

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Метод фільтрації адитивної суміші аналогових сигналів та шуму

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РРМ-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Охман Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дедів І.Ю.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дозорський В.Г.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Охман Юрій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод фільтрації адитивної суміші аналогових сигналів та шуму

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» листопада 2020 року № 4/7-7870

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17 грудня, 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання, методи фільтрації сигналів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Особливості та методи аналогової фільтрації. LC-, RC-, активні, кристалічні і механічні фільтри. Покращення частотно-вібрових властивостей RC- і LC- фільтрів. Математичний опис фільтрів. Фільтрація адитивної суміші сигналу та шуму. Вінерівська фільтрація мови як нестационарного випадкового процесу. Адаптивна фільтрація. Метод спектрального віднімання. Експериментальне моделювання адаптивної фільтрації. Охорона праці. Безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Актуальність теми. Мета, задачі, предмет та об'єкт дослідження. Методи фільтрації сигналів. Математичний опис фільтрів. Задача фільтрації адитивної суміші сигналу та шуму. Адаптивна фільтрація. Метод спектрального віднімання. Фільтрація за критерієм найменшої середньоквадратичної помилки. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зелінський І.М., доц. каф. ПВ		
	Стадник І.Я., проф. каф. ОХ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу		
2	Написання розділу 1		
3	Написання розділу 2		
4	Написання розділу 3		
5	Написання розділу 4		
6	Попередній захист		
7	Захист		

Студент _____
(підпис)

Охман Ю.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Дедів І.Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Охман Ю.О. Метод фільтрації адитивної суміші аналогових сигналів та шуму. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, Тернопільський національний технічний університети імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2020.

Кваліфікаційну роботу магістра присвячено розробленню методу адаптивної фільтрації суміші сигналу та шуму. Проаналізовано способи реалізації аналогових фільтрів та встановлено неможливість реалізації на їх основі адаптивних фільтрів. Проаналізовано методи вінерівської фільтрації та адаптивної фільтрації. Як варіант розглянуто метод спектрального віднімання, який при наступному моделюванні показав відмінні результати фільтрації.

Ключові слова: спектральне віднімання, фільтрація, фільтр Вінера.

ANNOTATION

Ohman Yu.O. Method of filtering the additive mixture of analog signals and noise.

The master's thesis is devoted to the development of a method of adaptive filtering of a mixture of signal and noise. The methods of realization of analog filters are analyzed and the impossibility of realization of adaptive filters on their basis is established. Methods of Wiener filtration and adaptive filtration are analyzed. As an option, the method of spectral subtraction is considered, which in the subsequent simulation showed excellent filtration results.

Keywords: spectral subtraction, filtration, Wiener filter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Особливості та методи аналогової фільтрації.....	9
1.2. LC-, RC-, активні, кристалічні і механічні фільтри.....	10
1.3. Покращення частотно-вибіркових властивостей RC- і LC- фільтрів..	15
1.4 Математичний опис фільтрів.....	16
1.5 Висновки до розділу 1.....	17
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Фільтрація адитивної суміші сигналу та шуму.....	18
2.2 Вінерівська фільтрація мови як нестационарного випадкового процесу.....	22
2.3 Адаптивна фільтрація.....	24
2.4 Висновки до розділу 2.....	28
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	29
3.1 Метод спектрального віднімання.....	29
3.2 Експериментальне моделювання адаптивної фільтрації.....	50
3.3 Висновки до розділу 3.....	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	56
4.1 Охорона праці.....	56
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	59
4.3 Висновок до розділу 4.....	64
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	69

ВСТУП

Актуальність роботи. Фільтром називають пристрій виділення бажаних компонентів сигналу або відділення небажаних компонентів. А процес виділення чи послаблення називається фільтрацією. При цьому розглядають поняття сигналу, як носія інформації чи даних, та завади або шуму, як спотворюючого фактора. Важливими в області радіотехнічних та телекомунікаційних систем зв'язку є взаємопов'язані питання фільтрації зашумлених сигналів та оптимального виявлення сигналів на фоні завад.

При цьому важливим є питання вибору типу фільтра та розрахунку або експериментального підбору його параметрів для оптимального виявлення сигналів чи їх фільтрації. При цьому якість проведеної фільтрації залежатиме від типу суміші сигналу та завади. Так, можливими є наступні варіанти таких сумішей: адитивна суміш $y(t)=x(t)+n(t)$, мультиплікативна суміш $y(t)=x(t)\cdot n(t)$, адитивно-мультиплікативна суміш $y(t)=(x(t)+n(t))\cdot s(t)$, де: $y(t)$ – суміш корисного сигналу та шуму, $x(t)$ – корисний сигнал, $n(t)$, $s(t)$ – шум.

Простим в плані розуміння та технічної реалізації у випадку адитивної суміші корисного сигналу та шуму із низьким співвідношенням сигнал/шум є метод фільтрації, який полягає в оцінюванні параметрів шуму та відніманні їх від такої суміші в спектральній області. Цей метод називається методом спектрального віднімання (spectral subtraction). В цьому випадку проводиться оцінювання спектральних компонентів ділянки суміші сигналу та шуму, на якій з ймовірністю 1 відсутні складові потрібного сигналу.

Застосування цього методу до опрацювання адитивної суміші корисного сигналу та шуму дасть можливість ефективного виділення корисного сигналу і у випадках, коли співвідношення сигнал/шум є низьким.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення методу адаптивної фільтрації суміші сигналу та шуму. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести огляд літературних джерел та обґрунтувати актуальність роботи;

- проаналізувати відомі методи фільтрації;

- проаналізувати методи вінерівської та адаптивної фільтрації;

- розробити метод адаптивної фільтрації суміші сигналу та шуму.

Об'єкт дослідження: процес адаптивної фільтрації адитивної суміші сигналу та шуму.

Предмет дослідження: метод фільтрації адитивної суміші сигналу та шуму.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані при розробленні спеціальних додатків та засобів адаптивної фільтрації акустичних та мовних сигналів.

Апробація результатів дослідження. Викладені в кваліфікаційній роботі результати доповідалися і обговорювалися на VIII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (м. Тернопіль, 2020 р.).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Особливості та методи аналогової фільтрації

Поширеним практичним завданням в області радіоелектроніки є створення фільтрів - пристроїв, що пропускають сигнали лише у певній смузі частот.

У залежності від форм амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) виділяють чотири основних класи фільтру:

1) фільтр нижніх частот (ФНЧ). Він пропускає лише низькочастотні складові спектра сигналу - як правило, від постійної складової до частоти, яка називається частотою зрізу. Всі спектральні складові сигнали з частотою вище частоти зрізу ФНЧ подавлює;

2) фільтр верхніх частот (ФВЧ). Фільтри цього класу подавлюють у спектрі сигналів всі компоненти з частотою від 0 до частоти зрізу. Спектральні складові з частотою вище частоти зрізу пропускаються ФВЧ;

3) смуговий фільтр (СФ). Він пропускає без перешкод всі спектральні компоненти лише в межах заданих смуг частот і подавлює всі компоненти за її межами;

4) режекторний фільтр (РФ). Він не пропускає компоненти спектра в межах заданої смуги, що називається смугою подавлювання (затримки), і пропускає без перешкод частоти, що не входять в цю смугу.

Приведені визначення стосуються так званих ідеальних фільтрів. У реальних пристроях між смугою пропускання та смугою з високим зниканням (смугою затримки) сигналів завжди існує деяка перехідна область.

Розрізняють аналогові та цифрові фільтри.

Аналогові фільтри можуть працювати в діапазоні частот від 0 (постійний струм) до 10 ГГц. Вони розрізняються не тільки за формою амплітудно-

частотної характеристики (АЧХ), а й за способом виконання (наприклад, LC-фільтри, кристалічні фільтри, активні і ін.).

З теоретичної точки зору фільтри зазвичай розглядають як різновид лінійних систем. Аналоговим фільтрам відповідає теорія неперервних систем, цифровим - теорія дискретних систем.

Параметри лінійних систем можуть бути постійними або змінними в часі.

Фільтри можуть бути нелінійними - прикладом таких фільтрів є адаптивні фільтри, параметри яких залежать від вхідного сигналу.

1.2. LC-, RC-, активні, кристалічні і механічні фільтри

Головними елементами фільтра є реактивні елементи, які можна реалізувати на різних фізичних пристроях - котушках індуктивності, конденсаторах, кристалах і механічних резонаторах. В активних фільтрах в якості елементів використовуються операційні підсилювачі, конденсатори і резистори. Вибір типу елемента в фільтрі в основному залежить від необхідних значень його параметрів, оскільки кожен тип фільтру має свої обмежені області застосування.

LC-фільтри. Це пристрої, в яких в якості основних елементів використовуються індуктивності і ємності. Фільтри цього типу, як правило, застосовуються в діапазоні частот від декількох герц до декількох сотень мегагерц. У діапазоні НВЧ починають проявлятися паразитні ємності і індуктивності ланок, що призводить до нестабільності розрахункових значень параметрів пристрою. З цієї причини LC-фільтри в діапазоні НВЧ практично не застосовуються. Щоб використовувати LC-фільтри в діапазоні наднизьких частот, потрібні елементи схеми з дуже великими значеннями індуктивності і ємності, що обмежується їх фізичними розмірами. Тому на практиці робочий діапазон частот LC-фільтрів становить приблизно від 100 Гц до 300 МГц.

Реальні елементи фільтра завжди відрізняються від ідеальних наявністю паразитних складових. Так, опір котушки індуктивності не є чисто реактивним. У ньому завжди є активні компоненти, обумовлені наявністю втрат в обмотці і

магнітному осерді. Якість реальної котушки індуктивності, що характеризує її як елемент фільтра, визначається добротністю котушки Q_c , яка представляє собою відношення реактивної складової опору до його активної складової:

$$Q_c = X_L / (R_{ac} + R_{dc}),$$

де R_{ac} - втрати змінної складової струму в осерді; R_{dc} - опір обмотки постійному струму; X_L - реактивна складова опору (індуктивність).

При розрахунку фільтра для забезпечення задовільної смуги пропускання необхідно, щоб добротність котушки індуктивності Q_z була значно більше добротності фільтра Q_o . У більш загальному вигляді правило таке: чим складнішим є СФ, тим більшою добротністю повинна володіти котушка індуктивності для отримання задовільних характеристик. Добротність котушки близько 600 в діапазоні частот кілька сотень кілогерц можна отримати, застосовуючи феритовий сердечник. Поза зазначеного діапазону частот початкове значення добротності знижується.

RC-фільтри. Завдяки тому, що імпеданс конденсатора, рівний $Z_c = -j/\omega C$, залежить від частоти, за допомогою конденсаторів і резисторів можна будувати частотно-залежні подільники напруги, які будуть пропускати тільки сигнали потрібної частоти, а всі інші подавлювати.

Фільтри низьких частот. Якщо поміняти місцями R і C (рис. 1.1), то фільтр буде вести себе протилежним чином відносно частоти. Можна показати, що $U_{вих} = [1 / (1 + \omega^2 R^2 C^2)]^{1/2} U_{вх}$. Графік цієї залежності представлений на рис. 1.2 Такий фільтр називають фільтром низьких частот. Точка - 3 дБ на характеристиці фільтра знаходиться на частоті $f = 1 / 2RC$ с. Фільтри низьких частот знаходять дуже широке застосування. Наприклад, їх використовують для усунення впливу довколишніх радіо- і телевізійних станцій (550 кГц-800 МГц), на роботу підсилювачів звукових частот і інших чутливих електронних приладів.

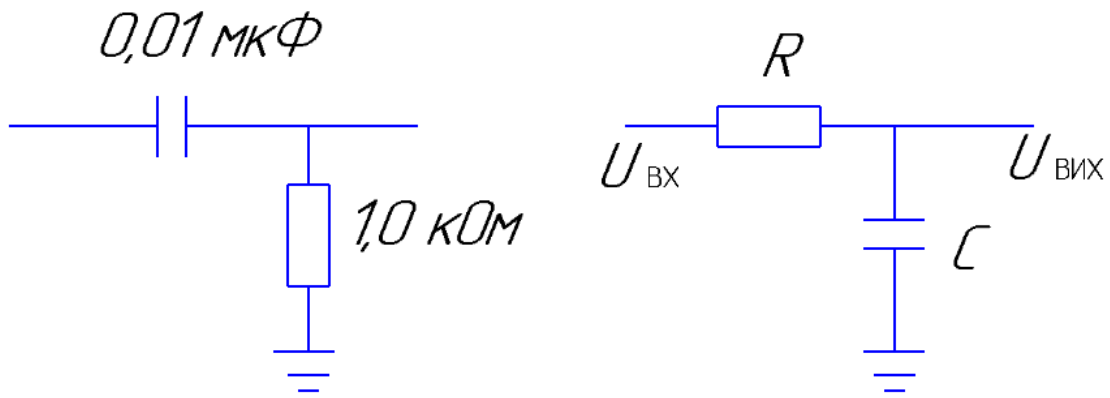


Рис. 1.1. Фільтр високих та низьких частот

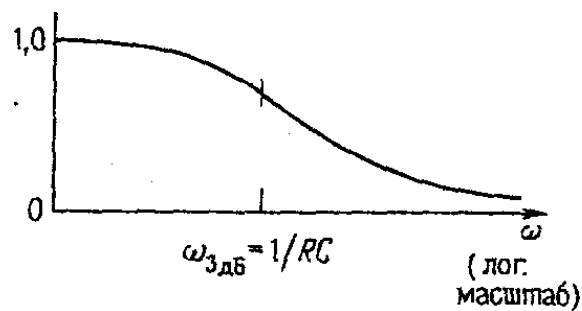


Рис. 1.2. Частотна характеристика фільтра нижніх частот

Частотна характеристика фільтра низьких частот, але в більш звичному вигляді для вертикальної і горизонтальної осей використаний логарифмічний масштаб. Можна вважати, що по вертикальній осі відкладаються децибели, а по горизонтальній октави (або декади). На такому графіку рівні відстані відповідають рівним відношенням величин. У вигляді графіка зображений також фазовий зсув, при цьому для вертикальної осі (градуси) використаний лінійний масштаб, а для осі частот логарифмічний. Такий графік зручний для аналізу частотної характеристики навіть у випадку значної атенюації. Відзначимо, що при значній атенюації зображена на графіку крива вироджується в пряму лінію з нахилом $-20\text{дБ} / \text{декада}$. Фазовий зсув плавно змінюється від 0° (на частотах нижче точки перегину) до 90° (на частотах істотно вище точки перегину), а в точці -3дБ становить 45° .

Фазо-частотна і амплітудно-частотна характеристики фільтра низьких частот, зображені в логарифмічному масштабі. У точці 3дБ фазовий зсув

становить 45°C в межах декади зміни частоти лежить в межах 6° від асимптотичного значення.

Активні фільтри. Робочий частотний діапазон активних фільтрів становить від 0 до 500 кГц. У цьому діапазоні їх легко реалізувати за допомогою готових операційних підсилювачів, резисторів, конденсаторів і забезпечити характеристики, які можна порівняти з відповідними характеристиками LC-фільтрів. Відмінність полягає в тому, що задовільні характеристики ці фільтри забезпечують і в області наднизьких частот, де використання LC-фільтрів принципово неможливе.

За допомогою спеціальних методів розрахунку розміри елементів схеми можуть бути зведені до мінімуму. Розраховані схеми збирають по мікроелектроній технології із застосуванням плівкових резисторів і конденсаторів, а також твердотільних операційних підсилювачів. Якщо в подальшому потрібним є регулювання параметрів схеми, то може застосовуватися лазерна підгонка значень опорів плівкових резисторів.

Для активних фільтрів характерним параметром є значення добротності порядку декількох сотень біля нижньої межі робочого діапазону частот, де операційні підсилювачі мають дуже високий коефіцієнт підсилення при розімкнутому колі зворотного зв'язку. На більш високих частотах якість операційних підсилювачів погіршується, в результаті чого знижується добротність фільтру Q_0 .

Кварцові фільтри. Еквівалентна схема кварцового резонатора наведена на рис. 1.3. Добротність такого кола може бути надзвичайно високою. З цієї причини кристали кварцу є ідеальними елементами для фільтрів. Крім високої добротності кристалічні фільтри володіють ще однією важливою перевагою. Йдеться про їх високу стабільність, яка забезпечується тим, що електричні параметри кварцу майже не залежать від часу і температури навколишнього середовища.

Еквівалентна схема (рис.1.3) має дві близько розташовані резонансні частоти (що відповідають послідовному і паралельному LC-контуром). Робочий діапазон частот кристалічних фільтрів обмежується технологічними

можливостями на стадії виготовлення кварцових резонаторів. На частотах менше 1 кГц кварцовий елемент стає неприпустимо великим, а при частоті 100 МГц і більше - настільки маленьким, що неможливо контролювати його розміри в процесі виготовлення.

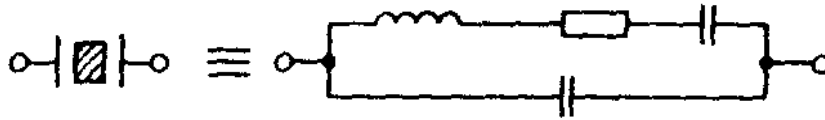


Рис. 1.3. Еквівалентна схема кварцового резонатора

Застосування кристалів обмежується також граничними значеннями індуктивності і ємності еквівалентної схеми. Внаслідок названих чисто технологічних причин і, з урахуванням економічних показників кристали використовуються в якості елементів фільтрів тільки тоді, коли потрібно забезпечити добротність і стабільність СФ для вузької смуги пропускання.

