

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 1</i>

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від 27 листопада
2024 р. № 6

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для проведення практичних занять
з навчальної дисципліни

«Основи теорії побудови пристроїв контролю РЧР»
для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»

Схвалено на засіданні кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях
26 серпня 2024 р., протокол №8
Завідувача кафедри
_____ Владислав ЧУХОВ

Розробник: к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях ЦИПОРЕНКО Валентин

Житомир
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 2</i>

Зміст

1. Лабораторна робота №1	
Дослідження пристроїв паралельного аналізу контролю РЧР.....	3
2. Лабораторна робота №2	
Дослідження матричного радіоприймального пристрою контролю РЧР.....	19
3. Лабораторна робота №3	
Дослідження функціонування цифрового пристрою контролю РЧР.....	30
4. Лабораторна робота №4	
Дослідження характеристик цифрових пристрів контролю РЧР.....	48
5. Лабораторна робота №5	
Дослідження послідовного пристрою контролю РЧР.....	62
6. Лабораторна робота №6	
Фазове радіопеленгування.....	78
7. Лабораторна робота №7	
Дослідження моделі кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора.....	93
8. Лабораторна робота №8	
Дослідження характеристик SDR засобу радіомоніторингу.....	105
Література.....	110

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 3

Лабораторна робота №1

Дослідження пристроїв паралельного аналізу контролю РЧР

Мета лабораторної роботи: експериментальне дослідження принципу роботи і основних властивостей пристрою частотного паралельного аналізу контролю РЧР

1. Підготовка до роботи

- 1.1. Опрацювати необхідний теоретичний матеріал в рекомендованому переліку літератури.
- 1.2. Опрацювати методичні вказівки до проведення лабораторної роботи, уяснити мету роботи та принцип її виконання.
- 1.3. Вивчити технічні описи приладів, що входять до складу лабораторного робочого місця, а також спеціалізованого пакету прикладних програм ПЕОМ.
- 1.4. Виконати необхідні попередні розрахунки.
- 1.5. Відповісти на питання самотестування, готовності до виконання роботи.
- 1.6. Для кожного пункту третього розділу проробити та запропонувати свій варіант методики досліджень в загальному вигляді із обґрунтуванням використання конкретної моделюючої програми із пакету прикладних програм. Варіант методики досліджень узгодити із викладачем.
- 1.7. Вибрати тип і структуру моделюючих сигналів та розрахувати конкретні їх параметри і діапазони їх можливих значень. Підготувати програму модель із урахуванням проведених розрахунків та узгодити її з викладачем.
- 1.8. Проаналізувати і запропонувати можливість розширення і поглиблення досліджень щодо паралельного аналізатора контролю РЧР. Запропонувати варіанти додаткових досліджень в доповнення програми розділу 3.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /БК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 4</i>

2. Короткі теоретичні відомості

Основні якісні показники панорамних пристроїв

Залежно від призначення панорамні пристрої повинні задовольняти певним вимогам. Для порівняння різних панорамних пристроїв й оцінки ступеня відповідності пред'явленим до них вимогам уводиться сукупність параметрів, що характеризують їхні якісні показники.

Основними параметрами будь-яких панорамних пристроїв є: роздільна здатність, точність відліку частоти, смуга огляду, швидкість аналізу, динамічний діапазон і чутливість по візуальному каналі.

Роздільна здатність є найважливішим параметром панорамного пристрою. Під нею розуміють здатність пристрою розрізнити (розділяти) дві сусідні частотні складові аналізованого спектру або два сусідніх по частоті радіовипромінювання (тут під роздільною здатністю розуміють роздільну здатність, обумовлену резонатором. При цьому вважають, що роздільна здатність індикатора не накладає обмежень).

Кількісно роздільну здатність визначають як мінімальний інтервал по частоті між двома радіовипромінюваннями або складовими спектра, при якому панорамний приймач (аналізатор спектра) спроможний їх розділити. На індикаторі відліку від частотних складових повинні спостерігатися роздільно, тому що в основі дії панорамних пристроїв лежить явище резонансу, та їхня роздільна здатність в остаточному підсумку буде визначатися параметрами резонансної системи й методом частотного аналізу. При порушенні резонатора форма напруги, що знімається з нього, буде залежати від вигляду його резонансної характеристики. Таким чином, на індикаторі буде спостерігатися не спектральна лінія, а імпульс, що повторює форму статичної або динамічної характеристики резонатора. Очевидно, що складові спектра із частотним інтервалом між ними, меншим ширини резонансної характеристики, не можуть бути розрізнені. Отже, для підвищення роздільної здатності необхідно

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 5

прагнути до звуження резонансної кривої, тобто до підвищення добротності резонатора. Однак цього ще недостатньо. Роздільна здатність також істотно залежить від форми статичної характеристики резонансної системи й швидкості послідовного аналізу.

Розходження фізичних процесів у резонаторах при паралельному й послідовному аналізі потребує різного підходу до визначення роздільної здатності цих методів. Тому якісну й кількісну оцінку роздільної здатності варто дати окремо для паралельного й послідовного аналізу.

Роздільна здатність при паралельному аналізі визначається формою статичної характеристики й смугою пропускання резонансної системи.

Представимо, що в панорамному пристрої застосовані ідеальні фільтри із частотними границями, що тісно примикають (рис. 1.1, а). У цьому випадку результати аналізу будуть однозначними в тому розумінні, що кожен фільтр буде відгукуватися лише на частотну складову, що потрапила в його смугу пропускання.

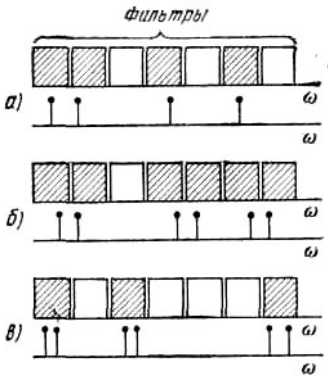


Рис. 1.1. Розрізнення спектральних складових при паралельному аналізі (ідеальні фільтри)

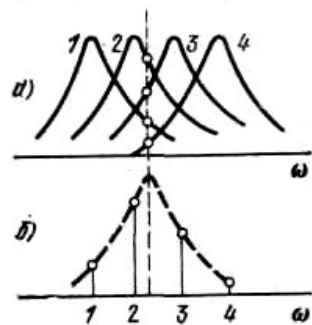


Рис. 1.2. Відгук реальних резонаторів на вплив однієї спектральної складової

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 6</i>

При наявності декількох частотних складових виявляться збудженими ті фільтри (на рис. 1.1 вони заштриховані), у смуги пропускання яких потрапили складові досліджуваного спектра. Очевидно, що роздільна здатність при цьому буде обумовлена смугою пропускання кожного фільтра. Точне визначення частоти кожної складової спектра неможливо. Можна лише стверджувати, що складова перебуває в межах смуги пропускання даного фільтра. Якщо інтервал між двома спектральними складовими менше смуги пропускання фільтра, то вони можуть бути виявлені лише у випадку влучення в смуги пропускання двох суміжних фільтрів (рис. 1.1,б). Якщо кілька спектральних складових виявляться в межах смуги пропускання одного фільтра, то вони розрізнені не будуть (рис. 1.1,е). У цьому випадку напруга на виході фільтра буде визначатися сумарним впливом всіх складових.

