

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 1

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

Цифровий АМ-передавач і приймач

Мета лабораторної роботи

Набути практичного досвіду програмування SDR-систем в середовищі візуального програмування GNU Radio Вивчити класичну аналогову амплітудну модуляцію і детектор огибаючої. Реалізувати систему передачі і прийому АМ-сигналу, розрахувати його основні характеристики.

Теоретичні відомості

Амплітудна модуляція (АМ) – один із найстаріших методів модуляції. Сьогодні він все ще використовується в різних системах, включаючи, зрозуміло, широкомовне радіо із амплітудною модуляцією. У цифровій формі це найпоширеніший метод передачі даних по оптоволокну.

АМ відноситься до найбільш простого виду модуляції, коли в якості несучої та модулюючої сигналів використовуються сигнали простої тригонометричної форми – синусоїдальної

$$s_{\text{нес}}(t) = S_{\text{нес}} \cos \omega_{\text{н}} t \quad (6.1)$$

$$s_{\text{с}}(t) = S_{\text{с}} \cos \Omega t \quad (6.2)$$

При АМ амплітуда несучого високочастотного коливання трансформується пропорційно до зміни модулюючого сигналу за законом:

$$S_{\text{АМ}}(t) = S_{\text{нес}} + S_{\text{с}} \cos \Omega t \quad (6.3)$$

згідно з чим, рівняння АМ сигналу набуде вигляду:

$$\begin{aligned} s_{\text{АМ}}(t) &= S_{\text{АМ}}(t) \cos \omega_{\text{н}} t = \\ &= (S_{\text{нес}} + S_{\text{с}} \cos \Omega t) \cos \omega_{\text{н}} t = \\ &= S_{\text{нес}} (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_{\text{н}} t, \end{aligned} \quad (6.4)$$

де $m = S_{\text{с}}/S_{\text{нес}}$ – називають коефіцієнтом глибини модуляції або індекс модуляції

(modulation index) , що показує, у скільки разів амплітуда модулюючого сигналу відрізняється від амплітуди несучої. Значення величини m беруть у діапазоні $[0,1]$ при нормальній роботі (рис. 6.1 а, б). За умови $m > 1$ виникає перемодуляція (рис. 6.1), яка може викликати спотворення оригінального сигналу повідомлення при демодуляції.

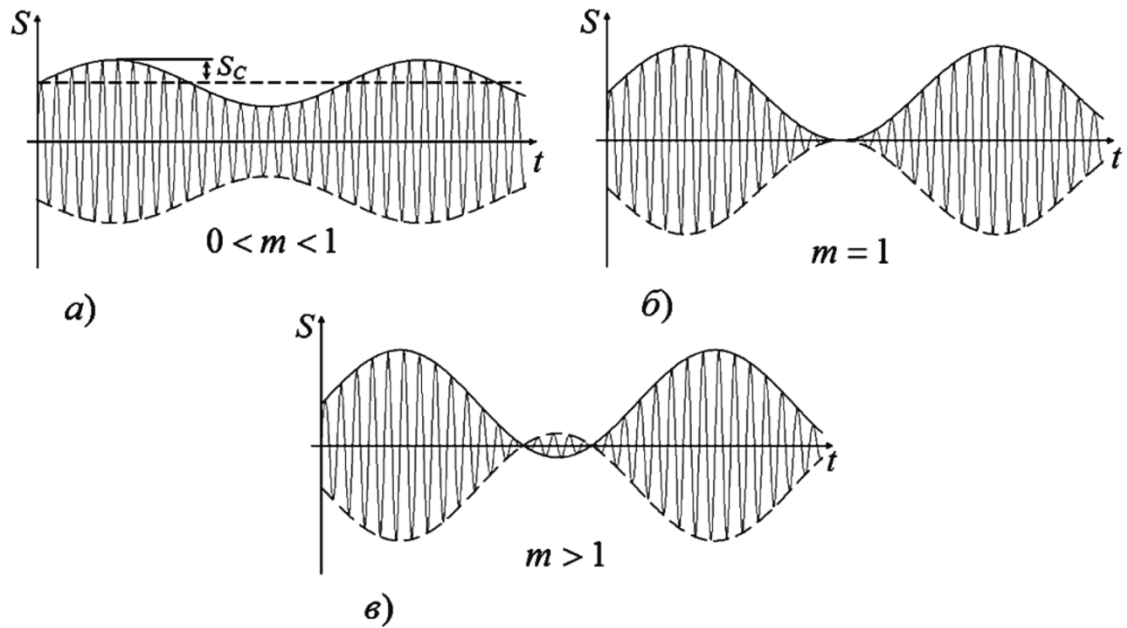


Рис. 6.1. Вид АМ сигналу з різними значеннями коефіцієнта глибини модуляції

Неважко зауважити, що, згідно (6.4), в АМ коливанні не одна частотна складова, а отже, сигнал з АМ займає деяку ділянку частотного діапазону. Для його знаходження застосовуємо до (6.4) наступне співвідношення:

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}\cos(\alpha + \beta) + \frac{1}{2}\cos(\alpha - \beta) \quad (6.5)$$

тоді, стосовно нашого випадку, отримаємо:

$$s_{AM}(t) = S_{HEC}\cos\omega_H t + \frac{1}{2}mS_{HEC}\cos(\omega_H + \Omega)t + \frac{1}{2}mS_{HEC}\cos(\omega_H - \Omega)t \quad (6.6)$$

З (6.6) випливає, що АМ сигнал містить три гармонічні коливання: з несучою частотою ω_H , верхньою бічною $\omega_H + \Omega$ і нижньою бічною $\omega_H - \Omega$. Варто зазначити, що амплітуди несучих бічних коливань в $\frac{m}{2}$ раз відрізняються від амплітуди несучого коливання. Амплітудний спектр такого АМ сигналу представлений рисунку 6.2.