Механічні фільтри. Принцип дії механічного фільтра полягає в наступному. Приймається електричний сигнал спеціальним пристроєм - перетворювачем - перетворюється в механічні коливання, які передаються на систему з'єднаних між собою дисків. На виході цієї системи результуюче механічне коливання знову перетворюється в електричний сигнал, який і надходить на вихід фільтра.

Таким чином, основними елементами механічного фільтра є металеві диски, кожен з яких представляє собою механічний еквівалент паралельного резонансного електричного контуру. Завдяки відповідному підбору конструкції дисків вдається отримати резонансну систему з високою добротністю Q .

Механічні фільтри найбільш ефективно використовуються в якості смугових вузькосмугових фільтрів в частотному діапазоні від 50 до 500 кГц. У цих умовах вдається забезпечити високу (порядку 10^3) добротність пристрою і хорошу стабільність його частотних властивостей.

Серйозним недоліком механічних фільтрів є високі втрати. Головна причина їх виникнення - низька ефективність вхідного і вихідного перетворювачів.

1.3. Покращення частотно-вибіркових властивостей RC- і LC- фільтрів

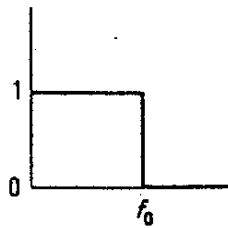


Рис. 1.4. Частотна характеристика RC-фільтрів

Частотна характеристика LC-фільтрів.

Фільтри, побудовані з конденсаторів і котушок індуктивності, можуть мати досить круті характеристики. Прикладом цього може служити паралельний резонансний LC-контур. Введення в конструкцію котушок індуктивності дає можливість створити фільтр з будь-якою бажаною близькістю ділянки характеристики в смузі пропускання до горизонтальної прямої в поєднанні з різкою перехідною областю і крутизною спаду поза смуги пропускання.

Складність фільтра зростає в міру підвищення вимог до горизонтальності і плавності амплітудно-частотної характеристики в смузі пропускання і до крутизни спаду поза нею, приводячи до збільшення числа елементів в порівнянні з попереднім фільтром. Перехідна і фазо-частотна характеристики, взагалі кажучи, також погіршуються, в міру наближення амплітудно-частотної характеристики до ідеальної прямокутної форми (цегляна стіна).

Синтез фільтрів з пасивних елементів (R, L, C) - добре досліджена область. Єдиною проблемою є те, що котушки індуктивності як елемент схеми часто залишають бажати кращого. Вони нерідко бувають дорогими і громіздкими, далекі від ідеалу, оскільки ведуть до «втрат», а саме, мають

значний активний опір, так само як нелінійність, розподілена міжвиткова ємність обмотки і чутливість до магнітних перешкод.

Як вже зазначалося вище, для коректного порівняння АЧХ фільтрів потрібно, щоб всі криві АЧХ перетинали рівень загасання 3 дБ на нормованій частоті 1 рад/с. Такий фільтр і його АЧХ називаються нормованими до 1 рад/с.

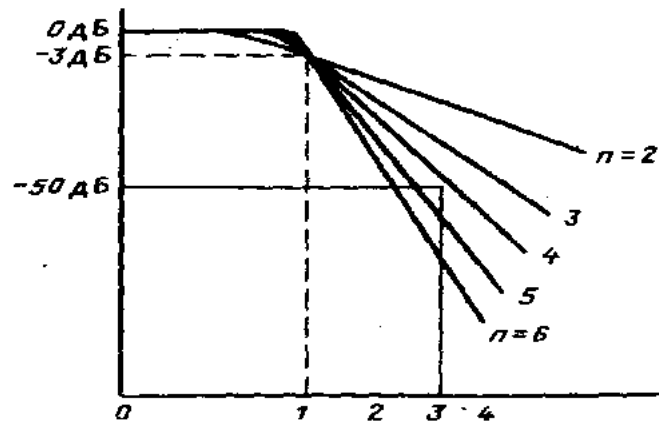


Рис. 1.5. Правило користування нормованими АЧХ ФНЧ

За сімейством нормованих АЧХ ФНЧ різного порядку визначають, фільтр якого порядку забезпечує необхідне гарантоване зникання в смузі затримання при заданому значенні граничної частоти смуги затримання. Як видно з вінерівськогонку 8, загасання 50 дБ в смузі затримання при 3 рад. забезпечує ФНЧ не менше п'ятого порядку.

1.4 Математичний опис фільтрів

Будь-яка безперервна лінійна ланка, в тому числі аналоговий фільтр, може бути описана диференціальним рівнянням виду:

$$\begin{aligned}
 a_m \frac{d^m x}{dt^m} + a_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + a_{m-2} \frac{d^{m-2} x}{dt^{m-2}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x(t) = \\
 = b_n \frac{d^n y}{dt^n} + b_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + b_{n-2} \frac{d^{n-2} y}{dt^{n-2}} + \dots + b_1 \frac{dy}{dt} + b_0 y(t)
 \end{aligned}
 \quad (1.1)$$

де $x(t)$ - вхідний сигнал, $y(t)$ - вихідний сигнал; a_i і b_i - постійні коефіцієнти. При цьому повинна виконуватися умова $m \leq n$. Значення n називається порядком кола.

Якщо застосувати до обох частин цього диференціального рівняння перетворення Лапласа, отримаємо вираз для функції передачі кола:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0}, \quad (1.2)$$

де s - комплексне число; $X(s)$ и $Y(s)$ - перетворення Лапласа вхідного і вихідного сигналів $x(t)$ і $y(t)$, відповідно.

Корені знаменника називаються полюсами, а корені чисельника - нулями. Кількість нулів передавальної функції дорівнює m , а число полюсів n визначає порядок фільтра.

1.5 Висновки до розділу 1

Проаналізовано задачу фільтрації сигналів зокрема аналогової. Розглянуто основні типи аналогових фільтрів, що виконані на опорах, ємностях та індуктивностях. Розглянуто структуру та принципи роботи фільтрів низьких та високих частот, смугові та ежекторні фільтри а також активні фільтри, механічні та кварцові фільтри.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Фільтрація адитивної суміші сигналу та шуму

Класична постановка задачі виділення сигналу з адитивної суміші сигналу з шумом сформульована Н.Вінером ще в 1942 [1].

Нехай на вхід лінійної системи (фільтра), що характеризується імпульсною перехідною характеристикою $h(t)$, надходить сума статистично незалежних сигналу $x(t)$ і завади $n(t)$:

$$z(t) = x(t) + n(t). \quad (2.1)$$

Як перешкода, так і сигнал вважаються стаціонарними випадковими процесами (СВП), кореляційні функції яких відомі.

Відгук фільтра описується інтегралом згортки:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) z(t - \tau) d\tau. \quad (2.2)$$

Якщо фільтр призначений для відновлення сигналу $x(t)$ з суміші (2.1), тоді помилка відновлення має вигляд:

$$\varepsilon(t) = y(t) - x(t). \quad (2.3)$$

Середній квадрат помилки:

$$\begin{aligned} \langle \varepsilon^2 \rangle = \langle [y(t) - x(t)]^2 \rangle &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_1) h(\tau_2) K_z(\tau_2 - \tau_1) d\tau_1 d\tau_2 - \\ &\quad - 2 \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_1) K_{zx}(\tau_1) d\tau_1 + K_x(0) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Знайдемо мінімум функціоналу (2.4), що досягається «правильним» підбором функції $h(t)$. З цією метою візьмемо від (2.4) похідну по $h(t)$ і прирівняємо її нулю (тобто використовуємо необхідну умову екстремуму функціоналу [2]):

$$\frac{\overline{\partial \varepsilon^2}}{\partial h} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_2) K_z(\tau_1 - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_1) K_z(\tau_1 - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 - 2 \int_{-\infty}^{\infty} K_{zx}(\tau_2) d\tau_2 = 0 \quad (2.5)$$

У співвідношенні (2.5) ми в останньому доданку замінили змінну τ_1 на τ_2 - очевидно, така заміна ніяк не впливає на результат. Очевидно, настільки ж нешкідливі для результату і взаємні заміни змінних τ_1 і τ_2 в першому доданку співвідношення (2.5).

Після таких замін отримуємо:

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_1) K_z(\tau_1 - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 - \int_{-\infty}^{\infty} K_{zx}(\tau_2) d\tau_2 = \\ & = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_1) K_z(\tau_1 - \tau_2) d\tau_1 - K_{zx}(\tau_2) \right] d\tau_2 = 0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Очевидно, для виконання співвідношення (2.6) досить виконання рівності:

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_1) K_z(\tau_1 - \tau_2) d\tau_1 = K_{zx}(\tau_2). \quad (2.7)$$

Співвідношення (2.7), в якому невідомою є функція $h(t)$, називається інтегральним рівнянням Фредгольма першого роду [2]. Оскільки його ліва частина є згортокою (очевидно, $K_z(\tau_1 - \tau_2) = K_z(\tau_2 - \tau_1)$ для СВП $z(t)$), його рішення в явному вигляді легко отримати, переходячи з часової області в частотну. З цією метою візьмемо перетворення Фур'є від лівої і правої частин співвідношення (2.7). В результаті отримаємо:

$$H(f) = \frac{G_{zx}(f)}{G_z(f)}, \quad (2.8)$$

де $H(f) = F\{h(t)\}$, $G(f) = F\{K(\tau)\}$,

$F\{\cdot\}$ - оператор перетворення Фур'є

Оскільки для статистично незалежних СВП сигналу $x(t)$ і завади $n(t)$ справедливі співвідношення:

$$K_z(\tau_1 - \tau_2) = K_x(\tau_1 - \tau_2) + K_n(\tau_1 - \tau_2), \quad (2.9)$$

$$K_{zx}(\tau_1) = K_x(\tau_1), \quad (2.10)$$

із (2.9)-(2.10) отримаємо співвідношення:

$$G_z(f) = G_x(f) + G_n(f), \quad (2.11)$$

$$G_{zx}(f) = G_x(f). \quad (2.12)$$

З (2.8) з урахуванням (2.11) - (2.12) остаточно отримуємо вираз для частотної характеристики вінерівського фільтра:

$$H(f) = \frac{G_x(f)}{G_x(f) + G_n(f)}. \quad (2.13)$$

Завдяки простоті співвідношення (2.13) його легко аналізувати. Дійсно, якщо спектр перешкоди на всіх частотах малий у порівнянні зі спектром сигналу, тобто $G_n(f) \ll G_x(f)$, тоді $H(f) = 1$, тобто фільтрація не потрібна. Якщо ж, навпаки, в деякій області частот $G_n(f) \gg G_x(f)$, тоді $H(f) \approx G_x(f)/G_n(f)$, тобто фільтр придушує перешкоду в цій області частот (рис.2.1).

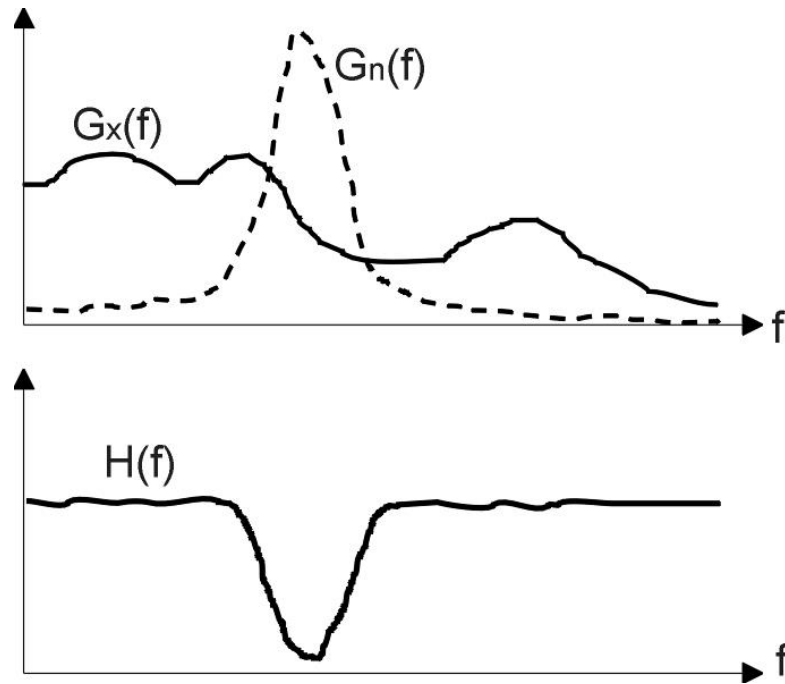


Рис. 2.1. Вінерівська фільтрація вузькосмугової перешкоди

Ще один цікавий випадок - вузькосмуговий сигнал, що маскується широкосмуговою перешкодою. При цьому у вузькій області частот виконується нерівність $G_n(f) \ll G_x(f)$, а на інших частотах, навпаки, $G_n(f) \gg G_x(f)$. Тоді в області існування сигналу виконується $H(f) = 1$, а для інших частот $H(f) \approx G_x(f)/G_n(f)$, тобто фільтр подавляє широкосмугову перешкоду (рис.2.2).

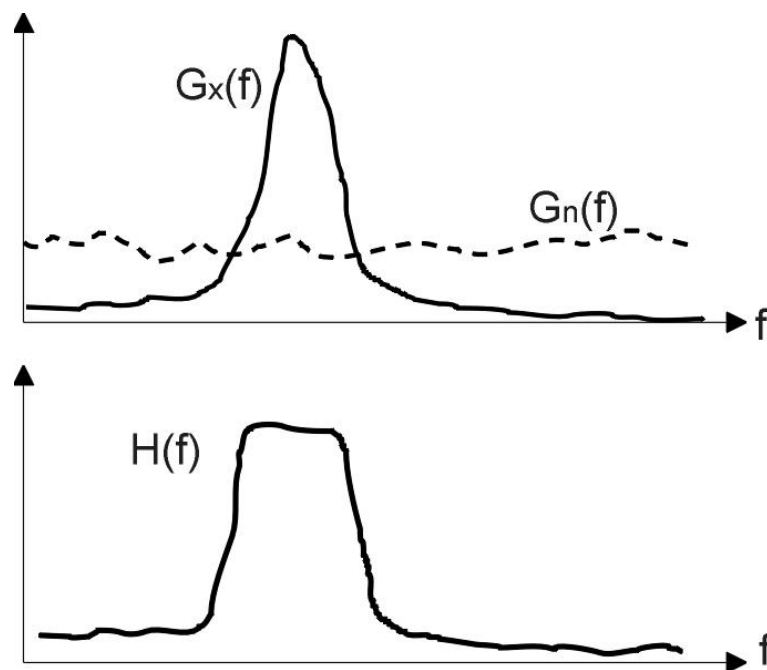


Рис. 2.2. Вінерівська фільтрація вузькосмугового сигналу

Очевидно, вінерівська фільтрація цілком узгоджується з інженерними міркуваннями самого загального, якісного, характеру: «сигнал потрібно пропускати, а перешкоду - подавлювати». Разом з тим, співвідношення (2.13) дозволяє виконувати ці дії якимось найкращим чином, з огляду на співвідношення потужностей сигналу і перешкоди на кожній частоті.

Зрозуміло також, що в разі довільних спектрів сигналу і перешкоди частотна характеристика вінерівського фільтра може мати вельми складний вид.

2.2 Вінерівська фільтрація мови як нестационарного випадкового процесу

У випадку опрацювання мовних сигналів припускається, що він є СВП. Однак, абсолютно очевидна грубість такої моделі: мовний сигнал містить паузи між словами, між пропозиціями і фразами. Це означає, що в часі змінюється, як мінімум, потужність мовного сигналу. Залежно від контексту, відносна протяжність пауз може досягати 50% і більше (при телефонній розмові). Диктори радіо і телебачення говорять більш однаково, однак і в їхній мові відносна протяжність пауз досить велика.

Ясно також, що потужність сигналу змінюється і на протязі звучання слів. Але, мабуть, що найістотніше, в плані дослідження розбірливості мови, - змінюється спектральний склад звуків (фонем), з яких складаються слова. Так, для голосних звуків спектр більш низькочастотний, ніж для приголосних. Тим часом, розбірливість мови істотно залежить перш за все від розбірливості приголосних звуків. Так, наприклад, в якості одного з показників розбірливості мови сучасні інженери використовують показник% -Alcons - відсоток приголосних, що не сприймаються. Вважається, що при несприйнятті більше 15% приголосних (15% -Alcons) жоден з видів комунікації не може відбутися. Значення% -Alcons нижче рівня 10% і 5% означають, що умови розбірливості мови можна оцінити як хороші і відмінні [1,2].

Таким чином, мовний сигнал - принципово нестационарний випадковий процес, хоча його і можна розділити на короткі фрагменти, в межах яких випадковий процес можна вважати практично стаціонарним.

Оскільки експериментально встановлено, що інтервал стаціонарності мовного сигналу приблизно дорівнює 10-30 мс, можна спробувати поліпшити якість вінерівської фільтрації, синтезуючи цифровий фільтр заново для кожного з елементарних фрагментів, на які розбитий мовний сигнал. Це означає, по суті, фільтрацію мовного сигналу цифровим фільтром зі змінними параметрами:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau, t) z(t - \tau) d\tau, \quad (2.14)$$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f, t) G_z(f, t) e^{j2\pi ft} df, \quad (2.15)$$

де $h(\tau, t)$ і $H(f, t)$ - мінливі в часі імпульсні ПХ і частотна характеристика фільтра, відповідно;

$$G_z(f, t) = \int_t^{t-T} K_z(\tau, t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau, \quad (2.16)$$

$$K_z(\tau, t) = \langle z(t) z(t + \tau) \rangle. \quad (2.17)$$

Перешкоду $n(t)$ при цьому вважаємо стаціонарним випадковим процесом. Тому спектр перешкоди досить обчислити лише один раз, використовуючи для цього, наприклад, паузи між фразами.