У дійсності резонансні криві фільтрів мають коефіцієнт прямокутності, відмінний від одиниці. Якщо смуги пропускання фільтрів будуть тісно примикати на певному рівні, то на менших рівнях їхні резонансні криві будуть перетинатися (рис. 1.2, а). Це приведе до того, що одна спектральна складова (на малюнку показана штрихом) збудить кілька фільтрів. Ступінь порушення кожного фільтра буде визначатися інтервалом між його резонансною частотою й складовою, що впливає. У результаті на індикаторі вийде оцінка (рис. 2.2, б), що залежить від настроювання всіх фільтрів. Проте покази приладу будуть однозначними, тому що між спектром аналізованого коливання й показми приладу існує цілком певний зв'язок. При наявності декількох спектральних складових на індикаторі пристрою буде плавна крива з декількома максимумами (рис. 1.3). По положенню максимумів на осі частот й їхніх амплітуд можна визначити частоти й інтенсивність складових досліджуваного спектра. Для кількісної оцінки роздільної здатності необхідно домовитися, при якій глибині сідла (провалу між максимумами) варто вважати складові розділеними. Звичайно прийнято вважати їх

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015		Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1
			Арк 110 / 7

розділеними, якщо глибина сідла між двома сусідніми максимумами досягає половини їхньої висоти. У цьому випадку роздільна здатність визначається добротністю фільтрів і залежить від часу впливу складовій на резонатор.

Роздільна здатність при послідовному аналізі визначається динамічною характеристикою резонансної системи. Чим ширша динамічна характеристика, тим нижче роздільна здатність. Ширина динамічної характеристики (або динамічна смуга пропускання) залежить від форми й ширини статичної резонансної кривої і швидкості зміни частоти (швидкості аналізу). Таким чином, при послідовному аналізі для одержання найкращої роздільної здатності необхідно забезпечити певне відношення між статичною смугою пропускання системи і швидкістю зміни частоти $\gamma = \Phi_0 p$, де p – частота розгортки (сканування).

Прагнення підвищити роздільну здатність викликає бажання зменшити статичну смугу пропускання резонансної системи. Однак існує оптимальна статична смуга $\Delta F_{ст. опт}$ при заданій γ , коли можна одержати мінімальну динамічну смугу пропускання.

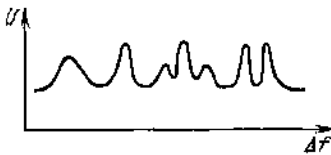


Рис. 1.3. Індикація спектральних складових у панорамному пристрої з реальними напів фільтрами

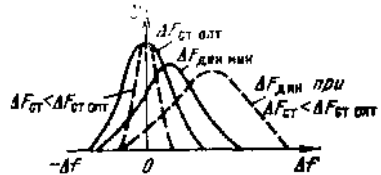


Рис. 1.4. Зміна динамічних характеристик при зменшенні статичної смуги пропускання

При колоколоподібній статичній характеристиці й заданій швидкості зміни частоти γ мінімальна динамічна смуга пропускання:

$$\Delta F_{дин. мин} \cong 0.94 \sqrt{\gamma}. \quad (1.1)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 8

Оптимальна статична смуга пропускання резонансної системи:

$$\Delta F_{ст.опт} \cong 0.66\sqrt{\gamma}. \quad (1.2)$$

Формула (1.1) служить основним критерієм при обчисленні роздільної здатності панорамного пристрою, а (1.2) визначає вибір смуги пропускання резонатора.

Пояснимо розширення динамічної характеристики при зменшенні статичної смуги пропускання резонатора (рис. 1.4). На резонансну систему впливає коливання із частотою, що змінюється за лінійним законом, і чим вище швидкість зміни частоти γ , тим менший час t система є під впливом збудливої напруги. Це можна зрівняти із впливом на резонансну систему імпульсу: чим коротше імпульс, тим більше динамічна характеристика відрізняється від статичної характеристики системи.

У цьому випадку $\tau = \Delta F_{ст} / \gamma$ при $\gamma = const$ зі зменшенням $\Delta F_{ст}$ зменшується τ , що рівносильно збільшенню γ при попередньому значенні $\Delta F_{ст}$. Підводячи підсумки необхідно відзначити, що як при паралельному так і при послідовному аналізі роздільна здатність панорамних пристроїв залежить не тільки від їхніх характеристик і параметрів, але й від співвідношення амплітуд спектральних складових.

При різних амплітудах роздільна здатність залежить від типу резонансної системи й кількісно визначається шириною динамічної характеристики на встановленому рівні. Наприклад, для одиночного контуру при $\gamma=0,5$ роздільна здатність дорівнює приблизно $4.6\Delta F_{дин 0,5}$ (рис. 1.5,а).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015		Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1 Арк 110 / 9

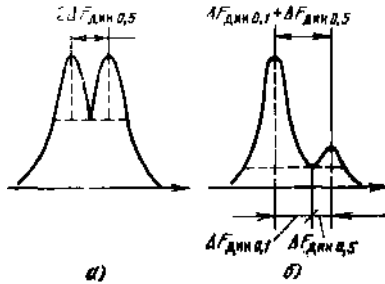


Рис. 1.5. Розрізнення сигналів залежно від їхнього динамічного діапазону:

- а) - сигнали з рівними амплітудами;
- б) - сигнали з різними амплітудами

Відстань між максимумами відліків визначається на ординаті 0,5 від максимуму меншої оцінки й буде значно більше, ніж у першому випадку (рис. 1.5, б). З рис. 1.5 видно, що чим більше розходження амплітуд спектральних складових, тим гірше роздільна здатність. Тому при характеристиці роздільної здатності панорамних пристроїв вказується, якому рівню й співвідношенню спектральних складових вона відповідає.

