

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

ДЕМОДУЛЯЦІЯ МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ

**Методичні рекомендації
до виконання лабораторної роботи ТЕЗ-1
з дисципліни «Теорія електричного зв'язку»
для студентів спеціальності
172 Телекомунікації та радіотехніка**

Дніпро
2020

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



ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ДЕМОДУЛЯЦІЯ МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ

Методичні рекомендації
до виконання лабораторної роботи ТЕЗ-1
з дисципліни «Теорія електричного зв'язку»
для студентів спеціальності
172 Телекомунікації та радіотехніка

Дніпро
НТУ «ДП»
2020

Демодуляція модульованих сигналів. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи ТЕЗ-1 з дисципліни «Теорія електричного зв'язку» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О.І. Нікольська, І.Г. Олішевський ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 17 с.

Автори:

В.І. Корнієнко, д-р техн. наук, проф. ;
О.Ю. Гусєв, канд. фіз.-мат. наук, проф. ;
О.І. Нікольська, ст. викл. ;
І.Г. Олішевський, асист.

Затверджено методичною комісією за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка (протокол № 1 від 15.10.2020) за поданням кафедри безпеки інформації та телекомунікацій (протокол № 3 від 13.10.2020).

Методичні рекомендації призначено для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія електричного зв'язку» студентами спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності бакалаврів та закріплення практичних знань з даної дисципліни.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій В.І. Корнієнко, д-р техн. наук, проф.

Зміст

Мета та програма роботи.....	4
1 Попередня підготовка до роботи.....	4
2 Короткі теоретичні відомості	
2.1 Амплітудна демодуляція.....	4
2.2 Демодуляція сигналу з однією бічною смугою.....	6
2.3 Частотна модуляція.....	8
2.4 Фазова модуляція.....	11
3 Дослідження демодуляції модульованих сигналів.....	12
Вимоги до оформлення звіту.....	14
Контрольні питання.....	15
Список літератури.....	15
Додаток. Зразок титульного аркуша для лабораторних робіт.....	16

Мета та програма роботи

Мета – дослідження демодуляції амплітудно-, частотно- та фазомодульованих сигналів різної природи в часовій, частотній та частотно-часовій областях.

Програма роботи

1. Попередня підготовка до роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Дослідження демодуляції модульованих сигналів.

1 Попередня підготовка до роботи

Використовуючи конспект лекцій та літературу, засвоїти зміст та властивості демодуляції безперервних сигналів.

2 Короткі теоретичні відомості

2.1 Амплітудна демодуляція

Демодуляцією називається процес, зворотний модуляції сигналу. Часто замість демодуляції використовується термін *детектування*. Для кожного типу модуляції існує свій тип демодуляції.

Модуляція – це процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного колювання, що модулюється, під впливом відносно низькочастотного керуючого сигналу, що модулює. В результаті спектр сигналу переноситься в область високих частот, де передача електромагнітних сигналів за допомогою випромінювання більш ефективна. Інформація, що передається, закладена в керуючому сигналі. Роль переносника інформації виконує *високочастотне* колювання, яке називається *несучим*. Як несучі можуть бути використані колювання різної форми (прямокутні, трикутні й т. д.). Проте найчастіше застосовуються *гармонійні* колювання. Залежно від того, який з параметрів несучого колювання змінюється, розрізняють види модуляції (*амплітудна (АМ), частотна (ЧМ), фазова (ФМ)* та ін.). Модуляція *дискретним сигналом* називається *цифровою модуляцією або маніпуляцією*.

Демодуляція АМ-сигналів може виконуватися декількома способами.

Найпростіший – *двопівперіодне детектування* (обчислення модуля сигналу) з наступним згладжуванням отриманих однополярних напівперіодів несучої фільтром низьких частот.

На рис. 1 наведено приклад зміни однотонального амплітудно-модульованого сигналу та його фізичного спектру при детектуванні (в реальній односторонній шкалі частот і в реальній шкалі амплітудних значень гармонік коливань). Параметри поданого сигналу: несуча частота 30 Гц, частота модуляції 3 Гц, коефіцієнт модуляції $M = 1$.