Узагальнюючи співвідношення (2.13) і (2.17), отримуємо:

$$H(f, t) = 1 - \frac{G_n(f)}{G_z(f, t)}, \quad (2.18)$$

$$\mathbf{K}_{zt} \mathbf{a}_t = (\mathbf{K}_{zt} - \mathbf{K}_n). \quad (2.19)$$

2.3 Адаптивна фільтрація

Адаптивні пристрої виконуються, як правило, для вузько цільового призначення для певних сигналів. Внутрішня структура адаптивних систем і регламентуються функціональним призначенням і певним мінімальним обсягом вихідної апріорної інформації про характер вхідних даних і їх статистичні та інформаційні параметри.

Проте, всі способи використання адаптивних фільтрів так чи інакше зводяться до вирішення завдання ідентифікації, тобто визначення характеристик деякої системи. Можливі два варіанти ідентифікації - пряма і зворотна. У першому випадку адаптивний фільтр включають паралельно з досліджуваною системою (рис.2.3, а). Вхідний сигнал є загальним для досліджуваної системи і адаптивного фільтра, а вихідний сигнал системи служить для адаптивного фільтра зразковим сигналом. В процесі адаптації часові і частотні характеристики фільтра будуть прагнути до відповідних характеристик досліджуваної системи.

При зворотній ідентифікації адаптивний фільтр включається послідовно з досліджуваною системою (рис.2.3, б). Вихідний сигнал системи надходить на вхід адаптивного фільтра, а вхідний сигнал системи є зразком для адаптивного фільтра. Таким чином, фільтр прагне компенсувати вплив системи і відновити вихідний сигнал, усунувши внесені системою спотворення.

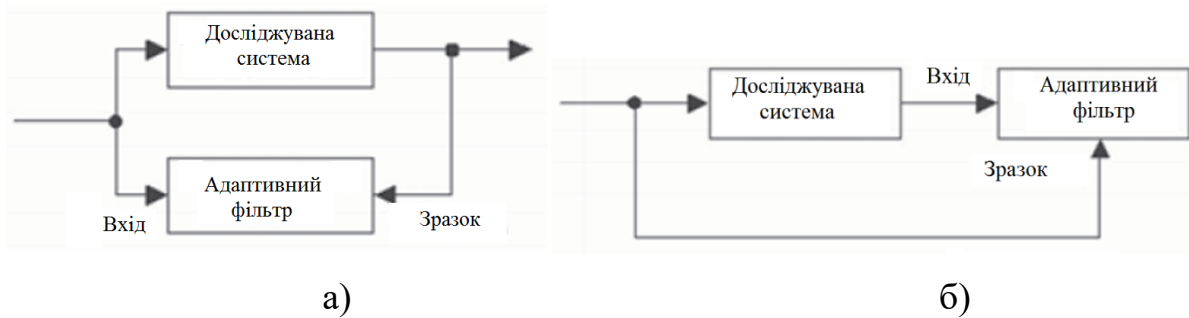


Рис.2.3 – Ідентифікація системи за допомогою адаптивного фільтра:

а - пряма, б – зворотна

Зауважимо, що в розглянутих на рис.2.3 схемах, незалежно від варіанту ідентифікації, адаптивний фільтр має два входи: на один вхід подається сигнал з входу досліджуваної системи, а на другий - з виходу. Таким чином, адаптивний фільтр має інформацію, достатню для вимірювань характеристик досліджуваної системи. Спробуємо простежити, як адаптивний фільтр розпоряджається цією інформацією, формуючи якийсь вихідний сигнал. З цією метою розглянемо більш конкретну проблему.

Нехай необхідно забезпечити особу системою мовного зв'язку в умовах значного акустичного шуму. При цьому мовний сигнал, що сприймається мікрофоном, неминуче виявиться сильно зашумленим. Інформацію про шум можна отримати, встановивши другий мікрофон в безпосередній близькості від джерела шумів. Зрозуміло, цей шум не можна просто відняти з мовного сигналу (рис.2.4).

Однак випадкові шумові процеси, які сприймаються двома мікрофонами, будуть корельованими, так як вони надходять із загального джерела. У той же час, очевидно, що шумовий сигнал НЕ корелює з корисним мовним сигналом.

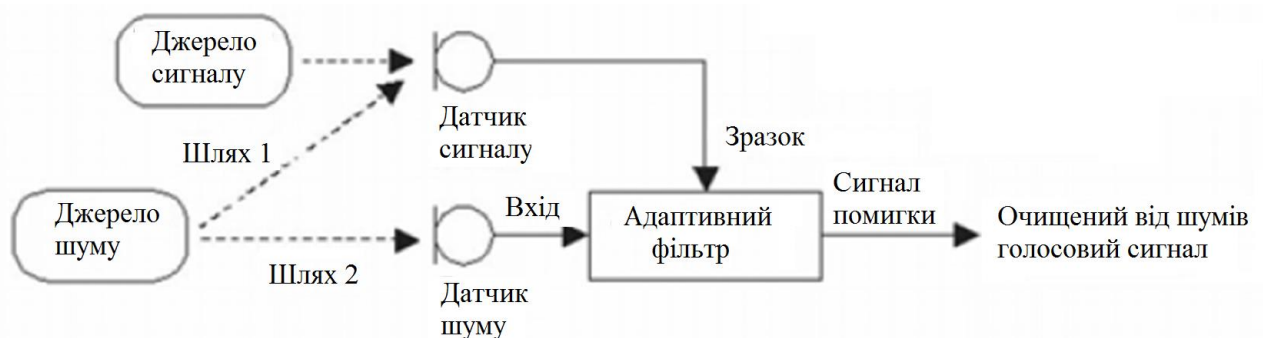


Рис.2.4. Придушення шуму за допомогою адаптивного фільтра

Зіставляючи рис.2.4 з рис.2.3, неважко помітити, що за допомогою адаптивного фільтра в даному випадку вирішується завдання прямої ідентифікації «досліджуваної системи», яка перетворює шум на шляху від джерела шуму до датчика сигналу («шлях 1»).

Вхідних сигналів у адаптивного фільтра два. За змістом розв'язуваної задачі, «головний» вхідний сигнал - це сигнально зашумлена суміш з виходу основного мікрофона, тоді як шум з виходу додаткового мікрофона - «допоміжний». За термінологією рис.1 і 2 «головний» вхідний сигнал - це «зразок». За американською термінологією (див. Рис.2.6), це *desired*, тобто «Бажаний» сигнал або «пілотний» сигнал. Шумовий сигнал від додаткового мікрофона на рис.2.4 називають просто «вхідним», що збігається з американським терміном *input* (рис.2.6). Інша назва цього шумового сигналу в американській літературі - *reference*, тобто «Опорний» [2].

Адаптивний фільтр прагне перетворити вхідний сигнал так, щоб зробити його якомога ближче до зразка. Оскільки до сигналу фільтра корельована лише шумова складова зразкового сигналу, в сталому режимі на виході фільтра буде виходити оцінка шуму. Цей вихідний сигнал, однак, потрібен нам лише як допоміжний засіб для отримання другого вихідного сигналу - сигналу «помилки», що розраховується як різниця між зразковим сигналом і вихідним сигналом адаптивного фільтра. Сигнал «помилки» і являє собою очищений від шуму мовний сигнал.

Таким чином, адаптивний фільтр, крім двох входів, повинен мати два виходи. За змістом розв'язуваної задачі, «головним» вихідним сигналом є очищений від шумів мовний сигнал. Цей різницевий сигнал (різниця між зразковим сигналом і другим вихідним сигналом адаптивного фільтра) називають «сигналом помилки» або, за американською термінологією, *error* (рис.2.5 і 2.6). Даний термін, можливо, не дуже вдалий, бо асоціюється з чимось негативним. Однак його походження можна пояснити широким застосуванням адаптивних фільтрів в системах автоматичного регулювання - там «сигналу помилки» цілком обгрунтовано приписується негативна роль. Що стосується

завдання придушення шумів, що маскують мову, тут, як бачимо, термін «помилка» ні в якому разі не слід розуміти буквально.

Другий вихідний сигнал адаптивного фільтра грає «допоміжну» роль - це оцінка шуму, що маскує мовний сигнал. За змістом розв'язуваної задачі, його можна також називати «шумом, наведеним до входу головного мікрофона». Як впливає з рис.2.5, цей сигнал знімають з виходу керованого фільтра. Тому його називають просто «вихідний сигнал» або, за американською термінологією, output (рис.2.6).

Загальна структура адаптивного фільтра показана на рис.2.5 схеми. Як бачимо, адаптивний фільтр складається з трьох компонентів: перебудовуваний фільтр, блок (алгоритм) адаптації, керуючий параметрами фільтра, а також блок віднімання.

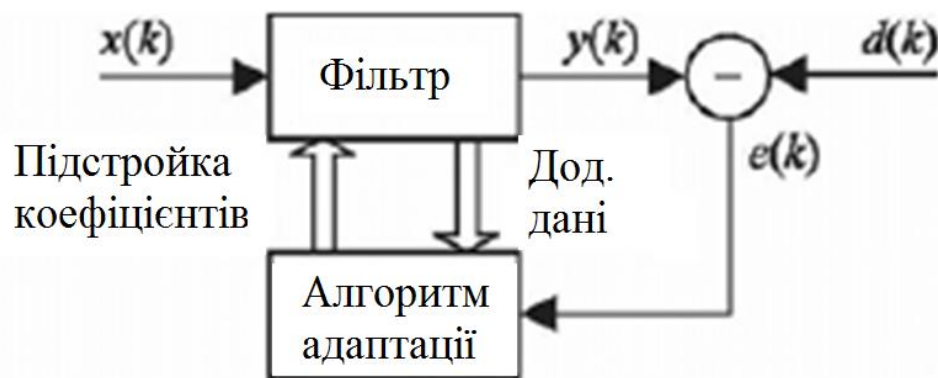


Рис.2.5. Структура адаптивного фільтра (загальна)

В цьому випадку потрібна деяка інформація про структуру корисного вхідного сигналу (наприклад, знання типу і параметрів використовуваної модуляції). Очевидно, що сліпа адаптація є більш складним обчислювальним завданням.

2.4 Висновки до розділу 2

В розділі проаналізовано питання фільтрації мовних повідомлень, які є за своєю природою нестационарними випадковими процесами. В класичних методах фільтрації такі сигнали розглядаються як стаціонарні, однак подання їх як нестационарних потребує використовувати методи фільтрації, які б могли адаптуватися під зміни структури самого сигналу. Зцією метою розглянуто можливості теорії оптимальної фільтрації, зокрема із застосуванням фільтрів Вінера.

Встановлено при цьому, що частотна характеристика таких фільтрів повинна мати часто складний вигляд, досягти чого у випадку аналогових фільтрів практично неможливо.

Проаналізовано математичні основи подання та розрахунку фільтрів Вінера.

На противагу фільтрам Вінера розглянуто адаптивні фільтри, структура яких може змінюватись та адаптовуватись під зміни параметрів корисного сигналу або до змін параметрів перешкод. Попри більшу складність таких фільтрів, результати фільтрації є кращими за результати фільтрації іншими типами фільтрів.

Як окремий метод адаптивної фільтрації є метод так званого спектрального віднімання, в якому проводиться адаптація фільтра під параметри шуму.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Метод спектрального віднімання

Спектральне віднімання - це метод відновлення спектра потужності або спектра величин сигналу, що спостерігається при адитивних шумах, шляхом віднімання оцінки середнього спектра шуму від зашумленого спектра сигналу. Спектр шуму зазвичай оцінюється та оновлюється з періодів, коли сигнал відсутній і присутній лише шум. Припускають, що шум є стаціонарним або повільно мінливим процесом, і що спектр шуму не змінюється суттєво між періодами оновлення. Для відновлення сигналів у часовій області оцінка спектру миттєвої величини поєднується з фазою зашумленого сигналу, а потім перетворюється через зворотне дискретне перетворення Фур'є в часову область. Що стосується складності обчислень, спектральне віднімання є відносно недорогим. Однак через випадкові зміни шуму спектральне віднімання може призвести до негативних оцінок короткочасної величини або спектру потужності. Величина та спектр потужності є невід'ємними змінними, і будь-які негативні оцінки цих змінних повинні бути зіставлені у невід'ємні значення. Цей нелінійний процес випрямлення спотворює розподіл відновленого сигналу. Спотворення в процесі обробки стає більш помітним із зменшенням відношення сигнал/шум.

3.1.1 Спектральне віднімання

У додатках, де крім зашумленого сигналу шум доступний на окремому каналі, може бути можливо отримати сигнал, віднімаючи оцінку шуму від зашумленого сигналу. Адаптивний шумопоглинач приймає за входи шум і зашумлений сигнал і видає оцінку чистого сигналу. Однак у багатьох додатках, наприклад у приймачі зашумленого каналу зв'язку, єдиним доступним сигналом є зашумлений сигнал. У цих ситуаціях неможливо відмінити випадковий шум, але можна зменшити середній вплив шуму на спектр сигналу. Вплив адитивного шуму на спектр величини сигналу полягає у

збільшенні середнього значення та дисперсії спектру, як показано на рисунку 3.1. Збільшення дисперсії спектру сигналу є результатом випадкових коливань шуму і не може бути усунений. Збільшення середнього значення спектра сигналу можна усунути відніманням оцінки середнього значення спектру шуму із спектру зашумлених сигналів. Модель зашумленого сигналу в часовій області задається як

$$y(m) = x(m) + n(m) \quad (3.1)$$

де $y(m)$, $x(m)$ та $n(m)$ - сигнал, аддитивний шум та шумний сигнал відповідно, а m - дискретний індекс часу.

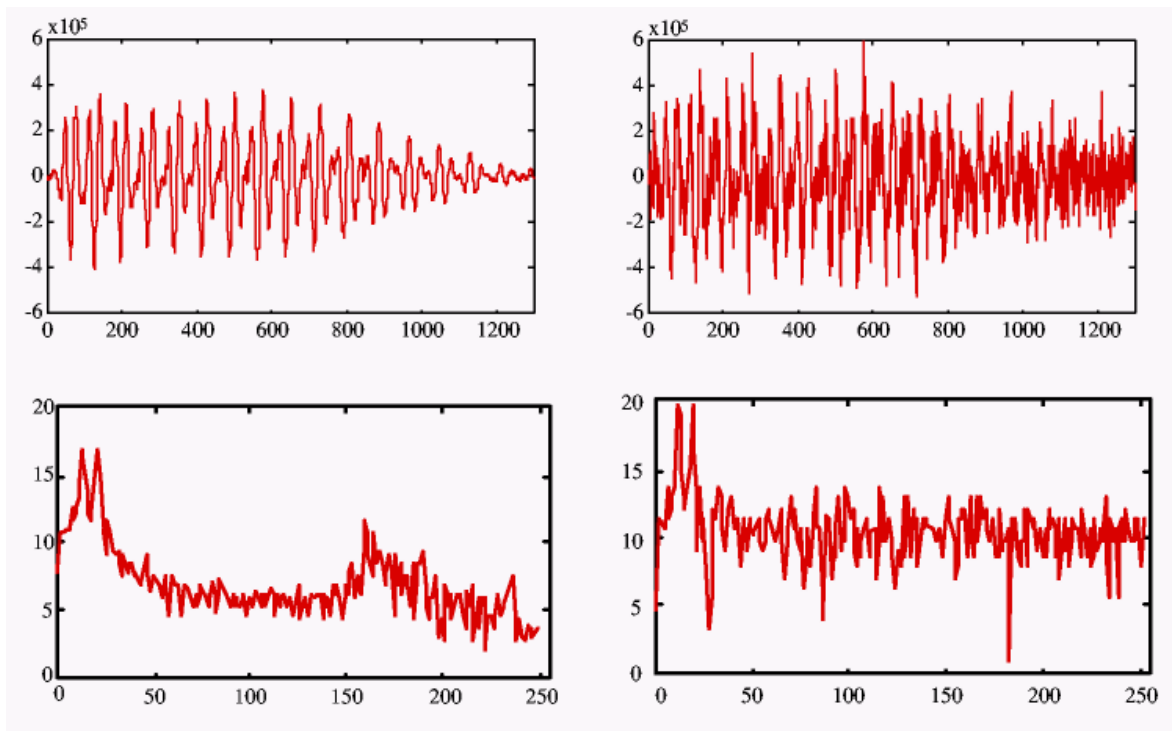


Рис. 3.1. Ілюстрації впливу шуму на сигнал у часі та частотні домени.

У частотній області модель зашумленого сигналу рівняння (3.1) виражається як

$$Y(f) = X(f) + N(f) \quad (3.2)$$

де $Y(f)$, $X(f)$ та $N(f)$ - перетворення Фур'є зашумленого сигналу $y(m)$, вихідного сигналу $x(m)$ та шуму $n(m)$ відповідно, а f - змінна частоти. При спектральному відніманні вхідний сигнал $x(m)$ буферизується і ділиться на сегменти довжиною N зразків. Кожен сегмент виділяється за допомогою вікна Ганнінга або Хеммінга, а потім перетворюється за допомогою дискретного перетворення Фур'є (DFT) в N спектральних зразків. Вікна полегшують наслідки розривів у кінцевих точках кожного сегмента. Віконний сигнал має вигляд:

$$y_w(m) = w(m) y(m) = w(m) [x(m) + n(m)] = x_w(m) + n_w(m) \quad (3.3)$$

Операція вікна може бути виражена в частотній області як

$$Y_w(f) = W(f) * Y(f) = X_w(f) + N_w(f)$$

де оператор $*$ позначає згортку.