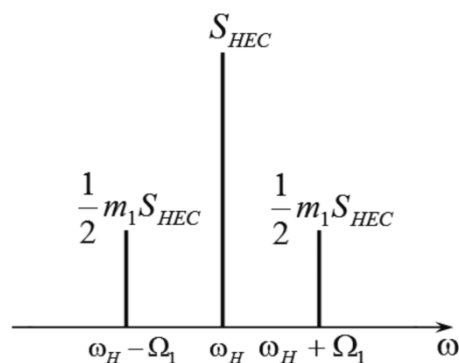


Рис. 6.2. Амплітудний спектр АМ сигналу виду

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 3

Як видно з рисунка 6.2, діапазон частот, займаний АМ сигналом, розташований між нижньої і верхньої бічними частотами, тобто. смуга частот, що необхідна для неспотвореної передачі повідомлення, становить 2Ω .

Якщо розглядати енергію АМ сигналу, то вона дорівнюватиме сумі енергій несучої та бічних сигналів. Крім того енергія сигналу пропорційна квадрату амплітуди, звідки слідує, що енергія АМ коливань пропорційна

$$(S_{\text{нес}})^2 + \left(\frac{1}{2}mS_{\text{нес}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}mS_{\text{нес}}\right)^2 = (S_{\text{нес}})^2\left(1 + \frac{1}{2}m^2\right) \quad (6.7)$$

З чого можна зробити висновок, що АМ збільшує енергію сигналу.

Якщо розглядати коливання модулюючого сигналу S_c складної форми, що представляється сумою своїх гармонік, виду:

$$S_c = \sum_i^N S_{ci} \cos(\Omega_i t + \Phi_i) \quad (6.8)$$

тоді АМ такого сигналу можна записати як:

$$s_{AM}(t) = S_{\text{нес}} \left(1 + \sum_i^N m_i \cos(\Omega_i t + \Phi_i) \right) \cos(\omega_{\text{н}} t + \varphi_0). \quad (6.9)$$

де Ω_i – i -а кутова величина частоти модуляції; Φ_i і φ_0 – зрушення фаз модулюючого і несучого коливань відповідно; m_i i -й коефіцієнт модуляції, рівний відношенню:

$$m_i = S_{ci} / S_{\text{нес}}$$

Вид складного АМ сигналу показаний на рисунку 6.3.

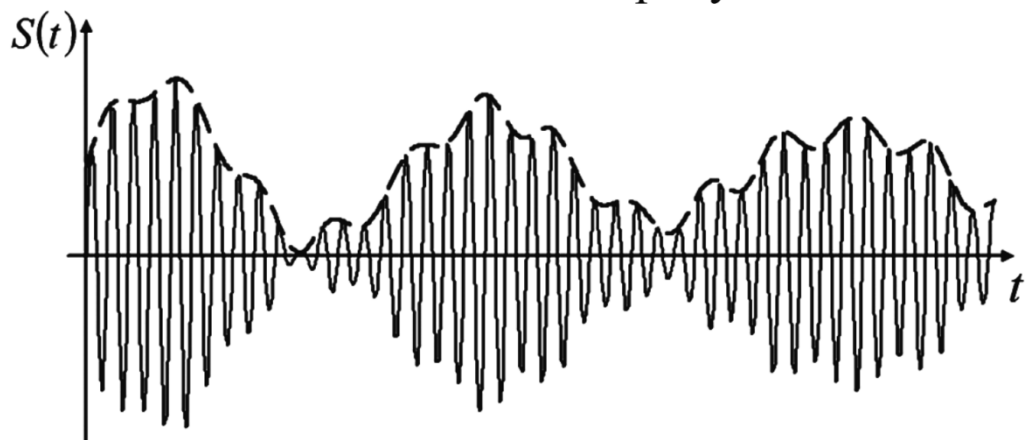


Рис. 6.3. Вид АМ складного сигналу

Складне АМ коливання, може бути розкладене на суму простих синусоїдальних коливань за формулою (6.5):

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 4

$s_{AM}(t) = S_{\text{нec}} \left(1 + \sum_i^N m_i \cos(\Omega_i t + \Phi_i) \right) \cos(\omega_H t + \varphi_0) =$	(6.10)
$= S_{\text{нec}} \left(\cos(\omega_H t + \varphi_0) + \sum_i^N m_i \cos(\Omega_i t + \Phi_i) \cos(\omega_H t + \varphi_0) \right) =$	
$S_{\text{нec}} \left\{ \cos(\omega_H t + \varphi_0) + \sum_i^N \frac{m_i}{2} \cos[(\omega_H + \Omega_i)t + \varphi_0 + \Phi_i] + \right.$	
$\left. + \sum_i^N \frac{m_i}{2} \cos[(\omega_H - \Omega_i)t + \varphi_0 - \Phi_i] \right\}.$	

З (6.10) видно, що складний АМ сигнал може бути представлений сумою N коливань верхніх бічних частот $\omega_H + \Omega_i$, N коливань нижніх бічних частот $\omega_H - \Omega_i$ і одного коливання несучої частоти ω_H . Звідси спектральна діаграма такого сигналу може бути представлена у вигляді, як показано на рисунку 6.4. На цій діаграмі кожна гармоніка складного коливання зображується відрізком, довжина якого пропорційна амплітуді синусоїдального коливання, а відстань між ними пропорційна частоті коливання.