Як видно на рисунку, при детектуванні спектр модульованого сигналу стає *однополярним*, переходить на основну несучу частоту $2\omega_0$ і зменшується за енергією. Основна частина енергії (понад 4/5) трансформується в область низьких частот і розподіляється між постійною складовою і виділеною гармонікою сигналу модуляції. Між постійною складовою і виділеною гармонікою енергія розподіляється залежно від значення коефіцієнта модуляції M . При $M = 1$ енергії рівні, при $M = 0$ (за відсутності сигналу модуляції) вся енергія переходить на постійну складову.

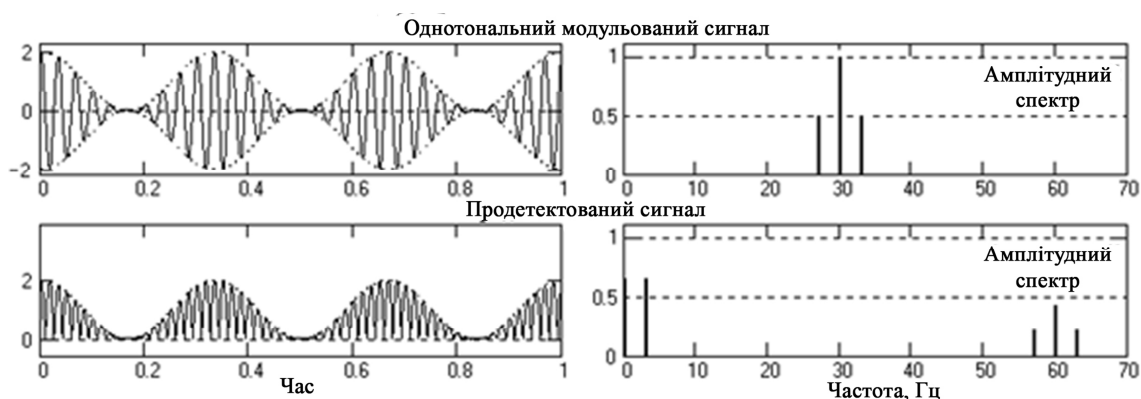


Рис. 1. Зміна однотонального модульованого сигналу при детектуванні

Крім цих складових, у спектрі з'являються також друга, третя і вищі гармоніки детектованого модульованого сигналу (тобто в даному випадку на частотах $\{117, 120, 123\}$ Гц, $\{177, 180, 183\}$ Гц і т. д.), які не показані на рис. 1.

Енергія другої гармоніки не перевищує 2%, а інших і зовсім незначна. Демодулятори сигналу виділяють після детектування тільки низькочастотний інформаційний сигнал і пригнічують усі інші частоти, включаючи постійну складову (низькочастотний фільтр з придушенням постійної складової). Очевидно також, що в разі перемодуляції сигналу вихідний інформаційний сигнал буде відновлюватися з помилкою.

2.2 Демодуляція сигналу з однією бічною смугою

Для підвищення пропускної здатності в канал зв'язку видають сигнал з однією бічною смугою (ОБС). На відміну від двосмугового сигнал з ОБС містить поряд з *синфазною* складовою (з опорною напругою) *квадратурну* складову. При формуванні сигналів з ОБС синфазну і квадратурну складові отримують окремо і підсумовують. Для формування цих складових використовують *трансверсальні фільтри*, що застосовуються на лініях затримки з відводами.

У 1915 році метод однополосної модуляції винайшов Джон Карсон. Однак, незважаючи на позитивний результат використання цього методу, широке застосування в радіозв'язку однополосної модуляції гальмувалося технічними проблемами – у ті часи ще не могли побудувати досить стабільний за частотою опорний генератор (ОГ). Адже для роботи в SSB необхідна частота з точністю 5 – 10 Гц, у той час як для амплітудної модуляції досить 1 – 2 кГц. Тільки з розвитком методів автоматичного підстроювання частоти ОГ та гетеродина однополосна модуляція отримала широкий розвиток.