На рисунку 3.2 проілюстрована конфігурація блок-схеми методу спектрального віднімання. Рівняння, що описує спектральне віднімання, може бути виражене як

$$|\hat{X}(f)|^b = |Y(f)|^b - \alpha \overline{|N(f)|^b} \quad (3.4)$$

де $|\hat{X}(f)|^b$ - оцінка вихідного спектра сигналу $|X(f)|^b$ і $\overline{|N(f)|^b}$ - усереднені за часом спектри шуму. Передбачається, що шум - це широкомасштабний стаціонарний випадковий процес. Для спектрального віднімання показник $b = 1$, а для спектрального віднімання потужності $b = 2$.

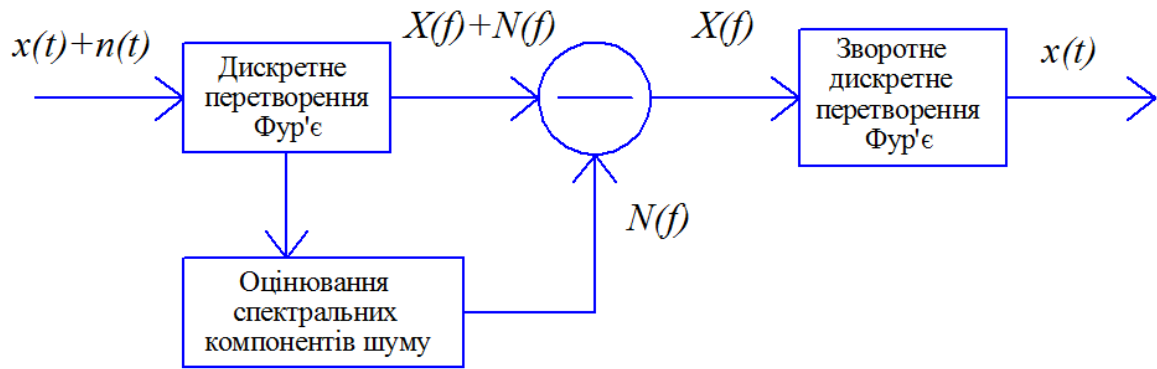


Рис. 3.2 – Ілюстрація блок-схеми спектрального віднімання.

У рівнянні (3.4) контролюється кількість шуму, що віднімається від шумного сигналу. Для повного віднімання шуму $\alpha = 1$ і для надмірного віднімання $\alpha > 1$. Усереднений за часом спектр шуму отримують з періодів, коли сигнал відсутній, і лише шум присутній як

$$\overline{|N(f)|^b} = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} |N_i(f)|^b \quad (3.5)$$

У рівнянні (3.5), $|N_i(f)|$ - спектр i -го шумового кадру, і передбачається, що існує K кадрів у період лише шуму, де K є змінною. Як варіант, усереднений спектр шуму можна отримати як вихід цифрового фільтра низьких частот першого порядку як

$$\overline{|N_i(f)|^b} = \rho \overline{|N_{i-1}(f)|^b} + (1-\rho) |N_i(f)|^b \quad (3.6)$$

де коефіцієнт фільтра низьких частот ρ зазвичай встановлюється між 0,85 і 0,99. Для відновлення сигналу в часовій області, спектр величини оцінки поєднується з фазою зашумленого сигналу, а потім перетворений у часову область за допомогою зворотного дискретного перетворення Фур'є як

$$\hat{x}(m) = \sum_{k=0}^{N-1} |\hat{X}(k)| e^{j\theta_Y(k)} e^{-j\frac{2\pi}{N}km} \quad (3.7)$$

де $\theta_Y(k)$ - фаза частоти зашумленого сигналу $Y(k)$.

Рівняння відновлення сигналу (3.7) базується на припущенні, що звуковий шум в основному обумовлений спотворенням амплітудного спектру, і що фазові спотворення в основному не чутні.

Завдяки варіаціям спектра шуму спектральне віднімання може призвести до негативних оцінок потужності або величини спектру. Цей результат є більш вірогідним, оскільки відношення сигнал/шум (SNR) зменшується. Щоб уникнути негативних оцінок величини, вихід спектрального віднімання обробляється з використанням функції відображення $T[\cdot]$ виду

$$T[|\hat{X}(f)|] = \begin{cases} |\hat{X}(f)| & \text{if } |\hat{X}(f)| > \beta |Y(f)| \\ \text{fn}[|Y(f)|] & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.8)$$

Наприклад, ми можемо вибрати таке правило, що, якщо оцінка $|\hat{X}(f)| > 0.01|Y(f)|$ (у спектрі амплітуди 0,01 еквівалентна -40 дБ) тоді $|\hat{X}(f)|$ слід встановити деяку функцію шумного сигналу $\text{fn}[|Y(f)|]$. У своїй найпростішій формі, $\text{fn}[|Y(f)|] = \text{шумовий рівень}$, де шумовий мінімум - додатна постійна. Альтернативний вибір - $\text{fn}[|Y(f)|] = \beta |Y(f)|$. В цьому випадку,

$$T[|\hat{X}(f)|] = \begin{cases} |\hat{X}(f)| & \text{if } |\hat{X}(f)| > \beta |Y(f)| \\ \beta |Y(f)| & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.9)$$

Спектральне віднімання може бути здійснено в спектральних областях потужності або амплітуди. Ці два методи схожі, хоча теоретично вони призводять до дещо різної очікуваної ефективності.

Віднімання спектра потужності або віднімання спектра з квадратичною величиною визначається наступним рівнянням:

$$|\hat{X}(f)|^2 = |Y(f)|^2 - \overline{|N(f)|^2} \quad (3.10)$$

де передбачається, що α , коефіцієнт віднімання у рівнянні (11.4), дорівнює одиниці. Позначаємо спектр потужності через $\mathbb{E}[|X(f)|^2]$, усереднений за часом спектр потужності $\overline{|X(f)|^2}$ а миттєвий спектр потужності $|X(f)|^2$. За рахунок розширення миттєвого спектру потужності шумного сигналу $|Y(f)|^2$ рівняння (3.10) може бути переписано як

$$|\hat{X}(f)|^2 = |X(f)|^2 + \underbrace{(|N(f)|^2 - \overline{|N(f)|^2})}_{\text{Noise variations}} + \underbrace{X^*(f)N(f) + X(f)N^*(f)}_{\text{Cross products}} \quad (3.11)$$

Припускаючи, що сигнал і шум є некорельованими ергодичними процесами, ми маємо

$$\mathbb{E}[|\hat{X}(f)|^2] = \mathbb{E}[|X(f)|^2] \quad (3.12)$$

З рівняння (3.12) середнє значення оцінки миттєвого спектру потужності сходиться до спектру потужності безшумного сигналу. Однак слід зазначити, що для нестационарних сигналів, таких як мова, метою є відновлення миттєвого або короткочасного спектру, і може застосовуватися лише відносно невелика кількість усереднення. Занадто велике усереднення розмиє часову еволюцію спектральних подій.

Віднімання спектру амплітуди визначається як

$$|\hat{X}(f)| = |Y(f)| - \overline{|N(f)|} \quad (3.13)$$

де $\overline{|N(f)|}$ - усереднений за часом спектр амплітуд шуму.

Беручи математичне сподівання рівняння (3.13), маємо

$$\begin{aligned} \mathcal{E}[|\hat{X}(f)|] &= \mathcal{E}[|Y(f)|] - \mathcal{E}[\overline{|N(f)|}] \\ &= \mathcal{E}[|X(f)+N(f)|] - \mathcal{E}[\overline{|N(f)|}] \\ &\approx \mathcal{E}[|X(f)|] \end{aligned} \quad (3.14)$$

Для відновлення сигналу оцінка амплітуди поєднується з фазою шумного сигналу, а потім перетворюється у часову область за допомогою рівняння (3.7).

Рівняння спектрального віднімання можна виразити як добуток спектру шумного сигналу та частотної характеристики спектрального фільтра віднімання як

$$\begin{aligned} |\hat{X}(f)|^2 &= |Y(f)|^2 - \overline{|N(f)|^2} \\ &= H(f)|Y(f)|^2 \end{aligned} \quad (3.15)$$

де $H(f)$, частотна характеристика спектрального фільтра віднімання, визначається як

$$\begin{aligned} H(f) &= 1 - \frac{\overline{|N(f)|^2}}{|Y(f)|^2} \\ &= \frac{|Y(f)|^2 - \overline{|N(f)|^2}}{|Y(f)|^2} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Спектральний фільтр віднімання $H(f)$ є нульовим фазовим фільтром, з величиною відклику в діапазоні $0 \leq H(f) \leq 1$. Фільтр діє як SNR-залежний аттенюатор. Затухання на кожній частоті зростає із зменшенням SNR і навпаки зменшується із збільшенням SNR.

Найменшою середньоквадратичною похибкою лінійного фільтра для видалення шуму володіє фільтр Вінера. Впровадження фільтра Вінера вимагає

спектрів потужності (або еквівалентно кореляційних функцій) сигналу та шумового процесу. Спектральні віднімання використовуються як заміна фільтра Вінера, коли спектр потужності сигналу недоступний. Тут обговорюється тісний зв'язок між фільтром Вінера та спектральним відніманням. Для відновлення сигналу, який спостерігається при некорельованому аддитивному шумі, рівняння, що описує частотну характеристику фільтра Вінера:

$$W(f) = \frac{\mathcal{E}[|Y(f)|^2] - \mathcal{E}[|N(f)|^2]}{\mathcal{E}[|Y(f)|^2]} \quad (3.17)$$

Порівняння $W(f)$ та $H(f)$ з рівнянь (3.17) та (3.16) показує, що фільтр Вінера базується на середньому спектрі сигналу та шуму, тоді як спектральний фільтр віднімання використовує миттєві спектри шумного сигналу та усереднені за часом спектри шуму. При спектральному відніманні ми маємо доступ лише до однієї реалізації процесу. Однак, припускаючи, що сигнал і шум є широкомасштабними стаціонарними ергодичними процесами, ми можемо замінити миттєвий шумний спектр сигналів $|Y(f)|^2$ у рівнянні спектрального віднімання (3.18) із усередненим за часом спектром $\overline{|Y(f)|^2}$, отримати

$$H(f) = \frac{\overline{|Y(f)|^2} - \overline{|N(f)|^2}}{\overline{|Y(f)|^2}} \quad (3.18)$$

Для ергодичного процесу із збільшенням тривалості часу, за який усереднюються сигнали, усереднений за часом спектр наближається до усередненого за ансамблем спектру, а в обмеженні спектральний фільтр віднімання рівняння (3.18) наближається до рівняння фільтра Вінера (3.17). На практиці багато сигналів, таких як мова та музика, є нестаціонарними, і можна

очікувати лише обмеженого ступеня вигідного усереднення часу спектральних параметрів.

3.1.2 Обробка спотворень

Основною проблемою спектрального віднімання є нелінійні спотворення, спричинені випадковими варіаціями спектра шуму. З рівняння (3.11) та обмеження, що спектр амплітуд повинен мати невід'ємне значення, ми можемо ідентифікувати три джерела спотворень миттєвої оцінки величини або спектру потужності як:

- (a) варіації миттєвого спектра потужності шуму;
- (b) терміни взаємозв'язку сигналу та шуму;
- (c) нелінійне відображення спектральних оцінок, що падають нижче за поріг.

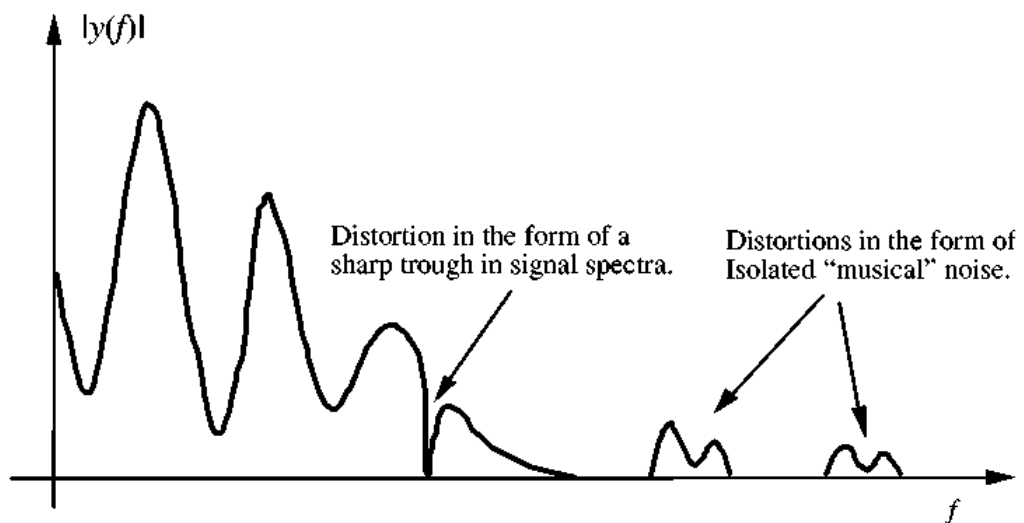


Рис. 3.3. Ілюстрація спотворень, які можуть виникнути внаслідок спектрального віднімання

Однакові джерела спотворень проявляються як у величині, так і в методах віднімання спектру потужності. З трьох перерахованих джерел спотворень вище, домінантне спотворення часто зумовлене нелінійним відображенням негативних або дрібнозначних спектральних оцінок. Це спотворення утворює металевий звуковий шум, відомий як "музичний звуковий шум" через їх вузькосмуговий спектр і подібний до олова звук. Успіх спектрального

віднімання залежить від здатності алгоритму зменшити коливання шуму та усунути спотворення при обробці. У гіршому, і не рідкісному випадку залишковий шум може мати наступні дві форми:

- (a) різкий прогін або пік в спектрах сигналу;
- (b) ізольовані вузькі смуги частот.

В околицях частоти сигналу з високою амплітудою або піком, що спричинений шумом, часто маскується та робиться нечутною за допомогою енергії високого сигналу. Основною причиною звукової деградації є ізольовані частотні компоненти, також відомі як музичні тони або музичний шум, показані на рисунку 3.3. Музичний шум характеризується як короточасні вузькі смуги частот, оточені частотними компонентами відносно низького рівня. При відновленні звукового сигналу спотворення, спричинені спектральним відніманням, можуть призвести до значного погіршення якості сигналу. Це особливо вірно при низькому відношенні сигнал/шум. Наслідки поганої реалізації алгоритму віднімання можуть призвести до отримання сигналу нижчої якості сприйняття та нижчого інформаційного вмісту, ніж вихідний шумний сигнал.

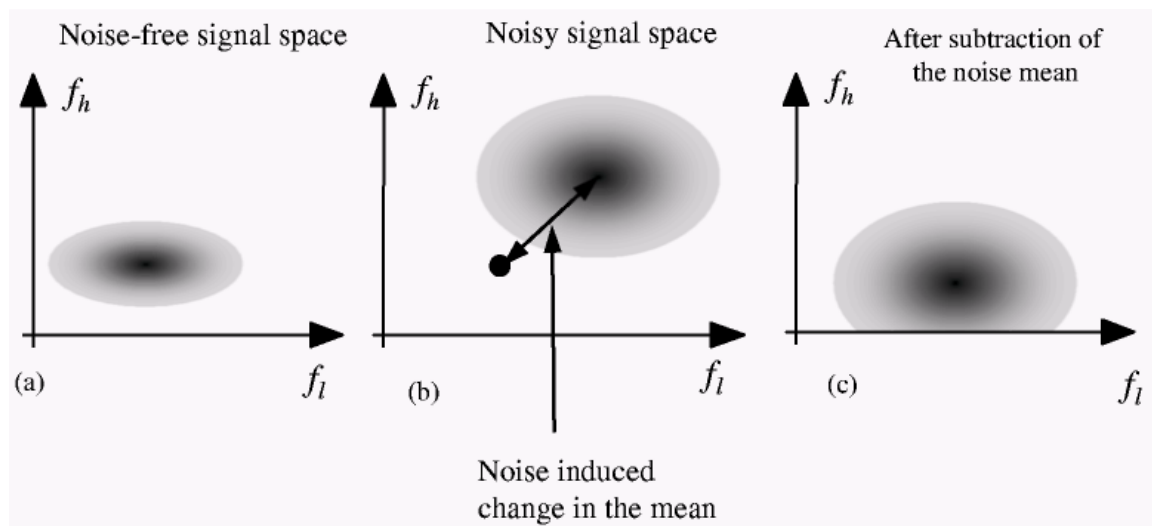


Рис. 3.4. Ілюстрація спотворюючого ефекту спектрального віднімання на просторі спектру величини сигналу

На рисунку 3.4 показано ілюстрацію спотворюючого ефекту спектрального віднімання на розподіл спектру величини сигналу. На цьому рисунку ми

розглянули простий випадок, коли спектр сигналу розділений на дві частини; низькочастотний діапазон f_l і високочастотний діапазон f_h . Кожна точка на рисунку 3.4 є графіком високочастотного спектра порівняно з низькочастотним спектром у двовимірному просторі сигналів. На рис. 3.4 (а) показано передбачуваний розподіл спектральних зразків сигналу в двовимірному просторі величини та частоти. Ефект випадкового шуму, показаний на рис. 3.4 (b), полягає у збільшенні середнього значення та дисперсії спектру на величину, яка залежить від середньої величини та дисперсії спектру величини шуму. Збільшення дисперсії становить безповоротне спотворення. Збільшення середньої величини спектра магнітуди можна усунути за допомогою спектрального віднімання. Рис. 3.4 (c) ілюструє спотворюючий ефект спектрального віднімання на розподіл спектра сигналу. Як показано, внаслідок індукованого шумом збільшення дисперсії спектру сигналу, після віднімання середнього спектра шуму, частина сукупності сигналів, особливо тих, що мають низький SNR, стає негативною і повинна бути відображена на не-негативні значення. Як показано, цей процес спотворює розподіл частини спектра сигналу з низьким SNR.

