;

10) проведенням низки організаційних заходів (спеціальне навчання, атестація і переатестація осіб електротехнічного персоналу, інструктажі тощо).

Для забезпечення електробезпеки на підприємствах м'ясної і молочної промисловості застосовують такі технічні засоби і способи захисту: захисне заземлення, занулення, застосування малих напруг, контроль ізоляції обмоток, засоби індивідуального захисту та запобіжні пристосування, захисні пристрої, що вимикають [8].

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання із заземленням або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Воно захищає від ураження електричним струмом при дотику до металевих корпусів обладнання, металевих конструкцій електроустановки, які внаслідок порушення електричної ізоляції виявляються під напругою.

Сутність захисту полягає в тому, що при замиканні струм проходить по обидва паралельних гілках і розподіляється між ними обернено пропорційно їх опорам. Оскільки опір ланцюгу «людина-земля» у багато разів більше опору ланцюга «корпус-земля», сила струму, що проходить через людину, знижується.

Залежно від місця розміщення заземлювача щодо заземлюється обладнання розрізняють виносні і контурні заземлення.

Виносні заземлювачі розташовують на деякій відстані від обладнання, при цьому заземлені корпуси електроустановок знаходяться на землі з нульовим потенціалом, а людина, торкаючись корпусу, виявляється під повним напругою заземлювача.

Контурні заземлювачі розташовують по контуру навколо обладнання в безпосередній близькості, тому обладнання знаходиться в зоні розтікання струму. В цьому випадку при замиканні на корпус потенціал грунту на території електроустановки (наприклад, підстанції) набуває значення, близькі до потенціалу заземлювача і заземленого електрообладнання, і напруга дотику зменшується.

Занулення - це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. При такому електричному з'єднанні, якщо воно надійно виконано, будь-яке замикання на корпус перетворюється в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазами і нульовим проводом). При цьому виникає струм такої сили, при якій забезпечується спрацьовування захисту (запобіжника або автомата) і автоматичне відключення пошкодженої установки від мережі живлення.

Мале напруга - напруга не більше 42 В, що застосовується з метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом. Малі напруги змінного струму отримують за допомогою понижуючих трансформаторів. Його застосовують при роботі з переносним електроінструментом, при використанні переносних світильників під час монтажу, демонтажу та ремонту обладнання, а також в схемах дистанційного керування.

Ізолювання робочого місця - це комплекс заходів щодо запобігання виникненню ланцюга струму людина-земля і збільшення значення перехідного опору в цьому ланцюзі. Дана міра захисту застосовується у випадках підвищеної небезпеки ураження електричним струмом і зазвичай в комбінації з розділовим трансформатором.

Виділяють наступні види ізоляції:

робоча - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом;

додаткова - електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої

ізоляції для захисту від ураження електричним струмом в разі ушкодження робочої ізоляції;

подвійна - електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції. Подвійна ізоляція полягає в одному електроприймач двох незалежних одна від одної ступенів ізоляції (наприклад, покриття електрообладнання шаром ізоляційного матеріалу - фарбою, плівкою, лаком, емаллю і т.п.). Застосування подвійної ізоляції найбільш раціонально, коли на додаток до робочої електричної ізоляції струмоведучих частин корпус електроприймача виготовляється з ізолюючого матеріалу (пластмаси, скловолокна).

Захисне відключення - це швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження електричним струмом.

Воно повинно забезпечити автоматичне відключення електроустановок при однофазному (однополюсного) дотику до частин, що знаходяться під напругою, не припустимим для людини, і (або) при виникненні в електроустановці струму витоку (замикання), що перевищує задані значення.

Захисне відключення рекомендується в якості основної або додаткової міри захисту, якщо безпека не можна забезпечити при заземленні або зануленні, або якщо заземлення або занулення важко здійснимо, або недоцільно з економічних міркувань. Пристрої (апарати) для захисного відключення щодо надійності дії повинні задовольняти спеціальним технічним вимогам [9].

Засоби індивідуального захисту діляться на ізолюючі, допоміжні і огороджувальні.

Ізолюючі захисні засоби забезпечують електричну ізоляцію людини від струмоведучих частин і землі. Вони підрозділяються на основні (діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками) і додаткові (діелектричні калоші, килимки, підставки).

До допоміжних можна віднести окуляри, протигази, маски, призначені

для захисту від світлових, теплових і механічних впливів.

До огороджувальних відносяться переносні щити, клітки, ізолюючі підкладки, переносні заземлення і плакати. Вони призначені в основному для тимчасового огородження струмоведучих частин, до яких можливо дотик працюють [9].

## 5.2 Пожежна безпека

### 1. Галузь застосування

Відповідно до положень Закону України "Про пожежну безпеку" (статті 4 - 7) Правила пожежної безпеки в Україні (далі - Правила) є обов'язковими для виконання всіма центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами, організаціями (незалежно від виду їх діяльності та форм власності), посадовими особами та громадянами.