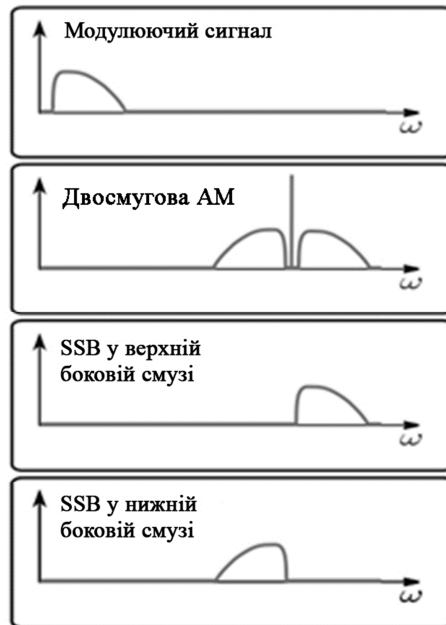


Рис. 2. Спектри сигналів з односмуговою модуляцією в порівнянні з двосмуговою АМ

Прийом сигналу, що модулюється. При прийомі сигналу виключають вплив квадратурної складової, що рівносильно відновленню двосмугового спектра сигналу. Це забезпечується за рахунок синхронного детектування, коли опорне коливання строго узгоджено з синфазною складовою. Для формування опорної напруги може передаватися *пілот-сигнал*. Якщо він не передається, опорна напруга формується шляхом автопідстроювання частоти і фази місцевого генератора за однополосними сигналами, що приймаються. При цифровому способі прийому для усунення впливу квадратурної складової сигнал стробують у такі моменти часу, коли вона дорівнює нулю. Ці моменти відомі й визначаються пристроєм синхронізації. Частота несучої несуттєво перевищує частоту модуляції. Тому перед модуляцією спектр сигналу перетворюють в область частот більш високих, ніж несуча частота.

Переваги однополосної модуляції. Порівняно з амплітудною модуляцією односмуговий сигнал (SSB) сильніший в 4 рази за потужністю (6 дБ) або в 2 рази за напругою, що означає збільшення гучності сигналу.

Крім цього, SSB-сигнал має в два рази більш вузьку смугу, ніж сигнал амплітудної модуляції. Це дозволяє використовувати при прийомі вузькі фільтри, що зрештою збільшує співвідношення сигнал/шум.

Оскільки в режимі SSB практично не випромінюється несуча частота, то під час мовчання передавач практично не споживає енергії.

2.3 Частотна модуляція

Це вид аналогової модуляції, при якій частота несучої змінюється за законом модулюючого низькочастотного сигналу (рис. 3). Амплітуда при цьому залишається незмінною.

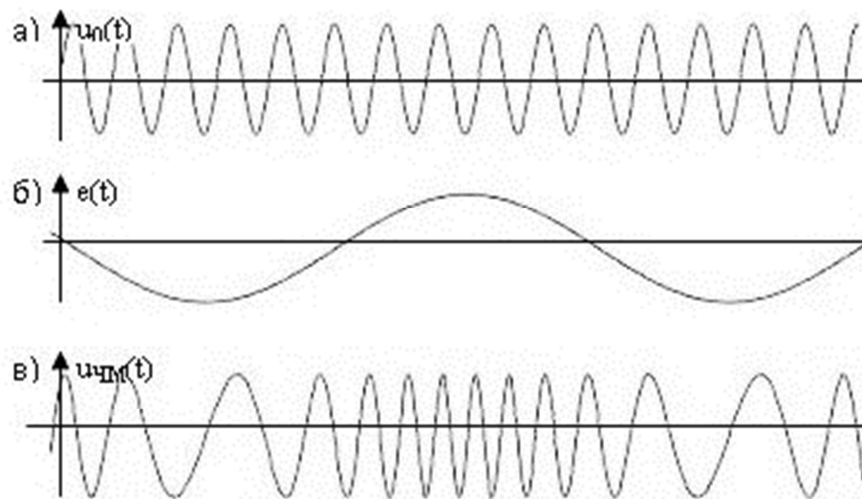


Рис. 3. Графіки частотної модуляції: а) несуча частота, б) сигнал, що модулює, в) результат модуляції

Найбільше відхилення частоти від середнього значення називається *девіацією*.

В ідеальному варіанті девіація повинна бути прямо пропорційна амплітуді модулюючого коливання. Спектр при частотній модуляції зображено на рис. 4.