Спотворення, що виникають внаслідок спектрального віднімання, зумовлені варіаціями спектру шуму. Розглянуто методи зменшення дисперсії оцінки спектру потужності. Для процесу білого шуму з дисперсією можна показати, що дисперсія спектру DFT становить шум $N(f)$ задається як

$$\text{Var}[|N(f)|^2] \approx P_{NN}^2(f) = \sigma_n^4 \quad (3.19)$$

а дисперсія середнього значення K незалежних спектральних компонентів становить

$$\text{Var} \left[\frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} |N_i(f)|^2 \right] \approx \frac{1}{K} P_{NN}^2(f) \approx \frac{1}{K} \sigma_n^4 \quad (3.20)$$

З рівняння (3.20) варіації шуму можна зменшити за рахунок усереднення часу складових частоти шумних сигналів. Принципове обмеження полягає в тому, що процес усереднення, крім зменшення дисперсії шуму, також має небажаний ефект розмиття та розмиття часових змін спектру сигналу. Тому процес усереднення повинен відображати компроміс між суперечливими вимогами зменшення дисперсії шуму та збереження часового дозволу нестационарних спектральних подій. Це важливо, оскільки роздільна здатність часу відіграє важливу роль як у якості, так і в зрозумілості звукових сигналів.

При спектральному відніманні шумний сигнал $y(m)$ сегментується на блоки з N зразків. Потім кожен сигнальний блок перетворюється за допомогою DFT в блок із N спектральних зразків $Y(f)$. Послідовні блоки спектральних зразків утворюють двовимірну частотно-часову матрицю, позначену $Y(f,t)$, де змінна t є індексом сегмента i позначає часову розмірність. Сигнал $Y(f,t)$ можна розглядати як смуговий канал f , який містить змінний у часі сигнал $X(f,t)$ плюс випадкову складову шуму $N(f,t)$. Одним із методів зменшення коливань шуму є фільтр низьких частот спектру величини на кожній частоті. Простий рекурсивний цифровий фільтр низьких частот першого порядку задається як

$$|Y_{LP}(f,t)| = \rho |Y_{LP}(f,t-1)| + (1-\rho) |Y(f,t)| \quad (3.21)$$

де нижній індекс LP позначає вихід фільтра низьких частот, а коефіцієнт згладжування ρ контролює смугу пропускання та постійну часу фільтра низьких частот.

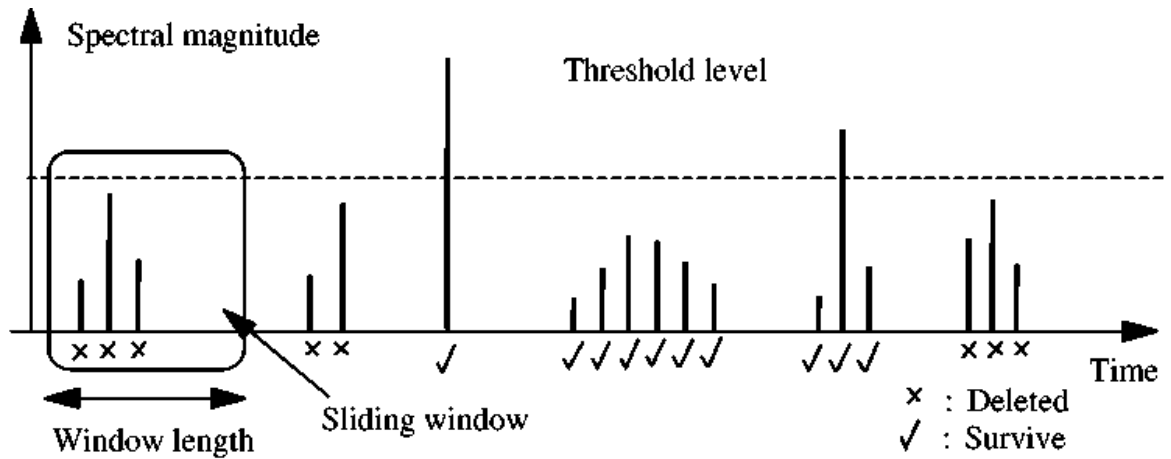


Рис. 3.5. Ілюстрація методу ідентифікації та фільтрації "музичного шуму"

Аудіосигнали, такі як мова та музика, складаються з послідовностей нестационарних акустичних подій. Акустичні події "народжуються", мають різний час життя, зникають, а потім знову з'являються з різною інтенсивністю та спектральним складом. Різний характер звукових сигналів відіграє важливу роль у передачі інформації, відчуття та якості. Музичний звуковий шум, введений як небажаний побічний продукт спектрального віднімання, також змінюється в часі. Однак існують значні відмінності між характеристиками більшості звукових сигналів і так званими музичними шумами. Характерні відмінності можуть бути використані для виявлення та усунення деяких найбільш дратівливих спотворень. Ідентифікація музичного шуму може бути досягнута шляхом вивчення варіацій сигналу в часовій та частотній областях. Основними характеристиками музичного шуму є те, що він має тенденцію бути відносно короткочасними випадковими ізольованими сплесками вузькосмугових сигналів з відносно малими амплітудами.

Використовуючи розмір блоку DFT 128 зразків, при частоті дискретизації 20 кГц, експерименти показують, що переважна більшість музичних шумів, як правило, триває не більше трьох кадрів, тоді як справжні частоти сигналів мають значно більшу тривалість. Це спостереження було покладено в основу ефективної системи придушення "музичного шуму". На 3.5 показано спосіб ідентифікації музичного шуму. Кожен канал DFT досліджується для виявлення короткочасних частотних подій. Якщо частотна складова має тривалість, меншу

за заздалегідь вибране часове вікно, і амплітуду меншу за порогову, і не маскується сигнальними компонентами в сусідніх частотних бункерах, тоді вона класифікується як спотворення та видаляється.

3.1.3 Нелінійне спектральне віднімання

Використання спектрального віднімання у базовій формі рівняння (3.4) може спричинити погіршення якості та інформаційного змісту сигналу. Наприклад, при відновленні звукового сигналу музичний шум може спричинити погіршення сприйнятої якості сигналу, а при розпізнаванні мови основне спектральне віднімання може призвести до погіршення точності розпізнавання. У літературі існує ряд варіантів спектрального віднімання, які мають на меті забезпечити постійне поліпшення продуктивності в ряді SNR. Ці методи відрізняються підходом до оцінки спектру шуму, методом усереднення спектру шумних сигналів та методом подальшої обробки для усунення спотворень обробки. Методи нелінійного спектрального віднімання - це евристичні методи, що використовують оцінки локального SNR, і спостереження, що при низькому SNR надмірне віднімання може дати кращі результати. Для пояснення поліпшення, яке може бути результатом надмірного віднімання, розглянемо такий вираз основного рівняння спектрального віднімання:

$$\begin{aligned}
 |\hat{X}(f)| &= |Y(f)| - \overline{|N(f)|} \\
 &\approx |X(f)| + |N(f)| - \overline{|N(f)|} \\
 &\approx |X(f)| + V_N(f)
 \end{aligned}
 \tag{3.22}$$

де $V_N(f)$ - нульова середня випадкова складова спектра шуму. Якщо $V_N(f)$ значно перевищує сигнал $X(f)$, тоді сигнал можна вважати втраченим через шум. У цьому випадку надмірне віднімання з подальшою нелінійною обробкою негативних оцінок призводить до вищого загального ослаблення шуму. Цей аргумент пояснює, чому віднімання більше, ніж середнє значення шуму, іноді може дати кращі результати. Нелінійні варіанти спектрального віднімання можуть бути описані наступним рівнянням:

$$|\hat{X}(f)| = |Y(f)| - \alpha(\text{SNR}(f)) \overline{|N(f)|}_{NL} \quad (3.23)$$

де $\alpha(\text{SNR}(f))$ - коефіцієнт віднімання, залежний від SNR, та $\overline{|N(f)|}_{NL}$ - нелінійна оцінка спектра шуму. Спектральна оцінка додатково обробляється, щоб уникнути негативних оцінок як

$$|\hat{X}(f)| = \begin{cases} |\hat{X}(f)| & \text{if } |\hat{X}(f)| > |\beta Y(f)| \\ |\beta Y(f)| & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.24)$$

Одна форма коефіцієнта віднімання, залежного від SNR, для рівняння (3.23) задана формулою

$$\alpha(\text{SNR}(f)) = 1 + \frac{sd(|N(f)|)}{|N(f)|} \quad (3.25)$$

де функція $sd(|N(f)|)$ - стандартне відхилення шуму на частоті f . Для білого шуму $sd(|N(f)|) = \sigma_n$, де σ_n - дисперсія шуму. Заміна рівняння (3.25) у Рівняння (3.23) дає

$$|\hat{X}(f)| = |Y(f)| - \left[1 + \frac{sd(|N(f)|)}{|N(f)|} \right] \overline{|N(f)|} \quad (3.26)$$

У рівнянні (3.26) коефіцієнт віднімання залежить від середнього значення та дисперсії шуму. Зверніть увагу, що величина, яка надто віднімається, є стандартним відхиленням шуму. Ця евристична формула приваблює тим, що в одній крайності для детермінованого шуму з нульовою дисперсією, наприклад, синусоїда, $\alpha(\text{SNR}(f)) = 1$, а в іншій крайності для білого шуму $\alpha(\text{SNR}(f)) = 2$. Застосовуючи спектральне віднімання до

розпізнавання мови, виявляється, що найкращий коефіцієнт віднімання зазвичай становить від 1 до 2.

У методі нелінійного спектрального віднімання Локвуда та Буді фільтр спектрального віднімання отримують із

$$H(f) = \frac{\overline{|Y(f)|^2} - \overline{|N(f)|^2}_{NL}}{\overline{|Y(f)|^2}} \quad (3.27)$$

Локвуд і Буді запропонували наступну функцію як нелінійну оцінку спектра шуму:

$$\overline{|N(f)|^2}_{NL} = \Phi \left(\max_{\text{over } M \text{ frames}} (|N(f)|^2), SNR(f), \overline{|N(f)|^2} \right) \quad (3.28)$$

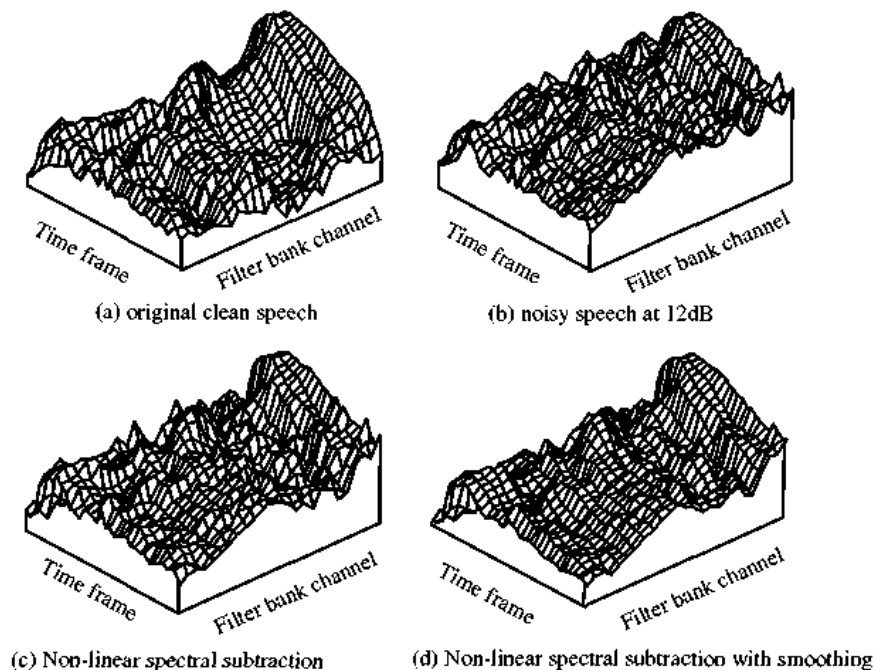


Рис. 3.6. Ілюстрація ефектів нелінійного спектрального віднімання

Оцінка спектра шуму є функцією максимального значення спектра шуму в M кадрах і відношення сигнал/шум. Один вигляд для нелінійної функції $\Phi(\bullet)$ задається наступним рівнянням:

$$\Phi \left(\max_{\text{over } M \text{ frames}} (|N(f)|^2), SNR(f) \right) = \frac{\max_{\text{Over } M \text{ frames}} (|N(f)|^2)}{1 + \gamma SNR(f)} \quad (3.29)$$

де γ - проектний параметр. З рівняння (3.29), коли SNR зменшується, вихід нелінійного оцінювача $\Phi(\bullet)$ наближається до $\max (|N(f)|^2)$, а зі збільшенням SNR наближається до нуля. Для надмірного віднімання оцінка шуму змушена бути надмірною, використовуючи наступну обмежувальну функцію:

$$\overline{|N(f)|^2} \leq \Phi \left(\max_{\text{over } M \text{ frames}} (|N(f)|^2), SNR(f), \overline{|N(f)|^2} \right) \leq 3 \overline{|N(f)|^2} \quad (3.30)$$

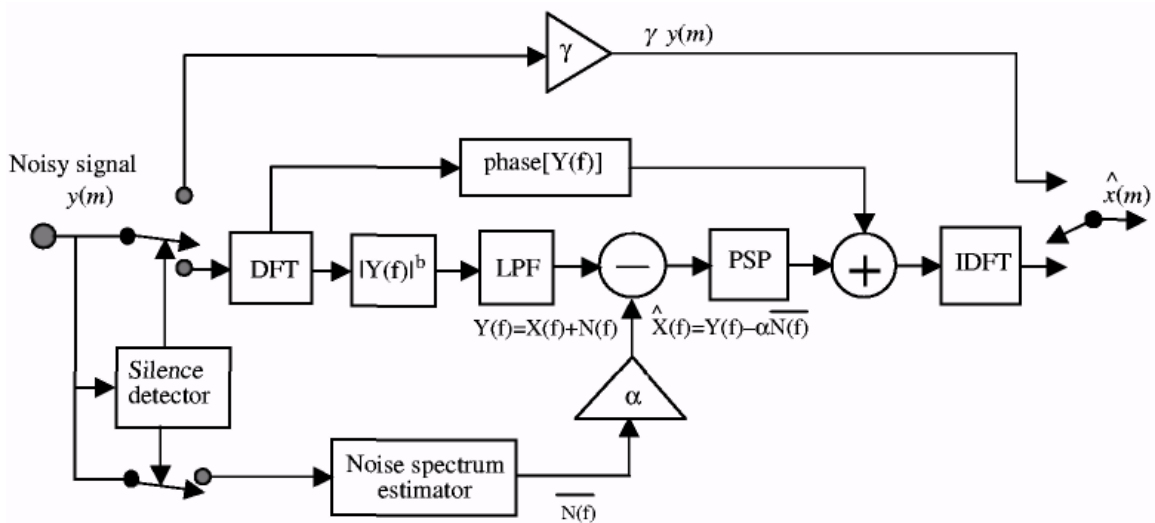


Рис. 3.7. Конфігурація блок-схеми спектральної системи віднімання.

PSP = обробка після спектрального віднімання

Максимальне ослаблення спектрального фільтра віднімання обмежується $N(f) \geq \beta$, де зазвичай нижня межа $\beta \geq 0,01$. Вінерівськогонек 3.5 ілюструє ефекти нелінійного спектрального віднімання та згладжування при відновленні спектру мовного сигналу.

3.1.4 Здійснення спектрального віднімання

Вінерівськогонік 3.7 (блок-схема ілюстрації спектральної системи віднімання) включає такі підсистеми:

(а) детектор тиші для виявлення періодів бездіяльності сигналу; в ці періоди оновлюються спектри шуму;

(б) дискретний трансформатор Фур'є (DFT) для перетворення часу сигнал домену до частотної області; за DFT слідує оператор величини;

(с) фільтр низьких частот (ФНЧ) для зменшення дисперсії шуму; ціль ФНЧ полягає у зменшенні спотворень обробки через шум варіації;

(d) постпроцесор для усунення спотворень обробки, введених шляхом спектрального віднімання;

(е) зворотне дискретне перетворення Фур'є (IDFT) для перетворення оброблений сигнал до часової області. Атенюатор γ для ослаблення шуму під час тихих періодів.

Спектральне віднімання на основі DFT - це алгоритм блокової обробки. Вхідний аудіосигнал буферизується і розділяється на блоки, що перекриваються, з N зразків, як показано на вінерівськогонку 3.7. Кожен блок піддається віконню Хеннінга (або Хеммінга), а потім перетворюється через DFT в частотну область. Після спектрального віднімання спектр величин поєднується з фазою шумного сигналу і перетворюється назад у часову область. Потім кожен блок сигналу перекривається і додається до попереднього та наступного блоків, щоб сформувати кінцевий вихід.

Вибір довжини блоку для спектрального аналізу є компромісом між суперечливими вимогами часового дозволу та спектрального дозволу. Зазвичай використовується блок довжиною 5-50 мілісекунд. При частоті дискретизації, скажімо, 20 кГц, це означає значення N у діапазоні 100-1000 зразків. Частотна роздільна здатність спектра прямо пропорційна кількості зразків, N . Більше значення N дає кращу оцінку спектру. Це особливо справедливо для нижньої частини частотного спектру, оскільки низькочастотні компоненти повільно змінюються з часом і потребують більшого вікна для стабільної оцінки. Суперечлива вимога полягає в тому, що внаслідок нестационарного характеру

звукових сигналів довжина вікна не повинна бути занадто великою, щоб короткочасні події не були затемнені.

