

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

**Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента Афанас'єв Олексій Євгенійович

академічної групи TKim-15-1

спеціальності 6.050903 Телекомунікації

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_

на тему Розробка моделі аналогового модема SSB

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			
розділів:				
спеціальний	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

**Дніпро  
2019**

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
безпеки інформації та телекомунікацій  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавра**

студенту Афанас'єв Олексій Євгенійович академічної TKim-15-1  
\_\_\_\_\_ групи \_\_\_\_\_  
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності 6.050903 Телекомунікації  
\_\_\_\_\_ (код і назва спеціальності)

на тему Розробка моделі аналогового модема SSB

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Аналіз способів модуляції і демодуляції у системах зв'язку.	03.09.2018 – 31.12.2018
Розділ 2	Розробка схеми аналогового модему SSB та оцінка його ефективності шляхом моделювання в середовищі Simulink.	01.01.2019 – 30.04.2019
Розділ 3	Розрахунок трудомісткості та капітальних витрат на розробку аналогового модему SSB.	01.05.2019 – 09.06.2019

Завдання видано \_\_\_\_\_ Гусєв О.Ю..  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі: \_\_\_\_\_

Дата подання до екзаменаційної комісії: \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Афанас'єв О.Є.  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 с., рис.37, 4 додатки, 26 джерел.

Об'єкт розробки – однополосна амплітудна модуляція.

Предмет розробки – аналоговий модем SSB.

Мета кваліфікаційної роботи – побудова імітаційної моделі цифрового модему з однополосною амплітудною модуляцією.

Розробка полягає у створенні принципової схеми аналогового модему у середовищі Simulink зі змінними значеннями параметрів, які не повторюються для всіх елементів протягом всієї розробки.

У першому розділі проаналізовано способи модуляції і демодуляції сигналу, амплітуда модуляції, фазова синхронізація в системах зв'язку.

У спеціальній частині роботи запропоновано схему аналогового модема SSB. В середовищі Simulink побудована програмна модель аналогового модему з однополосною модуляцією, і виконано його тестування. За наслідками досліджень зроблено висновки щодо рішення поставленої задачі.

У економічному розділі виконані розрахунки трудомісткості та капітальних витрат на розробку аналогового модему SSB.

**SSB, ОДНОСМУГОВА МОДУЛЯЦІЯ, МОДУЛЯТОР, ДЕМОДУЛЯЦІЯ,  
СПЕКТР СИГНАЛУ, АНАЛОГОВИЙ МОДЕМ**

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка с.62, Рис. 37, 4 приложения, 26 источников.

Объект разработки - однополосная амплитудная модуляция.

Предмет разработки - аналоговый модем SSB.

Цель квалификационной работы - построение имитационной модели цифрового модема с однополосной амплитудной модуляцией.

Разработка заключается в создании принципиальной схемы аналогового модема в среде Simulink со сменными значениями параметров, которые не повторяются для всех элементов в течение всей разработки.

В первом разделе проанализированы методы модуляции и демодуляции сигнала, амплитуда модуляции, фазовая синхронизация в системах связи.

В специальной части работы предложена схема аналогового модема SSB. В среде Simulink построена программная модель аналогового модема с однополосной модуляцией, и выполнено его тестирование. По итогам исследований сделаны выводы по поводу решения поставленной задачи.

В экономическом разделе выполнены расчеты трудоемкости и капитальные затраты на разработку аналогового модема SSB.

SSB, ОДНОПОЛОСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ, МОДУЛЯТОР, ДЕМОДУЛЯЦИЯ, СПЕКТР СИГНАЛОВ, АНАЛОГОВЫЙ МОДЕМ

## ABSTRACT

Explanatory note: 62 p., 37 fig., 4 additions, 26 sources.

Development object is the one-band amplitude modulation.

Subject of development is the analog SSB modem.

The purpose of the qualification work is to construct an imitation model of a digital modem with one-band amplitude modulation.

The development consists in creating a circuit diagram of an analog modem in Simulink environment with interchangeable values of parameters, which are not repeated for all elements throughout the development.

In the first section the methods of modulation and demodulation of the signal, amplitude of modulation, phase synchronization in communication systems are analyzed.

In the special part of the work the scheme of analog SSB modem is proposed. In the Simulink environment, a software model of an analog modem with one-way modulation was built and tested. According to the results of the research, conclusions were made about the solution of the problem.

In the economic section calculations of labor intensity and capital expenditures for the development of the analog modem SSB.

SSB, ONE-WAY MODULATION, MODULATOR, DEMODULATION, SPECTRUM SIGNALS, ANALOG MODEMS

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АМ – Амплітудна модуляція;

ВБС – Верхня бічна смуга частот;

НБС – Нижня бічна смуга частот;

БМ – Балансна модуляція;

ОМ – Односмугова модуляція;

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ЧМ – Частотний модулятор;

ФЧХ – фазо-частотна характеристика.

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ .....	9
1.1 Амплітудна модуляція.....	11
1.2 Формування сигналу з односмуговою модуляцією (модулятор).....	19
1.3 Формуючий фільтр (фільтр Найквіста) .....	23
1.4 Демодуляція сигналу з односмуговою модуляцією .....	27
1.5 Детектування сигналів.....	30
1.6 Фазова синхронізація.....	33
1.7 Постановка задачі.....	34
1.8 Висновки .....	35
РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	36
2.1 Односмугова амплітудна модуляція з верхньою та нижньою бічними смугами .....	36
2.2 Формування SSB сигналу.....	42
2.3 Реалізація аналогового модему в середовищі Simulink .....	43
2.3 Спектр SSB сигналу.....	45
2.4 Висновки .....	48
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	49
3.1 Визначення трудомісткості організації проекту аналізу аналогового модему SSB.....	49
3.2 Розрахунок капітальних витрат на розробку аналогового модему SSB ....	51
3.3 Висновки .....	53
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	56
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи .....	59
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії.....	60
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу.....	61
ДОДАТОК Г. Відгук керівника дипломної роботи .....	62

## ВСТУП

З середини XIX століття розвиток телекомунікацій має великий вплив на розвиток людської цивілізації. Цей розвиток став можливим, завдяки самовідданій праці і творчості багатьох тисяч фахівців, які живуть в різних країнах світу.

Особливо інтенсивно телекомунікації, радіозв'язок і радіомовлення розвивалися в XX столітті. Це розвиток в значній мірі було зумовлено винаходами А.С. Попова в Росії і Г. Марконі в Італії. З появою телеграфії стала можливою швидка передача письмових повідомлень на відстань. Телеграфія стала невід'ємною частиною нашого життя, динамічно розвиваючись і еволюціонуючи.

Розвиток промисловості, економіки та сфери обслуговування в країнах сучасного світу неможливо без вирішення завдання надійного інформаційного забезпечення всіх ланок господарської ланцюга, пов'язаних між собою мережами і каналами зв'язку. Гігантські мережі, подібні Інтернету, об'єднують мільйони ЕОМ і ПЕОМ в єдину систему, в якій кожен абонент може користуватися швидкісними каналами зв'язку з максимальною інформаційною пропускнуою спроможністю. У переважній більшості це цифрові канали зв'язку, які мають високу стійкість перед перешкодами.

Важливість електрозв'язку для розвитку всіх сфер суспільного і державного діяльності сьогодні є загальноприйнятим положенням у всьому світі. У нашій країні розвиток електрозв'язку також є пріоритетним напрямком.



## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Для кращого використання діапазону частот, представленого для передачі інформації, бажано зменшити ширину спектра модульованого сигналу, яка при АМ становить  $2 \max$ . Спектр такого сигналу містить дві бічні смуги частот, які є дзеркальним відображенням один одного. Спектральний склад як нижньої, так і верхньої бічних смуг визначається однією і тією ж інформацією про модулюючий сигнал. Якщо передавати одну бічну смугу, то можна приблизно в 2 рази звужити спектр радіосигналу. Що виходить модуляція називається одно смуговою амплітудною модуляцією (англійський термін - single side band, SSB). Передача інформації в каналах зв'язку з таким видом амплітудної модуляції здійснюється тільки однією бічною смугою спектра модульованого сигналу.

Однополосний сигнал може бути отриманий придушенням за допомогою фільтра однієї бокової смуги спектра або шляхом одночасного придушення бічної смуги і складовою на несучій частоті.

Спектр сигналу з односмуговою модуляцією тональним сигналом з придушенням нижньої бічної смуги і без придушення несучої має вигляд

$$s(t)U_n \cos(\omega_0 t) U_{nm} \cos[\omega_0 t] \quad (1.1)$$

При одно смуговій модуляції відбувається спотворення обвідної модульованого сигналу. Характер і деякі числові параметри спотворень можна оцінити за графіком (рис.1.1).

На графіку представлені огинаюча АМ-сигналів при звичайній модуляції тональною частотою і огинаюча при одно смуговій модуляції.

Спотворення обвідної при одно смуговій модуляції обмежують практичне застосування цього виду модуляції в системах радіомовлення і телебачення.

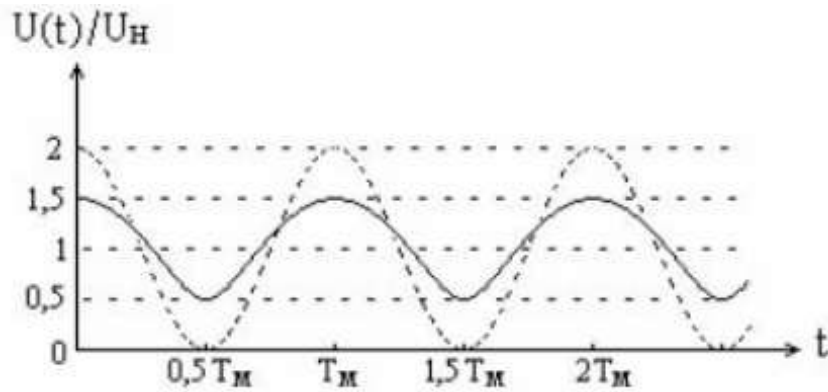


Рисунок 1.1 - Огинаюча АМ сигналів при звичайній (пунктирна крива) і одно смуговій (суцільна крива) модуляціях

Різновидом одно смуговій модуляції є односмугова амплітудна модуляція з придушенням несучої. В даному випадку не вдається простими засобами отримати зв'язок між модульованим і модулюючим сигналами. Для того щоб це зробити, необхідно використовувати поняття аналітичного сигналу. При цьому модульований сигнал буде представлений таким виразом:

$$s(t) = \operatorname{Re} \{ [U(t) + jU_1(t)] e^{j\omega_0 t} \} = U(t) \cos \omega_0 t + U_1(t) \sin \omega_0 t, \quad (1.2)$$

де  $U_1(t)$  - перетворення Гільберта от  $U(t)$ .

Знак плюс відповідає використанню нижньої бічної смуги, знак мінус - верхньої. Таким чином, сигнал з односмуговою модуляцією представляється у вигляді суми двох АМ-сигналів, зсунутих по фазі на  $\pi/2$ . Залежно від того, який знак має зсув по фазі, формується односмуговий сигнал з верхній або нижній бічній смугою.

В загальному випадку, амплітудна модуляція, огинаюча одно смуговий сигнал, сильно відрізняється від модулюючого низькочастотного сигналу. Тільки тональна модуляція (без несучої) за формою збігається з модулюючим сигналом, так як при цьому виді модуляції модулюючий сигнал з частотою

перетворюється в гармонійне коливання з частотою 0. Іншими словами, у такому вигляді модуляція несе коливання і перетворюється таким чином, що спектр радіосигналу повністю збігається зі спектром переданого повідомлення, зсунутим по осі частот на величину 0.

Односмугову модуляцію з різним рівнем несучого коливання (від повного збереження до повного придушення) застосовують в радіотехнічних системах передачі інформації, які працюють в діапазонах хвиль, де загальна ширина смуги частот порівняно невелика. Слід зазначити, що застосування односмугової модуляції призводить до значного ускладнення апаратури. Зростають також вимоги до стабільності її параметрів і характеристик. В цілому передають і прийомні пристрої систем з односмуговою модуляцією по числу елементів виявляються в 3 - 5 разів складнішими, ніж при звичайній амплітудній модуляції.

Застосування АМ пов'язано з певними обмеженнями, які пов'язані з амплітудними спотвореннями, що виникають при передачі під впливом зовнішніх і внутрішніх шумів. Тому АМ використовується в основному в радіомовленні і телебаченні, а також в системах зв'язку, де заради простоти пристроїв допустимі незначні спотворення переданих сигналів.

### 1.1 Амплітудна модуляція

При амплітудній модуляції (АМ) приріст амплітуди гармонічного переносника пропорційний миттєвим значенням модулюючого сигналу, тобто амплітуда модульованого сигналу дорівнює:

$$A(t) = A_0 + \Delta A b(t), \quad (1.3)$$

де  $\Delta A$  – коефіцієнт пропорційності, який вибирають так, щоб амплітуда  $A(t)$  не набувала від'ємних значень. Оскільки  $|b(t)|_{\max} = 1$ , то  $\Delta A$  визначає

найбільший за модулем приріст амплітуди переносника. Щоб амплітуда  $A(t)$  не набувала від'ємних значень, необхідно вибрати  $\Delta A \leq A_0$ . Частота й початкова фаза переносника в процесі АМ залишаються незмінними.

Зручно перейти до відносного максимального приросту амплітуди – коефіцієнту амплітудної модуляції:

$$m_{AM} = \Delta A / a_0 \quad (1.4)$$

Зрозуміло, що:

$$0 < m_{AM} \leq 1 \quad (1.5)$$

Аналітичний вираз АМ сигналу у випадку довільного модулюючого сигналу має вигляд

$$s_{AM}(t) = A_0 [1 + m_{AM} b(t)] \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0). \quad (1.6)$$

Часова діаграма АМ сигналу наведена на рис. 1.2, з якого бачимо, що обвідна модульованого сигналу повторює форму сигналу, що модулює.

Перейдемо до визначення спектральних характеристик АМ сигналу. Нехай модулюючий сигнал  $b(t)$  є гармонічним коливанням частоти  $F < f_0$ . Запишемо вираз для АМ сигналу за такого  $b(t)$

$$s_{AM}(t) = A_0 [1 + m_{AM} \cos(2\pi Ft)] \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0). \quad (1.7)$$

Якщо використати тригонометричну формулу добутку косинусів, то з виразу (1.8) отримаємо

$$s_{AM}(t) = A_0 \cos(2\pi f_0 t) + 0,5 A_0 m_{AM} \cos[2\pi(f_0 + F)t] + 0,5 A_0 m_{AM} \cos[2\pi(f_0 - F)t]. \quad (1.8)$$

З формули (1.8) випливає, що спектр АМ сигналу за одотонального  $b(t)$  містить три гармонічних коливання: із частотою переносника (несівного коливання)  $f_0$ ; верхнє бічне коливання із частотою  $f_0 + F$  і нижнє бічне коливання із частотою  $f_0 - F$ . Амплітудний спектр розглянутого АМ сигналу наведено на рис. 1.3. Амплітуди бічних коливань однакові й навіть для  $m_{AM} = 1$  не перевищують половини амплітуди переносника  $A_0$ .