Правила встановлюють загальні вимоги з пожежної безпеки, дія яких поширюється на підприємства, установи, організації та інші об'єкти (будівлі, споруди, технологічні лінії тощо), а також житлові будинки, що експлуатуються, будуються, реконструюються, технічно переоснащуються і розширюються, за винятком підземних споруд та транспортних засобів, вимоги до яких визначаються у спеціальних нормативних документах.

Забезпечуючи пожежну безпеку, слід також керуватися стандартами, будівельними нормами, Правилами улаштування електроустановок (далі - ПУЕ) та ДНАОП 0.00-1.32-01 "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок", нормами технологічного проектування та іншими нормативними актами, виходячи зі сфери їх дії , які регламентують вимоги пожежної безпеки.

Міністерства і відомства, виходячи зі специфічних умов та особливостей пожежної небезпеки виробництв, можуть додатково розробляти і видавати свої галузеві правила пожежної безпеки, які не повинні суперечити

цим Правилам та знижувати їх вимоги.

Галузеві правила мають бути узгоджені з Державним департаментом пожежної безпеки МНС України [10].

5.3 Загальні положення з пожежної безпеки

1. Пожежна безпека повинна забезпечуватися шляхом проведення організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на попередження пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих майнових втрат і зменшення негативних екологічних наслідків у разі їх виникнення, створення умов для швидкого виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж.

2. Відповідно до Закону України "Про пожежну безпеку" забезпечення пожежної безпеки підприємств, установ, організацій (далі - підприємств) покладається на їх керівників і уповноважених керівниками осіб, якщо інше не передбачено відповідним договором.

Забезпечення пожежної безпеки під час проектування та забудови населених пунктів, будівництва, розширення, реконструкції та технічного переоснащення підприємств, будівель і споруд покладається на органи архітектури, забудовників, проектні та будівельні організації.

Забезпечення пожежної безпеки в житлових будинках державного, громадського житлового фонду, фонду житлово-будівельних кооперативів (далі - ЖБК) покладається на власників цих будинків або на уповноважені ними органи, а в житлових приміщеннях (квартирах) - також і на квартиронаймачів (членів ЖБК). Взаємні зобов'язання власника і квартиронаймача щодо забезпечення пожежної безпеки повинні визначатися договором житлового найму, а членів ЖБК - статутом.

Забезпечення пожежної безпеки в житлових будинках (квартирах) приватного житлового фонду та інших приватних, окремо розташованих господарських спорудах і гаражах, на територіях, а також в дачних будинках, на садових ділянках покладається на їх власників або наймачів, якщо інше не

обумовлено договором найму [10].

Обов'язки власників підприємств та уповноважених ними органів (далі - власники), а також орендарів щодо забезпечення пожежної безпеки встановлюються статтею 5 Закону України "Про пожежну безпеку".

Вони зобов'язані:

- розробляти комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, впроваджувати досягнення науки і техніки, позитивний досвід;
- відповідно до нормативно-правових актів з пожежної безпеки розробляти і затверджувати положення, інструкції, інші нормативні акти, що діють в межах підприємства, здійснювати постійний контроль за їх додержанням;
- забезпечувати додержання протипожежних вимог стандартів, норм, правил, а також виконання вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду;
- організовувати навчання працівників правилам пожежної безпеки та пропаганду заходів щодо їх забезпечення;
- в разі відсутності в нормативно-правових актах вимог, необхідних для забезпечення пожежної безпеки, вживати відповідних заходів, погоджуючи їх з органами державного пожежного нагляду;
- утримувати в справному стані засоби протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку, обладнання та інвентар, не допускати їх використання не за призначенням;
- створювати, у разі потреби, відповідно до встановленого порядку підрозділи пожежної охорони та необхідну для їх функціонування матеріально-технічну базу;
- подавати на вимогу державної пожежної охорони відомості та документи про стан пожежної безпеки об'єктів і продукції, що ними виробляється;

- здійснювати заходи щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж і використання для цієї мети виробничої автоматики;
- своєчасно інформувати пожежну охорону про несправності пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання, а також про закриття доріг і проїздів на своїй території;
- проводити службове розслідування випадків пожеж.

4. Обов'язки сторін щодо забезпечення пожежної безпеки орендованого майна повинні бути визначені у договорі оренди.

5. Повноваження в галузі пожежної безпеки асоціацій, корпорацій, концернів, інших виробничих об'єднань повинні визначатися їх статутами або договорами між підприємствами, які утворили об'єднання.

6. Обов'язки громадян щодо забезпечення пожежної безпеки встановлюються статтею 6 Закону України "Про пожежну безпеку".

Відповідно до цього Закону громадяни України, іноземні громадяни та особи без громадянства, які перебувають на території України, зобов'язані:

- виконувати правила пожежної безпеки, забезпечувати будівлі, які належать їм на правах особистої власності, первинними засобами гасіння пожеж і протипожежним інвентарем, виховувати у дітей обережність у поводженні з вогнем;
- повідомляти в пожежну охорону про виникнення пожежі та вживати заходів до її ліквідації, рятування людей і майна.