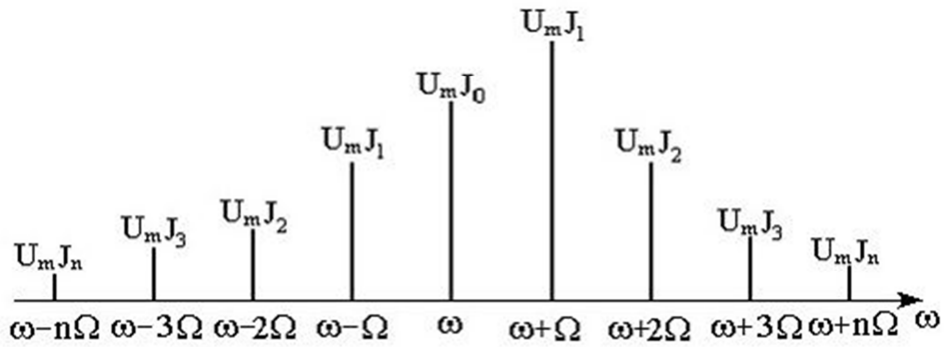


Рис. 4. Спектр частотно-модульованого сигналу

Спектр складається з несучої та гармонік бічних смуг, що симетрично відстають від неї праворуч і ліворуч на частоту, кратну частоті модулюючого коливання. Даний спектр являє собою гармонійне коливання. У разі реальної модуляції спектр має більш складні обриси.

Розрізняють *широко-* та *вузькосмугову* ЧМ. В широкосмуговій ЧМ спектр частот значно перевищує частоту модулюючого сигналу. Застосовується ЧМ в радіомовленні. У радіостанціях використовують в основному вузькосмугову частотну модуляцію, що вимагає більш точного налаштування приймача, і відповідно більш захищену від перешкод. Спектри широкосмугової та вузькосмугової ЧМ зображені на рис. 5.

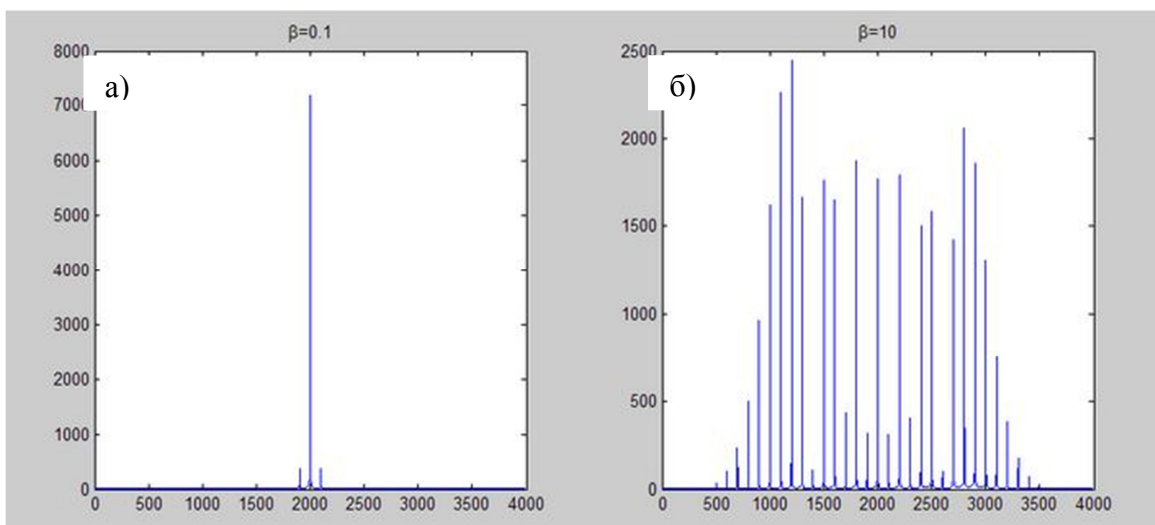


Рис. 5. Спектри вузькосмугового (а) та широкосмугового (б) сигналів

Спектр вузькосмугової ЧМ нагадує амплітудну модуляцію, але якщо врахувати фазу бічних смуг, то виявиться, що ці хвилі мають постійну амплітуду і змінну частоту, а не постійну частоту і змінну амплітуду (АМ). При широкосмуговій ЧМ амплітуда несучої може бути дуже малою, що обумовлює високу ефективність ЧМ. Це означає, що велика частина енергії, що передається, міститься в бічних частотах, що несуть інформацію. Основні переваги ЧМ перед АМ – *енергоефективність і стійкість перед перешкодами*. Як різновид ЧМ виділяють *лінійно-частотну модуляцію (ЛЧМ)*. Суть її полягає в тому, що частота несучого сигналу змінюється за лінійним законом (рис. 6 та 7).