Основною функцією вікна та операцій з накладанням (рис. 3.8) є зменшення розривів у кінцевих точках кожного вихідного блоку. Хоча існує ряд корисних вікон з різними частотно-часовими характеристиками, у більшості реалізацій спектрального віднімання використовується вікно Ханнінга. Для усунення спотворень, спричинених спектральним відніманням, алгоритм постпроцесора використовує таку інформацію, як кореляція кожного частотного каналу від одного блоку до наступного, тривалість подій сигналу та спотворень.

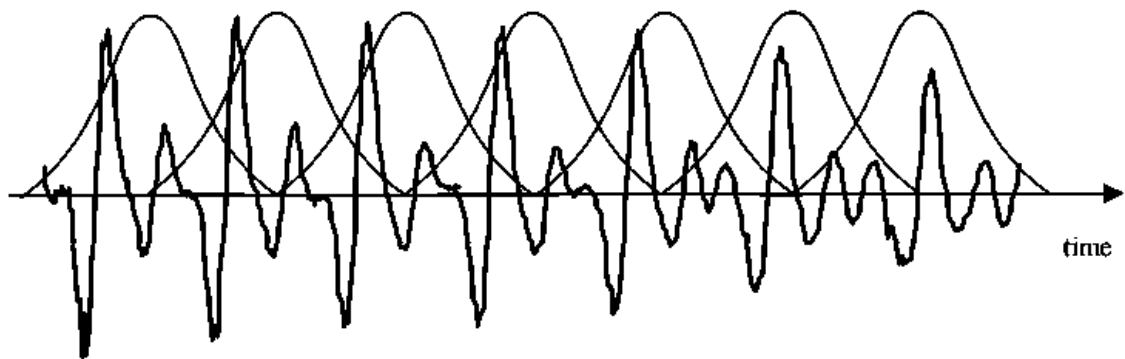


Рис. 3.8. Ілюстрація процесу вікна та перекриття при спектральному відніманні.

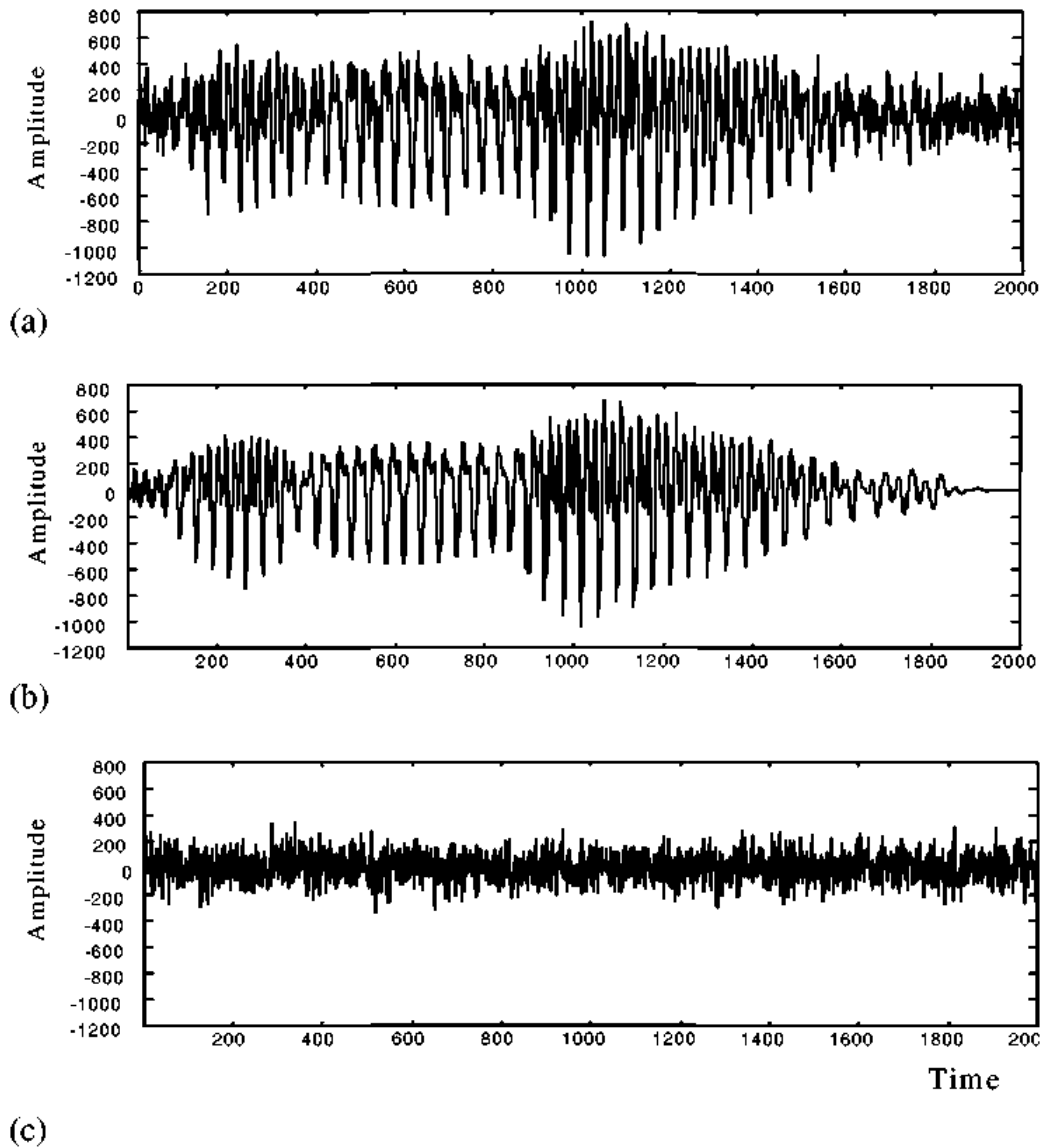


Рис. 3.9. (a) Шумний сигнал. (b) Відновлений сигнал після спектрального віднімання, (c) Оцінка шуму, отримана відніманням (b) з (a).

Кореляція спектральних компонентів сигналу, вздовж часової розмірності, може бути частково контрольована вибором довжини вікна та перекриття. Кореляція спектральних компонентів у часовій області зростає із зменшенням довжини вікна та збільшенням перекриття. Однак збільшення накладання може також збільшити кореляцію частот шуму за часовим виміром.

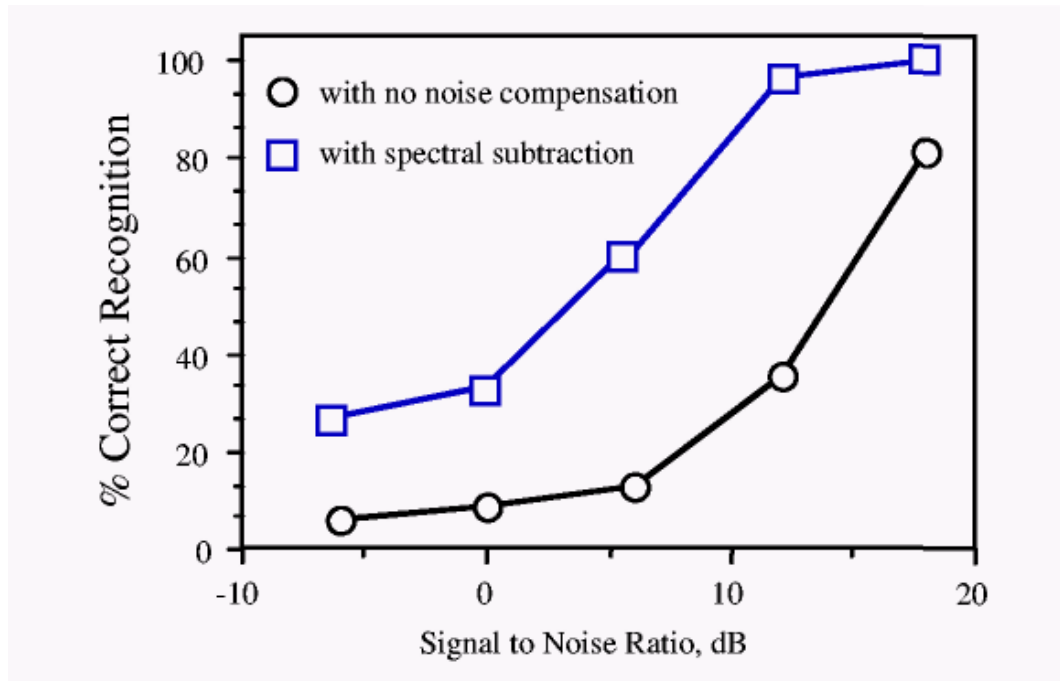


Рис. 3.10. Вплив спектрального віднімання на покращення розпізнавання мови (для бази даних вимовленої цифри) за наявності шуму

При відновленні мови метою є оцінка миттєвого спектру сигналу $X(f)$. Спектр відновленої величини поєднується з фазою шумного сигналу для формування відновленого мовного сигналу. На відміну від них, системи розпізнавання мови більше займаються відновленням оболонки короткочасного спектру, ніж детальною структурою спектру. Середні значення, такі як огинаюча спектру, часто можна оцінити з більшою точністю, ніж миттєві значення. Однак при розпізнаванні мови, як і при відновленні сигналу, спотворення обробки через негативні спектральні оцінки може спричинити значне погіршення продуктивності. Ретельне здійснення спектрального віднімання може призвести до значного поліпшення характеристик розпізнавання. Вінерівськогон 3.9 ілюструє ефекти спектрального віднімання при відновленні ділянки мовного сигналу, забрудненого білим шумом. Вінерівськогон 3.10 ілюструє поліпшення, яке можна отримати від застосування спектрального віднімання для розпізнавання галасливої мови, забрудненої шумом вертольота. Результати розпізнавання були отримані для прихованого розпізнавання розмовних цифр на основі моделі Маркова.

3.2 Експериментальне моделювання адаптивної фільтрації

3.2.1 Фільтрація за критерієм найменшої середньоквадратичної помилки (LMS - least mean square error)

Алгоритм фільтрації за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки (СКП) описується наступними співвідношеннями [2]:

$$y(n) = \mathbf{w}^T(n-1)\mathbf{u}(n), \quad (3.31)$$

$$e(n) = d(n) - y(n), \quad (3.32)$$

$$\mathbf{w}(n) = \mathbf{w}(n-1) + \mu e(n)\mathbf{u}^*(n), \quad (3.33)$$

де n - номер поточного часового відліку;

$\mathbf{u}(n)$ - вектор відліків опорного шуму на кроці n ;

$\mathbf{u}^*(n)$ - вектор, комплексно пов'язаний по відношенню до вектора $\mathbf{u}(n)$;

$\mathbf{w}(n)$ - вектор оцінки вагових коефіцієнтів фільтра на кроці n ;

$y(n)$ - вихідний сигнал фільтра на кроці n ;

$e(n)$ - сигнал помилки на етапі n ;

$d(n)$ - взірцевий сигнал на кроці n ;

μ - величина кроку адаптації.

Уже в самій назві алгоритму зазначено, що тут також має місце вінерівська фільтрація. Зауважимо також, що параметри вінерівського фільтра змінюються в часі. Однак тепер, на відміну від розглянутих раніше випадків, завданням вінерівського фільтра є не виділення сигналу, а виділення перешкоди! Таким чином, в адаптивному фільтрі вінерівський фільтр грає важливу, але допоміжну роль. Придушення ж перешкоди відбувається на наступному етапі обробки - при відніманні (складання в протифазі) виділеної перешкоди з суміші «сигнал + перешкода».

Наведемо демонстраційний приклад застосування адаптивного фільтра для придушення шумової перешкоди (рис.3.11 і 3.12).

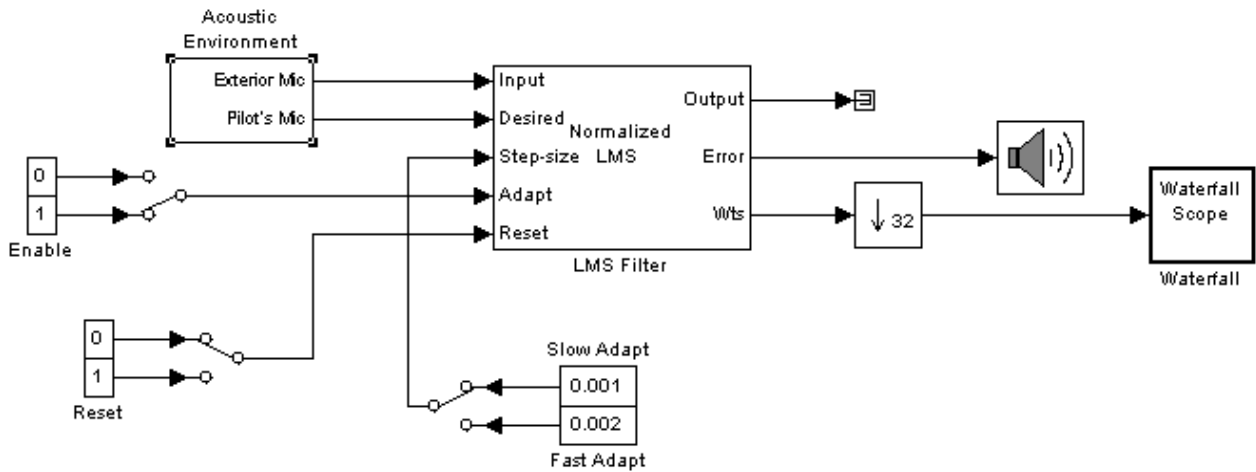


Рис.3.11. Simulink-модель адаптивного фільтра в завданні шумозаглушення

Центральним блоком схеми рис.3.11 є блок Normalized LMS - в цьому блоці реалізовані і цифровий фільтр зі змінними параметрами, і алгоритм адаптації, і операція віднімання. Приставка Normalized означає, що адаптація вагових коефіцієнтів відбувається не за виразом (3.33), а за правилом (3.33a):

$$\mathbf{w}(n) = \mathbf{w}(n-1) + \mu e(n) \frac{\mathbf{u}^*(n)}{\alpha + \mathbf{u}^H(n)\mathbf{u}(n)}, \quad (3.33a)$$

де символ \mathbf{H} позначає операцію ермітового транспонування, що відрізняється від звичайного транспонування тим, що вектор піддається ще й комплексному сполученню; α - мала позитивна константа (порядку 10^{-8} при одинарній точності обчислень і 10^{-16} - при подвійній точності), що додається для підстраховки від випадку «поділ на нуль».

Параметри керованого фільтра змінюються в часі. Якщо ці параметри змінюються «правильно», то шум, що виділяється фільтром, все краще компенсує перешкоду в суміші «сигнал + шум», так що після достатнього часу «сигнал помилки» Error на виході адаптивного фільтра повинен містити практично чистий мовний сигнал.

Співвідношення (3.31) описує, в векторній формі, цифрові фільтрації опорного шуму $\mathbf{u}(n)$. Співвідношення (3.32) описує процедуру вирахування фільтрованого шуму $y(n)$ з зразкового сигналу $d(n)$ - в результаті утворюється

вихідний сигнал помилки $e(n)$, який представляє собою кінцевий результат роботи адаптивного фільтра. Співвідношення (3) описує процедуру зміни в часі (адаптації) вагових коефіцієнтів фільтра.

Зміст блоку Acoustic Environment (акустичне середовище) показано на рис.3.12.

З рис.3.12 випливає, що блок Acoustic Environment призначений для моделювання двох вхідних сигналів адаптивного фільтра Normalized LMS. На вхід Input (Exterior Mic) подається білий гаусівський шум («опорний» шум), а на вхід Desired (Pilot's Mic) подається суміш мовного сигналу з пофарбованим шумом.

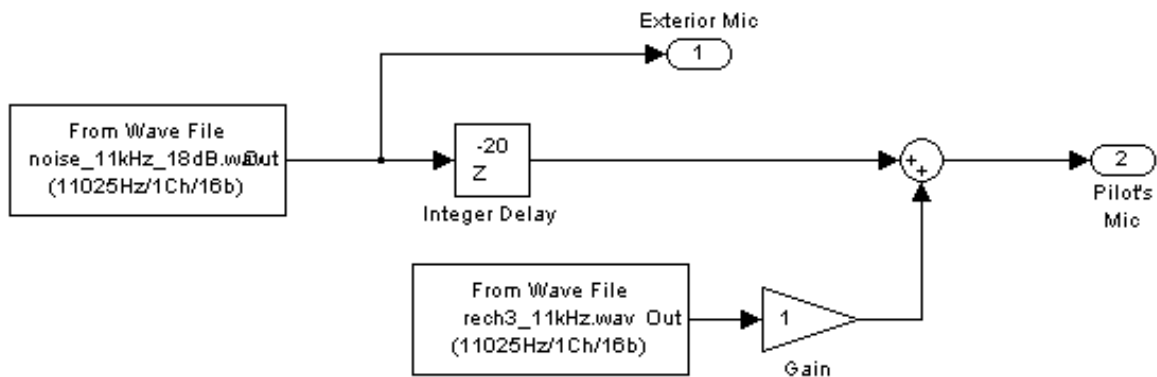


Рис.3.12. Зміст блоку Acoustic Environment

Графіки вхідних і вихідних сигналів адаптивного фільтра показані на рис.3.13-3.15.