7. Фінансування робіт в разі нового будівництва, реконструкції, реставрації, капітального ремонту будинків та інших об'єктів, розширення і технічного переоснащення підприємств може проводитися лише за умови наявності позитивного висновку комплексної державної експертизи, який повинен обов'язково вміщувати позитивний експертний висновок органу державного пожежного нагляду як складової частини комплексної державної експертизи [11].

Державна експертиза (перевірка) проектно-кошторисної документації з питань пожежної безпеки виконується відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 11 квітня 2002 року N 483 "Про порядок затвердження інвестиційних програм і проектів будівництва та проведення їх комплексної державної експертизи" та інших чинних нормативно-правових актів .

8. Початок роботи новоствореного підприємства, введення в експлуатацію нових, реконструйованих виробничих, житлових та інших об'єктів, впровадження нових технологій, передання у виробництво зразків нових пожаробезопастность машин, механізмів, устаткування та продукції, оренда будь-яких приміщень без дозволу органів державного пожежного нагляду забороняється.

9. Продукція протипожежного призначення, а також продукція, до якої встановлені вимоги пожежної безпеки, повинна мати сертифікат відповідності або свідоцтво про визнання відповідності. Організаційні та правові засади підтвердження відповідності продукції визначаються Кабінетом Міністрів України.

10. Надання послуг і виконання робіт протипожежного призначення здійснюються відповідно до ліцензійних умов та порядку контролю за їх додержанням, які затверджуються спільним наказом спеціально уповноваженого органу з питань ліцензування та Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій.

11. За порушення вимог Правил, невиконання приписів та постанов посадових осіб органів державного пожежного нагляду або створення перешкод для їх діяльності посадові та фізичні особи притягуються до відповідальності згідно з чинним законодавством України.

5.3 Організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

1. Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої або іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Це повинно бути відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств.

2. Керівник підприємства повинен визначити обов'язки посадових осіб (в тому числі заступників керівника) щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, ділянок тощо, технологічного та інженерного обладнання, а також за утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту.

Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту мають бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

3. На кожному підприємстві з урахуванням його пожежної небезпеки наказом (інструкцією) повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим, у тому числі визначені:

- можливість паління (місце для куріння), застосування відкритого вогню, побутових нагрівальних приладів;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювальних);
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;
- місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);
- порядок прибирання горючого пилу та відходів, зберігання промасленого спецодягу та ганчір'я, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;
- порядок відключення від мережі електрообладнання в разі пожежі;
- порядок огляду й зачинення приміщень після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами навчання і перевірки знань з питань пожежної безпеки, а також проведення з

працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;

- порядок організації експлуатації та обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, установок пожежної сигналізації, автоматичного пожежогасіння, димовидалення, вогнегасників тощо);
- порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів та оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного, технологічного та іншого інженерного обладнання;
- дії працівників у разі виявлення пожежі;
- порядок збирання членів добровільної пожежної дружини та відповідальних посадових осіб у разі виникнення пожежі, виклику вночі, у вихідні та святкові дні.

Працівники підприємства повинні бути ознайомлені з цими вимогами на інструктажі, під час проходження пожежно-технічного мінімуму тощо, витяги з наказу (інструкції) з основними положеннями слід вивішувати на видних місцях.

На кожному підприємстві має бути опрацьована загальнооб'єктова інструкція про заходи пожежної безпеки та інструкції для всіх вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщень (дільниць, цехів, складів, майстерень, лабораторій тощо) відповідно до додатка 1 цих Правил [11].

## 5.5 Розрахунок заземлення

Найпоширеніший і найнадійніший засіб електрозахисту – захисне заземлення, яке базується на зниженні до безпечних значень напруги дотику

та крокової напруги, що зумовлені замиканням на корпус. Цього досягають шляхом зменшення опору заземлення.

Захисним улаштуванням називається сукупність заземлювача (металевого провідника або групи провідників, які знаходяться у безпосередньому зіткненні з ґрунтом) і заземлювальних провідників, які з'єднують заземлені частини устаткування із заземлювачами. Залежно від розташування заземлювачів по відношенню до заземленого обладнання, конструкції заземлення бувають виносними (зосередженими) і контурними (розподіленими) [12].

У контурних заземлювальних пристроях заземлювачі розташовують по контуру (периметру) будівлі, в якій знаходиться електрообладнання, яке треба заземлити - рисунок 5.1, а.

У місцях з високим питомим опором ґрунту економічно може бути більш доцільним влаштування виносних заземлювачів, які розміщують в більш провідних шарах землі - рисунок 3.1, б.