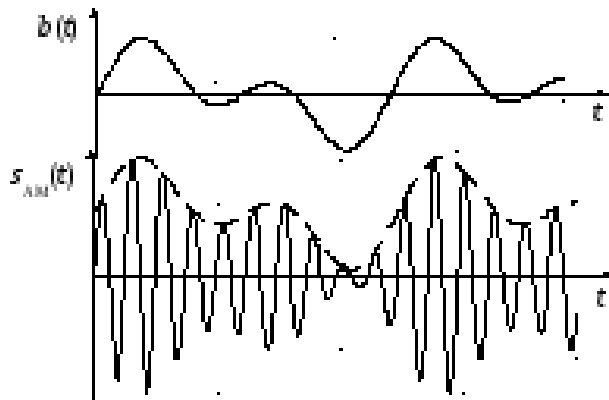


Рисунок 1.2 - Сигнал, що модулює,  $b(t)$  і модульований сигнал  $s_{am}(t)$

Перейдемо до розгляду спектра АМ сигналу при складному сигналі, що модулює, – це буде значною мірою відповідати реальним сигналам електрозв'язку. Складний сигнал  $b(t)$  має скінченну або нескінченну суму гармонічних складових. Кожна складова викликає появу у спектрі модульованого сигналу двох складових – сумарної й різницевої частот. Їхні сукупності створюють відповідно верхню й нижню бічні смуги частот.

На рис. 1.4 показано довільний амплітудний спектр модулюючого сигналу і відповідного йому амплітудного спектра сигналу АМ, що складається з гармонічного коливання частоти переносника, верхньої бічної смуги частот (ВБС) і нижньої бічної смуги частот (НБС). При цьому ВБС є масштабною

копією спектра модулюючого сигналу зсунутого за частотою на величину  $f_0$ . НБС є дзеркальним відображенням ВБС відносно частоти переносника  $f_0$ . З рис. 1.4 випливає важливий результат: ширина спектра АМ сигналу  $\Delta F_{AM}$  дорівнює подвоєному значенню максимальної частоти  $F_{max}$  спектра модулюючого сигналу, тобто

$$\Delta F_{AM} = 2F_{max} \quad (1.9)$$

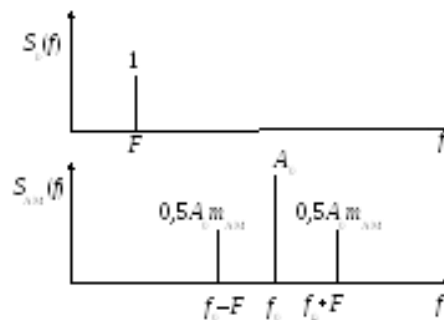


Рисунок 1.3 - Амплітудні спектри однотонового модулюючого сигналу і відповідного АМ сигналу

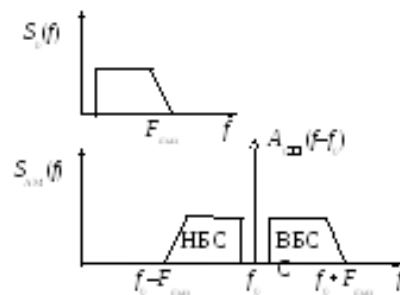


Рисунок 1.4 - Амплітудні спектри модулюючого сигналу і сигналу АМ

З виразу (1.6) знайдемо середню потужність сигналу АМ

$$P_{AM} = \frac{A_0^2}{2} + \frac{A_0^2 m_{AM}^2 P_b}{2}, \quad (1.10)$$

де перший доданок – це середня потужність переносника, а другий доданок – це середня потужність бічних смуг. Знайдемо відношення потужності бічних смуг до потужності сигналу АМ

$$\frac{P_{\text{біч}}}{P_{\text{АМ}}} = \frac{m_{\text{АМ}}^2}{K_A^2 + m_{\text{АМ}}^2}$$

(1.11)

Якщо прийняти максимально можливе значення  $m_{\text{АМ}} = 1$ , а значення коефіцієнта амплітуди модулюючого сигналу  $K_A = 5$  (розмовний сигнал), то частка потужності бічних смуг  $P_{\text{біч}}/P_{\text{АМ}} = 0,04$  або 4%.

Отже, основна частка потужності АМ сигналу витрачається на коливання частоти переносника, хоча це коливання інформації не несе, оскільки його рівень у процесі модуляції залишається незмінним – інформація міститься в бічних смугах частот. Тому доцільно сформувані сигнал зі спектром, що складається лише із двох бічних смуг частот (коливання частоти переносника відсутнє), такий сигнал називається сигналом балансної модуляції (БМ).

Балансною називається такий вид модуляції, коли модульованим сигналом є добуток модулюючого сигналу  $b(t)$  і переносника. Аналітичний вираз сигналу балансної модуляції (БМ) має вигляд

$$s_{\text{БМ}}(t) = A_0 b(t) \cos(2\pi f_0 t).$$

(1.12)

Часові діаграми модулюючого сигналу й модульованого сигналу наведені на рис. 1.5. З рис. 1.5 видно, що обвідна сигналу БМ  $A(t) = A_0 |b(t)|$  (вона показана штриховою лінією) повторює не сам модулюючий сигнал а його модуль.

Порівнюючи математичні вирази, які описують АМ сигнал (1.5) і БМ сигнал (1.11), можна очікувати, що спектр БМ сигналу відрізняється від спектра АМ сигналу відсутністю коливання частоти переносника.

На рис. 1.6 показано довільний амплітудний спектр модулюючого сигналу і відповідного йому амплітудного спектра БМ сигналу, що складається з ВБС і НБС. Метод побудови бічних смуг той самий, що і при АМ.

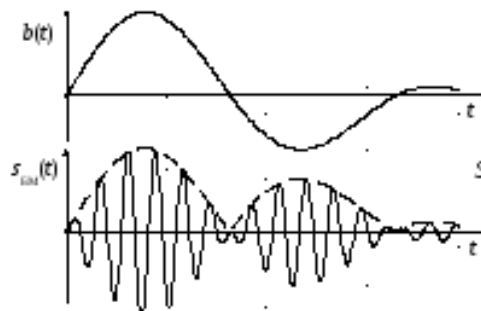


Рисунок 1.5 - Модулюючий сигнал  $b(t)$  і модульований сигнал  $s_{БМ}(t)$

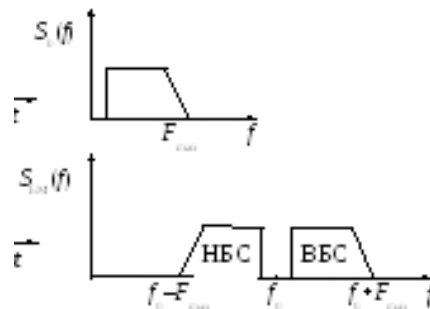


Рисунок 1.6 - Амплітудні спектри модулюючого сигналу і сигналу БМ

Відсутність у спектрі складової на частоті переносника не впливає на його ширину і, відповідно, ширина спектра БМ сигналу така сама, як і ширина спектра АМ сигналу

$$(1.13) \quad \Delta F_{БМ} = 2F_{\max}$$

Отже, важливою перевагою БМ сигналів порівняно із сигналами АМ є підвищена ефективність використання потужності передавача, оскільки не



витрачається значна частка потужності сигналу на несівне коливання, що має місце у спектрах АМ сигналів.

Без втрат відомостей про сигнал  $b(t)$  можна вилучити одну бічну смугу частот (верхню або нижню) зі спектра сигналу БМ. При цьому отримуємо сигнал односмугової модуляції (ОМ).

У загальному випадку (для довільного сигналу  $b(t)$ ) сигнал ОМ записується

$$s_{\text{ом}}(t) = A_0 b(t) \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) \mp A_0 \tilde{b}(t) \sin(2\pi f_0 t + \phi_0) \quad (1.14)$$

де знак “–” ставиться до опису сигналу з верхньою бічною смугою частот, а знак “+” – з нижньою бічною смугою;  $\tilde{b}(t)$  – перетворення Гільберта сигналу  $b(t)$ .

На рис. 1.7 наведені часові діаграми довільного модулюючого сигналу  $b(t)$ , розрахованого для нього перетворення Гільберта  $\tilde{b}(t)$  сигналу і ОМ сигналу. З рис. 4.6 видно, що обвідна сигналу ОМ описується виразом  $A(t) = A_0$  (показана штриховою лінією) і, відповідно, також не повторює модулюючий сигнал.

$$\sqrt{b^2(t) + \tilde{b}^2(t)} \quad (1.15)$$

На рис. 1.8 наведено амплітудний спектр ОМ сигналу, отриманий зі спектра БМ сигналу шляхом вилучення нижньої бічної смуги частот (можна вилучити верхню бічну смугу частот).

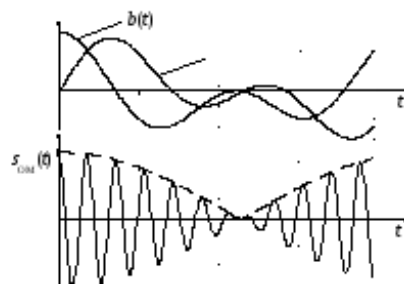


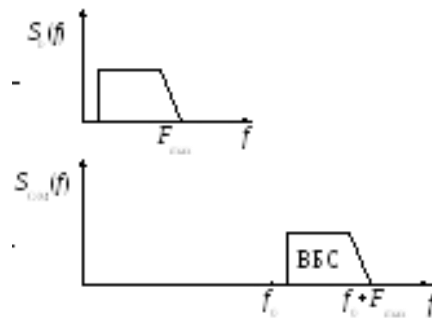
Рисунок 1.7 - Модулюючий сигнал  $b(t)$  і модульований сигнал  $S_{OM}(t)$ 

Рисунок 1.8 - Амплітудні спектри модулюючого сигналу і сигналу ОМ

Отже, односмуговою називається такий вид модуляції, коли спектр модульованого сигналу збігається зі спектром модулюючого сигналу зсунутим на частоту переносника, або є інверсією зсунутого спектра відносно частоти переносника.

З рис. 1.8 випливає, що ширина спектра ОМ сигналу  $\Delta F_{OM}$  дорівнює максимальній частоті спектра модулюючого сигналу

$$\Delta F_{OM} = F_{max}$$

(1.16)

Важливою перевагою ОМ сигналів порівняно з БМ і АМ сигналами є зменшена вдвічі ширина спектра модульованого сигналу, що дозволяє вдвічі збільшити кількість сигналів у заданій смузі частот каналу зв'язку. Тому ОМ широко застосовується у системах багатоканального зв'язку з частотним поділом. ОМ – це єдиний вид аналогової модуляції, коли при модуляції не розширюється смуга частот сигналу. Крім розглянутої “чистої” ОМ у системах

зв'язку знайшли використання сигнали ОМ із залишком несівної (з пілот-сигналом) й із частковим придушенням однієї бічної смуги частот. Це створює певні зручності при формуванні й детектуванні модульованих сигналів.

## 1.2 Формування сигналу з односмуговою модуляцією (модулятор)

У цьому підрозділі розглядається побудова схем модуляторів аналогових видів модуляції: амплітудної, балансної, односмугової, фазової й частотної модуляції. Вхідним сигналом модулятора є модулюючий сигнал  $b(t)$ . Задано параметри модульованого сигналу ( $A_0, f_0, m_{AM}, m_{FM}, m_{ЧМ}$ ). Суть цих параметрів зрозуміло з опису модульованих сигналів.

Побудова схем модуляторів характеризується двома особливостями:

- модулятори виконуються на процесорах цифрових сигналів або (рідше) на аналогових мікросхемах;
- схема модулятора реалізує алгоритм формування, що впливає з математичного опису модульованого сигналу.

Нижче передбачається, насамперед, що модулятори виконуються на процесорах цифрових сигналів. При цьому схеми працюють із відліками сигналів, а частота дискретизації вибирається відповідно до співвідношення (1.17).

Розглянемо побудову схеми модулятора сигналу БМ. Математичний опис сигналу задано співвідношенням (1.18). Схема модулятора сигналу БМ, складена на основі цього співвідношення, наведена на рис. 1.9. Вона дуже проста, містить генератор несівного коливання  $G$  і перемножувач.

Модулятор сигналу АМ будується на основі співвідношення (1.16). Відповідно до цього виразу модулятор реалізується схемою, зображеною на рис. 1.10

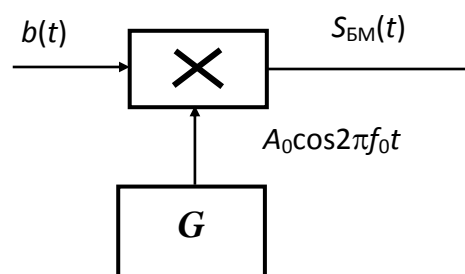


Рисунок 1.9 - Схема балансного модулятора

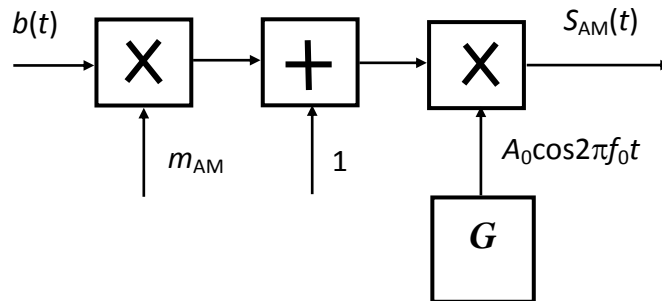


Рисунок 1.10 - Схема амплітудного модулятора

Модулятор сигналу ОМ може бути виконаний двома способами: за фільтровим методом або фазовим методом. На рис. 1.11 наведено схему формування сигналу ОМ фільтровим методом: зі спектра сигналу балансної модуляції смуговим фільтром виділяється необхідна (верхня або нижня) бічна смуга частот.