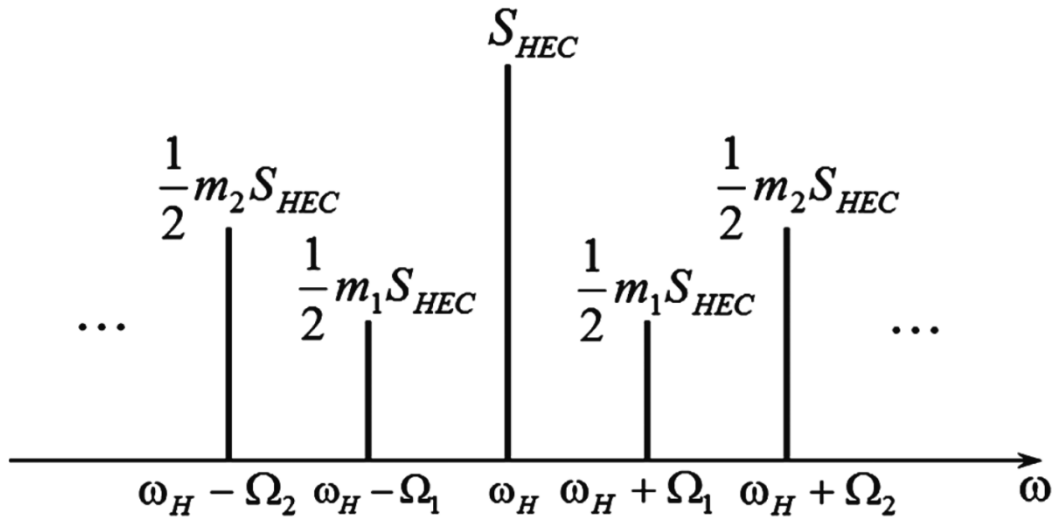


Рис. 6.4. Спектральна діаграма складного АМ сигналу

У зв'язку з одночасною роботою великої кількості радіостанцій, що застосовують як спосіб передачі інформації амплітудну модуляцію, виникає завдання виділення з безлічі сигналів потрібного. Зі спектральної діаграми (рис. 6.4) видно, що несучі частоти станцій необхідно вибирати так, щоб спектр частот одного каналу передачі не накладався на спектр частот іншого каналу. Звідси випливає правило: для виключення взаємних перешкод несучі частоти сусідніх за частотою каналів потрібно вибирати так, щоб різниця між цими

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 5

частотами була не менше суми максимальних частот модуляції цих сусідніх сигналів. У математичній формі це правило може бути представлено так:

$$\omega_{H2} - \Omega_{max2} \geq \omega_{H1} - \Omega_{max1}, \quad (6.11)$$

де перший доданок є мінімальна частотна складова одного модульованого сигналу («правий сусід»), другий – максимальна частотна складова іншого модульованого сигналу («лівий сусід»), тоді:

$$\omega_{H2} - \omega_{H1} \geq \Omega_{max2} + \Omega_{max1}, \quad (6.12)$$

У випадку, коли складні модулюючі сигнали мають однакову ширину спектра, наприклад, у мовних станціях, вираз (6.12) перетворюється на:

$$\omega_{H2} - \omega_{H1} \geq 2\Omega_{max}, \quad (6.13)$$

І тоді запропоноване правило перефразується так: для попередження взаємних перешкод несучі частоти сусідніх за частотою станцій потрібно вибирати так, щоб різниця між ними була не менше подвоєної максимальної частоти модуляції. З практичних міркувань цю різницю беруть більше подвоєної максимальної частоти, що модулює, щоб приймачі були в стані досить чітко розділяти суміжні бічні частоти сусідніх по частоті станцій.

Структурна схема пристрою передавача АМ у загальному виді представлена на рисунку 6.5.

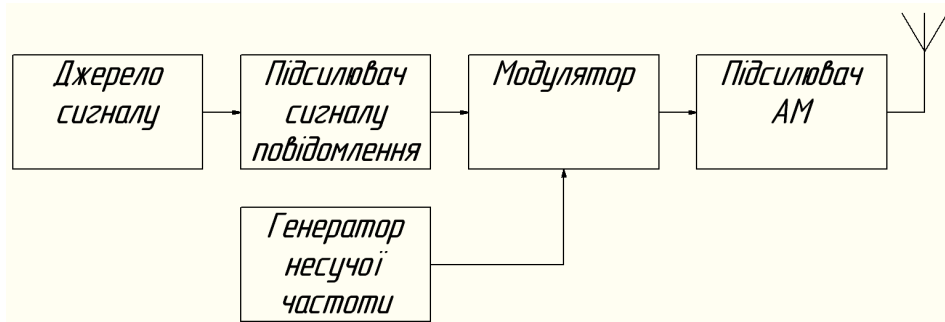


Рис. 6.5 – Структурна схема пристрою передавача АМ сигналу

Коли АМ сигнал надходить на приймач, він має вигляд:

$$r(t) = D_{Hec}(1 + m\cos\Omega t)\cos(\omega_H t + \theta), \quad (6.14)$$

де амплітуда несучої D_{Hec} , як правило, значно менше амплітуди S_{Hec} переданої несучої, а кут θ являє собою різницю фаз між сигналами несучої генераторів передавача і приймача. Ми підемо поширеній практиці і змістимо частоту генератора приймача ω_0 щодо несучої частоти передавача ω_H . При цьому отримаємо сигнал

$$r_1(t) = D_{Hec}(1 + m\cos\Omega t)\cos(\omega_{IF} t + \theta), \quad (6.15)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 6

де $\omega_{IF} = \omega_H - \omega_0$ – проміжна частота.