Точність відліку частоти, s розділяє судити, з якою точністю можна виміряти частотний інтервал між спектральними складовими або істинне значення частоти кожної з них.

Точність відліку частоти є досить важливим параметром, тому що вона разом з роздільною здатністю визначає частотну точність пристрою в цілому. Точність відліку частоти безпосередньо залежить від форми й ширини відмітки на індикаторі, обумовленою динамічною характеристикою резонансної системи. Чим ширше відмітка, спостережувана на екрані індикатора, тим нижче буде точність відліку частоти.

Точність відліку частоти зручно характеризувати відношенням динамічної смуги пропускання до резонансної частоти резонатора

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 10

$$s = \Delta F_{\text{дин}} / f_0. \quad (1.3)$$

Чим менше це відношення, тим вище точність відліку частоти.

Для підвищення точності відліку частоти в панорамних пристроях можна вжити спеціальних заходів по стиску відмітки (імпульсу), спостережуваної на екрані. При цьому роздільна здатність не поліпшується. Справа в тому, що стиск відмітки відбувається в елементах схеми, що включають після резонатора, що забезпечує розрізнення складових. Тому власне кажучи поліпшується індикація вже розділених спектральних складових. Способи підвищення точності відліку частоти пристрої докладно розглядаються нижче.

Смуга огляду Φ_0 характеризує смугу частот, що переглядають одночасно, у межах якої ведеться частотний аналіз. У пристроях паралельного й комбінованого аналізу смуга огляду визначається смугою пропускання високочастотного тракту (смугою пропускання всіх каскадів до змішувача), що називають широкополосним, а також сумарною смугою пропускання вузькосмугових фільтрів. У пристроях послідовного аналізу вона визначається смугою пропускання широкосмугового тракту й межами зміни (девіацією) частоти гетеродина.

Залежно від призначення й діапазону частот смуга огляду панорамних пристроїв може змінюватися від сотень герц до десятків мегагерц. Більшість панорамних пристроїв мають змінну смугу огляду. При цьому в більш широких смугах огляду ведеться більш грубий аналіз із гіршою роздільною здатністю, а у вузьких - точний. У першому випадку проглядається весь спектр досліджуваного процесу, а в другому - окремі його ділянки.

Швидкість аналізу характеризує, наскільки швидко здійснюється аналіз досліджуваного процесу в певній смузі огляду. При паралельному аналізі швидкість аналізу визначається часом установлення коливачів у резонаторі, при послідовному - швидкістю зміни частоти.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 11

$$\gamma = \Phi_0 p. \quad (1.4)$$

Однак це не завжди зручно. Тому що швидкість зміни частоти γ залежить від смуги огляду Φ_0 й частоти розгортки (сканування) p , те, знаючи тільки γ , важко судити про те, наскільки швидко ведеться аналіз. Дійсно, те саме значення швидкості зміни частоти γ може відповідати повільному аналізу в широкої й швидкому аналізу у вузьких смугах огляду. Тому іноді швидкість аналізу зручніше характеризувати частотою розгортки p , безпосередньо зв'язаної з часом аналізу незалежно від смуги огляду.

У всіх випадках аналіз бажано вести з якомога більшою швидкістю. Але варто мати на увазі, що при послідовному аналізі швидкість його проведення повинна вибиратися цілком певною, тому що підвищення її приводить до розширення динамічної смуги пропускання, а отже, до погіршення роздільної здатності пристрою.

Динамічним діапазоном D панорамного пристрою як і будь-якого радіоприймального пристрою називається міра здатності пристрою нормально функціонувати за певним критерієм при впливі на його вхід сигналів з більшим розкидом рівнів.

При односигнальному впливі динамічний діапазон визначається відношенням максимального значення напруги сигналу E_{\max} , при якому нелінійні спотворення не перевищують допустимих, до номінальної чутливості E_{\min} : $D = E_{\max} / E_{\min}$.

При багатосигнальному впливі під динамічним діапазоном розуміють відношення амплітуди перешкоди U_n , що викликає припустимий нелінійний ефект (блокування, перехресні спотворення, взаємна модуляція, що характеризуються відповідно коефіцієнтами $r_{\text{бл}}$, $r_{\text{пер}}$ й $r_{\text{взм}}$), до амплітуди сигналу, що відповідає чутливості пристрою E_{\min} . В умовах сильного завантаження діапазону доцільно як критерій вибрати припустимий рівень нелінійних шумів. У всіх випадках бажано мати максимальний динамічний діапазон, щоб забезпечити неспотворений прийом сигналів з різними рівнями.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 12</i>

У панорамних пристроях динамічний діапазон здобуває ще більше значення. Це обумовлено тим, що при панорамному радіоприйманні й аналізі спектрів розходження амплитуд окремих складових може бути дуже великим. Імовірність же одночасного впливу на вхід пристрою сигналів з різними рівнями зростає внаслідок широкосмуговості преселектора. Крім того, збільшення динамічного діапазону в панорамних пристроях конче потрібно з погляду підвищення роздільної здатності.

Чутливість панорамних пристроїв варто визначати по візуальному каналу прийому. Вона визначається мінімальною е.р.с. або потужністю в антені, при якій забезпечуються нормальні умови роботи пристрою, тобто необхідна вихідна напруга й задане перевищення амплітуди сигналу над рівнем власних шумів. Від сигналів, рівних номінальній чутливості пристрою, повинна виходити оцінка заданого розміру на екрані індикатора, а оцінка від власних шумів не повинна перевищувати встановленого розміру.

Оскільки панорамні пристрої, особливо панорамні радіоприймачі, є широкосмуговими, то в них співвідношення сигнал/шум, а отже, і чутливість по візуальному каналу прийому завжди гірше, ніж по слуховому.