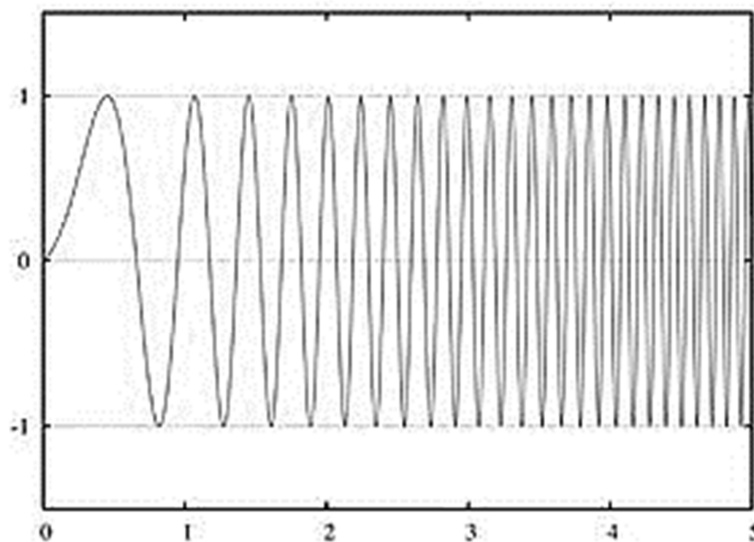


Рис. 6. Лінійно-частотно-модульований сигнал

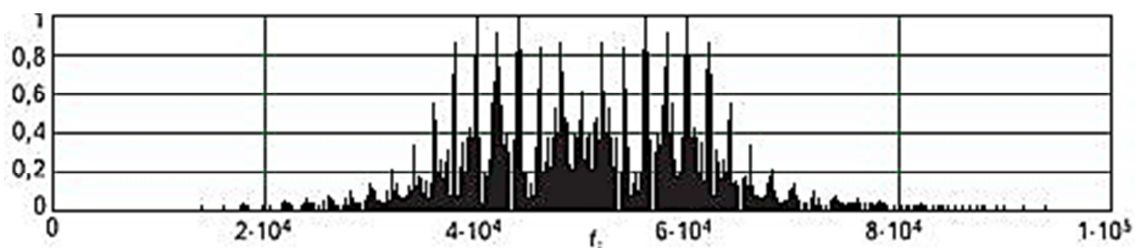


Рис. 7. Спектр ЛЧМ

Практична значимість лінійно-частотно-модульованих сигналів полягає в можливості істотного стиснення сигналу при прийомі зі збільшенням його амплітуди над рівнем перешкод. ЛЧМ знаходить застосування в радіолокації.

2.4 Фазова модуляція

У реальності більше вживають термін *фазова маніпуляція* (рис. 8), тому що в основному це модуляція дискретних сигналів. Сенс ФМ такий, що фаза несучої змінюється стрибкоподібно при приході чергового дискретного сигналу, відмінного від попереднього.