Сигнал $r_1(t)$ може бути пропущений через смуговий фільтр для видалення перешкод від небажаних сигналів на частотах поблизу частоти ω_H . Як правило, сигнал $r_1(t)$ також піддається підсиленню.

Демодуляція сигналу $r_1(t)$ найбільш ефективно виконується детектором огибаючої (**envelope detector**). Детектор огибаючої може бути реалізований за допомогою випрямляча, за яким встановлено фільтр нижніх частот (ФНЧ). Огибаюча $A(t)$ сигналу $r_1(t)$ має вигляд

$$A(t) = D_{\text{неч}}(1 + m \cos \Omega t), \quad (6.16)$$

Хід виконання роботи

У цьому занятті ми вчимося приймати сигнали в амплітудній модуляції. Ми візьмемо файл із даними, що містить кілька секунд записаного ефіру. Цей файл був записаний за допомогою USRP. Якщо у вас є USRP, ви можете також використовувати його як джерело, і працювати з живим сигналом.

1. Завантажте файл: am_usrp710.dat. Збережіть його у відомому вам місці. Якщо ви завантажите файл у вигляді архіву, розпакуйте його.

2. Запустіть GnuRadio.

3. Побудуйте граф (рис. 6.6) як показано нижче, що складається з блоків «**File Source**» (файлове джерело), «**Throttle**» і «**QT GUI Frequency Sink**». Встановіть частоту дискретизації в змінній `samp_rate`, що дорівнює 256000. Це частота, з якою збережені дані були дискретизовані.

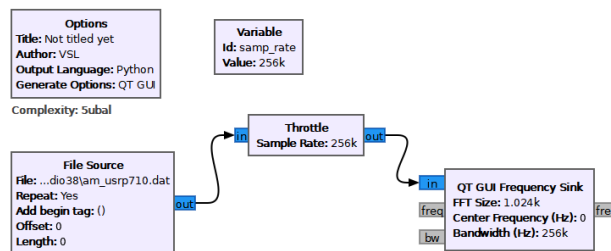


Рис. 6.6 – Граф для спостереження спектру АМ сигналів

Двічі клацніть на блоці «**File Source**». Натисніть кнопку з трьома крапками (...) поруч із полем параметра «**File**».

Знайдіть файл am_usrp710.dat, збережений в п. 1 (розпакований). Шлях до файлу буде виглядати, як показано на малюнку нижче (рис. 6.7).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 7

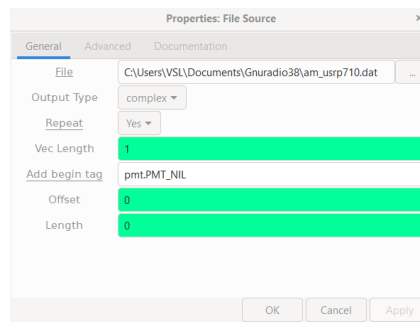


Рис. 6.7 – Вікно налаштування блока «File Source»

Встановіть «Output Type» в «Complex». Вкажіть параметр «Repeat» (Повтор) значення «Yes». Це призведе до за циклювання даних з файлу і безперервної передачі сигналу.

5. Збережіть і виконайте граф. Ви повинні побачити амплітудний спектр, схожий на наведений нижче (рис. 6.8). Можливо, вам доведеться натиснути на кнопку «Autoscale» для масштабування даних, для того щоб отримати графік як показано на рисунку.