Паралельний частотний аналіз

Сутність паралельного частотного аналізу полягає в тому, що всі частотні складові в певній смузі частот, що називається смугою огляду, виявляються одночасно. Паралельний частотний аналіз здійснюється за допомогою великої кількості резонаторів зі зміщеними резонансними частотами. Всі резонатори одночасно, перебувають під впливом досліджуваного радіовипромінювання. Цей метод можна використати як в аналізаторах спектра, так і у панорамних приймачах. В останньому випадку резонатори будуть перебувати під одночасним впливом декількох радіовипромінювань.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 13

Принцип роботи панорамного пристрою паралельного аналізу можна усвідомити, розглянувши схему, наведену на рис. 1.5. Преселектор пристрою має достатньо широку смугу пропускання, рівну смузі огляду, у якій ведеться частотний аналіз. Цю частину схеми прийнято називати широкосмуговим трактом (ШСТ). У ШСТ відбувається посилення складових аналізованого спектра до рівня, необхідного для нормальної роботи наступних елементів аналізатора. У змішувачі (Зм) спектр перетвориться в область більш низьких (звичайно проміжних) частот. При цьому частотні інтервали між складовими спектра й співвідношення їхніх амплітуд не порушуються. Наприклад, при наявності в ШСТ складових із частотами $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ (рис. 1.6, а) після перетворення буде отриманий спектр із частотами $f_{np1}, f_{np2}, f_{np3}, \dots, f_{nnp}$ (рис. 1.6, б). Таким чином, спектр виявився перетвореним в область проміжних частот, але частотні інтервали між складовими при цьому не змінилися:

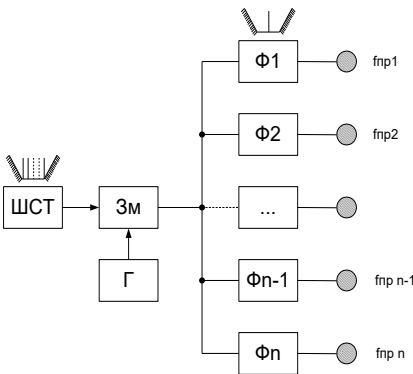


Рис. 1.5. Структурна схема панорамного пристрою паралельного аналізу

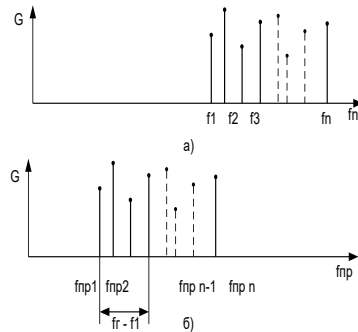


Рис. 1.6. Перетворення досліджуваного спектру:
а - прийняті частоти f_n ;
б - проміжні частоти f_{i^*} .

$$f_2 - f_1 = f_{np2} - f_{np1} \quad f_3 - f_2 = f_{np3} - f_{np2} \quad \text{і т.д.}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 14</i>

Отже, загальний вигляд досліджуваного спектра в результаті перетворення зберігся. Однак це справедливо лише в тому випадку, коли характеристики й режим роботи змішувача не приводять до виникнення комбінаційних частот. З появою комбінаційних частот у процесі перетворення на виході змішувача буде мати місце так званий комбінаційний спектр, як правило, більш насичений у порівнянні з досліджуваним.

Проаналізуємо отриманий спектр. Для цього в анодний ланцюг змішувача як навантаження включається набір вузькосмугових фільтрів (резонаторів), резонансні частоти яких рівномірно розташовані по шкалі частот. Кожен фільтр буде відгукуватися на дію частотної складової, що перебуває в межах його смуги пропускання. По числу й розташуванню по шкалі частот збуджених фільтрів можна судити про структуру досліджуваного спектра. Точність виміру частот спектральних складових буде визначатися шириною смуги пропускання кожного фільтра. Точне визначення частоти будь-якої складової неможливо. Можна лише стверджувати, що вона перебуває в межах смуги пропускання даного фільтра.

Таким чином, точність частотного аналізу визначається смугою пропускання кожного фільтра. Загальне число фільтрів повинне бути таким, щоб їхня сумарна смуга пропускання дорівнювала смузі огляду. Отже, підвищення частотної точності в тій же смузі огляду приводить до необхідності збільшення загального числа фільтрів

$$N = \Phi_0 / \Delta F_{CT},$$

де Φ_0 – смуга огляду; ΔF_{CT} - статична смуга пропускання кожного фільтра.

Індикація картини спектра досліджуваного радіовипромінювання може здійснюватися за допомогою електроннопроменевої трубки з попередньою комутацією виходів фільтрів і вертикальних пластин відхилення. У найпростішому

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 15</i>

випадку (як показано на рис.1.4) індикаторами можуть служити неонові лампочки, підключені до фільтрів. Лампочки, що засвітілись, будуть вказувати на присутність у складі радіовипромінювання відповідних спектральних складових, але в цьому випадку не можна визначити їхньої амплітуди.

При розглянутому методі аналізу всі складові спектра виявляються одночасно й практично миттєво. У цьому й полягає його основне достоїнство. Однак практичне здійснення панорамних пристроїв паралельного частотного аналізу пов'язане з деякими труднощами, які, як буде показано далі, не дозволяють повністю реалізувати його переваги.

3. Порядок виконання роботи

- 3.1. Дослідити принципи визначення частоти радіосигналу паралельним аналізатором РЧР.
- 3.2. Дослідити точність визначення частоти радіосигналу паралельним аналізатором в залежності від його діапазону робочих частот та кількості каналів прийому при нульовому коефіцієнті перекриття смуг каналів.
- 3.3. Дослідити роздільну здатність по частоті паралельного аналізатора в залежності від його діапазону робочих частот та кількості каналів при нульовому коефіцієнті перекриття смуг пропускання каналів.
- 3.4. Дослідити пропускну здатність паралельного аналізатора в залежності від його діапазону робочих частот та кількості каналів при нульовому коефіцієнті перекриття смуг пропускання каналів.
- 3.5. Дослідити залежність точності визначення частоти радіосигналу паралельного аналізатора в залежності від коефіцієнту перекриття смуг пропускання каналів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 16</i>

- 3.6. Дослідити залежність роздільної здатності паралельного аналізатора по частоті в залежності від коефіцієнту перекриття смуг пропускання каналів.
- 3.7. Дослідити залежність перепускної здатності паралельного аналізатора по частоті в залежності від значення коефіцієнту перекриття смуг пропускання каналів.
- 3.8. Дослідити розподіл похибки вимірювання частоти радіосигналу і роздільної здатності по частоті паралельного аналізатора в межах діапазону робочих частот і в межах смуг пропускання одного каналу прийому.