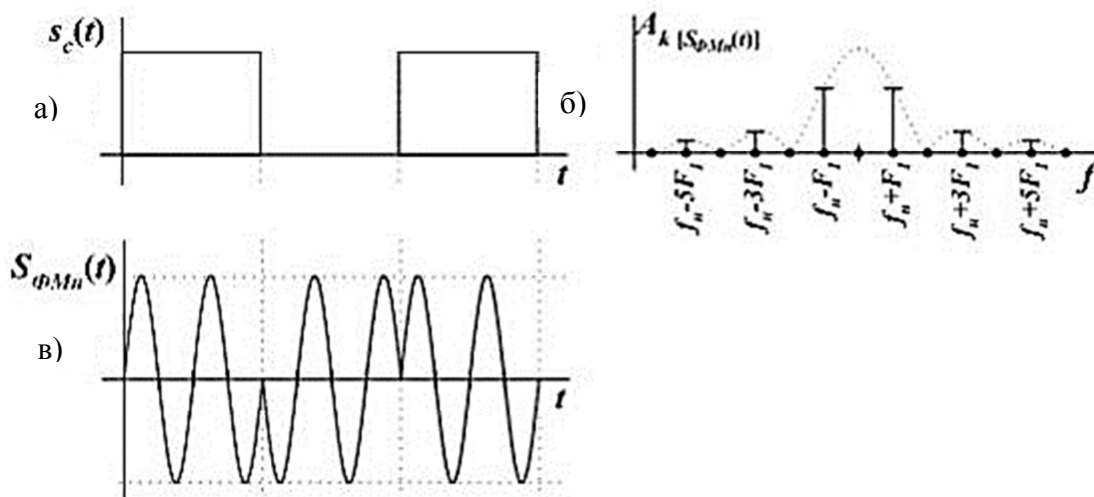


Рис. 8. Фазова маніпуляція: а) вихідний сигнал, б) спектр фазо-маніпульованого сигналу, в) фазо-маніпульований сигнал

Зі спектра можна бачити майже повну відсутність несучої, що вказує на високу енергоефективність. Недолік даної модуляції в тому, що помилка в одному символі може призвести до некоректного прийому всіх наступних.

Диференційно-фазова маніпуляція (рис. 9). У разі цієї модуляції фаза змінюється не при кожній зміні значення модулюючого імпульсу, а при зміні різниці. В даному прикладі при приході кожної «1».

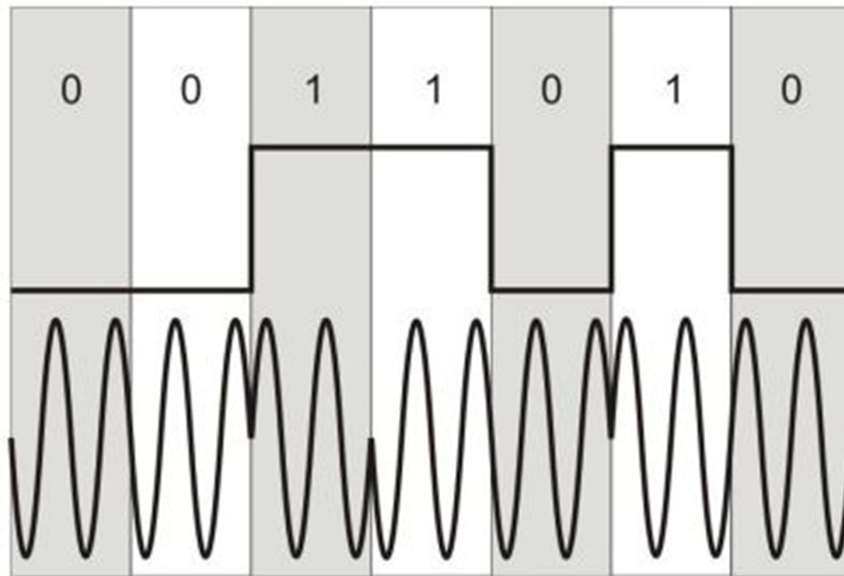


Рис. 9. Дифференційно-фазова маніпуляція

Перевага цього виду модуляції в тому, що в разі виникнення випадкової помилки в одному символі це не тягне подальший ланцюжок помилок.

Варто відзначити, що існують також інші фазові маніпуляції, такі як *квадратурна*, де використовується зміна фази в межах 90 градусів, та ФМ більш високих порядків.

3 Дослідження демодуляції модульованих сигналів

Завантажте Matlab 6.5. Пройдіть шлях Start/Demos/Toolboxes/Signal processing/Others/Modulation та запустіть Run this demo. Перед вами відкриється інтерфейс (рис. 10).

Цей інтерфейс дозволяє досліджувати демодуляцію сигналів, модульованих чотирма різними способами:

АМ – амплітудна модуляція;

АМSSB – амплітудна модуляція з одною бічною смугою;

FM – частотна модуляція;

PM – фазова модуляція.