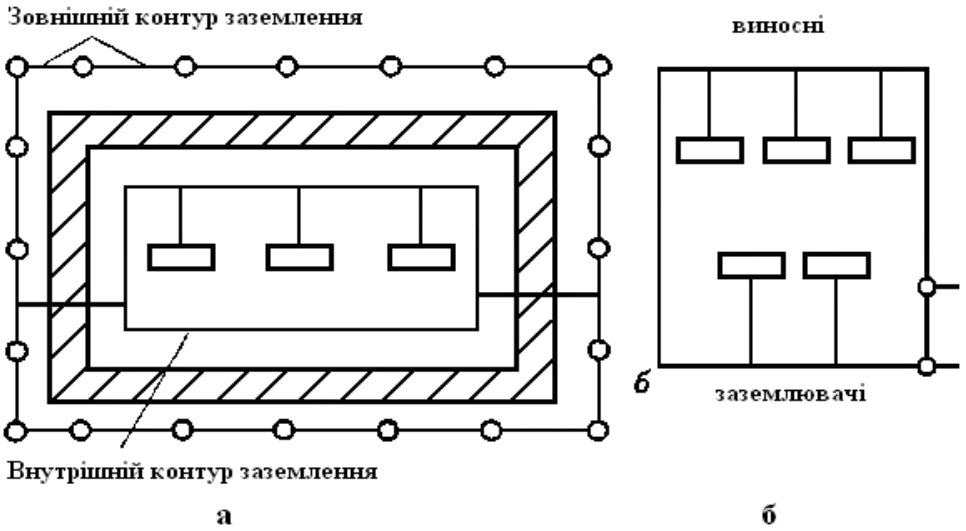


Рисунок 5.1 - Схема контурного та виносного заземлення

Групи виносних заземлювачів з'єднують з об'єктом магістраллю заземлення, кабельною лінією. Виносне захисне заземлення захищає за рахунок малого опору розтіканню струму і невеликого струму замикання на землю [12].

При контурному заземленні заземлювачі розташовуються по периметру і всередині майданчика, на якому встановлено заземлене обладнання і електрично з'єднуються. Під час замикання на корпус струм стікає на землю і завдяки системі заземлювачів, розташованих у вершинах мережі з визначеним кроком, на поверхні території майданчика з'являється підвищений відносно підлеглої території потенціал.

Заземлювачі можуть бути природні і штучні. Як природні заземлювачі використовують різноманітні металоконструкції, які мають хороший контакт із землею: арматура залізобетонних конструкцій, трубопроводи (крім тих, що застосовуються для транспортування горючих і вибухових рідин та газів), металеві оболонки кабелів (за винятком алюмінієвих), обсадні труби тощо. Штучні заземлювачі являють собою спеціально влаштовані металоконструкції. У першу чергу, для заземлення слід використовувати природні заземлювачі, якщо вони є.

Характеристика стаціонарних заземлювачів та струмовідводів наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Характеристика стаціонарних заземлювачів та струмовідводів

| Струмовідводи і заземлювачі | Назва | Характеристика |
|---|---|---|
| Струмовідводи | Заземлення верстатів, машин, металевої апаратури, резервуарів, котлів, трубопроводів, зливо-наливних приладів | Сталева стрічка перерізом 48 мм$^2$, товщиною більше 4 мм |
| Струмовідводи | Заземлення автоцистерн | Сталевий трос діаметром не менше 6 мм |
| | Заземлення гумових шлангів і лійок | Гнучкий сталевий провід перерізом не менше 12 мм$^2$ |

| | | |
|---|---|---|
| Заземлювачі | Заземлювальний контур зі сталевих труб (електродів) | Труби діаметром 38...60 мм, з товщиною стінки більше 3,5 мм. Сталеві стержні діаметром 40...50 мм, довжиною 2...3 м. Вбивають вертикальні заземлювачі в землю на глибину від поверхні землі до верху труби або стержня 0,6...0,8 м. |
| Сталеві стрічки | Для струмовідводів (електродів) | Перерізом не менше 100 мм$^2$, товщиною не менше 4...5 мм, заглиблюють в землю на глибину 0,6...0,8 м |
| Сталеві пластини | Для струмовідводів (електродів) | Товщина не менше 4 мм і площею не менше 1 м$^2$. Заглиблюють в землю вертикально на глибину від поверхні землі до верхнього краю пластини 0,6...0,8м |

Ззовні будівель звичайно формують зовнішній заземлювальний контур. Для цього за межами відмостки будинку, в спеціально викопаній траншеї глибиною 0,6...0,8 м вбивають вертикальні заземлювачі на віддалі один від одного 1...3 м, що дорівнює довжині заземлювача. Вертикальні заземлювачі методом зварювання з'єднують між собою полосою. Утворюється замкнутий по периферії цеху зовнішній контур, від якого в середину цеху виводяться провідники. Останні також зварюванням з'єднуються з внутрішнім контуром.

Внутрішній контур, до якого приєднуються корпуси електроустановок – це закріплений на внутрішній стінці цеху провідник, який з'єднується із зовнішнім контуром. Велика увага надається надійності з'єднань в конструкції заземлення.