Фазовий метод формування сигналу ОМ базується на основній властивості аналітичного сигналу: його спектр зосереджений на додатних частотах. Сформуємо аналітичний сигнал  $\dot{b}(t) = b(t) + j\tilde{b}(t)$ . На рис. 1.12, а - спектр довільного сигналу  $b(t)$ , а  $\tilde{b}$  – спектр сигналу  $\dot{b}(t)$ . Множення сигналу  $\dot{b}(t)$  на  $A_0 e^{j2\pi f_0 t}$  дає аналітичний сигнал  $\dot{m}(t)$ . Його спектр – зміщений вправо на  $f_0$  спектр сигналу  $\dot{b}(t)$  (рис. 1.12, в). Для переходу до реального сигналу необхідно взяти дійсну частину сигналу  $\dot{m}(t)$ :

$$\begin{aligned} s_{\text{ОМ}}(t) &= \text{Re}\{\dot{m}(t)\} = \text{Re}\{(b(t) + j\tilde{b}(t)) \cdot A_0(\cos 2\pi f_0 t + j \sin 2\pi f_0 t)\} = \\ &= A_0 b(t) \cos 2\pi f_0 t - A_0 \tilde{b}(t) \sin 2\pi f_0 t, \end{aligned} \quad (1.17)$$

що дає вираз (1.18), використаний для опису ОМ сигналу із ВБС. Легко переконатися, що множення комплексно спряженого аналітичного сигналу

$\dot{b}^*(t) = b(t) - j\tilde{b}(t)$  на  $A_0 e^{j2\pi f_0 t}$  й виділення дійсної частини дає – ОМ сигнал із НБС.

$$s_{\text{ОМ}}(t) = A_0 b(t) \cos 2\pi f_0 t + A_0 \tilde{b}(t) \sin 2\pi f_0 t \quad (1.18)$$

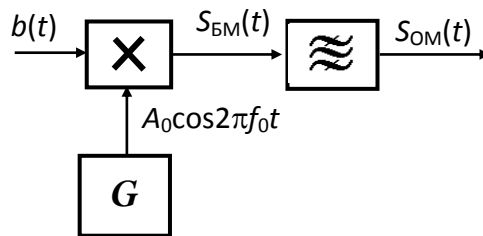


Рисунок 1.11 - Формування сигналу ОМ фільтровим методом

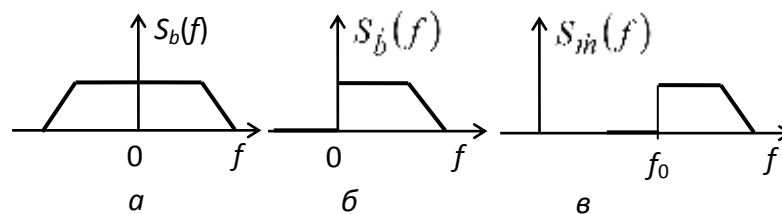


Рисунок 1.12 - Амплітудні спектри сигналів  $b(t)$

Схема модулятора сигналу ОМ (рис. 1.13) впливає зі співвідношення (1.18). Схема перетворювача Гільберта може бути синтезована за імпульсною реакцією, заданою співвідношенням або за АЧХ і ФЧХ перетворювача, що відповідають цій імпульсній реакції (рис. 1.14). Тут  $F_{\min}$  і  $F_{\max}$  – граничні частоти спектра модулюючого сигналу.

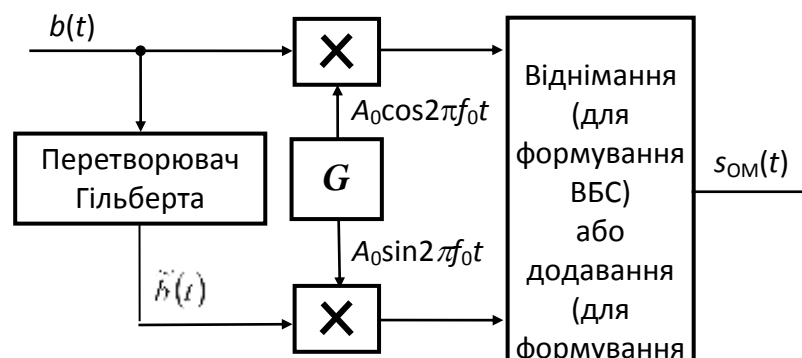
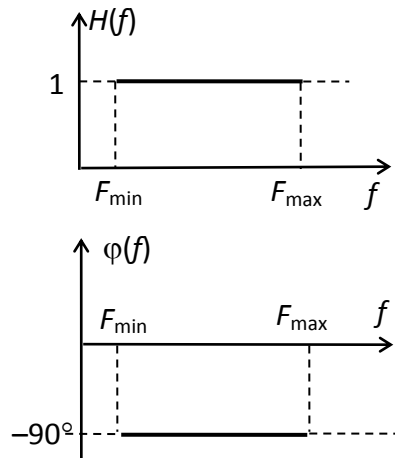


Рисунок 1.13 - Формування сигналу ОМ фазовим методом

Рисунок 1.14 - АЧХ  $H(f)$  і ФЧХ  $\varphi(f)$  перетворювача Гільберта

Для побудови схеми модулятора сигналу ФМ використаємо квадратурне подання модульованого сигналу

$$s_{\text{ФМ}}(t) = A_0 \cos(2\pi f_0 t + \Delta\varphi_{\text{д}} b(t)) = A_0 \cos(\Delta\varphi_{\text{д}} b(t)) \cos 2\pi f_0 t - A_0 \sin(\Delta\varphi_{\text{д}} b(t)) \sin 2\pi f_0 t. \quad (1.19)$$

На рис. 1.15 наведено схему модулятора сигналу ФМ, побудованої на основі співвідношення (1.19). У підканалах модулятора включені блоки, які обчислюють значення косинуса й синуса, інші блоки вже зустрічалися раніше.

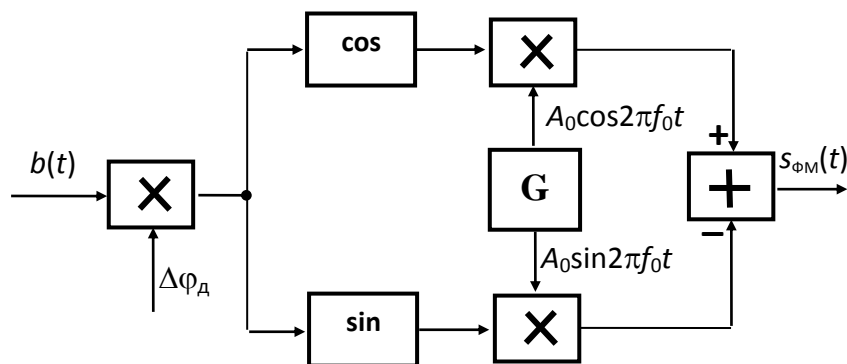


Рисунок 1.15 – Схема фазового модулятора

Для побудови схеми модулятора сигналу ЧМ використаємо квадратурне подання модульованого сигналу:

$$\begin{aligned}
 s_{\text{ЧМ}}(t) &= A_0 \cos\left(2\pi f_0 t + 2\pi \Delta f_{\text{д}} \int_{-\infty}^t b(t) dt\right) = \\
 &= A_0 \cos\left(2\pi \Delta f_{\text{д}} \int_{-\infty}^t b(t) dt\right) \cos 2\pi f_0 t - A_0 \cos\left(2\pi \Delta f_{\text{д}} \int_{-\infty}^t b(t) dt\right) \sin 2\pi f_0 t.
 \end{aligned}
 \tag{1.20}$$

На рис. 1.16 наведено схему модулятора сигналу ЧМ, побудованої на основі співвідношення (1.20).

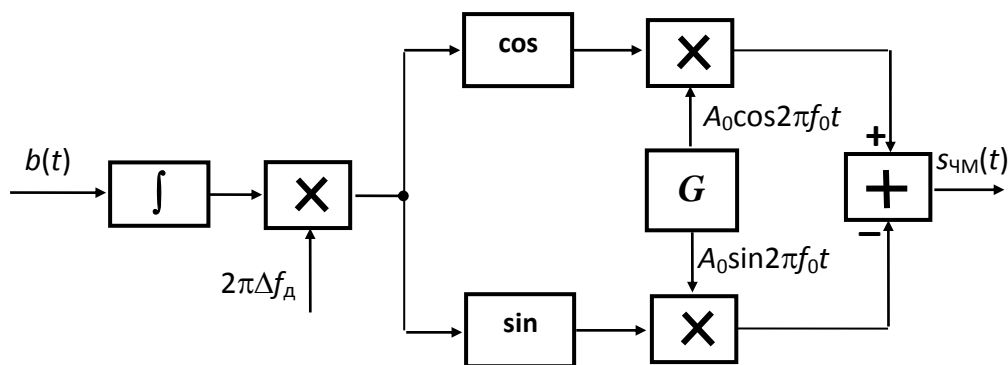


Рисунок 1.16 – Схема частотного модулятора

Вплив на частоту змінної напруги найбільш просто здійснити в місці його виникнення, тому частотні модулятори, як правило, об'єднані з джерелом модулюємої напруги.

### 1.3 Формуючий фільтр (фільтр Найквіста)

Розглянемо модель ідеального каналу передачі з прямокутною амплітудно-частотною (АЧХ) і лінійною фазо-частотною (ФЧХ)  $\varphi(f)$  характеристиками, представленими на рис. 1.17.

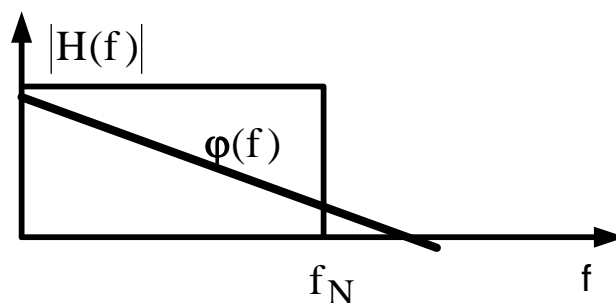


Рисунок 1.17 - Амплітудно – частотна та фазочастотна характеристики ідеального каналу

Частота зрізу АЧХ  $f_N = 1/2T = f_T/2$  називається частотою Найквіста, де  $f_T = 1/T$  – частота проходження прямокутних відеоімпульсів.

Нехай на вхід ідеального каналу подається послідовність  $\delta$  імпульсов. Тоді сигнал на виході буде являти собою послідовність його імпульсних

характеристик  $h(t) = \frac{\sin(\frac{\pi t}{T})}{\frac{\pi t}{T}}$ , представлених на рис. 1.18.

Характерною особливістю його імпульсних характеристик є те, що в момент часу, коли одна імпульсна характеристика досягає свого максимуму, значення інших імпульсних характеристик дорівнюють нулю. При подачі на вхід ідеального каналу прямокутних відеоімпульсів ця особливість зберігається, якщо в канал ввести спеціалізований коректор АЧХ [2].

Оптимальний приймач приймає рішення в моменти часу, коли автокореляційна функція вхідного прямокутного відеоімпульса, тобто вихідний сигнал, приймає найбільше значення в момент закінчення відеоімпульса.

Таким чином, в ідеальному каналі з прямокутною АЧХ і лінійної ФЧХ реалізуються функції оптимального приймача без міжсимвольних спотворень, так як в момент прийняття рішення на його виході присутній сигнал тільки одного відеоімпульса, а сигнали від інших попередніх відеоімпульсов дорівнюють нулю. Однак запропонований Найквістом ідеальний канал фізично не реалізуємо.

Для вирішення цього завдання Найквіст сформулював і довів принцип часткової симетрії, проілюстрований рисунком 1.19 (а).

Відповідно до цього принципу, якщо підсумувати АЧХ ідеального фільтра Найквіста  $H(f)$  з кососиметричної функцією передачі  $H(f)$ , то сумарна



функція  $H_{\Sigma}(f)$  фізично реалізувати у вигляді фільтра нижніх частот і забезпечує відсутність міжсимвольних спотворень.