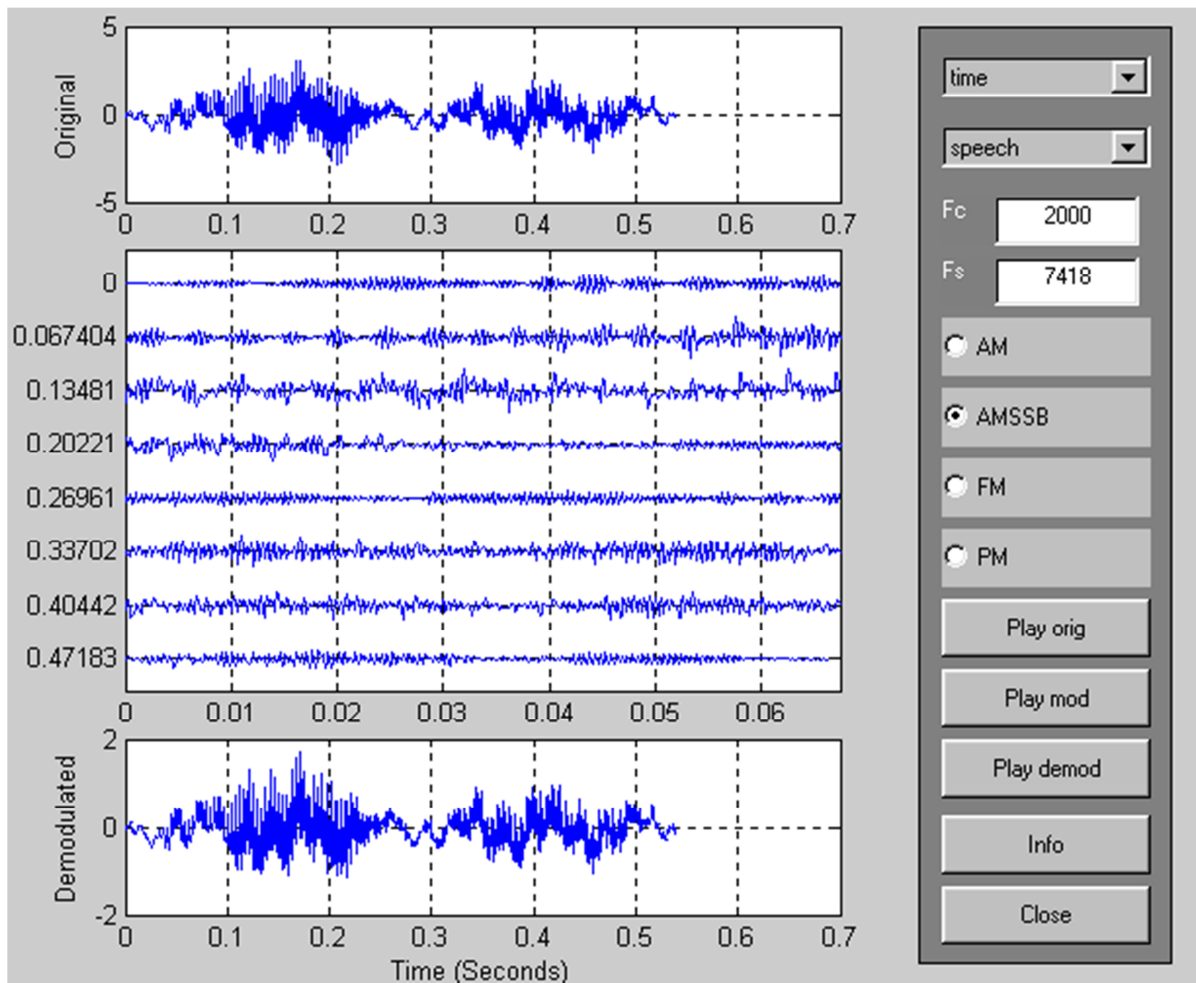


Рис. 10. Дослідження демодуляції сигналів

Сигнал повідомлення відображується на верхньому графіку, його модульована версія – в середині, а демодульована версія модульованого сигналу відображується на нижньому графіку.

Справа розташовано меню, за допомогою якого можна керувати:

- режимом уявлення сигналу (часовим, частотним (у вигляді спектральної щільності потужності (PSD)) або частотно-часовим (у вигляді спектрограм);
- видом сигналу повідомлення (мови (оцифрованої з частотою 7481 Гц), синусоїди, прямокутної та трикутної функцій частотою 1 Гц);
- частотою несучої (F_c) та частотою дискретизації (F_s) в Гц.