Опір розтіканню струму з одного заземлювача (труби, стержня) залежить від питомого опору ґрунту, глибини від поверхні землі до верху заземлювача і розмірів самого заземлювача (труби), визначають за виразом:

$$R_{тр} = 0{,}366\frac{p}{l}\left(\lg\frac{2l}{d} + 0{,}5\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right),$$

де $\rho$ – питомий опір ґрунту, Ом·м;

$l$ – довжина заземлювача, м;

$d$ – діаметр заземлювача, м;

$t$ – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача, м;

$$t = h_в + \frac{l}{2},$$

де $h_в$ – глибина викопаної траншеї, в яку вбивають вертикальні заземлювачі, м (рис. 5.2).

Питомий опір ґрунту залежить від його будови, вмісту в ньому розчинних речовин, вологи, температури повітря. Він змінюється сезонно, а відтак - сезонно змінюється і значення опору розтіканню струму заземлювальної системи. Найбільше значення питомий опір має засушливим літом і взимку у великий мороз. Найкращі ґрунти для влаштування заземлення - вологі (торф, чорнозем, глина, садова земля). Найгіршим є скелястий ґрунт. Можна зменшити питомий опір ґрунту внесенням кухонної солі навколо вертикальних заземлювачів, підливанням гноївки. Шар солі і землі почергово вкладають в ґрунт на глибину 1/3 довжини заземлювача і поливають водою. Для зниження питомого опору використовують також намочений водою шлак або розчин глини у воді [13].

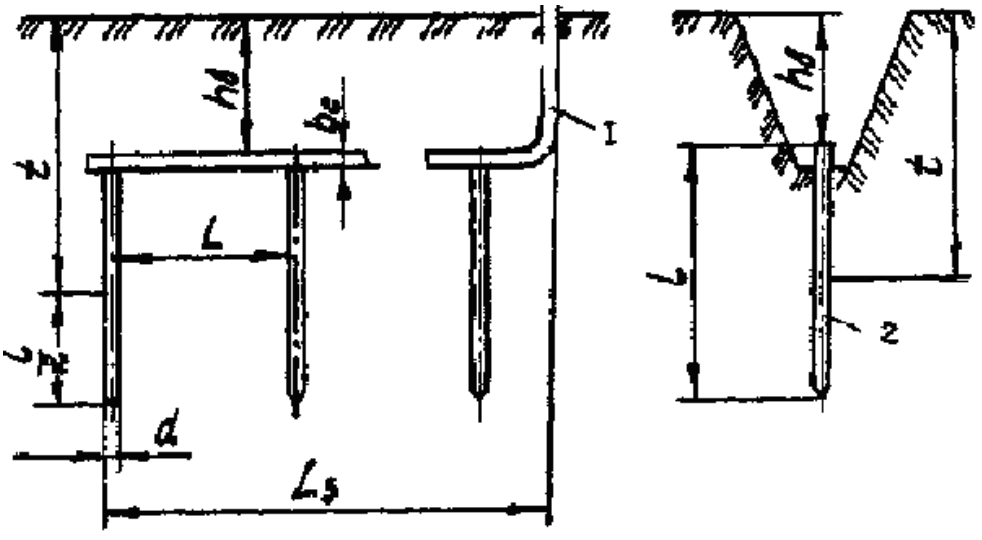


Рисунок 5.2 - Схема розміщення заземлювачів (труб) групового заземлення:
1 – з’єднувальна стрічка; 2 – заземлювач (труба); $h_в$ – глибина закладання заземлювачів; $L$ – відстань між заземлювачами; $t$ – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту; $l$ – довжина заземлювача (стержня або труби); $b$ – ширина з’єднувальної стрічки

Питомий електричний опір ґрунту залежить від його структури, вологості, температури, затверділості і пори року (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Питомий електричний опір ґрунту

| Ґрунт | Питомий електричний опір, Ом·м | |
|---|---|---|
| | Границя зміни | При вологості 10...20% |
| Чорнозем | 9...53 | 20 |
| Глина | 8...70 | 40 |
| Суглинок | 40...150 | 100 |
| Пісок | 400...700 | 700 |
| Супісок | 150...400 | 300 |

Питомий електричний опір ґрунту з врахуванням коефіцієнта сезонності визначається за формулою:

$$\rho = \rho_в \cdot \eta_c$$

де $\rho_в$ – вимірювальний питомий електричний опір, Ом·м;

$\eta_c$ – коефіцієнт сезонності.

Коефіцієнт сезонності залежить від вологості землі при вимірюванні (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 - Значення коефіцієнта сезонності для вертикального заземлювача та горизонтальної стрічки

| Вологість землі при вимірюванні | | |
|---|---|---|
| підвищена | нормальна | мала |
| $\eta_c$ для вертикального електрода $l$=3 м | | |
| 1,9 | 1,7 | 1,5 |
| 1,7 | 1,5 | 1,3 |
| 1,5 | 1,3 | 1,2 |
| 1,3 | 1,1 | 1,0 |
| $\eta_c$ для горизонтального електрода $l$=10 м | | |
| 9,3 | 5,5 | 4,1 |

| | | |
|---|---|---|
| 5,9 | 3,5 | 2,5 |
| 4,0 | 2,5 | 2,0 |
| 2,5 | 1,5 | 1,1 |
| $\eta_c$ для горизонтального електрода $l$=50 м | | |
| 7,2 | 4,5 | 3,6 |
| 4,8 | 3,0 | 2,4 |
| 3,2 | 2,0 | 1,6 |
| 2,2 | 1,4 | 1,12 |

Групове розташування вертикальних заземлювачів (труб) спричиняє взаємний вплив полів розтікання (екранування) струму, збільшуючи опір розтіканню струму.