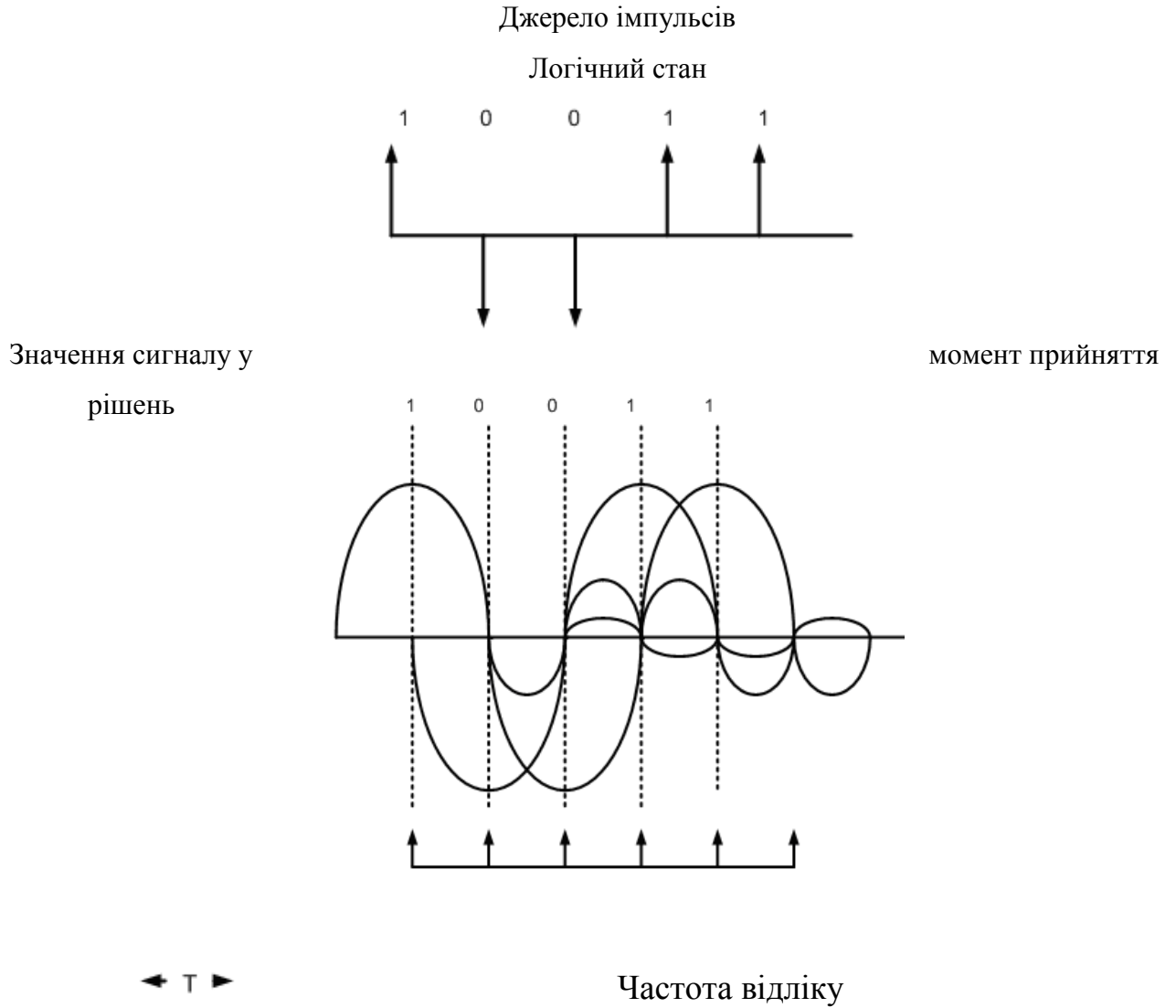


Рисунок 1.18 - Передача імпульсів в ідеальному каналі

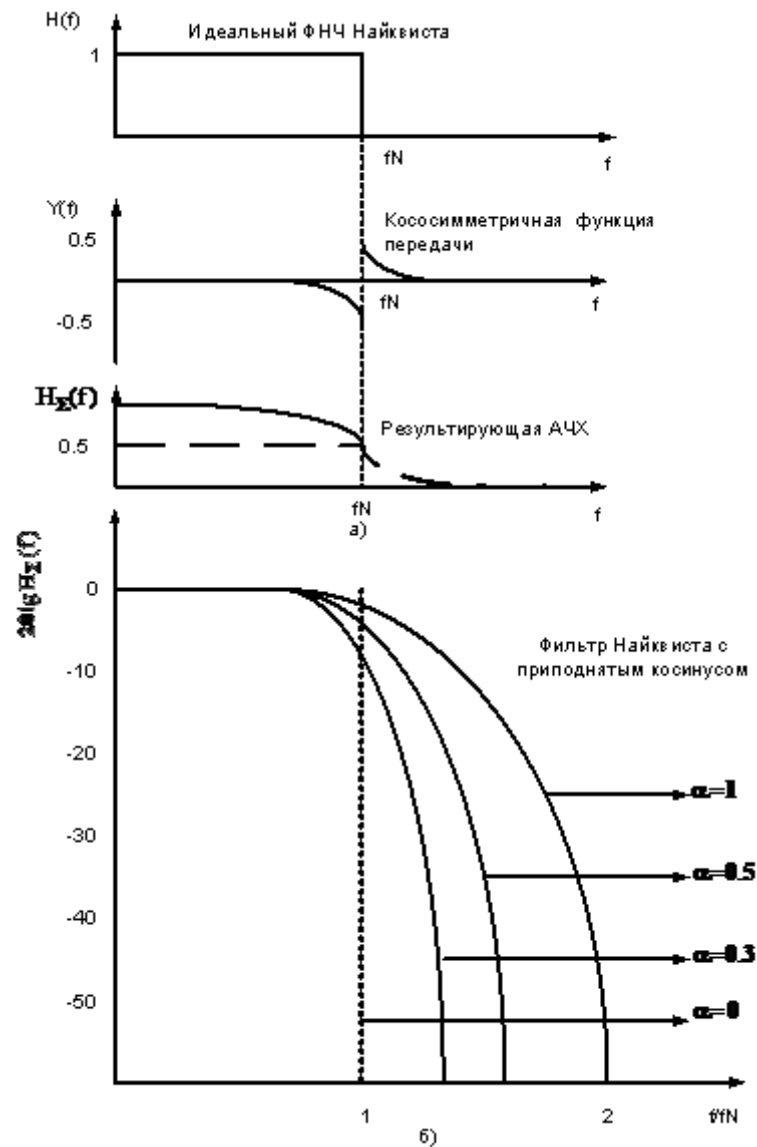


Рисунок 1.19 - Принцип побудови та апроксимації фільтру Найквіста

На практиці функція  $H_{\Sigma}(f)$  апроксимується функцією піднесеного косинуса:

$$|H_{\Sigma}| = \begin{cases} 1, & 0 \leq f \leq f_N - f_x; \\ 1/2 \left\{ 1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} \left[ \frac{f}{f_N} - 1 \right] \right\}, & f_N - f_x \leq f \leq f_N + f_x; \\ 0, & f \geq f_N + f_x \end{cases} \quad (1.21)$$

$$\varphi(f) = \varphi_0 - k * f$$

де  $\alpha = f_x/f_N$  - коефіцієнт скруглення.  $\varphi(f) = \varphi_0 - k*f$  - лінійна фазочастотная характеристика.

Малі значення коефіцієнта  $\alpha$  забезпечують мале значення коефіцієнта передачі  $H_{\Sigma}(f)$ , близьке до нуля на частотах вище частоти Найквіста. Однак, при цьому виникає велика нерівномірність коефіцієнта передачі  $H_{\Sigma}(f)$  в смузі пропускання. Великі значення коефіцієнту  $\alpha$  забезпечують вимоги у полосі пропускання та погано задовольняють вимоги у полосі затримання.

Реально використовуються значення коефіцієнта  $\alpha$ , які лежать в межах від 0,15 до 0,3.

#### 1.4 Демодуляція сигналу з односмуговою модуляцією

Амплітудною модуляцією (АМ) називають утворення сигналу шляхом зміни амплітуди гармонійного коливання (несучої) пропорційно миттєвим значенням напруги чи струму іншого, більш низькочастотного сигналу (повідомлення).

Несуче коливання гармонійних видів модуляції можна представити як

$$u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1.22)$$

де  $U_0$ ,  $\omega_0$  і  $\varphi_0$  - відповідно постійні амплітуда, кутова частота і початкова фаза гармонічного коливання.

Модулюючий (інформаційний) сигнал  $f(t)$  при амплітудній модуляції впливає на постійну амплітуду коливань несучої частоти  $U_0$ , змінюючи її пропорційно величині модулюючого сигналу:

$$U_0 + \Delta U f(t), \quad (1.23)$$

де  $\Delta U$  - найбільше відхилення амплітуди АМ-коливання. Тоді АМ-коливання можна записати як



(1.2)

де відношення  $\frac{\Delta U}{U_0} = m_a$  називається коефіцієнтом амплітудної модуляції. Щоб уникнути явища перемодуляції, при якому на виході модулятора різко розширюється спектр модульованого сигналу, коефіцієнт  $m_a$  вибирається менше одиниці. З урахуванням цього, вираз (1.25) запишеться як

$$u(t) = U_0 [1 + m_a \cos(\Omega t)] \cos(\omega_0 t) \quad (1.25)$$

(1.25)

Якщо інформаційний сигнал представляє собою гармонійне коливання одної частоти з одиничною амплітудою  $f(t) = \cos \Omega t$  (рис.2, а), то, з урахуванням (1.26), отримаємо

$$u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t) + \frac{m_a U_0}{2} [\cos(\omega_0 + \Omega)t + \cos(\omega_0 - \Omega)t] \quad (1.26)$$

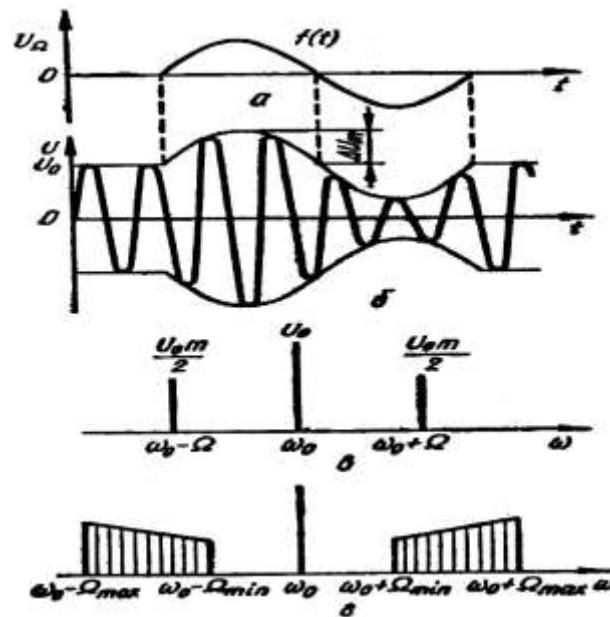
(1.26)

де перший доданок описує не модульоване несуче коливання, другий і третій доданки з частотами  $(\omega_0 + \Omega)$  і  $(\omega_0 - \Omega)$  - верхню і нижню бокові частоти. Графік амплітудно модульованого коливання наведений на рис. 1.20, б.

Спектр АМ-сигналу для розглянутого випадку містить несучу і дві бокові частоти (див рис.1.20, в). Ширина спектра при цьому рівна  $2\Omega$ .

При модуляції несучої частоти складним сигналом, що має широкий спектр частот, АМ-коливання буде містити верхню і нижню бокові полоси частот (див рис. 2, з). При цьому ширина спектра визначається значенням подвоєної максимальної частоти спектра модулюючого сигналу:

(1.27)



$$\Delta\omega_{AM} = 2\Omega_{max}$$

Рисунок 1.20 - Графіки моделюючого (а) і модульованого(б) сигналів; спектри амплітуд АМ-сигналу для простого (в) в складного (г) моделюючих сигналів

Так як бокові смуги частот є дзеркальним відображенням один одного відносно несучої частоти і несуть одну і ту ж інформацію про інформаційний сигнал, то на практиці для зменшення смуги, що займає АМ-сигнал, підвищення завадостійкості та більш ефективного використання лінії зв'язку передачу, як правило, здійснюють на одній боковій смузі, зрізаючи одну з бокових полос відповідним фільтром. Така передача отримала назву передачі на одній боковій смузі (ОБС) і застосовується в багатьох системах передачі інформації. При цьому полоса частот, що передаються, скорочується не менш ніж в два рази.

Переваги ОБС:

- у два рази збільшується кількість каналів зв'язку;
- у чотири рази збільшується завадостійкість;

- при прийомі до двох разів зменшується потужність завади.

Демодуляція АМ - сигналу може здійснюватися декількома методами [5]. Найпростіший метод — симулювати роботу аналогового двопівперіодного детектора [7]. Ми обчислюємо модуль вхідного АМ-сигналу, а потім згладжуємо отримані одно полярні косинусоїдальні імпульси, пропускаючи їх через ФНЧ. Проте даний метод, не буде працювати правильно у випадку перемодуляції. Інший метод — синхронне детектування, суть якого полягає в домноженні частоти сигналу на опорне колювання з несучою частотою:

$$\text{[Image of a complex waveform]} \quad (1.28)$$

Результат перемноження містить дві складові. Перша – це вагома амплітудна функція, друга- АМ сигнал з несучою частотою  $2\omega_0$ . Цей високочастотний сигнал легко видаляється шляхом пропускання сигналу через ФНЧ.

### 1.5 Детектування сигналів

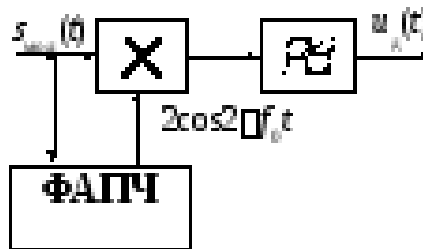
Детектування – це процес, зворотний до аналогової модуляції. Детектування виконується детектором. Головна вимога до детектора – його вихід пропорційний значенням певного параметра смугового сигналу, поданого на його вхід. Цей параметр визначає назву детектора: амплітудний детектор, частотний детектор, фазовий детектор.

Амплітудний детектор буває двох видів: синхронний детектор і детектор обвідної. Схему синхронного детектора наведено на рис. 1.21. Цей детектор називається також когерентним. Обидві назви пов'язані з тим, що опорне колювання повинне бути когерентним до несівного колювання, на основі якого сформований модульований сигнал (мають збігатись повні фази цих колювань). Таке колювання виробляє система фазового автоматичного підстроювання

частоти (ФАПЧ) (для її роботи у випадку ОМ необхідно передавати пілот-сигнал). Синхронний детектор використовується для детектування АМ, БМ і ОМ сигналів. У правильності процесу детектування можна переконатися, проводячи аналіз проходження сигналів перерахованих видів модуляції через схему детектора. ФНЧ на рис. 1.21 виконує роль післядетекторного фільтра.

У детектора обвідної вихід пропорційний обвідній смугового сигналу, поданого на його вхід. Оскільки при АМ обвідна модульованого сигналу пропорційна модулюючому сигналу, то детектор обвідної забезпечує детектування АМ сигналу (і тільки). Такий детектор не вимагає когерентного опорного колювання й відповідно системи ФАПЧ. Цим пояснюється друга назва

детектора обвідної – детектор. Для сигналу його властивість, що потужне колювання



некогерентний детектування використовується в спектрі сигналу є несівної частоти.

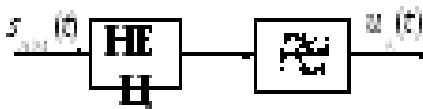


Рисунок 1.21 - Схема синхронного детектора

Рисунок 1.22 - Схема некогерентного детектора на основі нелінійного елемента

На рис. 1.22 наведена схема некогерентного детектора АМ сигналу на основі нелінійного електричного кола (НЕ), яке описується поліномом, що

містить доданок  $x^2$ . У спектрі сигналу на виході нелінійного кола будуть міститись коливання різницевої частоти: верхньої бічної смуги й несівної, а також несівної й нижньої бічної смуги частот. Ці різницеві частоти виділяє ФНЧ, що й забезпечує в підсумку детектування сигналу АМ.

У загальному випадку (у тому числі, якщо у спектрі сигналу, що детектується, немає несівного коливання) використовується детектор обвідної, до складу якого входить квадратурний розщеплювач (обведений штриховою лінією) (рис. 1.23).

Квадратурний розщеплювач виділяє квадратурні складові модульованого сигналу  $I(t)$  і  $Q(t)$ . Тут  $\Delta\phi$  – довільна початкова фаза опорного коливання. Вихідна напруга детектора  $u(t)$  пропорційна обвідній смугового сигналу  $s(t)$ .

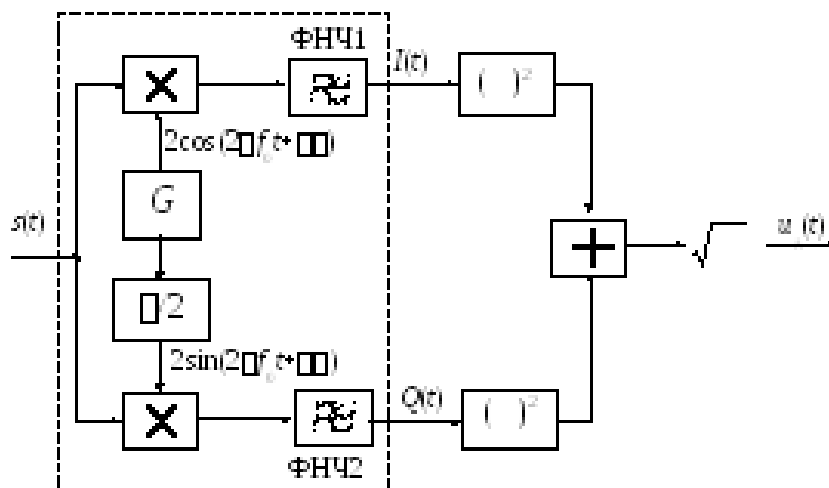
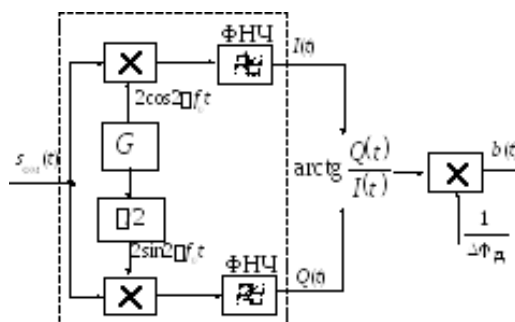


Рисунок 1.23 -Схема детектора обвідної на основі квадратурного розщеплювача

Фазовий також квадратурного Прирости фази арктангенс Для



детектор (рис. 1.24) виконується на основі розщеплювача. обчислюються як відношення  $Q(t)/I(t)$ . безпосереднього



отримання сигналу  $b(t)$  вихід арктангенса необхідно поділити на девіацію фази  $\Delta\phi$ , яка є параметром модульованого сигналу.