4. Обробка результатів досліджень

- 4.1. Визначити та сформулювати принцип роботи паралельного аналізатора РЧР та спосіб визначення ним частоти радіосигналу. За результатами пункту 3.1.
- 4.2. За результатами досліджень пунктів 3.2, 3.3 і 3.4. Визначити залежності точності визначення частоти радіосигналу, роздільної здатності по частоті та перепускної здатності паралельного аналізатора від діапазону робочих частот та кількості каналів прийому і побудувати графіки.
- 4.3. За результатами пунктів 3.5, 3.6, і 3.7 визначити залежності точності визначення частоти радіосигналу, роздільної здатності по частоті та перепускної здатності паралельного аналізатора від коефіцієнту перекриття смуг пропускання каналів і побудувати відповідні графіки.
- 4.4. За результатами пункту 3.8 визначити характер розподілу похибки вимірювання частоти радіосигналу і роздільної здатності по частоті паралельного аналізатора , а також параметри розподілу в залежності від параметрів частотних каналів та коефіцієнту перекриття смуг пропускання каналів прийому.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 17</i>

- 4.5. По кожному пункту досліджень розрахувати аналітично параметри паралельного аналізатора РЧР і порівняти їх із експериментальними даними. За результатами аналізу зробити відповідні висновки.
- 4.6. За результатами досліджень визначити оптимальне співвідношення параметрів паралельного аналізатора і дати відповідні рекомендації по їх вибору.
- 4.7. За результатами досліджень визначити рекомендації по синтезу паралельного аналізатору РЧР.
- 4.8. Результатів досліджень оформити у вигляді звіту, що підлягає індивідуальному захисту.

Контрольні питання самоконтролю

1. Який принцип роботи паралельного пристрою контролю РЧР?
2. Чим визначається точність аналізу частоти радіосигналів паралельного аналізатора РЧР?
3. Як визначають роздільну здатність паралельного аналізатора РЧР в залежності від параметрів його каналів прийому?
4. Якими факторами визначаються перепускна здатність паралельного аналізатора РЧР?
5. Як впливає на точність визначення частоти радіосигналу паралельного аналізатора РЧР коефіцієнт перекриття смуг пропускання його каналів прийому?
6. Як впливає на роздільну здатність по частоті паралельного аналізатора РЧР коефіцієнт перекриття смуг пропускання його каналів прийому?
7. Як впливає на перепускну здатність паралельного аналізатора РЧР коефіцієнт перекриття смуг пропускання його каналів прийому?
8. Які переваги і недоліки паралельного аналізатора РЧР?
9. Які основні параметри пристроїв контролю РЧР?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 18</i>

10. Навести структурну схему паралельного аналізатора РЧР?
11. Дати порівняльну характеристику паралельного аналізатора РЧР із послідовним та матричним, послідовно-паралельним і паралельно послідовним аналізаторам?
12. Який характер розподілу випадкової похибки визначення частоти паралельного аналізатора і які основні параметри розподілу (середнє значення, дисперсія, максимальне значення).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 19

Лабораторна робота №2

Дослідження матричного радіоприймального пристрою контролю РЧР

Мета лабораторної роботи: експериментальне дослідження принципів функціонування та основних властивостей матричного радіоприймального пристрою контролю РЧР

1. Підготовка до роботи

- 1.1. Опрацювати необхідний теоретичний матеріал в рекомендованому переліку літератури.
- 1.2. Опрацювати методичні вказівки до проведення лабораторної роботи, уявити мету роботи та принцип її виконання.
- 1.3. Вивчити технічні описи приладів, що входять до складу лабораторного робочого місця, а також спеціалізованого пакету прикладних програм ПЕОМ.
- 1.4. Виконати необхідні попередні розрахунки.
- 1.5. Відповісти на питання самотестування, готовності до виконання роботи.
- 1.6. Для кожного пункту третього розділу проробити та запропонувати свій варіант методики досліджень в загальному вигляді із обґрунтуванням використання конкретної моделюючої програми із пакету прикладних програм. Варіант методики досліджень узгодити із викладачем.
- 1.7. Вибрати тип і структуру моделюючих сигналів та розрахувати конкретні їх параметри і діапазони їх можливих значень. Підготувати програму модель із урахуванням проведених розрахунків та узгодити її з викладачем.
- 1.8. Проаналізувати і запропонувати можливість розширення і поглиблення досліджень щодо матричного радіоприймального пристрою контролю РЧР. Запропонувати варіанти додаткових досліджень до розділу 3.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 20

2. Короткі теоретичні відомості

Багатоканальні приймачі

Велика точність і роздільна здатність можуть бути отримані за допомогою багатоканального прийому. У цьому випадку весь діапазон частот, які розвідують, поділяється системою фільтрів на ряд піддіапазонів.

Смуги фільтрів примикають друг до друга так, як показано на рис. 2.1.

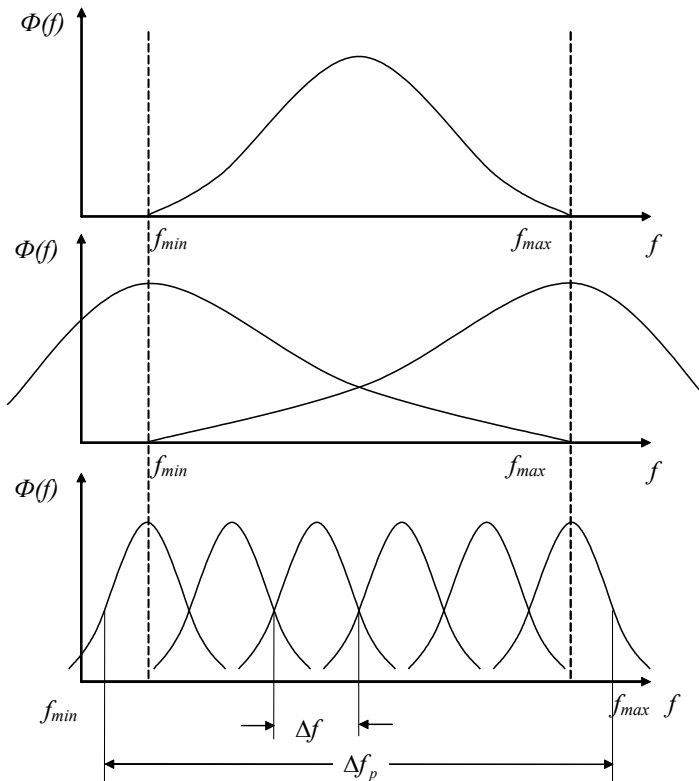


Рис. 2.1. Частотні характеристики вхідних фільтрів одноканального (а), двохканального (б) і багатоканального (в) приймачів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 21

Структурна схема багатоканального приймача прямого посилення з незалежними каналами прийому представлена на рис. 2.2

Ширина смуги прозорості Δf кожного фільтра вибирається з умови одержання заданої точності визначення частоти δf :

$$\Delta f = 2\delta f .$$

Число фільтрів m залежить від заданої точності визначення частоти δf й діапазону частот, які Δf_p розвідують . При ідентичних каналах приймача $m = \Delta f_p / 2\delta f$.