Враховуючи коефіцієнт екранування, отримаємо:

$$R_p = \frac{R_{mp}}{n \cdot \eta_e},$$

де $R_{mp}$ – опір розтіканню струму одного заземлювача, Ом·м;

$n$ – кількість заземлювачів, шт;

$\eta_c$ – коефіцієнт екранування.

Значення коефіцієнта екранування вертикальних заземлювачів (труб) для контурного заземлення подано у таблиці. 5.4.

Таблиця 5.4 - Значення коефіцієнта екранування

| Відношення віддалі між електродом (трубою) до довжини електрода, LЛ | Число заземлювачів (труб) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 4 | 6 | 10 | 20 | 40 |
| 1 | 0,66...0,72 | 0,58...0,65 | 0,52...0,58 | 0,44...0,50 | 0,38…0,44 |
| 2 | 0,76...0,80 | 0,71...0,75 | 0,66...0,71 | 0,61...0,66 | 0,55...0,61 |
| 3 | 0,83...0,86 | 0,78...0,82 | 0,74..0,78 | 0,68...0,73 | 0,64...0,69 |

Із врахуванням коефіцієнтів сезонності та екранування кількість заземлювачів (труб) визначається за формулою:

$$n = \frac{R_{тр}}{R_д \cdot \eta_c \cdot \eta_е},$$

де $R_{тр}$ – опір одного заземлювача (труби), Ом;

$R_д$ = 4 Ом - допустимий опір розтікання струму заземлення. Довжину з'єднувальної стрічки визначають за формулою:

$$l_{стр} = 1{,}05L(n-1),$$

де L – віддаль між заземлювачами (трубами), м.

Опір розтіканню струму в з'єднувальній стрічці можна визначити за формулою:

$$R_{стр} = 0{,}366\frac{p}{l_{стр}}\lg\frac{2l_{стр}^2}{h \cdot b \cdot \eta_{стр}},$$

де $p$ – питомий електричний опір ґрунту з врахуванням коефіцієнта сезонності, Ом ·м;

$l_{стр}$ – довжина з'єднувальної стрічки, м;

$h$ – глибина (траншеї) закладання з'єднувальної стрічки, м;

$b$ – ширина з'єднувальної стрічки, м;

$\eta_{стр}$ – коефіцієнт екранування з'єднувальної стрічки.

Коефіцієнт екранування з'єднувальної стрічки для контурного заземлення приймають залежно від кількості заземлювачів (таблиця. 5.5) [14].

Таблиця 5.5 - Значення коефіцієнта екранування для контурного заземлення

| Відношення віддалі між електродом (трубою) до довжини електрода, *L/l* | Число заземлювачів (труб) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 4 | 6 | 10 | 20 | 40 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,45 | 0,40 | 0,34 | 0,27 | 0,23 |
| 2 | 0,55 | 0,48 | 0,40 | 0,32 | 0,25 |
| 3 | 0,70 | 0,64 | 0,56 | 0,45 | 0,40 |

Загальний опір розтіканню струму заземлювачів (труб) та з'єднувальної стрічки визначається за формулами:

$$R_з = \frac{1}{\frac{1}{R_{тр}} + \frac{1}{R_{стр}}} \le R_д, або$$

$$R_з = \frac{R_{тр} \cdot R_{стр}}{\frac{1}{R_{тр}} + \frac{1}{R_{стр}}} \le R_д$$

Захисне заземлення влаштовують у трифазних мережах з заземленою нейтраллю напругою до 1000 В, а вище 1000 В – за будь-якого режиму робота нейтралі. Заземленню підлягають електроустановки напругою вище 42 В змінного струму у приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних, а також у зовнішніх установках.

В умовах деревообробних виробництв заземлюють все стаціонарне та пересувне технологічне і транспортне устаткування, що живиться електричним струмом.

Ручні електрифіковані інструменти, які працюють з напругою вище 42 В, підключають у мережу через штепсельні розетки, які, крім фазних контактів, мають і заземлювальний контакт. Штепсельні з'єднання виконані так, що під час вмикання заземлюючий контакт входить раніше фазних контактів, за рахунок чого забезпечується безпека при обслуговуванні електрообладнання.

Заземлюючий контакт довший від фазних, що виключає помилкове вмикання [15].