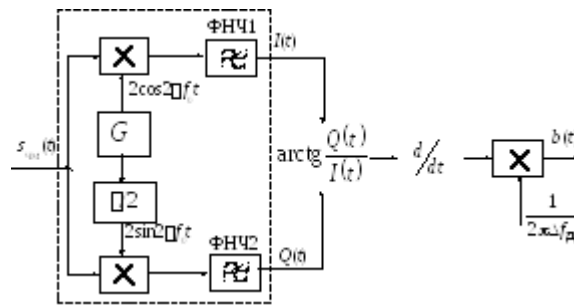


Рисунок 1.24 - Схема фазового детектора

Схема частотного детектора наведена на рис. 1.25.

Рисунок 1.25 - Схема частотного детектора

Вона більшою своєю частиною збігається зі схемою фазового детектора, оскільки приріст частоти є похідною від приростів фази, які і визначає фазовий детектор. Відповідно, після обчислення арктангенса у схемі частотного детектора увімкнено обчислювач похідної. Аналогічно до фазового детектування, для безпосереднього отримання сигналу  $b(t)$ , прирости частоти необхідно поділити на девіацію частоти  $2\pi\Delta f_d$ .

## 1.6 Фазова синхронізація

Фазова синхронізація приймального пристрою здійснюється у разі, коли момент надходження радіосигналу необхідно знати з точністю до фази високочастотного заповнення. Наприклад, при когерентній фазовій демодуляції передбачається, що приймач генерує опорні сигнали, фаза яких ідентична фазі

елементів сигнального алфавіту передавача. Далі у процесі прийняття рішення щодо значення кожного прийнятого символу (тобто для визначення, чи є символом 1 або 0) опорні сигнали рівняються із прийнятими (рис. 1.26).

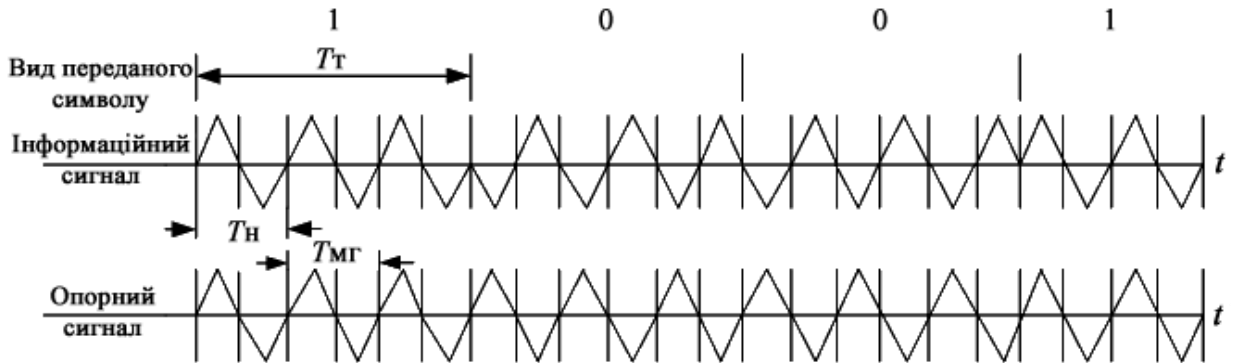


Рисунок 1.26 - Принцип когерентної фазової демодуляції сигналів

Отже, для когерентного прийому сигналів, модульованих за фазою, необхідно визначити фазу носійного коливання. Чим стабільніша частота носійного коливання  $f_n = 1/T_n$  інформаційного сигналу й сигналу синхронізації місцевого генератора  $f_{m.g.} = 1/T_{m.g.}$  і чим точніше вдається встановити рівність цих частот, тим точніше розпізнавати, у якому тактовому інтервалі передається символ 1, а в якому 0.

### 1.7 Постановка задачі

В данній роботі потрібно провести розробку принципової схеми аналогового модему SSB. Для успішного виконня задачі потрібно виконати наступні дії:

- виконати підготовку і опис поставленого завдання;
- дослідити інформацію що до застосування аналогового модему в системах зв'язку;
- проаналізувати особливості побудови та конструкції модему SSB;
- проаналізувати мережі, у яких застосовується аналоговий модем;
- виконати розробку аналогового модему SSB у проаналізованій мережі системи зв'язку;

- здійснити порівняльний аналіз ймовірності похибки в каналі зв'язку під час використання модему.

## 1.8 Висновки

В результаті аналізу підходів до застосування аналогового модему SSB в системах зв'язку встановлено, що сигнал з односмуговою модуляцією займає в радіоефірі смугу частот вдвічі вузччу, ніж амплітудно-модульований, що дозволяє більш ефективно використовувати частотний ресурс і підвищити дальність зв'язку. Крім того, коли на близьких частотах працюють кілька станцій з ОМ, вони не створюють один одному перешкод у вигляді биття, що відбувається при застосуванні амплітудної модуляції з неподавленою несною частотою. Недоліком методу є відносна складність апаратури і підвищені вимоги до частотної точності і стабільності. Радіосигналі з АМ 70% потужності передавача витрачається на випромінювання сигналу несної частоти, який не містить жодної інформації про модулюючий сигнал. Інші 30% діляться порівну між двома бічними частотними смугами, які являють собою точне дзеркальне відображення одне одного. Таким чином, без жодного збитку для переданої інформації можна виключити із спектру сигналу несну і одну з бічних смуг, і витратити всю потужність передавача для випромінювання лише інформативного сигналу. У детекторі приймача для декодування однополосного сигналу доводиться відновлювати несну, тобто змішувати односмуговий сигнал і частоту спеціального гетеродина. У супергетеродині для цього ставиться окремий гетеродин, що працює на частоті, рівній ПЧ; в приймачі прямого перетворення несну відновлює єдиний гетеродин приймача; приймачі прямого підсилення для прийому ОМ, взагалі кажучи, непридатні.

## РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

## 2.1 Односмугова амплітудна модуляція з верхньою та нижньою бічними смугами

При розгляді амплітудної модуляції було показано, що спектр АМ сигналу симетричний щодо несучої частоти сигналу, як це показано на рис. 2.1

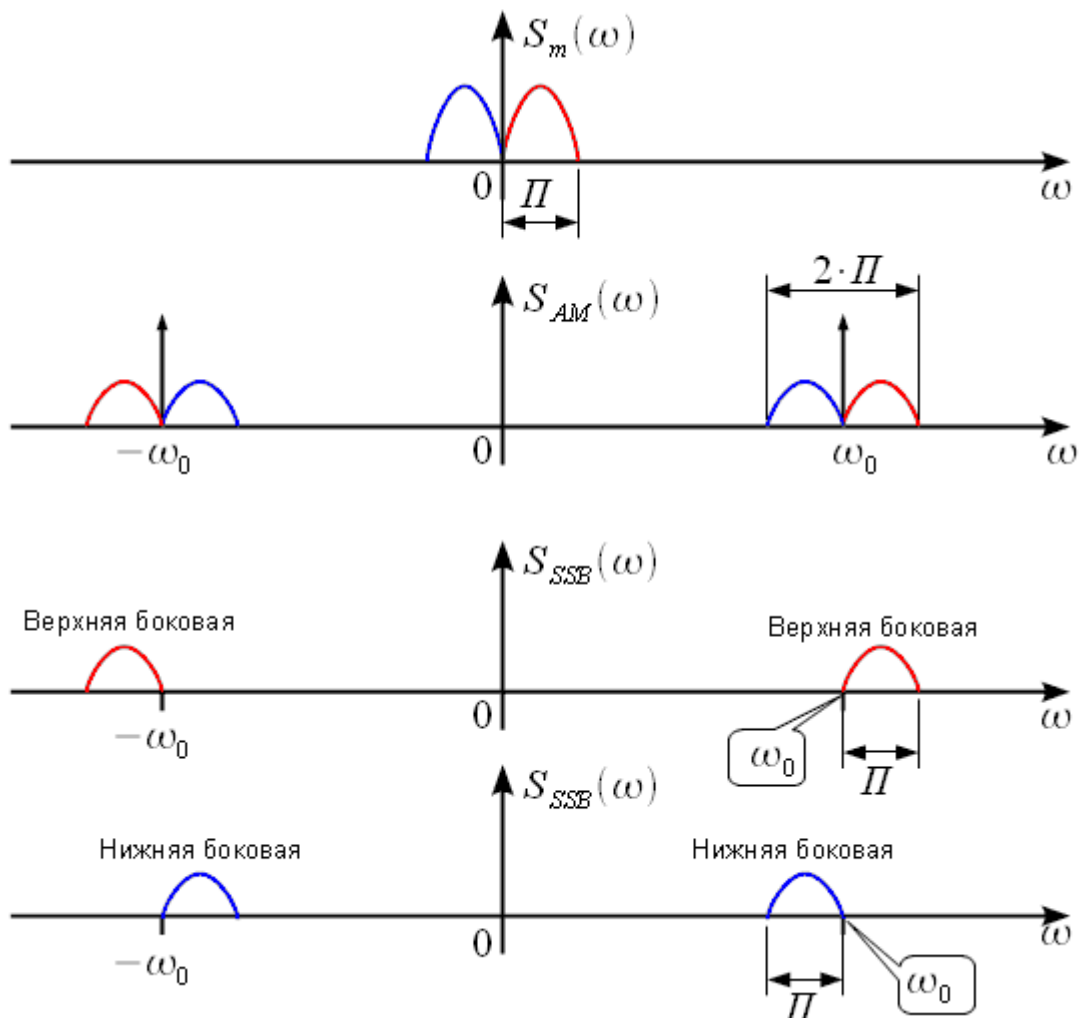


Рисунок 2.1 - Спектри вихідного сигналу, що модулює, сигналу з АМ і SSB сигналів з верхньої та нижньої бічної частотою

На верхньому графіку (рис. 2.1) представлений спектр  $S_m(\omega)$  вихідного сигналу, що модулює  $s_m(t)$ . Вихідний сигнал, що модулює має смугу  $\Pi$  АМ

сигнал має спектр  $S_{AM}(\omega)$  представлений на другому графіку рис. 2.1. При цьому спектр АМ сигналу симетричний щодо несучої і займає смугу  $2 \cdot \Pi$ . Оскільки спектр АМ сигналу  $S_{AM}(\omega)$  при матеріальному модулюючому сигналі  $s_m(t)$  завжди симетричний, то можна передавати лише одну з його половин (верхню чи нижню щодо несучої), тим самим зменшити займану смугу в два рази відносно смуги АМ сигналу. Подолавши одну з половин спектру АМ отримаємо спектр однополосного АМ сигналу  $S_{SSB}(\omega)$ . Якщо придушити ліву половину АМ спектру (синю), то отримаємо сигнал з верхньої бічної смугою, а якщо придушити праву (червону) половину АМ спектру, то отримаємо сигнал з нижньої бічної смугою. Примітно, що гармоніка несучої частоти також пригнічується, що дозволяє максимально використовувати потужність передавача, на відміну від АМ сигналу. Залишилося зрозуміти як можна придушити одну з бічних смуг. Перше - смуговий фільтр. Однак для забезпечення необхідного придушення бічної смуги і несучої потрібно фільтр з низьким рівнем бічних пелюсток, і дуже вузькою перехідною смугою, що позначається на порядку фільтра. Тому при формуванні SSB сигналу вдаються до апарату перетворення Гільберта і поняттю аналітичного сигналу.

Смуговий радіосигнал може бути представлений у вигляді реальної частини комплексного сигналу:

$$s(t) = \Re(z_m(t) \cdot \exp(j \cdot \omega_0 \cdot t)), \quad (2.1)$$

де  $z_m(t) = I(t) + j \cdot Q(t)$  — комплексна обвідна сигналу  $s(t)$ .

Тоді будь-який смуговий сигнал може бути сформований за допомогою універсального квадратурного модулятора. У разі АМ сигналу

$z_m(t) = 1 + m \cdot s_m(t)$  — чисто матеріально, а значить спектр комплексної обвідної симетричний щодо нуля і множення на комплексну експоненту в вираженні (2.1) переносить симетричний спектр на несучу, в результаті виходить симетричний щодо несучої  $\omega_0$  спектр АМ. Для придушення однієї бокової смуги потрібно переносити на несучу комплексну огибающую, в спектрі якої вже немає однієї з бічних смуг, тоді отримуємо сигнал SSB як це показано на рис. 2.2.