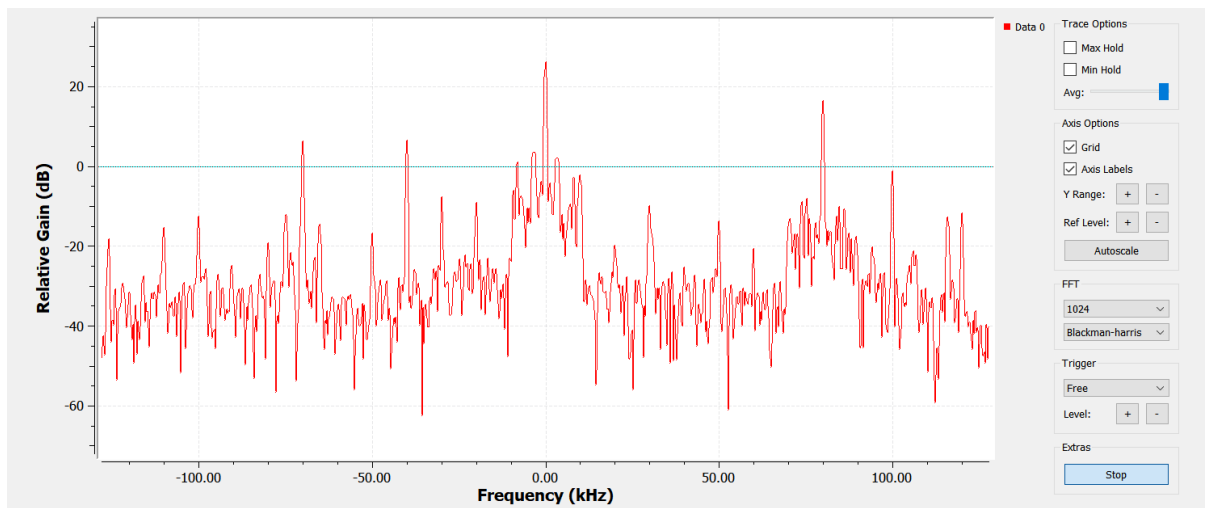


Рис. 6.8 – Амплітудний спектр АМ сигналів

Зверніть увагу на таке:

– Ці дані записано з USRP на частоті 710 кГц. Таким чином, сигнал, який ви бачите в центрі (вказаний як 0 кГц) насправді знаходиться на частоті 710 кГц. Крім того, сигнал на 80 кГц фактично знаходиться на частоті: $710 \text{ кГц} + 80 \text{ кГц} = 790 \text{ кГц}$.

– Дисплей охоплює діапазон частот трохи нижче 120 кГц і трохи вище 120 кГц. Точна ширина лінії дорівнює 256 кГц, що відповідає частоті дискретизації, з якої дані були записані.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 8

– Піки, які ви спостерігаєте на цьому графіку, відповідні несучим для АМ сигналів радіомовних станцій. Ви можете спостерігати бічні смуги сильних сигналів.

6. В цьому пункті ми розширюватимемо частотну шкалу на амплітудному спектрі, для того щоб можна було переглядати сигнали з великою роздільною здатністю. Згадайте п. 5, у якому говорилося, що ширина смуги осі частот визначається частотою дискретизації (256К в даному файлі). Хоча ми не можемо змінити вихідні дані, ми можемо ресемплювати їх, і збільшити чи зменшити частоту дискретизації. Ми зменшуватимемо частоту дискретизації за допомогою проріджування. Змініть граф так:

– Додайте блок «**Variable**» (змінна) (у групі «**Variables**»). Встановіть даному блоку параметр ID «**resamp_factor**», і параметр «**Value**» (значення) дорівнює 4, як показано нижче

– Додайте блок «**Rational Resampler**» (не «**Rational Resampler Base**»!) із групи Resamplers. Призначте його параметру «**Decimation**» значення `resamp_factor`. Таким чином блок ресемплювання буде використовувати значення змінної з попереднього п. 4, щоб виконати проріджування вхідних даних. Усе це означає, що він ділитиме вхідну швидкість передачі на проріджуючий чинник. У даному прикладі дані, що входять зі швидкістю 256 вибірок /сек, будуть перетворені до значення $256/4 = 64$ вибірок/сек.

– Не забувайте, що блокам «**Throttle**» і «**QT GUI Frequency Sink**» теж потрібно правильне значення частоти дискретизації. Змініть параметр «**Sample Rate**» у цих блоків зі значення `samp_rate` на `samp_rate/resamp_factor`. Тепер ми можемо змінювати проріджування лише змінивши значення змінної `resamp_factor`, а інших блоках потрібні значення перерахуються автоматично.

– Ваш граф має виглядати так, як показано нижче (рис. 6.9).

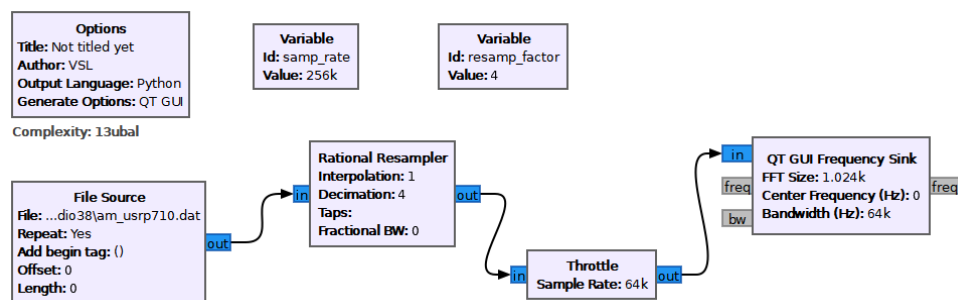


Рис. 6.9 – Граф для спостереження спектру АМ сигналів з проріджуванням

7. Виконайте новий граф. Тепер ви повинні спостерігати смугу частот тільки 64 кГц (від -32 кГц до +32 кГц). Якому фактичному діапазону частот вона відповідає?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 9

8. Ширина широкоповного АМ сигналу 10 кГц (± 5 кГц від несучої частоти). Вам буде корисно натиснути кнопку «**Stop**» на спектрі, щоб побачити це більш ясно. Крім того, зазначимо, що багато станцій включають додаткову інформацію за межею смуги пропускання в 10 кГц.

9. Для того щоб відібрати станцію на частоті 710 кГц (або 0 кГц) потрібно вставити фільтр для усунення всіх станцій крім однієї, яку ми хочемо отримати. Це часто називається каналним фільтром. оскільки станція на частоті 710 кГц була перенесена на 0 кГц (USRP) ми будемо використовувати ФНЧ. Ширина сигналу станції 10 кГц, тому потрібно використовувати ФНЧ із частотою зрізу 5 кГц.