# 6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій .

## 6.1 Визначення стадій розробки

Стадії роботи, які необхідні для розробки імпульсного джерела живлення електронного лічильника, а також вміст робіт на кожній стадії зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 6.1 – Стадії розробки імпульсного джерела живлення електронного лічильника

| № з/п | Стадії розробки | Вміст робіт | Тривалість етапу, днів | Примітка |
|---|---|---|---|---|
| А | Постановка завдання | Узгодження технічного завдання із замовником | 2 | 1 інженер |
| Б | Вивчення об'єкту | Аналіз існуючих схемних рішень | 10 | 1 інженер |
| В | Розробка проекту | Проектування схеми | 5 | 1 інженер |
| Г | Проведення дослідження та розробки | Розробка технічної документації по імпульсному джерелу живлення електронного лічильника. Створення друкованої плати | 10 | 2 інженери |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Д | Узгодження із замовником | Демонстрація загального виду блока живлення. Виправлення помилок. | 2 | 2 інженери |
| Е | Передача замовнику | Передача імпульсного джерела живлення замовнику, підписання акту здачі робіт | 5 | 1 інженер |

Для визначення терміну виконання етапів розробки імпульсного джерела живлення електронного лічильника, а також витрат, будується лінійний графік, який відображає в наочному вигляді терміни виконання кожного етапу як окремо, так і в цілому. На рис. 6.1 зображений лінійний графік стадій вказаних в таблиці 6.1.

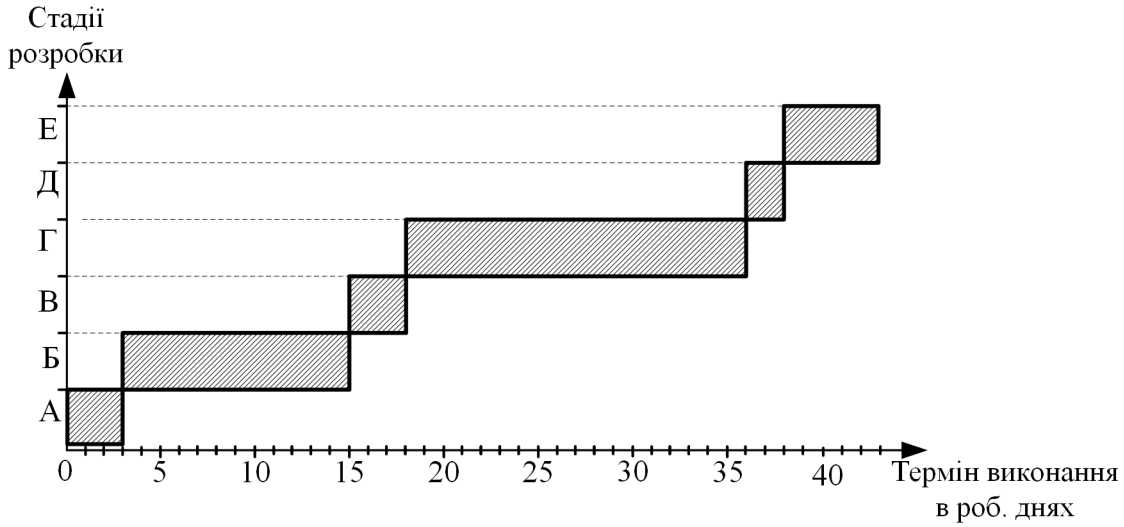


Рисунок 6.1 – Лінійний графік розробки приладу звукових ефектів

Відповідно до рис. 44 на види роботи А-Е, потрібно 43 восьмигодинних робочих днів.

Для виконання робіт по етапу А необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу Б необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу В необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення.

Для виконання робіт по етапу Г необхідно 2 людини – 1 інженера технічного забезпечення, 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Д необхідно 2 людини – 1 інженера технічного забезпечення, 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Е необхідно 1 людину – 1 інженер технічного забезпечення.

У зв'язку з наведеним вище списком працівників для виду робіт, в таблицю 6.2 зводяться всі необхідні співробітники з кількістю робочих днів участі в проекті.

Таблиця 6.2– Співробітники проекту

| Найменування | Кількість співробітників людей | Кількість робочих днів участі в розробці, роб. дні | К-ть часу, витраченого на участь в проекті, ч |
|---|---|---|---|
| Інженер технічного забезпечення проекту | 1 | 20 | 250 |
| Інженер електронної техніки | 1 | 10 | 100 |

6.2 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата кожного співробітника нараховується виходячи з годинної тарифної ставки. Вони представлені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Тарифні ставки співробітників

| Найменування співробітника | Тариф Тсер, грн./год. |
|---|---|
| інженер технічного забезпечення проекту | 52,1 |
| інженер електронної техніки | 44,5 |

Заробітна плата кожного співробітника визначається по формулі

$$ЗП = N_{раб} \cdot T_{сер} \cdot B \quad (6.1)$$

де ЗП – заробітна плата, грн.;

Тсер – ставка кожного співробітника, грн./год;

Nроб – кількість працівників, людей;

В – кількість годин, витрачених на роботу над проектом, год.

Заробітну плату інженера технічного забезпечення збільшуємо на 15%, у зв'язку з необхідністю витрати робочого часу на коректування документів.