На першому графіку рис. 2.2 показаний симетричний щодо нульової частоти спектр  $S_m(\omega)$  вихідного матеріального модулюючого сигналу  $s_m(t)$ . З вихідного сигналу, що модулює  $s_m(t)$  формується аналітичний сигнал  $z_m(t)$ :

$$z_m(t) = s_m(t) + j \cdot s_{ортм}(t), \quad (2.2)$$

де  $s_{ортм}(t)$  - ортогональне доповнення  $s_m(t)$ , розраховане через перетворення Гільберта. При розгляді перетворення Гільберта і аналітичного сигналу було показано, що спектр  $Z_m(\omega)$  аналітичного сигналу  $z_m(t)$  не має складових в негативній області частот (другий графік рис. 2.2). Після чого, шляхом множення комплексної обвідної  $z_m(t)$  на  $\exp(j \cdot \omega_0 \cdot t)$  отримуємо комплексний сигнал  $z(t)$ , спектр якого є перенесений на несучу частоту спектр аналітичного сигналу  $Z_m(\omega)$  ( третій графік рис. 2.2, сірими стрілками показаний перенесення спектра аналітичного сигналу на несучу частоту). Взяття реальної частини від комплексного сигналу  $z(t)$  призводить до матеріального SSB сигналу з верхньою бічною смугою:

$$\begin{aligned}
 s_{SSB}(t) &= \Re(z(t)) = \Re(z_m(t) \cdot \exp(j \cdot \omega_0 \cdot t)) = \dots & (2) \\
 &= \Re\left[\left(s_m(t) + j \cdot s_{opm}(t)\right) \cdot \left(\cos(\omega_0 \cdot t) + j \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)\right)\right] = \dots & (3) \\
 &= s_m(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - s_{opm}(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)
 \end{aligned}$$

з симетричним відносно нуля спектром  $S_{SSB}(\omega)$

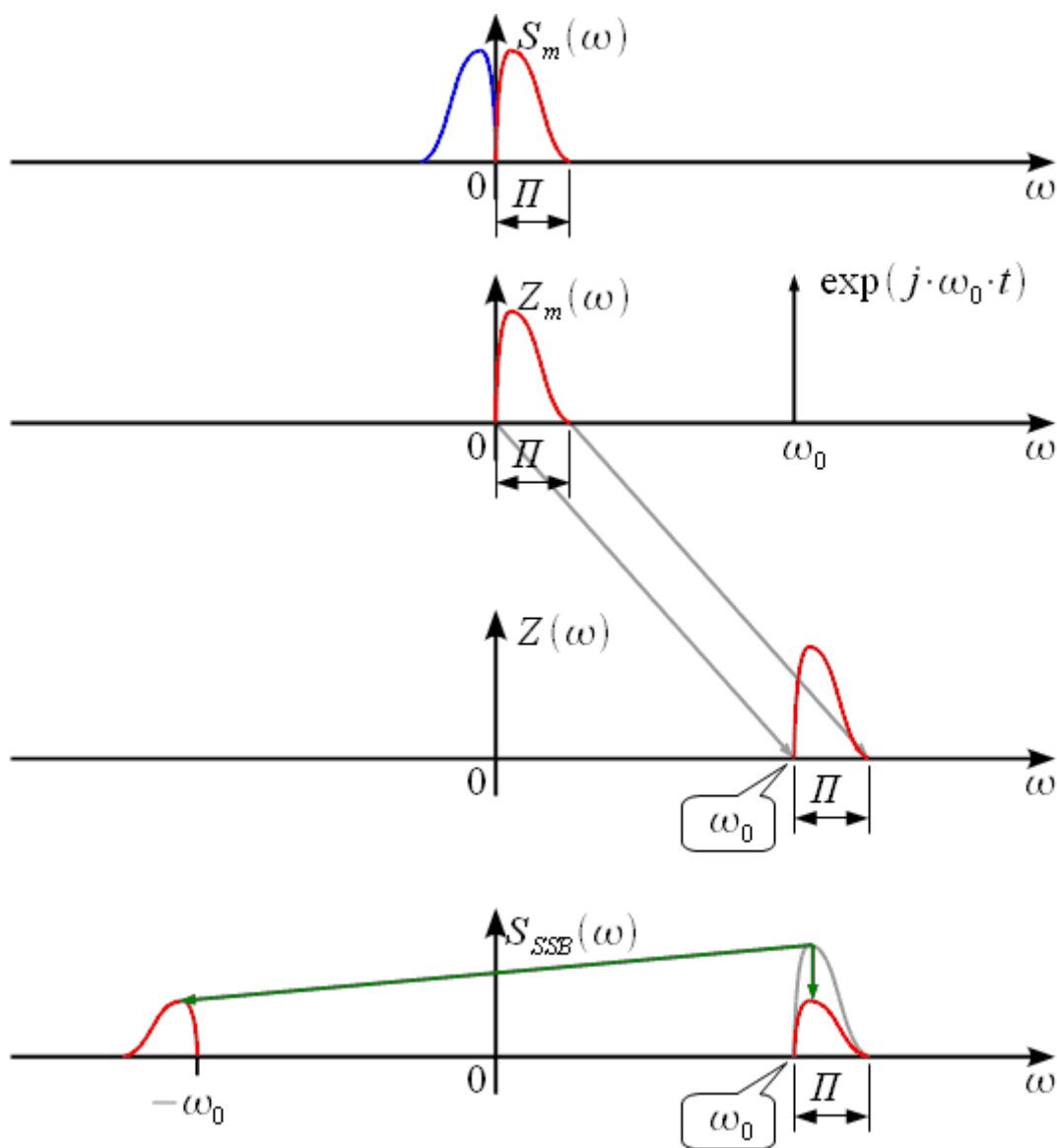


Рисунок 2.2 - Формування SSB сигналу з верхньою бічною смугою

Примітка: зеленими стрілочками показано зменшення сигналу по амплітуді і поява симетрії щодо нульової частоти

При формуванні SSB сигналу з верхньою бічною смугою можна використовувати універсальний квадратурний модулятор, як це показано на рис. 2.3.

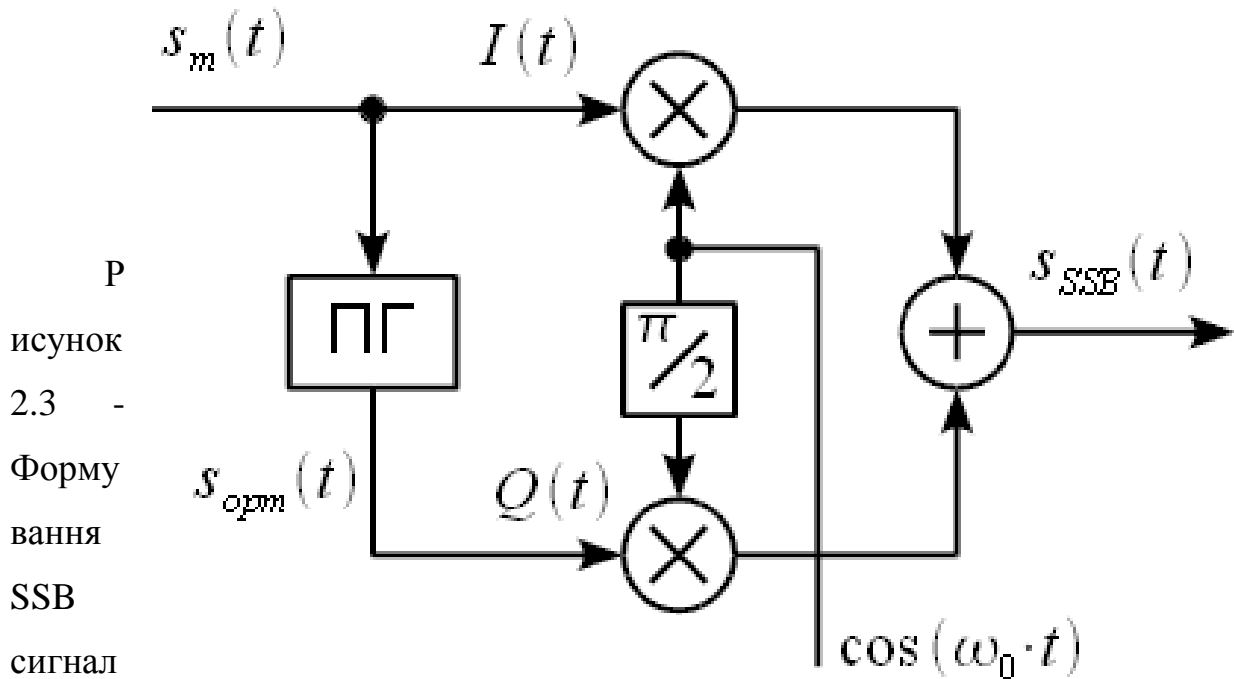


Рис. 2.3 - Формування SSB сигналу

у з верхньою бічною смугою на основі універсального квадратурного модулятора

Тут ПГ - перетворювач Гільберта, який може бути реалізований у вигляді фільтра з частотної характеристикою виду:

$$H(\omega) = -j \cdot \text{sign}(\omega) = \begin{cases} j & \text{при } \omega < 0 \\ 0 & \text{при } \omega = 0 \\ -j & \text{при } \omega > 0 \end{cases}, \quad (2.4)$$

або ж в цифровим способом за допомогою швидкого перетворення Фур'є, що докладно описано тут.

Ми розглянули SSB сигнал з верхньої бічної смугою. Тепер розглянемо SSB сигнал з нижньої бічної смугою. Для формування SSB з нижньої бічної смугою досить вихідний сигнал, що модулює і його ортогональне доповнення поміняти місцями:



$$z_m(t) = s_{\text{опм}}(t) + j \cdot s_m(t), \quad (2.5)$$

тоді спектр  $Z_m(\omega)$  сигналу  $z_m(t)$  матиме вигляд:

$$Z_m(\omega) = H(\omega) \cdot S_m(\omega) + j \cdot S_m(\omega) = \begin{cases} 2 \cdot j \cdot S_m(\omega) & \text{при } \omega < 0 \\ 0 & \text{при } \omega = 0 \\ 0 & \text{при } \omega > 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Так

им чином,

сигнал (2.5) не має складових в позитивній області частот, і при множенні на  $\exp(j \cdot \omega_0 \cdot t)$  отримаємо сигнал, спектр якого розташований нижче несучої частоти. SSB сигнал з нижньою бічною смугою можна представити таким чином:

$$\begin{aligned} s_{SSB}(t) &= \Re(z(t)) = \Re(z_m(t) \cdot \exp(j \cdot \omega_0 \cdot t)) = \dots \\ &= \Re\left[(s_{\text{опм}}(t) + j \cdot s_m(t)) \cdot (\cos(\omega_0 \cdot t) + j \cdot \sin(\omega_0 \cdot t))\right] = \dots \\ &= s_{\text{опм}}(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - s_m(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Таким чином, схема SSB модулятора з нижньою бічною смугою представлена на рис. 2.4.

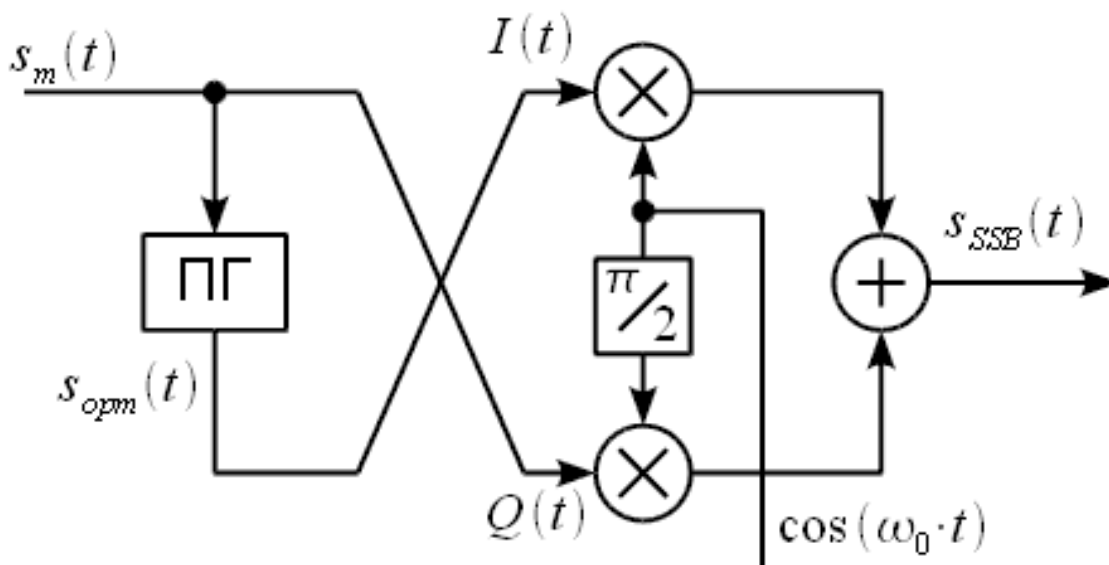


Рисунок 2.4 - Модулятор SSB сигналу з нижньою бічною смугою

## 2.2 Формування SSB сигналу

Відмітна особливість даного формувача SSB сигналу відсутність намотувальних виробів. Він забезпечує придушення несучої частоти більш ніж на 50 дБ. Амплітуда вихідного напруги SSB сигналу (без навантаження) досягає 1,5 В. Формувач працює спільно з динамічним мікрофоном або електромагнітним капсулем (рис. 2.5).

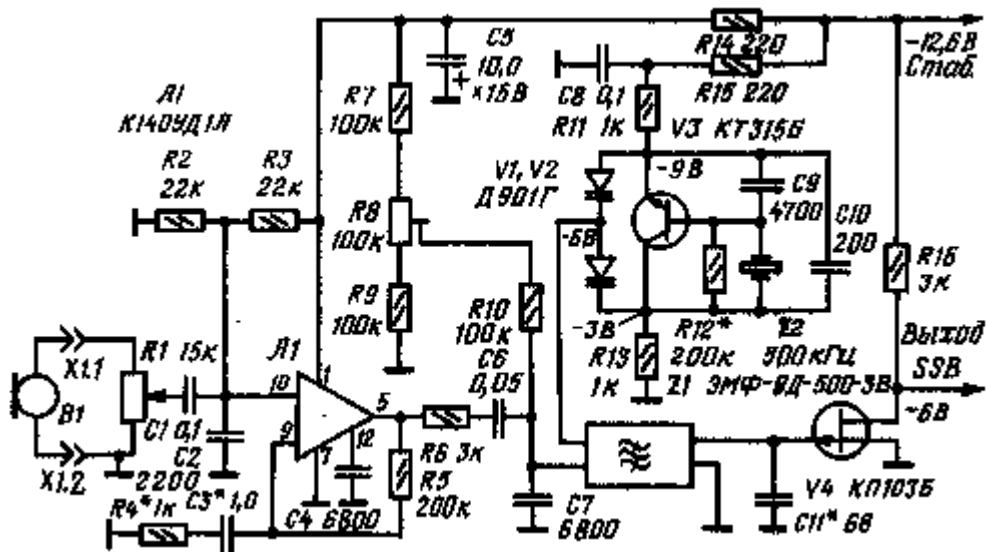


Рисунок 2.5 - Схема формувача SSB сигналу

Звуковий сигнал з мікрофона через регулятор рівня R1 подається на мікрофонний підсилювач, зібраний на операційному підсилювачі A1. Для стабілізації режиму він охоплений 100-відсоткової негативним зворотним зв'язком але постійному струму через резистор R5. Посилення можна змінювати, підбираючи резистор R4 з опором в межах 0 ... 2 кОм. Частотну характеристику регулюють конденсатором C3 - при зменшенні його ємності послаблюють нижчі частоти звукового спектра.

Посилений звуковий сигнал надходить на балансний модулятор, виконаний на двох варикапах V1 і V2. Змінний резистор R8, диференційно змінює зсув на варикапах, служить для балансування модулятора.

Кварцовий генератор частоти 500 кГц зібраний на транзисторі V3 за схемою ємнісний «трехточкі». Власне генератор ізольований від загального проводу. Колекторний струм транзистора, проходячи через навантажувальні резистори R11 і R13, створює падіння напруги, достатні для зміщення робочої точки і протівофазного високочастотного збудження варикапов.

Навантаження модулятора - вхідна обмотка електромеханічного фільтра (ЕМФ) Z1, що виділяє верхню бічну смугу промодульованого сигналу. Індуктивність цієї обмотки спільно з ємністю варикапов утворює контур малої добротності, налаштований на частоту приблизно 500 кГц, що підвищує коефіцієнт передачі модулятора. На виході фільтра включений апериодический підсилювач однополосного сигналу на польовому транзисторі V4.