Багатоканальні приймачі застосовуються в станціях попередньої розвідки для грубого визначення частоти й впізнання образу радіоелектронного засобу. Число каналів у них досягає декількох десятків. Широке використання мікромініатюрних блоків, напівпровідників, радіоелектронних схем на твердому тілі й інших вказує на перспективність розглянутого напрямку.

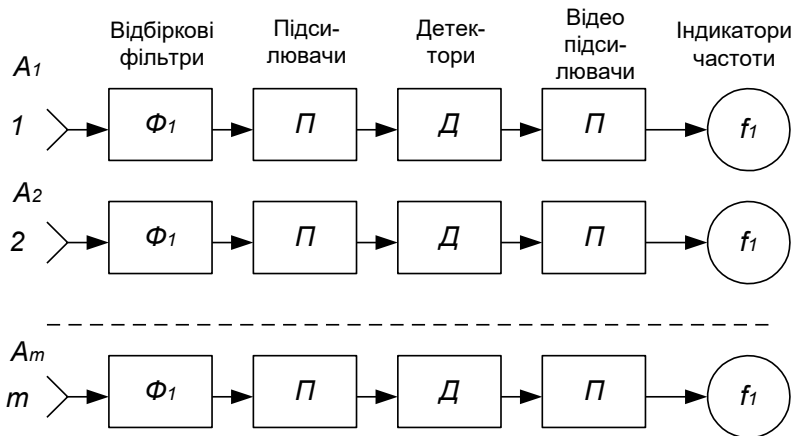


Рис. 2.2. Структурна схема багатоканального приймача

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 22

У станціях безпосередньої радіотехнічної розвідки знаходить застосування багатоканальний приймач, що забезпечує більшу точність при меншому числі фільтрів. Цей приймач умовно назвемо матричним. Структурна схема матричного приймача показана на рис. 2.3. Весь заданий діапазон частот Δf_p , що контролюють, розбивається на m піддіапазонів зі смугою так, що $\Delta f_1 = \Delta f_p / m$.

Частоти настроювання фільтрів зміщені одна щодо іншої на смугу пропускання. Фільтри першого стовпця (Φ_{12} , Φ_{21} , ..., Φ_{m1}) перекривають весь заданий діапазон частот, що розвідують. Смуга пропускання кожного із цих фільтрів приблизно однакова й дорівнює $\Delta f_1 = \Delta f_p / m$.

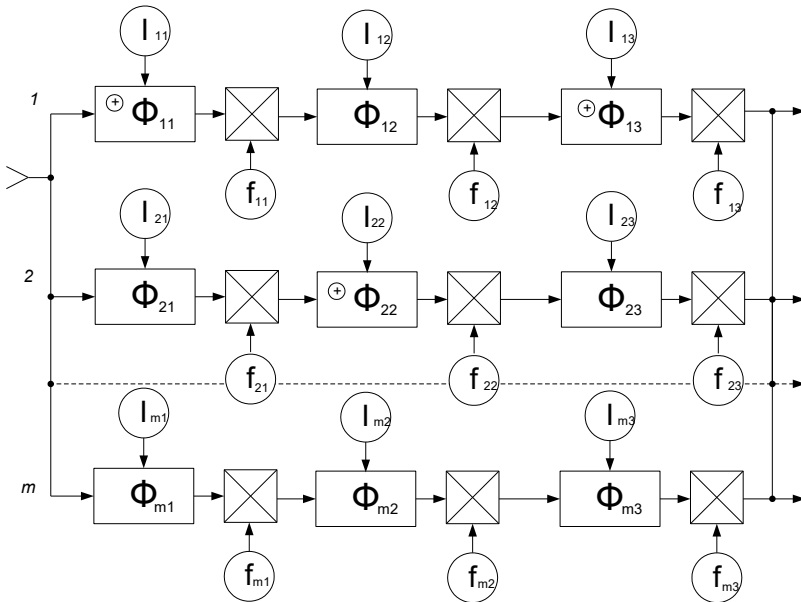


Рис. 2.3. Структурна схема матричного багатоканального приймача

У кожному стовпці є m гетеродинів, частоти яких $f_{11}, f_{21}, \dots, f_{m1}$ вибираються так, щоб забезпечити трансформацію

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 23

частот сигналів на виході кожного фільтра до однакового для всіх фільтрів першого стовпця значенню проміжної частоти f_{np1} з точністю до смуги пропущення одного фільтра першого стовпця Δf_1 . У відповідності зі сказаним частоти гетеродинів першого стовпця вибираються з наступних умов: першого рядка $f_{11} = f_1 + f_{np1}$ де f_1 – нижня частота діапазону, що розвідує; другого рядка $f_{21} = f_{11} + \Delta f_1$, третього рядка $f_{31} = f_{21} + \Delta f_1, \dots$ і т.д.

Таким чином, діапазон частот $f_1 \div f_1 + \Delta f_p$ перетвориться в менш широкий діапазон $f_{np1} \div f_{np1} + \Delta f_1$, (мал. 2.4). Другий стовпець трансформує цей діапазон у ще більш вузький діапазон

$$f_{np2} \div f_{np2} + \Delta f_2, \text{ де } \Delta f_2 = \frac{\Delta f_1}{m} = \frac{\Delta f_p}{m^2}.$$

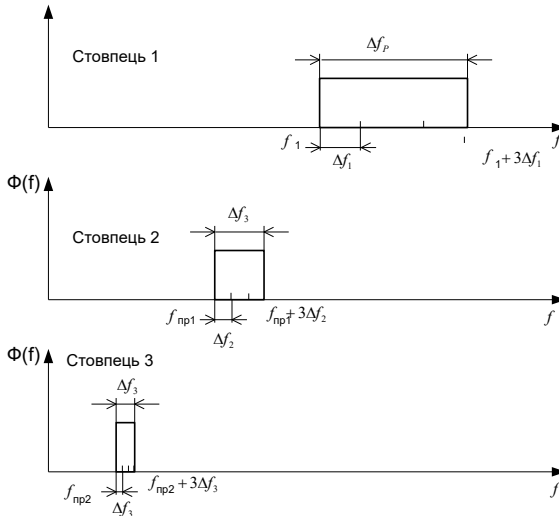


Рис. 2.4. Перетворення спектра сигналу в матричному приймачі

Фільтри другого стовпця мають наступні смуги прозорості:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 24

$$\Phi_{12} \rightarrow f_{np1} \leq f \leq f_{np1} + \Delta f_2$$

$$\Phi_{22} \rightarrow f_{np1} + \Delta f_2 \leq f \leq f_{np1} + 2\Delta f_2$$

.....

$$\Phi_{m2} \rightarrow f_{np1} + (m-1)\Delta f_2 \leq f \leq f_{np1} + m\Delta f_2$$

де Δf_{np1} – нижня проміжна частота;

Δf_2 – смуга прозорості фільтрів $\Phi_{12}, \Phi_{22}, \dots, \Phi_{m2}$ другі стовпці.