Вставте блок «**Low Pass Filter**» (ФНЧ) (за допомогою групи «**Filters**») між «**Rational Resampler**» та «**Throttle**». Встановіть установки, як показано нижче (рис. 6.10).

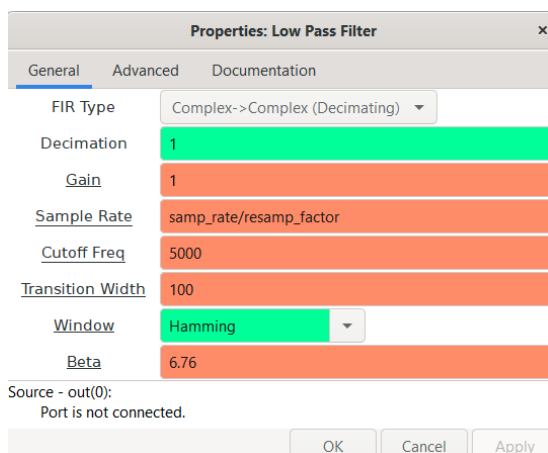


Рис. 6.10 – Вікно налаштувань блока «**Low Pass Filter**»

10. Виконайте граф. Ви повинні побачити тільки сигнал станції між ± 5 кГц.

11. Наступний крок – демодуляція сигналів. У разі амплітудної модуляції низькочастотний аудіосигнал може бути отриманий обчисленням огибаючої або модуля високочастотного радіосигналу. GNU Radio містить блок «**Complex To Mag**» (комплексне в модуль) (цей блок знаходиться в групі «**Type Converters**»), який може бути використаний для цієї мети. Вставте цей блок між «**Low Pass Filter**» та «**Throttle**».

12. Зверніть увагу, що назви деяких блоків червоні і значок «**Run Flow Graph**» пофарбований сірим кольором. Це свідчить про помилку. До додавання нового блоку, всі вхідні і вихідні виводи блоків були комплексними значеннями. В новому блоці «**Complex to Float**» вивод передає числа з плаваючою точкою. Отже, будь-які блоки після нього повинні мати тип «**Float**». Змініть в блоках «**Throttle**» і «**QT GUI Frequency Sink**» на тип «**Float**».

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 10

13. Виконайте граф. Тепер в блоці «**QT GUI Frequency Sink**» спостерігаємо спектр низькочастотного аудіо сигналу. Зазначимо, що оскільки вхідні дані є числами з плаваючою точкою, відображається тільки позитивний частотний спектр.

14. Наступним кроком буде прослуховування демодульованого сигналу, щоб переконатися, що все зробили правильно. Додайте блок «**Audio Sink**» до виходу «**Complex to Mag**». Зверніть увагу, що за замовчуванням частота семплювання для «**Audio Sin**» встановлена 32 кГц. Більшість сучасних звукових карт вимагають частоту дискретизації щонайменше 44,1 кГц. Встановіть значення частоти дискретизації для аудіовиходу 48 кГц.

15. Зверніть увагу, що частота дискретизації на виході блоку «**Complex to Mag**» становить 64k, а на вході аудіоблоку – 48k. Для того, щоб перетворити 64k на 48k потрібно розділити (виконати проріджування) на 4 і помножити (інтерполювати) на 3. Вставте блок «**Rational Resampler**» між «**Complex to Mag**» і «**Audio Sink**» та встановіть параметри «**Decimation**» та «**Interpolation**» як зазначено вище. Не забудьте встановити в блоці «**Rational Resampler**» тип «**Float**»

16. Підключіть блок «**QT GUI Frequency Sink**» на вихід «**Rational Resampler**» (на додаток до аудіовиводу). Змініть тип на «**Float**».

17. Виконайте граф. Повинен відкритися графік і відобразити вихідний сигнал. Проте, можливо, ви не почуєте жодного звуку з динаміків. Це пов'язано з тим, що рівень вибірок, що передаються в аудіовивід є занадто великими для гучномовця. Потрібно застосувати атенюатори, щоб зменшити рівень вибірок.

18. Вставте блок «**Multiply Const**» (множення на константу) з категорії «**Math Operators**» між блоком «**Complex to Mag**» та блоком «**Rational Resampler**». Встановіть тип блоку «**Float**».

19. Додайте блок «**QT GUI Range**». Встановіть його параметри як показано нижче (рис. 6.11).

20. У блоці «**Multiply Const**» встановіть значення константи, на яку буде множитися, значення «**volume**», щоб могли контролювати його смугою прокручування. Остаточний вид графа показаний нижче (рис 6.12).

21. Виконайте граф. Ймовірно, почуєте спотворений сигнал. Зменште гучність смугою прокручування, до розбірливості звуку. Це можливо відбудеться близько значення 3m (.003). Тепер це АМ приймач.

22. Двічі клацніть на ФНЧ. Зверніть увагу, що він також може виконувати проріджування. Задайте прорідження в ФНЧ, що дорівнює змінній `resamp_factor` і видаліть

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	

блок «**Rational Resampler**». Фільтр тепер оброблятиме обидві операції. Перевірте приймач знову.