Налагодження формувача нескладно. Спочатку підбором резистора R12 встановлюють на колекторі і емітер транзистора V3 напруги, значення яких зазначено на схемі. Потім балансують модулятор, прагнучи отримати мінімальний рівень несучої. Цей процес контролюють за осцилограф. Посилення мікрофонного підсилювача за допомогою резистора R4 слід встановити таким, щоб при тихому розмові перед мікрофоном звукове напруга на виводі 5 мікросхеми A1 становило 1 ... 2 В. Движок змінного резистора R1 при цьому повинен перебувати у верхньому по схемі положенні. Підбираючи конденсатор C11, налаштовують вихідну обмотку ЕМФ в резонанс по максимальній амплітуді SSB сигналу.

### 2.3 Реалізація аналогового модему в середовищі Simulink

Моделювання аналогового модему з односмуговою амплітудної модуляцією з пригніченою несучої - SSB (використана нижня бічна).

$F = 10, F_s = 50$ . (рис. 2.6)

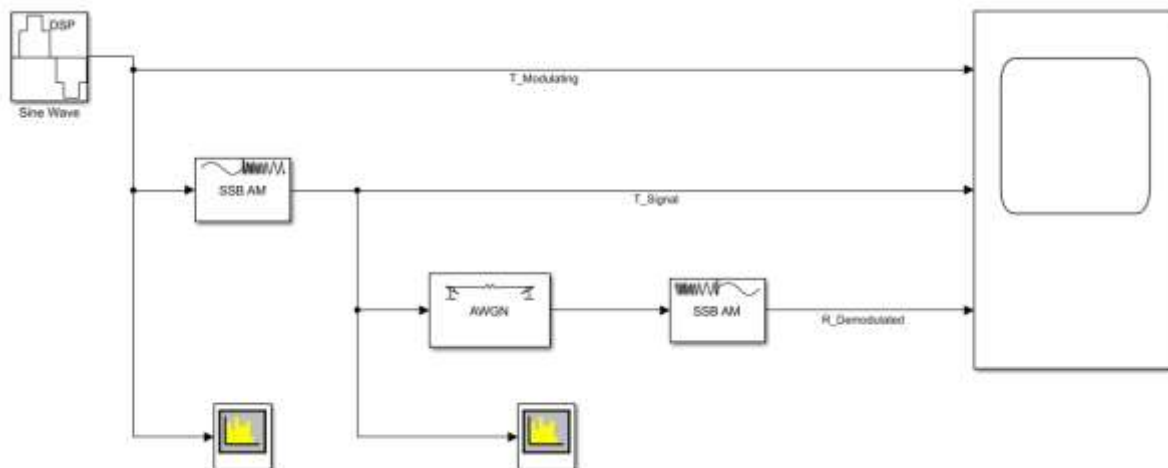


Рисунок 2.6 - Модель модему в середовищі Simulink

Модульований сигнал містить тільки одну бічну компоненту, пов'язану з інформацією. Енергетично це найвигідніший спосіб АМ.

При моделюванні з різними рівнями шуму отримаємо:

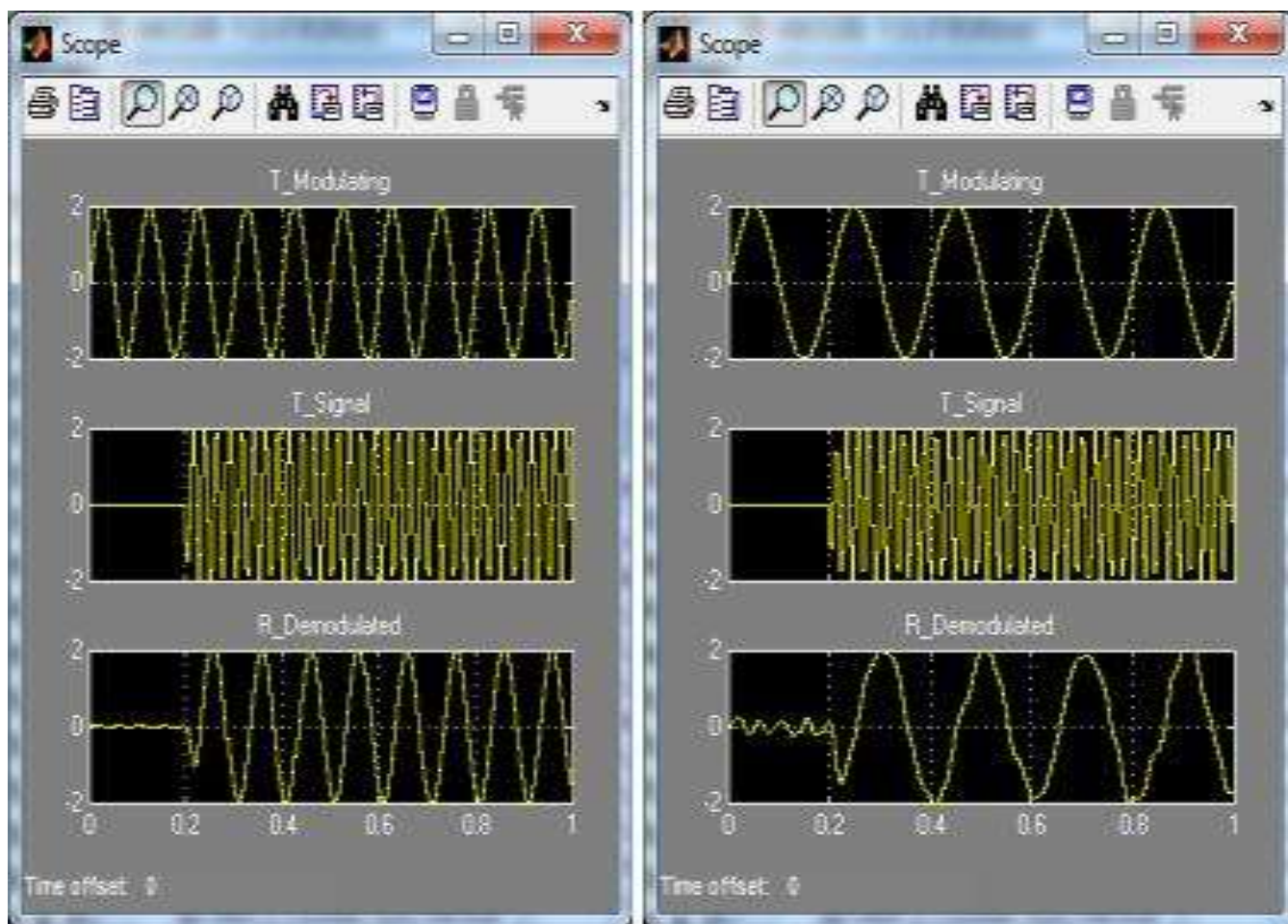


Рисунок 2.7 - Відображення вхідних сигналів щодо часу моделювання

Зліва С / Ш = 100 дБ, шуму практично немає. Сигнал демодулювати, але в ньому може бути помітний залишок несучої. Причина неефективний фільтр в демодуляторе. В цьому випадку можна вибрати у вікні демодулятора більш якісний фільтр.

Справа С / Ш = 10 дБ. Шум помітний ще менше, ніж при двосмугової АМ з пригніченою несучої, так як бічних смуга одна.

### 2.3 Спектр SSB сигналу

Однотоновий SSB сигнал. Вихідний сигнал, що модулює має вигляд:

$$s_m(t) = A \cdot \cos(\Omega \cdot t + \psi), \quad (2.8)$$

де  $A$  - амплітуда модулюючого сигналу,  $\Omega$  - частота модулюючого сигналу,  $\psi$  - початкова фаза. ортогональне доповнення

$s_{opt}(t)$  модулюючого сигналу  $s_m(t)$  дорівнює:

$$s_{opt}(t) = A \cdot \sin(\Omega \cdot t + \psi) \quad (2.9)$$

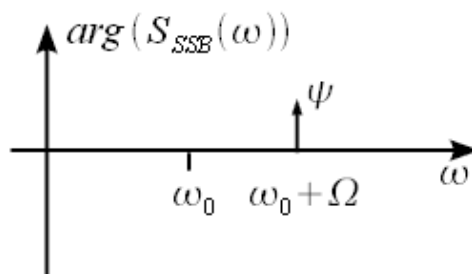
$$\begin{aligned} s_{SSB}(t) &= A \cdot \sin(\Omega \cdot t + \psi) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - A \cdot \cos(\Omega \cdot t + \psi) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) = \dots \\ &\dots = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \sin((\omega_0 + \Omega) \cdot t + \psi) + \frac{1}{2} \cdot A \cdot \sin((\omega_0 - \Omega) \cdot t - \psi) + \dots \\ &\dots + \frac{1}{2} \cdot A \cdot \sin((\omega_0 - \Omega) \cdot t - \psi) - \frac{1}{2} \cdot A \cdot \sin((\omega_0 + \Omega) \cdot t + \psi) = \dots \\ &\dots = A \cdot \sin((\omega_0 - \Omega) \cdot t - \psi). \end{aligned}$$

Однотоновий SSB сигнал з верхньої бічної смугою:

(2.11)

Аналогічно для однтонального SSB сигналу з нижньою бічною смугою:

На рис. 2.8  
амплітудний і  
спектри для  
SSB сигналу з  
нижньою бічними



показаний  
фазовий  
однтональний  
верхньою і  
смугами.

SSB с нижней боковой полосой

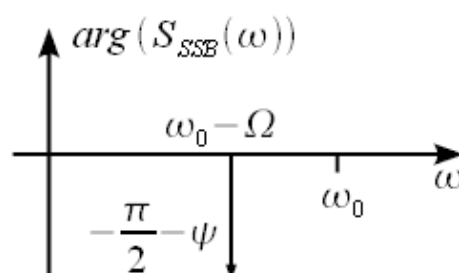
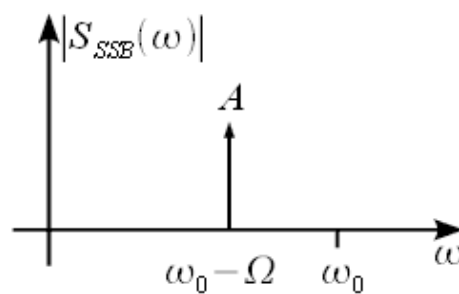


Рисунок 2.8 - Амплітудний і фазовий спектри SSB сигналу

Приклад SSB сигналу і його спектра. На рис. 2.9 приведена осцилограма вихідного сигналу, що модулює що складається з трьох гармонік:

$$s_m(t) = \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t + 0.7) + 0.4 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) - 0.6 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t); \quad (2.12)$$

$$f_0 = 400 \text{ Гц}, \quad f_1 = 700 \text{ Гц}, \quad f_2 = 1200 \text{ Гц}.$$

Несуча частота обрано рівної 5 кГц. На рис. 2.10 показана осцилограма SSB сигналу з верхньою бічною смугою і його амплітудний спектр, а на рис. 2.11 осцилограма SSB сигналу з нижньою бічною смугою і його амплітудний спектр.

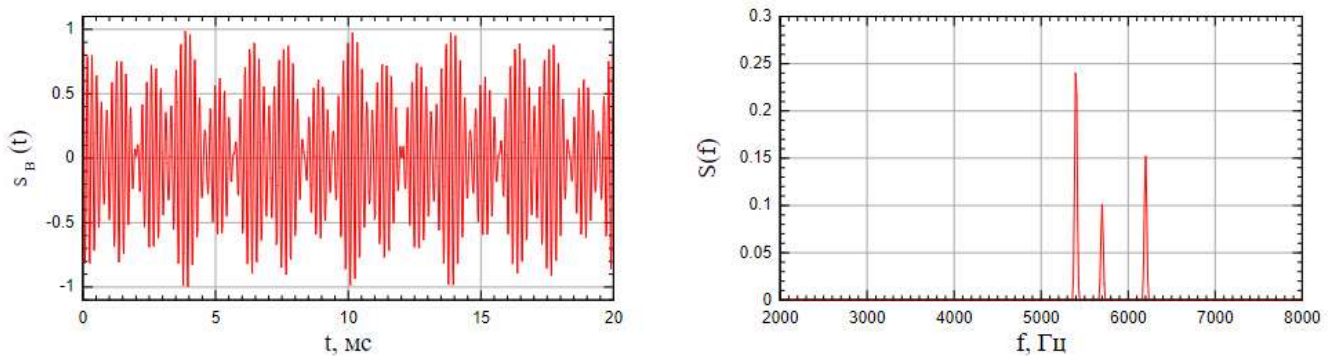
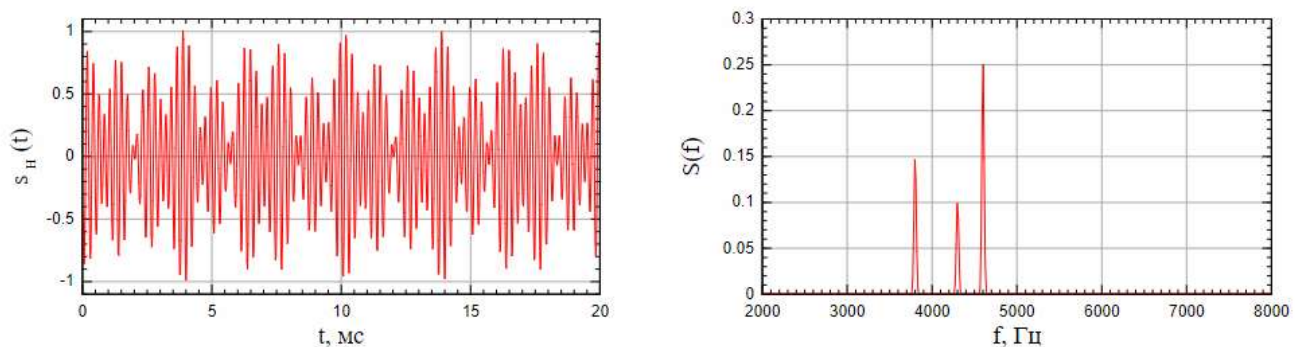


Рисунок 2.9 - Вихідний сигнал, що модулює і його спектр

Рисунок 2.10 - SSB сигнал з верхньої бічної смуги і його амплітудний спектр



## Рисунок 2.11 - SSB сигнал з нижньої бічної смугою і його амплітудний спектр

Односмугова амплітудна модуляція (single side band SSB) знайшла дуже широке поширення в системах зв'язку. Це обумовлено тим, що SSB модуляція дозволяє отримати мінімальну ширину спектра з усіх способів модуляції. У даній статті ми розглянемо принцип формування сигналів з односмуговою модуляцією.