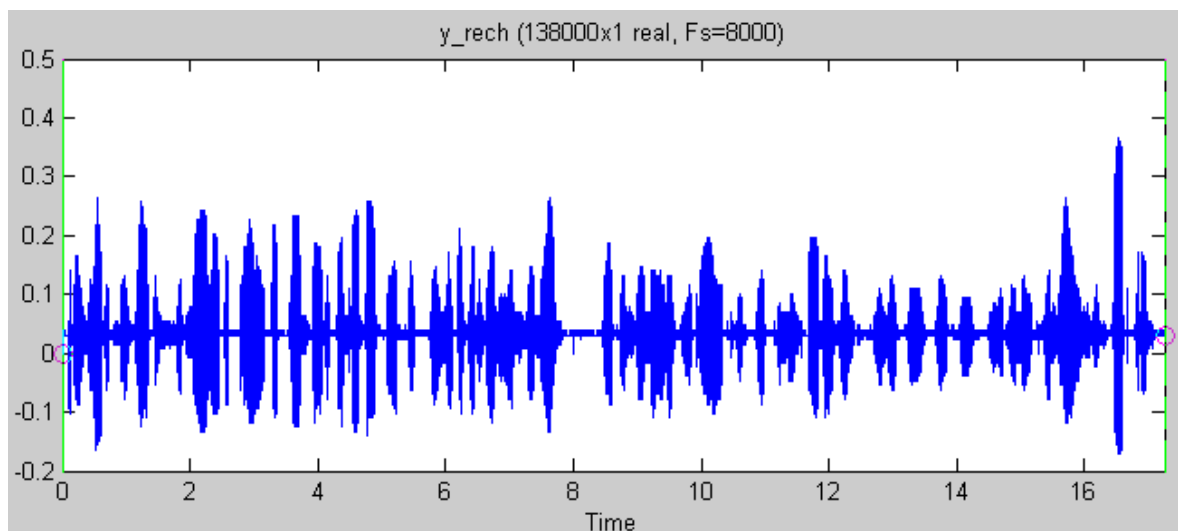


Рис.3.13. Відрізок незашумленим мовного сигналу

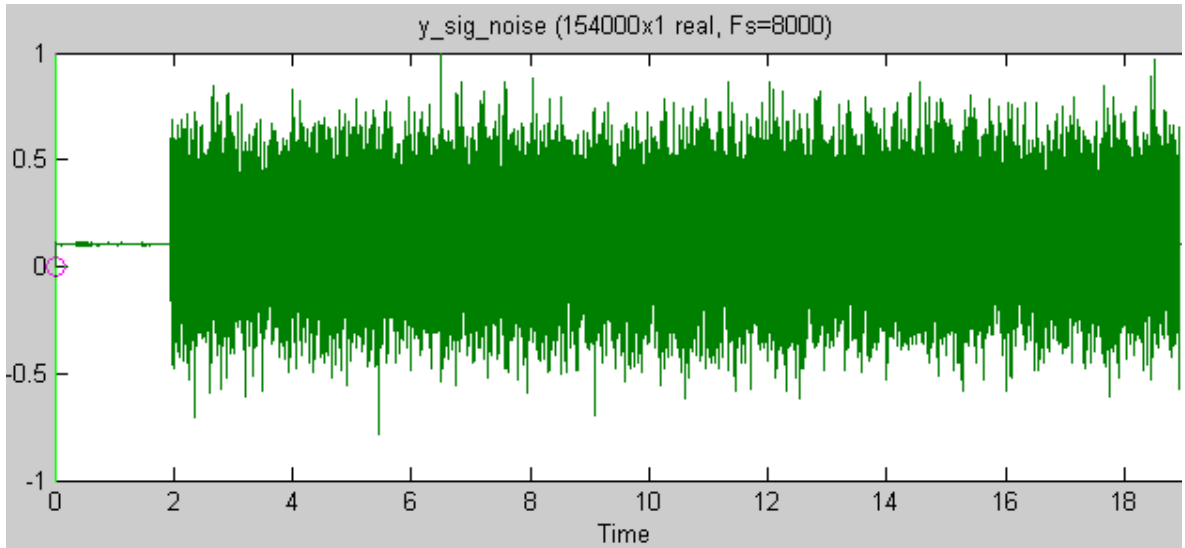


Рис.3.14. Відрізок зашумленого мовного сигналу

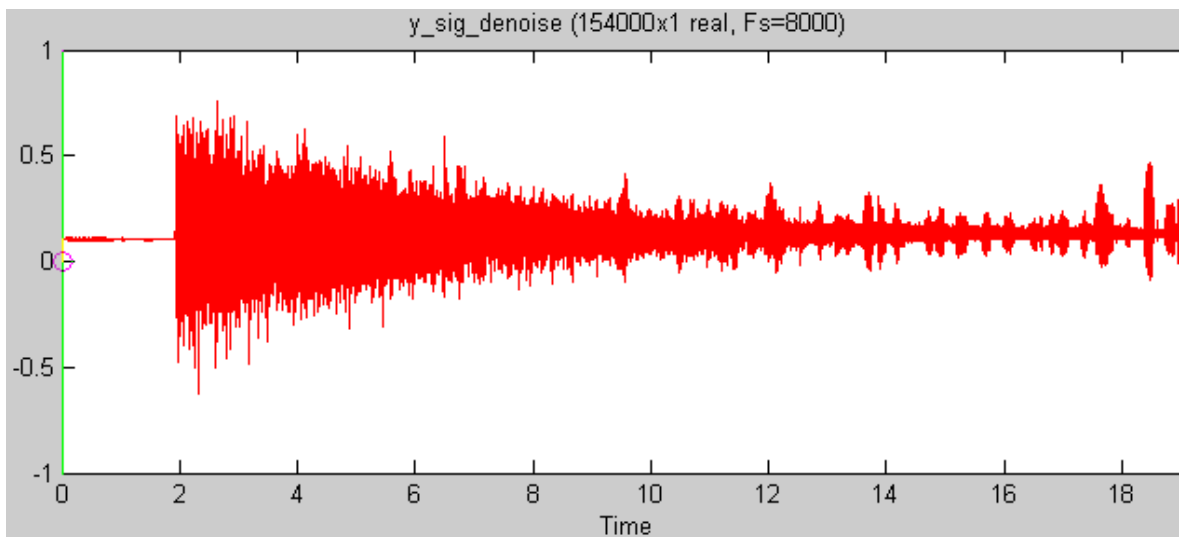


Рис.3.15. Відрізок сигналу на виході адаптивного фільтра

Порівнюючи рис.3.13-3.15, неважко помітити позитивний ефект роботи адаптивного фільтра. Ще більш очевидний позитивний ефект при сприйнятті результатів фільтрації на слух.

Для експериментальних досліджень були взяті показані на рис.3.11. Simulink-модель адаптивного фільтра в завданні шумозаглушення, а також тестовий сигнал `rech3_11kHz`, що маскується шумовою перешкодою (гаусівський білий шум) з відношенням сигнал-шум 0, -6, -12, -18 дБ.

Якісний (на слух) аналіз результатів адаптивної фільтрації свідчить про практично повне придушення шумової перешкоди, що дозволяє зробити висновок про принципову перевагу адаптивної фільтрації над «класичною» вінерівською фільтрацією.

Слово «класичною» взято в лапки тому, що, взагалі кажучи, оптимальна вінерівська фільтрація застосовується і в адаптивній фільтрації - зовні це проявляється хоча б у назві методу LMS (метод найменшої середньоквадратичної помилки). Однак є два принципових моменти, завдяки яким адаптивна фільтрація настільки ефективна:

- 1) із суміші сигнал + шум оптимальним чином виділяється не сигнал, а шум;
- 2) придушення шуму здійснюється відніманням виділеного шуму з суміші.

При такому підході, очевидно, з'являється можливість врахувати не тільки енергетичні, а й фазові властивості перешкоди. В результаті метод адаптивної фільтрації реалізує, по суті, добре відому ідею компенсації перешкоди шляхом складання її в протифазі з сумішшю сигналу з перешкодою.

3.3 Висновки до розділу 3

В розділі проведено опис спектрального віднімання та його відношення до фільтрів Вінера. Основною привабливістю спектрального віднімання є відносна простота, оскільки вона вимагає лише оцінки спектра потужності шуму. Однак це також можна розглядати як основне обмеження, оскільки спектральне віднімання не використовує статистику та розподіл сигнального процесу. Основною проблемою спектрального віднімання є наявність спотворень обробки, спричинених випадковими варіаціями шуму. Оцінки спектральних змінних величини та потужності, які внаслідок коливань шуму є негативними, повинні бути відображені у невід'ємні значення. Розглянуто спотворення обробки та проілюстрували ефекти виправлення негативних оцінок на розподіл

спектру сигналу. Розглянуто ряд нелінійних варіантів методу спектрального віднімання.

Встановлено, що адаптивна фільтрація значно ефективніша за «класичну» вінерівську фільтрацію, дозволяючи практично повністю подавити заваду навіть при співвідношеннях сигнал-шум -18 дБ. Причина такої високої ефективності адаптивної фільтрації обумовлена урахуванням не тільки спектральних властивостей сигналу і шуму, але і фазових властивостей шуму, з подальшим складанням, в протифазі, виділеного шуму з сумішшю сигналу з шумом.

Умовою високої ефективності адаптивної фільтрації є наявність інформації про шум - з цією метою повинен існувати, крім основного датчика, що приймає суміш сигналу з шумом, ще й додатковий датчик, який сприймає чистий шум, корельований з шумовою маскуючою перешкодою.

В середовищі Matlab проведено моделювання системи адаптивної фільтрації (з використанням спектрального віднімання) в пристроях шумоподавлення мовних сигналів. На основі якісного оцінювання результатів відзначено високу в порівнянні із іншими методами якість відфільтрованих сигналів.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці (СУОП). Забезпечення функціонування та побудова СУОП в організації. Положення про СУОП, структура та зміст його розділів.

В Україні функціонує багаторівнева СУОП, функціональними ланками якої є відповідні структури державної законодавчої і виконавчої влади різних рівнів, управлінські структури підприємств і організацій, трудових колективів.

Залежно від спрямування вирішуваних завдань всі ланки СУОП можна розділити на дві групи:

- ланки, що забезпечують вирішення законодавчо-нормативних, науково-технічних, соціально-економічних та інших загальних питань охорони праці;
- ланки, до функціональних обов'язків яких входить забезпечення безпеки праці в умовах конкретних організацій, підприємств.

До першої групи належать органи державної законодавчої ініціативи та органи державного управління охороною праці:

- Верховна Рада України;
- Кабінет Міністрів України;
- Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України (Держгірпромнагляд України);
- міністерства та інші центральні органи державної виконавчої влади;
- Фонд соціального страхування від нещасних випадків і профзахворювань;
- місцева державна адміністрація, органи місцевого самоврядування.

Верховна Рада України зі своєї ініціативи у взаємодії з відповідними структурами державної виконавчої влади визначає державну політику в сфері охорони праці, вирішує питання щодо удосконалення і розвитку законодавчої бази охорони праці, соціальні питання, пов'язані зі станом умов і охорони праці.

Кабінет Міністрів України забезпечує реалізацію державної політики в сфері охорони праці, виходячи із стану охорони праці в державі, організує розробку загальнодержавних програм відповідно до поліпшення цього стану, затверджує ці програми і контролює їх виконання, визначає функції органів виконавчої влади щодо вирішення питань охорони праці і нагляду за охороною праці.

Для вирішення цих питань при Кабінеті Міністрів України функціонує Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення, яку очолює віце-прем'єр-міністр України.

Держгірпромнагляд України здійснює комплексне управління охороною праці на державному рівні, реалізує державну політику в цій сфері, розробляє за участі відповідних органів державної програми в сфері охорони праці, координує роботу державних органів і об'єднань підприємств із питань безпеки праці, розробляє і переглядає разом з компетентними органами систему показників і обліку умов і безпеки праці, здійснює міжнародне співробітництво з питань охорони праці і нагляд за охороною праці в державі тощо.

Рішення Держгірпромнагляду України, що відносяться до її компетенції, обов'язкові для виконання всіма міністерствами, іншими центральними органами державної виконавчої влади, місцевими державними адміністраціями, місцевими радами народних депутатів і підприємствами.

Фонд соціального страхування від нещасних випадків здійснює профілактику нещасних випадків і профзахворювань, а також координацію всієї страхової діяльності, пов'язаної з охороною праці.

Міністерство праці і соціальної політики України здійснює також державну експертизу умов праці, визначає порядок і здійснює контроль за якістю проведення атестації робочих місць згідно з їх відповідністю нормативним актам про охорону праці, бере участь у розробці нормативних документів про охорону праці.

Інші міністерства і центральні органи державної виконавчої влади як ланки системи управління охороною праці визначають науково-технічну політику галузі з питань охорони праці, розробляють і реалізують комплексні

заходи щодо поліпшення безпеки праці, здійснюють методичне керівництво діяльністю підприємств галузі з охорони праці, співробітничать з галузевими профспілками щодо вирішення питань безпеки праці, організовують у встановленому порядку навчання і перевірку знань правил і норм охорони праці керівниками і фахівцями галузі, створюють, у разі необхідності, професійні воєнізовані аварійно-рятувальні формування, здійснюють внутрішній контроль за станом охорони праці.

Для забезпечення виконання перелічених функцій в апаратах міністерств і інших центральних органів державної виконавчої влади створюються служби охорони праці.

Місцеві державні адміністрації й органи місцевого самоврядування в межах підвідомчої їм території забезпечують реалізацію державної політики в сфері охорони праці, формують за участі профспілок місцеві програми заходів щодо поліпшення безпеки, гігієни праці і виробничого середовища, здійснюють контроль за дотриманням нормативних актів про охорону праці. Для забезпечення виконання названих функцій при місцевих органах державної виконавчої влади створюються відповідні структурні підрозділи.

Управлінські структури підприємств забезпечують в умовах конкретних виробництв реалізацію вимог законодавчих і нормативних актів про охорону праці з метою створення безпечних і нешкідливих умов праці, попередження виробничого травматизму і професійних захворювань, вирішують весь комплекс питань з охорони праці, пов'язаних з даним виробництвом. У своїй діяльності стосовно охорони праці управлінські структури підприємств взаємодіють з комісією з питань охорони праці підприємства (за наявності такої), з профспілками підприємства та уповноваженими трудових колективів.

СУОП в умовах конкретної організації, на конкретному об'єкті завжди є багаторівневою системою управління, у якій верхнім рівнем є державне управління, а нижнім - управління охороною праці на конкретному об'єкті. Як проміжні рівні управління можуть виступати відомче, регіональне управління, а також управління в об'єднанні, тресті тощо.

Слід зазначити, що вихідні параметри СУОП визначаються, виходячи з вимог норм, правил, проектної документації, аналізу фактичного стану виробничої ситуації і ряду факторів виробничого середовища, тому СУОП варто віднести до категорії звичайних, багатоконтурних систем, які піддаються програмуванню. Багатоконтурність систем управління в даному випадку пояснюється складністю об'єкта управління, його великою інерційністю, складністю і інерційністю реалізації управлінських впливів.

Правовою основою СУОП є: Конституція України, Кодекс законів про працю України, Закони України «Про охорону праці» і «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві і професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», накази і розпорядження Президента України, розпорядження і постанови Кабінету Міністрів, Держгірпромнагляд, Міністерства охорони здоров'я, Міністерства праці і соціальної політики, а також інших директивних органів України з питань охорони праці (органи Державного управління охороною праці).

Позитивна дія впровадження систем управління охороною праці (СУОП) на рівні організації як на зниження небезпек і ризиків, так і на продуктивність, нині визнана урядами, роботодавцями і працівниками.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик

Особливу роль у житті людини відіграють надзвичайні ситуації, що виникають під час стихійних лих або техногенних катастроф. Разом із соціальними та економічними збитками надзвичайні ситуації завдають також екологічної шкоди, що відображається в руйнуванні й деградації природних систем, забрудненні повітря, водойм і ґрунтів. У результаті виникають надзвичайні екологічні ситуації. Надзвичайні екологічні ситуації — ті ситуації, що виникають унаслідок раптових природних лих або техногенних аварій і супроводжуються великими збитками. Характерними особливостями цих

ситуацій є велика гострота прояву, значні відхилення показників навколишнього середовища від норми (перевищення граничнодопустимих концентрацій (ГДК) забруднювальних речовин у сотні, тисячі й навіть десятки тисяч разів); ураганні швидкості вітру; затоплення селітебних територій (населених пунктів); виникнення катастрофічних селевих потоків та ін.

Звичайно, такі відхилення тривають недовго — години, дні, десятки днів, іноді більше. Потім ступінь гостроти екологічного стану зменшується, хоча може залишатися досить високим. Отже, поняття надзвичайна екологічна ситуація та катастрофічна екологічна ситуація розрізняються тим, що перша триває порівняно недовго, але настає раптово та характеризується виключно високими відхиленнями стану навколишнього середовища від норми, а друга — досить тривала (як правило, роки), але має меншу гостроту прояву.

Надзвичайна ситуація за певних обставин може перетворитися на катастрофічну. Наприклад, ситуація у Чорнобильській зоні. Протягом майже місяця радіаційна обстановка в Чорнобилі була надзвичайною. Після спорудження саркофага викиди радіоактивних елементів різко зменшилися, але забруднення до того часу охопило великі території. Таке високе радіаційне забруднення продовжується вже понад два десятиріччя. За оцінкою спеціалістів, екологічна ситуація в Чорнобильській зоні є катастрофічною.

Таким чином, надзвичайні екологічні ситуації відображаються у порушенні нормального функціонування природних і природно-антропогенних систем, пов'язаних із раптовими природними або техногенними впливами (стихійні лиха, катастрофи, аварії), що супроводжуються соціальними, економічними та екологічними збитками і потребують для ліквідації особливих управлінських рішень (рис. 1.2). Збитки виявляються у загибелі та пораненні людей, погіршенні їх здоров'я, руйнуванні матеріальних об'єктів, структури природних і природно-антропогенних систем, втраті їх природно-ресурсного і екологічного потенціалу. Довготривала надзвичайна ситуація зумовлює формування зони екологічної катастрофи або екологічного лиха.