Якщо є n стовпців, то $\Delta f_n = \frac{\Delta f_p}{m^n}$.

У загальному випадку смуги прозорості фільтрів утворюють своєрідну матрицю таблиця 2.1, за допомогою якої можна визначити частоту сигналу, що впливає.

Нехай, наприклад, спрацювали індикатори I_{11}, I_{22} й I_{13} . Це значить, що прийнятий сигнал пройшов через фільтри $\Phi_{11}, \Phi_{22}, \Phi_{13}$. Спрацьовування індикатора I_{11} (рис. 2.3) указує, що частота сигналу f_c лежить у межах $f_1 \leq f_c \leq f_1 + \Delta f_1$.

Спрацьовування індикатора I_{22} дає $f_1 + \Delta f_2 \leq f_c \leq f_1 + 2\Delta f_2$.

Визначення частоти сигналу за допомогою матричного приймача.

Таблиця 2.1

№ рядка	Номер стовпця			
	1	2	...	n
1	$f_1 \div f_1 + \Delta f_1$	$f_{np1} \div f_{np1} + \Delta f_2$...	$f_{npn-1} \div f_{npn-1} + \Delta f_n$
2	$f_1 + \Delta f_1 \div f_1 + 2\Delta f_1$	$f_{np1} + \Delta f_2 \div$ $\div f_{np1} + 2\Delta f_2$...	$f_{npn-1} + \Delta f_n \div$ $\div f_{npn-1} + 2\Delta f_n$
3	$f_1 + 2\Delta f_1 \div f_1 + 3\Delta f_1$	$f_{np1} + 2\Delta f_2 \div$ $\div f_{np1} + 3\Delta f_2$...	$f_{npn-1} + 2\Delta f_n \div$ $\div f_{npn-1} + 3\Delta f_n$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 25

•
<i>m</i>	$f_1 + (m-1)\Delta f_1 \div$ $\div f_1 + m\Delta f_1$	$f_{np1} + (m-1)\Delta f_2 \div$ $\div f_{np1} + m\Delta f_2$...	$f_{npn-1} + (m-1)\Delta f_n \div$ $\div f_{npn-1} + m\Delta f_n$

У силу спрацьовування індикатора I_{13} отримаємо остаточну оцінку несучої частоти

$$f_1 + \Delta f_2 \leq f_c \leq f_1 + 2\Delta f_2 + 2\Delta f_3.$$

Точність вимірювання частоти в даному приймачі визначається смугою прозорості фільтрів третього стовпця Δf_3 . У загальному випадку для m рядків і n стовпців точність визначення частоти буде дорівнює

$$\delta f_{\max} = \frac{\Delta f_n}{2} = \frac{\Delta f_p}{2m^n}. \quad (2.1)$$

тобто визначається смугою пропущення фільтра останнього стовпця.

Одним з головних параметрів багатоканальних приймачів являється об'єм апаратури, який оцінюється у цьому випадку кількістю відбіркового фільтрів N .

Для багатоканального приймача з незалежними каналами (рис. 10.21) кількість відбіркового фільтрів дорівнює

$$N_1 = \frac{\Delta f_p}{\Delta f}. \quad (2.2)$$

Для багатоканального матричного приймача (рис. 10.22), що забезпечує ту ж точність визначення несучої частоти,

$$N_2 = mn. \quad (2.3)$$

причому

$$\Delta f = \Delta f_n.$$

З (2.1) і (2.3) бачимо, що

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 26

$$N_2 = n \cdot n \sqrt{\frac{\Delta f_p}{\Delta f}} \quad (2.4)$$

Порівнюючи (2.2) і (2.4), знайдемо виграш у кількості відбіркових фільтрів за рахунок застосування матричного приймача

$$\xi = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\Delta f_p}{\Delta f_n} \frac{1}{n \cdot n \sqrt{\frac{\Delta f_p}{\Delta f_n}}} = \frac{1}{n} \left(\frac{\Delta f_p}{\Delta f_n} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Наприклад, якщо число стовпців $n = 3$, а $\frac{\Delta f_p}{\Delta f_n} = 1000$, то виграш у кількості фільтрів оцінюється числом $\xi = 33$.

Матричні приймачі являють собою досить складні пристрої. Найбільші труднощі при розробці й налагодженні багатоканальних матричних приймачів можуть виникати через взаємний вплив між каналами, що породжує неоднозначність вимірювань. Ці труднощі переборюються за допомогою спеціальних схем усунення неоднозначності, що відокремлюють потрібні сигнали від перешкод, а також удосконаленням смугових фільтрів і застосуванням спеціальних розв'язувальних схем.

Матричний приймач забезпечує кращу чутливість і роздільну здатність по частоті але порівнянню зі звичайними багатоканальними приймачами. Однак час розвідки (час обслуговування) у такого приймача трохи більше, ніж у звичайного багатоканального приймача.

3. Порядок виконання роботи

- 3.1. Дослідити принципи функціонування матричного пристрою контролю РЧР, аналізуючи залежність сукупності відгуків каналів прийому від частоти радіосигналу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 27

- 3.2. Дослідити точність визначення частоти радіосигналу в залежності від кількості етапів (стадій) прийому-аналізу при незмінній кількості каналів прийому.
- 3.3. Дослідити точність визначення частоти радіосигналу в залежності від кількості каналів прийому при незмінній кількості етапів (стадій) прийому-аналізу матричного пристрою контролю РЧР.
- 3.4. Дослідити роздільну здатність по частоті матричного пристрою контролю РЧР в залежності від співвідношення його ширини діапазону робочих частот D_f і кількості каналів N_k та етапів прийому-аналізу M .
- 3.5. Дослідити перепускную спроможність матричного контролю РЧР в залежності від кількості каналів та етапів прийому-аналізу та їх параметрів.
- 3.6. Дослідити принцип кодування значення частоти радіосигналу в матричному пристрої контролю РЧР. Побудувати таблицю кодів частоти радіосигналу.