### 2.4 Висновки

Таким чином, у розділі розглянута однополосна амплітудна модуляція. Наведено структурні схеми SSB модуляторів з верхньої та нижньої бічною смугою на базі універсального квадратурного модулятора. Показано, що для формування SSB сигналу необхідно використовувати в якості комплексної обвідної смугового радіосигналу аналітичний сигнал. Наведено амплітудний і фазовий спектр однотональний SSB модуляції, а також схема модему SSB у середовищі Simulink.



## РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Визначення трудомісткості організації проекту аналізу аналогового модему SSB

У робочому процесі, що пов'язаний з наданням телекомунікаційних послуг, використовуються різні види обладнання та споруд, матеріалів і запасних частин, електроенергія, проводиться багато різноманітних операцій. Всі задіяні ресурси телекомунікаційного підприємства у вартісному виразі складають його робочі витрати, що є складовими витрат операційної діяльності.

Одним із найважливіших завдань при розробці і обґрунтуванні робочої програми є визначення трудомісткості продукції, як найважливішого показника ефективності роботи проекту. Трудомісткість продукції безпосередньо впливає на її собівартість [25].

Трудомісткість продукції – показник, який характеризує витрати робочого часу на виробництво будь-якої споживчої вартості або на виконання конкретної технологічної операції. Трудомісткість організації проекту аналізу аналогового модему SSB розраховується за формулою (3.1):

$$t = t_0 + t_d + t_a + t_{am} + t_o + t_{pa} + t_{od} \quad (3.1)$$

де  $t_0$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

$t_d$  – витрати праці на дослідження інформації про застосування аналогового модему в системах зв'язку;

$t_a$  – витрати праці на аналіз особливостей побудови та конструкції модему SSB;

$t_{am}$  – витрати праці на аналіз мереж, у яких застосовується аналоговий модем;

$t_o$  – витрати праці на розробку аналогового модему SSB у проаналізованій мережі систему зв'язку.

$t_{па}$  – витрати праці на порівняльний аналіз ймовірності похибки в каналі зв'язку під час використання модему

$t_{од}$  – витрати праці на оформлення документації.

У таблиці 3.1 зведені данні тривалості процесів, що мали місце при розробці аналогового модему SSB.

Таблиця 3.1 –  
Тривалість робочих процесів

Назва робочого процесу	Тривалість, год.
Витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання	5
Витрати праці на дослідження інформації про застосування аналогового модему в системах зв'язку	21
Витрати праці на аналіз особливостей побудови та конструкції модему SSB	20
Витрати праці на аналіз мереж, у яких застосовується аналоговий модем	10
Витрати праці на розробку аналогового модему SSB у проаналізованій мережі системи зв'язку	12
Витрати праці на порівняльний аналіз ймовірності похибки в каналі зв'язку під час використання модему	24
Витрати праці на оформлення документації	18
Усього	110

Отже, загальна трудомісткість за формулою 3.1 становить:

$$t = 5 + 21 + 20 + 10 + 12 + 24 + 18 = 110 \text{ годин.}$$

### 3.2 Розрахунок капітальних витрат на розробку аналогового модему SSB

Ефективність реалізації будь-якого дослідницького проекту визначає обґрунтований план фінансування. В інвестиційній діяльності такий план має назву «бюджет реалізації проекту» або «капітальний бюджет», який включає всі витрати та надходження коштів, пов'язаних з реалізацією проекту.

Мета планування капітальних витрат – забезпечення реалізації проекту у передбачених будівельними нормами та правилами обсягах, строках та технології.

Капітальні витрати на організацію проекту аналізу аналогового модему SSB включають витрати на заробітну плату інженера телекомунікацій і вартість машинного часу.

Заробітна плата – винагорода, обчислена у грошовому виразі, яку за трудовим договором власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану ним роботу. Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства.

Витрати на заробітну плату розраховуються за формулою 3.2:

$$ЗП = t \times C \quad (3.2)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки аналогового модему SSB;

$C$  – середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій (основна і додаткова) з урахуванням єдиного соціального внеску, грн/год.

Середня заробітна плата інженера телекомунікацій на 01.02.2019 р. складає 10500 грн. [26] Отже, заробітна плата інженера телекомунікацій з урахуванням премій (20%) і можливих надбавок (10%) складає 13650 грн.

Таким чином, річний фонд заробітної плати – 163800 грн. Єдиний соціальний внесок складає 36%, тобто 58968 грн.

Визначимо номінальний річний фонд робочого часу, при цьому прийнявши середню тривалість робочого дня рівної 8 годинам:

$$F_H = (T_k - T_{св} - T_{вих} - T_{від}) t_p \quad (3.3)$$

де  $T_k$  – кількість календарних днів у році, днів;

$T_{св}$  – кількість святкових днів у році, днів;

$T_{вих}$  – кількість вихідних днів у році, дня;

$T_{від}$  – календарна тривалість відпустки, днів.

Отже, річний фонд часу за формулою 3.3 дорівнює:

$$F = (356 - 10 - 104 - 27) 8 = 1792 \text{ годин}$$

Середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій визначається співвідношенням 3.4, яка має вигляд:

$$C_{зп} = \Phi ЗП_{сп} / F, \text{ грн.-год,} \quad (3.4)$$

де  $\Phi ЗП_{сп}$  – річний фонд заробітної плати з урахуванням єдиного соціального внеску;

$F$  – річний фонд робочого часу.

Отже середня заробітна плата інженера телекомунікацій за годину визначається за формулою 3.4 дорівнює:

$$C_{зп} = 222768 / 1792 = 124,31 \text{ грн}$$

Таким чином, витрати на оплату праці розробника складають:

$$ЗП = 110 \times 124,31 = 13674,1 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості машинного часу, необхідного для розробки на ЕОМ включає витрати на програмне та апаратне забезпечення і витрати за електроенергію, здійснюється по формулі 3.5:

$$З_{мч} = C_o + C_{ел} \quad (3.5)$$

де  $C_o$  – витрати на обладнання, грн;

$C_{ел}$  – витрати на електроенергію, грн.

Для розрахунку вартості машино-часу необхідно знати вартість ЕОМ та ПЗ на момент їх придбання і введення в експлуатацію, і вартість споживаної електроенергії. Вартість персонального комп'ютеру складає 12730 грн, Matlab– 5500 грн, разом – 18230 грн.

Витрати на електроенергію залежать від часу роботи на ЕОМ та собівартості машино-години роботи ЕОМ і розраховується за формулою:

$$C_{\text{ел}} = C_{\text{мч}} \times t \quad (3.6)$$

$$C_{\text{мч}} = W \times C_{\text{ел}} \quad (3.7)$$

Де  $W$  – потужність ЕОМ,  $W = 0,5$  кВт/год.

$C_{\text{ел}}$  – вартість  $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  електроенергії. З 1.02.19 за обсяг, спожитий понад 100 кВт · год до 600 кВт · год електроенергії на місяць (включно) складає 1,68 грн.

$$C_{\text{ел}} = 0,5 \times 1,68 \times 110 = 94,4 \text{ грн}$$

Отже, капітальні витрати на організацію проекту аналізу аналогового модему SSB складають:

$$V_{\text{роз}} = 13674,1 + 18230 + 92,4 = 31\,996,5 \text{ грн}$$

### 3.3 Висновки

Проаналізувавши усі виробничі етапи реалізації дослідницького проекту, були визначені основні економічні показники, що впливають на успішну реалізацію та подальше використання результатів предмету дослідження:

- трудомісткість організації проекту аналізу аналогового модему SSB - 110 годин;
- заробітна плата інженера телекомунікацій - 13764,1 грн.;
- загальні капітальні витрати на організацію проекту аналізу аналогового модему SSB, що складають 31 996,5 грн.

## ВИСНОВКИ

У результаті розробки аналогового модему SSB були вивчені дані про амплітудну та однополосну модуляцію, їх види, розглянут формуючий фільтр. Досліджені способи модуляції та демодуляції сигналів з аналоговою обробкою.

Результатом цієї роботи стала реалізована схема аналогового модему SSB однополосною модуляцією у середовищі Simulink. Модулювання цієї схеми показало, що модуляція і демодуляція сигналу відбувається коректно.

Також були визначені застосування модему:

– ОМ (SSB) через свою ефективності широко використовується в професійній і аматорського радіозв'язку. АМ в цій сфері вже майже не застосовується.

– ОМ використовується в аналоговій апаратурі ущільнення телефонних каналів, наприклад, в таких поширених аналогових системах передачі, як К-60П, К-300 та інших. У телефонних мережах загального користування аналогові системи були витіснені цифровими системами передачі на основі ІКМ, однак в ряді відомчих і військових систем як мінімум на території колишнього СРСР застосовується до цих пір.

– Використання ОМ (SSB) призводить до суттєвого ускладнення і подорожчання приймальні радіоапаратури, тому в побутовому радіомовленні мовлення на односмуговою модуляції не набуло широкого поширення і було остаточно витіснене цифровим мовленням в стандарті DRM. Однією з причин відмови від SSB в радіомовленні також є вимога до високої стабільності і точності опорних генераторів як передавача, так і приймача. У разі невиконання цієї вимоги виникає характерне спотворення звукового сигналу, якась «синтетична» голоси. Це в міру допустимо для мовної інформації, але абсолютно неприйнятно для передачі музики.

– Як правило, у відомчих, військових і морських короткохвильових радіомережах використовується верхня бічна смуга (USB).

– В аматорського радіозв'язку прийнято використовувати нижню смугу на низькочастотних діапазонах (нижче 10 МГц, що відповідає діапазонам до 40-метрового включно), і верхню - на всіх інших, в тому числі на УКХ і СВЧ. Багато приймально-передавальні пристрої як професійного, так і любительського призначення мають перемикач, що дозволяє вибрати будь-яку бічну смугу. Іноді в непрофесійної апаратурі заради спрощення схеми пригнічують тільки несучу (такий спосіб називається DSB - англ. Double side band) [3], що дозволяє задовільно приймати односмугові сигнали і передавати, хоча і з меншою ефективністю, сигнали, які можуть бути прийняті на приймач в режимі ОМ. Однак випромінювати такий вид сигналу дозволено не у всіх країнах.

– У відомчих, морських і військових мережах іноді застосовується передача різної інформації на верхній і нижній бічних смугах або навіть дуплексная робота на одній частоті.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сергиенко А.Б. Цифровая связь: Учеб. Пособие СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 164 с.
2. Скляр, Бернард Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение 2-е издание.: Пер. с англ. – Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Тихвинский В. О., Терентьев С.В. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. □ М.: Эко-Трендз , 2007. □ 400 с
4. Системы связи. Подвижные системы связи. Лекции: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. Н. М. Боев. –Электрон. дан. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013.
5. Цикин И. А. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи. – БХВ-Петербург, 2013.
6. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2002. 608 с.
7. Digital communications: a discrete-time approach/ Michael Rice – New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. — 800 с.
8. МЕЖСИМВОЛЬНАЯ И., МНОГОЛУЧЕВОЕ Р. Результаты моделирования сверточного метода обработки сигналов при межсимвольной интерференции //Проектирование и технология электронных средств. – 2012. – №. 2. – С. 24- 29.
9. Протоколы модемной связи //ITU-T Recommendation V.26. 2400 bits per second modem standardized for use on 4-wire leased telephone-type circuits URL <https://www.itu.int/rec/T-REC-V.26-198811-1/en> (дата обращения 31.05.2017)
10. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с. 73
11. ГОСТ 9241–100. Эргономика взаимодействия человек-система. М.: Издво стандартов, 2010.



12. Радиоавтоматика: учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений / А.И. Соколов, Ю.С. Юрченко. – М.: Издательский центр «Академия», 2010–272 с.
13. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления / Н. А. Бабаков, А. А. Воронов, А. А. Воронова и др.; Под ред. А. А. Воронова. —2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 367 с.
14. Коханов А. Б. Способ модуляции-демодуляции сигналов с квадратурным изменением угловой компоненты //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006.
15. Парамонов А., Куропаткин О. Цифровая обработка при когерентной демодуляции сигналов //Chip News. – 2000. – №. 8. – С. 2.
16. Патент України на винахід №103565. Квадратурний модулятор з однією боковою смугою / О. Б. Коханов. – 10.04.2013. – Бюл. № 7.
17. Норенков И.П., Трудоношин В.А. Телекоммуникационные технологии и сети. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. - 248 с.
18. Свириденко С.С. Современные информационные технологии. - М.: Радио и связь, 1989. - 304 с.
19. Темников Ф.Е. Теоретические основы информационной техники: Учебное пособие для вузов / Ф.Е. Темников, В.А. Афонин, В.И. Дмитриев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1979. - 512 с.: ил.
20. Устройства генерирования и формирования радиосигналов : учебник для вузов/Л. А. Богачев и др.; под ред. Г. М. Уткина, В. Н. Кулешова и М. В. Благовещенского. – 2-е изд, перераб. и доп., – М. : Радио и связь, 1994.– 416 с.
21. Радиопередающие устройства связи и вещания /О. Л. Муравьев. – М.: Радио и связь, 1983. – 198 с.

22. Радиопередающие устройства : учебник для вузов/Л. А. Белов, М. В. Благовещенский, В. М. Богачев и др.; под ред. М. В. Благовещенского, Г. М. Уткина. – М.: Радио и связь, 1982. – 408 с., ил.
23. Проектирование радиопередатчиков/под ред. В. В. Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 1993. – 512 с.
24. Радиопередающие устройства/под ред. В. В. Шахгильдяна. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2003
25. Економіка телекомунікацій: навч. посіб. [для студентів вищих навчальних закладів]; за заг. ред. В.М. Орлова. – [2-ге вид., перер.]. – О.: ОНАЗ, 2015. – 140 с.
26. Электронный ресурс. Точка доступа: <https://www.work.ua/salary-%D0%B8%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80+%D0%BF%D0%BE+%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BC%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F%D0%BC/>

## ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	26	
6	A4	Спеціальна частина	13	
7	A4	Економічний розділ	5	
8	A4	Висновки	2	
9	A4	Перелік посилань	3	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

1 Презентація Афанас'єв.ppt

2 Диплом Афанас'єв.doc

ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Керівник розділу

\_\_\_\_\_ (підпис)

Романюк Н.М.

(прізвище, ініціали)

## ДОДАТОК Г. Відгук керівника дипломної роботи

ВІДГУК  
на дипломний проект

Студента(ки) \_\_\_\_\_ гр.

(прізвище, ім'я)

на тему: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Актуальність теми \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Повнота розкриття теми \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Теоретичний рівень \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Практична значущість \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Самостійність виконання роботи \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Якість оформлення, загальна та спеціальна грамотність \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_Переваги та недоліки роботи \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

---

---

---

Загальна оцінка роботи та висновок щодо рекомендації до захисту в ДЕК

---

---

---

Науковий керівник

к.ф.-м.н., професор

(посада)

(підпис)

Гусєв О.Ю.

(ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.