Надзвичайні екологічні ситуації виникають унаслідок дії трьох основних груп факторів:

- свідомого руйнування природного середовища, походження техніки, погіршення становища економічних об'єктів під час війн і диверсійних актів;
- руйнівних катастроф, які виникають у зв'язку з некомпетентними та помилковими технічними рішеннями (наприклад, Чорнобильська аварія);
- природних стихійних явищ. Той факт, що різко збільшилися їх частота та інтенсивність в останні десятиріччя, спеціалісти пов'язують з антропогенною стимуляцією, що спричинює посилення відхилень природних процесів від нормального рівня коливань.

Економічні збитки, завдані у зв'язку з несприятливими і небезпечними природними процесами та явищами, значно збільшилися. За деякими оцінками, вони зростають швидше, ніж показники світового валового продукту, тобто може бути досягнута межа просторового і технологічного розвитку виробництва за його здатністю компенсувати збитки, які збільшуються, від несприятливих і небезпечних явищ. Первинні процеси, що виникають у природному середовищі внаслідок цих факторів, посилюватимуться або послаблюватимуться залежно від природної обстановки (стійкість ландшафтів, погодні умови, фаза коливань екосистеми тощо) і соціально-економічних умов (психологічна готовність і неготовність населення до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, технічна оснащеність спеціальних служб, економічні можливості та ін.). Таким чином, надзвичайні екологічні ситуації в більшості випадків мають комплексну природу.

Заходи щодо запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям або подолання їх наслідків можна згрупувати у три класи:

- організаційні, серед яких розрізняють планувальні та оперативні;
- інженерно-технічні;
- технологічні.

Отже, заходи, спрямовані на запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та подолання, їх можна поділити на два типи: заходи, спрямовані на зниження піддатливості об'єктів небезпечним впливам, і заходи, спрямовані на зниження чутливості об'єктів до небезпечних впливів. У першому випадку здійснюють заходи з метою зовнішнього захисту об'єктів, виключення тих чи

інших територій з використання у виробничих цілях тощо. Зниження чутливості об'єктів до небезпечних впливів досягається, насамперед, за рахунок досконаліших технологій, шляхом регулювання технологічних режимів у зв'язку з природними циклами, створення системи дублювання об'єктів, інформаційних систем і систем швидкого реагування.

Основні функції щодо запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та подолання їх на державному рівні виконують міністерства з надзвичайних ситуацій.

Ризик — це об'єктивне поняття, він пов'язаний практично з будь-якою діяльністю людини. Уміння усвідомлювати ступінь ризику дає змогу людині оцінити власні можливості й вибрати напрями поведінки при цьому. Під сутністю терміна ризик розуміють імовірність, по-перше, будь-якої небезпечної події; по-друге, негативних наслідків від неї та обсягу очікуваних збитків. Одні ризики конкретні, інші — не мають такого визначення. Існують професійні ризики (наприклад, небезпека професійних захворювань) і такі, яких зазнає все населення (екологічний, економічний, геологічний, політичний ризики).

Предметом нашого дослідження є екологічний ризик, чіткого визначення якого досі немає. М.Ф. Реймерс вважає, що це ймовірність наслідків будь-яких (специфічних або випадкових, поступових або катастрофічних) антропогенних змін природних об'єктів і факторів^{*22}. З екологічним ризиком пов'язані поняття екологічної безпеки і небезпеки. Ці альтернативні категорії стосуються населення як реципієнта дії навколишнього середовища за його відповідно несприятливого чи сприятливого статусу.

Екологічний ризик пов'язаний із такими групами факторів: 1) техногенними; 2) природними; 3) військовими; 4) соціально-економічними; 5) політичними; 6) тероризмом.

Техногенний екологічний ризик виникає у зв'язку з аваріями на ЛЕС, аваріями танкерів, на небезпечних хімічних виробництвах, під час руйнування гребель водосховищ тощо. Причинами аварій є інтенсивність технологічних процесів та зв'язків, висока концентрація виробництва, ресурсомісткість і

багатовідходність технологій, погана оснащеність очисними й утилізаційними пристроями.

Природний екологічний ризик пов'язаний із ймовірністю вияву багатьох несприятливих природних явищ, таких як землетруси, вулканізм, селі, повені, цунамі та ін. Потрібно враховувати особливості геологічної будови (властивості гірських порід, наявність або відсутність розламів тощо), рельєфу (наприклад, посилення ризику забруднення в улоговинах), ландшафтів (ступінь їх стійкості до техногенних навантажень). Варто також зважати на сусідство цінних та унікальних природних об'єктів, територій особливого режиму охорони. Екологічний ризик збільшується за високої густоти населення, а також залежить від характеру сприйняття населенням подій, що відбуваються. Відомо, що катастрофічні наслідки аварій і стихійних природних явищ різко зростають у результаті психологічної неготовності населення до таких подій.

Особливу групу факторів виникнення екологічного ризику становлять воєнні дії, які зумовлюють різноманітні зміни навколишнього середовища та безпосередньо впливають на людину й інші суб'єкти. Екологічний ризик пов'язаний також із соціально-економічними факторами. Йдеться про ймовірність виникнення несприятливих екологічних ситуацій у разі прийняття рішень про будівництво тих чи інших небезпечних об'єктів у зв'язку з соціальною й економічною потребами такого будівництва. До цієї категорії належить будівництво багатьох АЕС, створення небезпечних хімічних виробництв, транспортних систем. У деяких випадках аналогічні рішення пов'язані з політичними факторами.

Нині є та розробляється велика кількість науково обґрунтованих постанов, нормативів, правил, державних стандартів, за якими регламентується господарська діяльність, встановлюються граничнодопустимі концентрації шкідливих і токсичних компонентів у ґрунтах, підземних і поверхневих водах тощо. На основі цих документів та екологічного законодавства в Україні розроблено систему заходів на державному, відомчих та об'єктних рівнях, що регламентують ведення екологічно безпечної господарської діяльності, будівництво різних споруд, межі забруднення природного середовища в рамках

не лише окремих локальних систем, а й великих регіонів, держави в цілому. Такі заходи можна об'єднати у три основні групи — соціально-організаційні, оцінювально-прогнозні та технічні. Усі види заходів взаємопов'язані і є основою для організації безпечної життєдіяльності. Якщо їх правильно дотримуватися, можна не тільки зберегти стан навколишнього середовища, а й поліпшити його, уникнути екологічно небезпечних явищ і катастроф, зумовлених антропогенно-техногенною діяльністю.

4.3 Висновки до розділу 4

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці, а також надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано задачу фільтрації сигналів зокрема аналогової. Розглянуто основні типи аналогових фільтрів, що виконані на опорах, ємностях та індуктивностях. Розглянуто структуру та принципи роботи фільтрів низьких та високих частот, смугові та ежекторні фільтри а також активні фільтри, механічні та кварцові фільтри.

Проаналізовано питання фільтрації мовних повідомлень, які є за своєю природою нестационарними випадковими процесами. В класичних методах фільтрації такі сигнали розглядаються як стаціонарні, однак подання їх як нестационарних потребує використовувати методи фільтрації, які б могли адаптуватися під зміни структури самого сигналу. Зцією метою розглянуто можливості теорії оптимальної фільтрації, зокрема із застосуванням фільтрів Вінера. Встановлено при цьому, що частотна характеристика таких фільтрів повинна мати часто складний вигляд, досягти чого у випадку аналогових фільтрів практично неможливо.

На противагу фільтрам Вінера розглянуто адаптивні фільтри, структура яких може змінюватись та адаптовуватись під зміни параметрів корисного сигналу або до змін параметрів перешкод. Попри більшу складність таких фільтрів, результати фільтрації є кращими за результати фільтрації іншими типами фільтрів.

Як окремий метод адаптивної фільтрації є метод так званого спектрального віднімання, в якому проводиться адаптація фільтра під параметри шуму.

Проведено опис спектрального віднімання та його відношення до фільтрів Вінера. Основною привабливістю спектрального віднімання є відносна простота, оскільки вона вимагає лише оцінки спектра потужності шуму. Однак це також можна розглядати як основне обмеження, оскільки спектральне віднімання не використовує статистику та розподіл сигнального процесу. Основною проблемою спектрального віднімання є наявність спотворень обробки,

спричинених випадковими варіаціями шуму. Оцінки спектральних змінних величини та потужності, які внаслідок коливань шуму є негативними, повинні бути відображені у невід'ємні значення. Розглянуто спотворення обробки та проілюстрували ефекти виправлення негативних оцінок на розподіл спектру сигналу. Розглянуто ряд нелінійних варіантів методу спектрального віднімання.

Встановлено, що адаптивна фільтрація значно ефективніша за «класичну» вінерівську фільтрацію, дозволяючи практично повністю подавити заваду навіть при співвідношеннях сигнал-шум -18 дБ. Причина такої високої ефективності адаптивної фільтрації обумовлена урахуванням не тільки спектральних властивостей сигналу і шуму, але і фазових властивостей шуму, з подальшим складанням, в протифазі, виділеного шуму з сумішшю сигналу з шумом.

Умовою високої ефективності адаптивної фільтрації є наявність інформації про шум - з цією метою повинен існувати, крім основного датчика, що приймає суміш сигналу з шумом, ще й додатковий датчик, який сприймає чистий шум, корельований з шумовою маскуючою перешкодою.

В середовищі Matlab проведено моделювання системи адаптивної фільтрації (з використанням спектрального віднімання) в пристроях шумоподавлення мовних сигналів. На основі якісного оцінювання результатів відзначено високу в порівнянні із іншими методами якість відфільтрованих сигналів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – М., ПИТЕР, 2002. – 603с.
2. Бабак В.П., Хандецкий В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів. –К.: Либідь,1999. – 492с.
3. Е. Шрюфер, Обробка сигналів. Цифрова обробка дискретизованих сигналів. Київ, Либідь, 1992. –294с.
4. Введение в цифровую фильтрацию. Под ред.Р.Богнера и А.Константинидиса. – М., Мир, 1976 – 216с.
5. Kaiser, J.F., "Nonrecursive Digital Filter Design Using the I_0 -sinh Window Function," Proc. 1974 IEEE Symp. Circuits and Systems, (April 1974), pp. 20-23.
6. Солонина А.И. и др. Основы цифровой обработки сигналов. Курс лекций. – С.-Петербург, «БХВ-Петербург», 2003. – 594с.
7. Раздел Help пакета Matlab ver. 6.5.0.180913a Release 13, June 18, 2002.
8. Глазков В.Е., Продеус А.Н. Метод многошаговой коррекции амплитудной частотной характеристики нерекурсивного низкочастотного фильтра. - Электроника и связь, №23, 2004, с.19-24.
9. Г.Дженкинс, Д.Ваттс. Спектральный анализ и его приложения. Т.2 – М.,Мир,1972. –283с.
10. Константинидис А. Общие характеристики цифровых фильтров. – В кн. «Введение в цифровую фильтрацию» под ред.Р.Богнера и А. Константинидиса. – М., Мир.,1976. – сс.41-53.
11. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540с.
12. Хэррис Дж.. Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье. – ТИИЭР, т.66, №1, январь 1973. – сс.60-97.
13. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение. – М., Физматгиз,1962.
14. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М., «Сов.радио»,1966.

15. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники, тт.І, ІІ. – М., «Сов.радио», 1966,1968гг.
16. Ануфриев, И.Е. MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.
17. Вайнштейн, С.Я., Безпека і охорона праці на підприємствах машинобудування. – К.: Техніка, 1967.
18. Охрана окружающей среды: учеб. для техн. спец. вузов под ред Белова С.В. – М.: В/ш, 1996.

ДОДАТКИ

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

VIII НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



9–10 грудня 2020 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2020**

УДК 621.372.852.15

Ю.О. Охман, М.О. Бондючний, І.Ю. Дедів, к.т.н., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ АНАЛОГОВИХ СИГНАЛІВ ІЗ НИЗЬКИМ СПІВВІДНОШЕННЯМ СИГНАЛ/ШУМ

UDC 621.372.852.15

Yu.O. Okhman, M.O. Bondyuchnyy, I.Yu. Dedyv, Ph.D., Assoc. Prof.

METHOD OF FILTRATION OF ANALOG SIGNALS WITH LOW SIGNAL/NOISE RATIO

Під фільтром в радіотехніці розуміють пристрій для виділення бажаних компонентів спектру корисного сигналу або послаблення небажаних компонентів. Сама ж процедура такого виділення чи послаблення називається фільтрацією. При цьому розглядають поняття сигналу, як носія інформації чи даних, та завади або шуму, як спотворюючого фактора. Важливими в області радіотехнічних та телекомунікаційних систем зв'язку є взаємопов'язані питання фільтрації зашумлених сигналів та оптимального виявлення сигналів на фоні завад.

При цьому важливим є питання вибору типу фільтра та розрахунку або експериментального підбору його параметрів для оптимального виявлення сигналів чи їх фільтрації. При цьому якість проведеної фільтрації залежатиме від типу суміші сигналу та завади. Так, можливими є наступні варіанти таких сумішей:

- адитивна суміш

$$y(t)=x(t)+n(t),$$

- мультиплікативна суміш

$$y(t)=x(t)\cdot n(t),$$

- аддитивно-мультиплікативна суміш

$$y(t)=(x(t)+n(t))\cdot s(t),$$

де: $y(t)$ – суміш корисного сигналу та шуму, $x(t)$ – корисний сигнал, $n(t)$, $s(t)$ – шум.

Простим в плані розуміння та технічної реалізації у випадку адитивної суміші корисного сигналу та шуму із низьким співвідношенням сигнал/шум є метод фільтрації, який полягає в оцінюванні параметрів шуму та відніманні їх від такої суміші в спектральній області. Цей метод називається методом спектрального віднімання (spectral subtraction). В цьому випадку проводиться оцінювання спектральних компонентів ділянки суміші сигналу та шуму, на якій з ймовірністю 1 відсутні складові корисного сигналу. Далше від спектрів ділянок суміші сигналу та шуму віднімаються отримані попередньо компоненти спектру шуму. Графічно суть методу наведена на рис. 1.

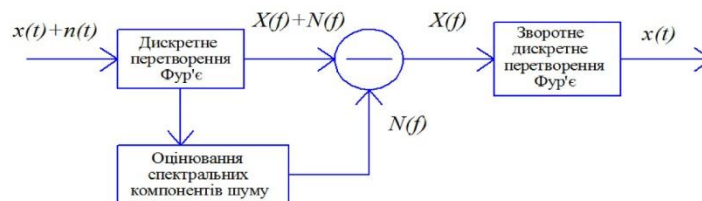


Рисунок 1. Ілюстрація методу спектрального віднімання

Застосування методу спектрального віднімання до опрацювання адитивної суміші корисного сигналу та шуму дасть можливість ефективного виділення корисного сигналу і у випадках, коли співвідношення сигнал/шум є низьким.

П. Німців, В. Никитюк МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНО- ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ P. Nimitsiv, V. Nykytyuk MATHEMATICAL MODEL FOR FORECASTING ELECTRICITY GENERATION BY A WIND TURBINE FOR A COMPUTER INFORMATION SYSTEM	13
Ю. Охман, М. Бондючний, І. Дедів МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ АНАЛОГОВИХ СИГНАЛІВ ІЗ НИЗЬКИМ СПІВВІДНОШЕННЯМ СИГНАЛ/ШУМ Yu. Okhman, M. Bondyuchnyy, I. Dediv METHOD OF FILTRATION OF ANALOG SIGNALS WITH LOW SIGNAL/NOISE RATIO	14
В. Паньків МОДЕЛЮВАННЯ ТОВЩИНИ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ V. Pankiv MODELING OF CHIPBOARD THICKNESS DURING MILLING	15
А. Фот, В. Ясків, А. Марценюк КАНАЛ ПЕРЕДАЧІ МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ РАДІО ТА ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЙ A. Fot, V. Yaskiv, A. Marcenjuk TRANSMISSION CHANNEL MULTIMEDIA INFORMATION BASED ON RADIO AND LASER TECHNOLOGIES	16
Н. Гашин, Г. Семенишин, Н. Крива ОХОЛОДЖЕННЯ ДИСКА ПРИ ПОСАДЦІ НА ВАЛ N. Hashchyn, H. Semenyshyn, N. Kryva DISC COOLING ON THE SHAFT	18
Ю. Гладь, Б. Хоміцький СТАБІЛІЗАЦІЯ ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ РОЛИКОВИМ КОНВЕЄРОМ Yu. Glado, B. Khomitsky STABILIZATION OF LOAD SPEED ON ROLLER CONVEYOR	19
М. Михайлишин, В. Михайлишин, П. Стухляк, В. Каретін, А. Курко ДИНАМІКИ ДЕБАЛАНСУ ІНЕРЦІЙНОГО МОДУЛЯ M. Mykhailyshyn, V. Mykhailyshyn, P. Stukhlyak, V. Karetin, A. Kurko STUDY OF THE KINEMATICS AND DYNAMICS OF THE UNBALANCE OF THE INERTIAL MODULE	20
СЕКЦІЯ 2. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ	
Р. Бас ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В TELEGRAM BOT З АВТОМАТИЗАЦІЄЮ ЙОГО ФУНКЦІЙ R. Bas ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TELEGRAM BOT WITH AUTOMATION OF ITS FUNCTIONS	22
Р. Бас РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ TELEGRAM BOT R. Bas DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE TELEGRAM BOT PROJECT	23