Результати розрахунків представлені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Заробітна плата

| Найменування | Заробітна плата, грн. |
|---|---|
| інженер технічного забезпечення проекту | 13.025 |
| інженер електронної техніки | 4.450 |
| РАЗОМ | 17.475 |

6.3 Розрахунок кошторису витрат

Кошторис витрат складається виходячи з таких показників: основні засоби (комп'ютер з програмним забезпеченням), заробітна плата, відрахування до єдиного фонду – 37%; накладні витрати (60…150% від фонду заробітної плати), які включають різні господарські та адміністративні витрати.

Далі наводиться вартість устаткування і програмного забезпечення, представлені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Вартість устаткування і програмного забезпечення

| Найменування | Ед.вим. | К-ть | Ціна, грн. | Вартість, грн. |
|---|---|---|---|---|
| Комп'ютер | шт | 1 | 11000,00 | 11000,00 |
| Програмне забезпечення | шт | 1 | 5000,00 | 5000,00 |
| Осцилограф | шт | 1 | 3000,00 | 3000,00 |
| Мультіметр | шт | 1 | 300,00 | 300,00 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| РАЗОМ | | | | 19300,00 |

Амортизація основних засобів (комп'ютер, осцилограф, мультиметр):

$$S_{ам} = \sum \frac{a_{ам}}{100} \text{вартість} \frac{T_{вик}}{T_{можл.вик.}} \quad (6.2)$$

$S_{аморт} = 0,15 \times 14300 \times (34,5 \times 8/2100) = 261,9$ грн.

Електроенергія, що витрачається при роботі інженера електронної техніки:

$$S_e = \text{тариф} \times \text{потужність} \times N \times T_{вик} \quad (6.3)$$

де N – кількість комп'ютерів, осцилографів, мультиметрів

$S_e = 1,80 \times 0,5 \times 1 \times 150 = 135$грн.

Кошторис витрат на інтеграцію програмних продуктів в комплекс САПР пристроїв промислової електроніки представлений в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Кошторис витрат на інтеграцію програмних продуктів в комплекс САПР пристроїв промислової електроніки

| № з/п | Найменування | Разом: |
|---|---|---|
| 1 | Вартість програмного забезпечення | 5000,00 |
| 2 | Основні засоби | 14300,00 |
| 3 | Амортизаційні відрахування | 261,9 |
| 4 | Витрати на електроенергію (машинний час) | 135 |
| 5 | Заробітна плата | 15638,16 |
| 6 | Нарахування на зарплату (37%) | 5786,12 |
| 7 | Накладні витрати (60% від п.5) | 9382,9 |
| | Всього | 52 341 |

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки приладу для звукових ефектів.

# ВИСНОВОК

Під час роботи над дипломним проектом був проведений аналіз приладів звукових ефектів, порівняльна характеристика аналогових та цифрових приладів, проведено моделювання компрессора на мові MATLAB, проаналізовані алгоритми обробки динамічного діапазону аудіо сигналу та порівнянні різні види обробки діапазону аудіо сигналу.

В результаті роботи над дипломним проектом був проведений аналіз приладів звукових ефектів, порівняльна характеристика аналогових та цифрових приладів. Для реалізації даного проекту можна використати мікросхему ARM Cortex M3 plus. ARM Cortex M3 plus має подвійний 24-розрядний АЦП (ADuCM360) та один 24-розрядний АЦП (ADuCM361).

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


1. Терещук Р.М - Справочник радиолюбителя часть 1 /Терещук Р.М - Киев, 1970. - 692с
2. Документація Arduino Nano R3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://store.arduino.cc/arduino-nano
3. Atmel Atmega 328 datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
4. Хныков, А. В. Теория и расчет трансформаторов источников вторичного электропитания / А. В. Хныков. - Москва : СОЛОН-Пресс, 2007. - 128 с.
5. Терещук Р.М - Справочник радиолюбителя часть 1 /Терещук Р.М - Киев, 1970. - 692с.
6. Секун Н.Ю. Обробка звуку на PC / Н.Ю. Секун. - СПб .: БХВ-Петербург, 2001. - 1 248 с.
7. EasyEDA [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://easyeda.com
8. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. (Переиздание: сентябрь 1999 г.): ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77)
9. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.: ГОСТ 12.1.009-76
10. ССБТ. Электробезоласность. Общие требования и номенклатура видов защиты.: ГОСТ 12.1.019-79 (СТ СЭВ 4830-84)
11. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. (Переиздание: январь 1996 г.): ГОСТ 12.1.004-91
12. Закон України “Про пожежну безпеку”[Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12#Text
13. ГОСТ 12.1.030.-81. ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення. Введ. 01.07.82г.
14. ГОСТ 12.1.013.-78. ССБТ. Будівництво. Електробезпека. Загальні вимоги. Введ. 01.01.80г.

15. ГОСТ 12.1.038.-82. ССБТ. Граничнодопустимі рівні напруг дотику і струмів. Введ. 01.07.83г.