У кожній схемі модуляції сигнал (косинус) частоти F_c змінюється відповідно до сигналу повідомлення:

АМ – амплітуда носія є сигналом повідомлення;

AMSSB – два носія (один косинус, один синус), промодульовані сигналом повідомлення, узяті їх перетворення Гілберта, а потім вони підсумовані;

FM – безперервна частота несучої є сигналом повідомлення;

PM – безперервна фаза носія є сигналом повідомлення.

При підключених динаміках кнопки Play дозволяють прослуховувати вихідні й модульовані сигнали та демодулювати їх.

Виконати демодуляцію сигналів для таких умов:

- трьох різних режимів уявлення сигналу;
- чотирьох різних сигналів повідомлень;
- різних частот несучої і дискретизації сигналу;
- чотирьох різних видів модуляцій.

Зафіксувати не менше шести пар графіків для режимів, які відрізняються лише однією умовою.

Вимоги до оформлення звіту

Кожен студент повинен отримати допуск до захисту роботи. Для цього він виконує наведені далі завдання.

1. Подати викладачеві роздрукований звіт, що складається з титульного аркуша (див. додаток), **виконаних завдань** та **висновків**. Звіт має бути оформлений у текстовому редакторі MS Word. Текст потрібно набирати шрифтом Times New Roman, 14 pt, вирівнювати по ширині, формат сторінки А4, книжка, абзацний відступ 10 мм, поля 20 мм з кожного боку. Формули додавати за допомогою Microsoft Equation або редактора формул. Усі таблиці та рисунки мають бути підписані.

2. Відкрити на комп'ютері файл з виконаним завданням для перевірки.

3. Відповісти на всі питання стосовно виконаної роботи.

Звіт повинен містити:

1. Найменування та мету роботи.

2. Графіки демодуляції різних модульованих сигналів з висновками.

Контрольні питання

1. Дайте визначення АМ і АМSSB.
2. Дайте визначення FM і PM.
3. Чим визначається спектр модульованого сигналу?
4. Чим визначається спектр демодульованого сигналу?

Список літератури

1. Теорія електричного зв'язку: навч. посіб. / О.Ю. Гусев, Г.Ф. Коначович, В.І Корнієнко, Г.В. Кузнецов, О.Ю. Пузиренко. – Львів: Магнолія, 2006, 2010. – 364 с.
2. Gusev O.Yu. Theory of adaptive filtration: tutorial / O.Yu. Gusev, V.M. Gorev, V.I. Kornienko; Ministry of Education and Science of Ukraine, National Technical University “Dnipro Polytechnic”. – Dnipro: NTU “DP”, 2019. – 156 p.
3. Рид Р. Основы теории передачи информации / Р. Рид. – Москва: Вильямс, 2005. – 320 с.
4. Бендат Дж. Применение корреляционного и спектрального анализа / Дж. Бендат, А. Пирсол. – Москва: Мир, 1983. – 312 с.
5. Дьяконов В. МАТЛАБ 6. Учебный курс / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург: Питер, 2001. – 592 с.
6. Friis H. T. Noise Figure of Radio Receivers / H.T. Friis // Prdc. IRE. – July. – 1994. – P. 419–422.

Зразок титульного аркуша для лабораторних робіт

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

Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

Лабораторна робота ТЕЗ-1
«Демодуляція модульованих сигналів»
Варіант № 1

Виконав: ст. гр. 172-20-1
Петров Іван Петрович
Перевірив: професор Гусєв О.Ю.

Дніпро
НТУ «ДП»
2021

Корнієнко Валерій Іванович
Гусєв Олександр Юрійович
Нікольська Олена Ігорівна
Олішевський Ілля Геннадійович

ДЕМОДУЛЯЦІЯ МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ

Методичні рекомендації
до виконання лабораторної роботи ТЕЗ-1
з дисципліни «Теорія електричного зв'язку»
для студентів спеціальності
172 Телекомунікації та радіотехніка

Редактор Ю.В. Рачковська

Підписано до друку 11.11.2020. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 8 пр. Зам. №

НТУ «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.