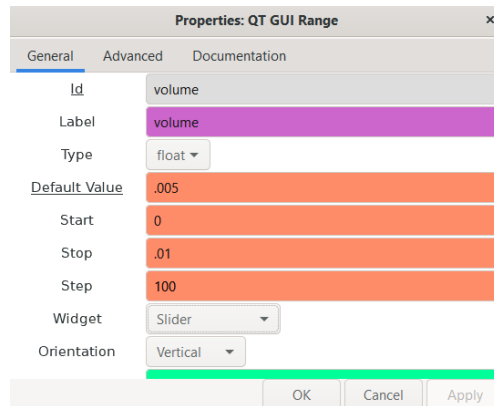


Рис. 6.11 – Вікно налаштувань блока «QT GUI Range».

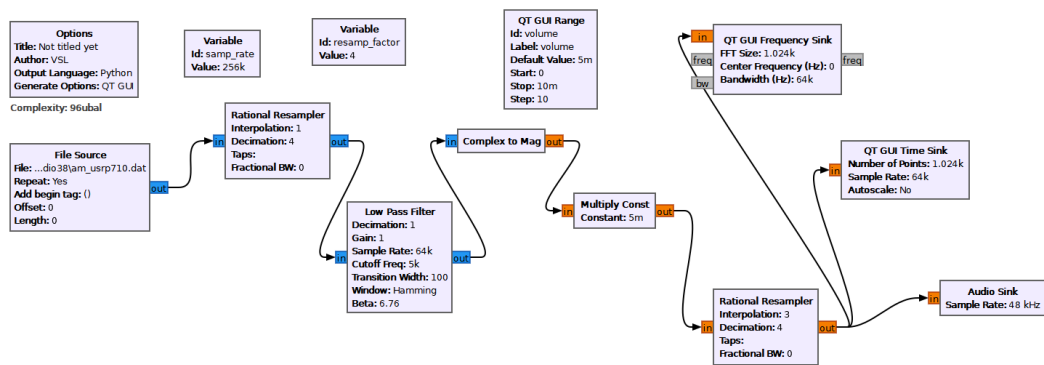


Рис. 6.12 – Граф АМ приймача на частоту 710 кГц.

23. Підключіть блок «**QT GUI Frequency Sink**» до виходу «**File Source**», залишивши решту графа без змін. Виконайте граф, щоб побачити розташування інших станцій на спектрі. Зверніть увагу, що є досить сильний сигнал на 80 кГц (насправді $710 + 80 = 790$ кГц).

24. Щоб отримати цей сигнал, потрібно зрушити його вниз до нульової частоти так, щоб він зміг пройти через фільтр низьких частот. Один із способів досягнення цієї мети є множення вихідного сигналу на гармонічний сигнал. Змініть граф, як показано нижче (рис. 6.13). Додайте джерело сигналу і налаштуйте його параметри на генерування косінусоїдального сигналу з частотою -80 кГц. Ця негативна частота змістить весь спектр ліворуч на 80 кГц. Використовуйте блок «**Multiply Const**» для множення вихідного сигналу на косінусоїду, а також підключіть «**QT GUI Frequency Sink**» до виходу суматора. Протестуйте приймач.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 12

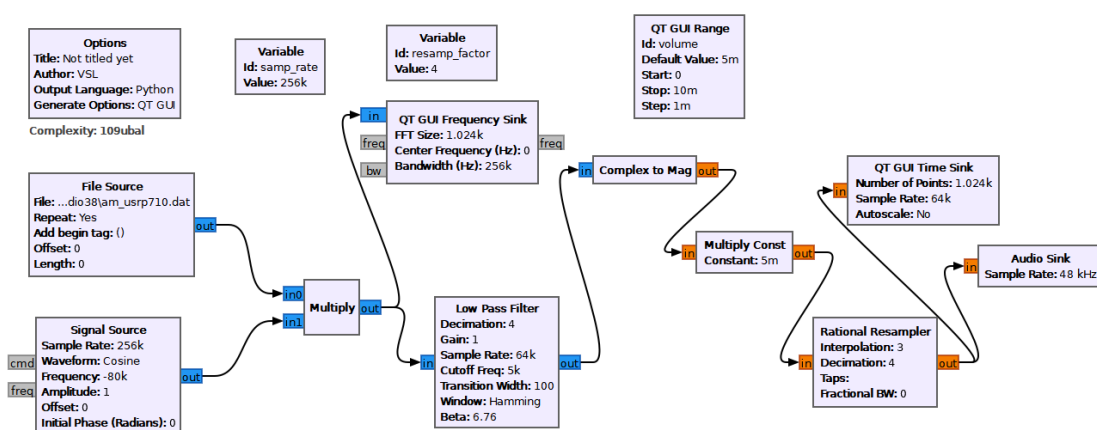


Рис. 6.13 – Граф АМ приймача на частоту 790 кГц.

25. Додайте ще один блок «**QT GUI Range**», щоб можна було керувати частотою джерела косінусоїди. Перевірте граф і переконайтеся, що він працює. Можливо, вам доведеться підлаштувати рівень гучності для кожної станції. Гучність відрізняється тому, що радіостанції перебувають на різних відстанях від приймача і мають різну потужність передавача (рис. 6.14).

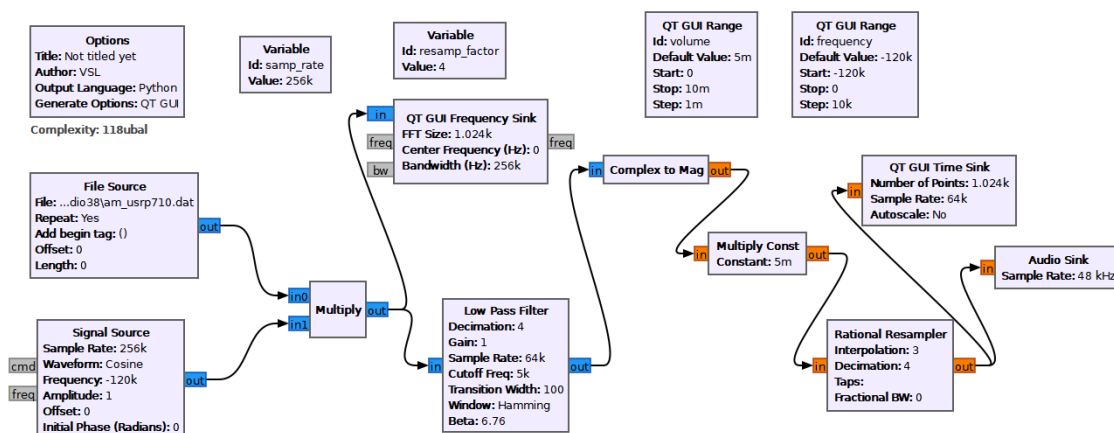


Рис. 6.14 – Граф АМ приймача, що переналаштовується по частоті

26. Регулювання гучності можна автоматизувати за допомогою блоку «**AGC**» (АРП). Цей блок працює шляхом обчислення середнього значення вибірок, що надходять та підтримки рівня вихідних вибірок на необхідному рівні. Вставте блок «**AGC2**» (розташований у розділі «**Level Controllers**») між блоками ФНЧ та «**Complex to Mag**». Звукова карта може приймати значення вибірок в діапазоні від -1,0 до 1,0. Потрібно налаштувати «**AGC2**» для регулювання посилення таким чином, щоби вибірккові значення завжди знаходились у цьому діапазоні. Цим керує параметр «**Reference**» (поріг). Встановіть

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 14 / 13

його значення в 0.3. Це означає, що блок АРП коригуватиме рівень так, що середнє значення на виході становитиме 0.3. Встановіть параметри «**Attack Rate**» на $6.25e-4$ і «**Decay Rate**» на $1e-5$. Залиште інші параметри за промовчанням. Встановіть рівень гучності в діапазоні від 0 до 1. Перевірте приймач знову(рис. 6.15). Відрегулюйте рівень гучності до комфортного рівня на першій станції, та пройдіться вгору і вниз за частотою. Зверніть увагу, що більше не потрібно підлаштовувати гучність. Радіо працює так само, як апаратне радіо.

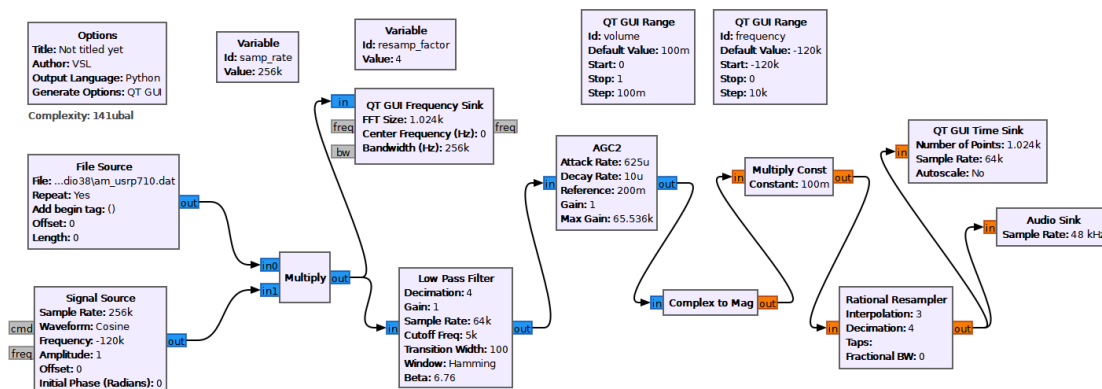


Рис. 6.15 – Граф АМ приймача з системою АРП

Завдання для самостійного виконання

1) Як результати моделювання зафіксуйте спектри сигналів в наступних точках і проаналізуйте результати:

- на вході блоку «**File Source**»;
- на виході блоку «**Multiply**»;
- на виході блоку «**Low Pass Filter**»;
- на виході блоку «**Complex to Mag**»;
- на виході блоку «**Rational Resampler**»;
- на виході блоку «**WBFM Receive**».

2) Знайдіть частоту мовлення інших АМ-радіостанцій. Налаштуйте блок-схему в такий спосіб, щоб здійснити прийом на частоті вибраної радіостанції. Побудуйте відповідні спектри сигналів у точках, подібних до пункту 1. Проаналізуйте отримані результати та порівняйте їх із отриманими раніше у пункті 1.

Контрольні питання

1. Дати визначення: модуляція, модулятор. У чому їхня різниця?
2. Чим відрізняється модульований сигнал від немодульованого, гармонічного?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.1/Б/ОК15- 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 14 / 14</i>

3. Пояснити принцип отримання модульованого сигналу. (Що треба мати, що треба зробити?).

4. Чому модуляція призводить до перенесення спектра сигналу?

5. Чим відрізняються модуляція від маніпуляції?