4. Обробка результатів досліджень

- 4.1. За результатами п. 3.1. побудувати структурну схему матричного пристрою контролю РЧР та відповідні частотно-часові епюри, що пояснюють принципи його функціонування.
- 4.2. За результатами п. 3.2. побудувати сімейство залежностей точності визначення частоти радіосигналу матричним пристроєм контролю РЧР від кількості етапів $\Delta f = \xi_n(m)$ прийому аналізу для різних значень кількості каналів прийому N_k . Виконати якісний аналіз графіків.
- 4.3. За результатами п. 3.3. побудувати сімейство залежностей точності визначення частоти радіосигналу від кількості каналів прийому $\Delta f = \xi_n(N_k)$ матричного пристрою контролю РЧР для різних значень етапів M прийому-аналізу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 28

- 4.4. За результатами пункту 3.4 оцінити можливість матричного пристрою контролю РЧР одночасно приймати декілька радіосигналів. Визначити необхідні умови паралельного прийому-аналізу радіосигналів та роздільну здатність по частоті матричного приймача в залежності від співвідношення ширини діапазону робочих частот D_f , кількості каналів прийому N_k , та кількості етапів M прийому-аналізу.
- 4.5. За результатами пункту 3.5. оцінити максимальну кількість радіосигналів $N_{s\max}$, що може одночасно прийматися матричним пристроєм контролю РЧР в залежності від кількості каналів прийому N_k , та кількості етапів M прийому-аналізу. Визначити залежність пропускну здатності матричного пристрою контролю РЧР від співвідношення ширини діапазону робочих частот D_f , кількості каналів прийому N_k , та кількості етапів M прийому-аналізу.
- 4.6. За результатами п. 3.6. визначити принцип кодування частоти радіосигналів в матричному пристрої контролю РЧР та співвідношення для розрахунку значення частоти радіосигналу f_s по її коду.
- 4.7. Для кожного пункту досліджень розділу 3 виконати аналітичні дослідження основних властивостей матричного пристрою контролю РЧР. Отримані результати порівняти з експериментальними даними і зробити обґрунтовані висновки.
- 4.8. За результатами досліджень дати рекомендації по визначенню оптимальних значень кількості каналів прийому N_k і кількості етапів прийому-аналізу M матричного пристрою контролю РЧР, що забезпечують необхідні точність аналізу частоти, достовірність виявлення, роздільну здатність по частоті та пропускну здатність.
- 4.9. Результатів досліджень оформити у вигляді звіту, що підлягає індивідуальному захисту.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 29</i>

Контрольні питання самоконтролю

1. В чому полягає сутність без пошукових методів прийому радіосигналів та контролю РЧР?
2. В чому полягають принципи функціонування матричних пристроїв прийому радіосигналів?
3. Як залежить точність визначення частоти радіосигналу матричного пристрою контролю РЧР від його кількості каналів прийому та етапів (стадій) прийому-аналізу?
4. Які вимоги пред'являють до параметрів складових частин матричного пристрою контролю РЧР в залежності від необхідних точності та достовірності функціонування?
5. Чим визначається перепускна здатність матричного пристрою контролю РЧР?
6. Дати порівняльний аналіз матричного та паралельного пристрою контролю РЧР.
7. Які співвідношення сигнал/шум: достовірність аналізу забезпечує матричний пристрій контролю РЧР на виходах каналів прийом, та чим вони зумовлені?
8. Як розраховується значення частоти радіосигналу f_s по вихідному цифровому коду матричного пристрою контролю РЧР?
9. Які варіанти побудови безпошукових пристроїв контролю РЧР ви знаєте?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 30

Лабораторна робота №3

Дослідження функціонування цифрового пристрою контролю РЧР

Мета лабораторної роботи: експериментальне дослідження принципів функціонування та основних точностних характеристик цифрового пристрою контролю (ЦПК) РЧР на основі дискретного перетворення Фур'є (ДПФ)

1. Підготовка до роботи

- 1.1. Опрацювати необхідний теоретичний матеріал в рекомендованому переліку літератури.
- 1.2. Опрацювати методичні вказівки до проведення лабораторної роботи, уявити мету роботи та принцип її виконання.
- 1.3. Вивчити технічні описи приладів, що входять до складу лабораторного робочого місця, а також спеціалізованого пакету прикладних програм ПЕОМ.
- 1.4. Виконати необхідні попередні розрахунки.
- 1.5. Відповісти на питання самотестування, готовності до виконання роботи.
- 1.6. Для кожного пункту третього розділу проробити та запропонувати свій варіант методики досліджень в загальному вигляді із обґрунтуванням використання конкретної моделюючої програми із пакету прикладних програм. Варіант методики досліджень узгодити із викладачем.
- 1.7. Вибрати тип і структуру моделюючих сигналів та розрахувати конкретні їх параметри і діапазони їх можливих значень. Підготувати програму модель із урахуванням проведених розрахунків та узгодити її з викладачем.
- 1.8. Проаналізувати і запропонувати можливість розширення і поглиблення досліджень щодо ЦПК РЧР. Запропонувати

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 31

варіанти додаткових досліджень в доповнення програми розділу 3.

2. Короткі теоретичні відомості

Цифрові методи спектрального аналізу

Методи цифрової обробки радіосигналів знаходять зараз широке застосування при спектральному аналізі в різних галузях науки й техніки. При цьому під цифровою обробкою розуміють процес, при якому необхідні виміри й обчислення здійснюються шляхом операцій над числами, які представляють у дискретній формі аналізований сигнал. Спектральні характеристики аналізованого процесу можна визначити за допомогою універсальних ЕОМ, запрограмованих відповідним чином, або спеціалізованих обчислювальних пристроїв - цифрових аналізаторів спектра. Цифрові аналізатори спектра звичайно дозволяють змінювати алгоритм обчислень у певних межах і часто по цьому показнику наближаються до універсальних ЕОМ. Тому розглядаючи принципи цифрового спектрального аналізу, ми не будемо орієнтуватися на певний тип обчислювального пристрою.

Відомо, що спектр Фур'є реалізації кінцевої тривалості безперервний. Алгоритм ДПФ дозволяє одержати лише кінцеве число спектральних складових. У точках аналізу $k\Delta F$ ($k = 0, 1, 2, \dots, M/2 - 1$) значення C_k , дорівнює безперервній спектральній щільності $C(f)$, тобто $C_k = C(k\Delta F)$. Співвідношення між безперервним і дискретним перетвореннями Фур'є ілюстроване рис. 3.1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 32

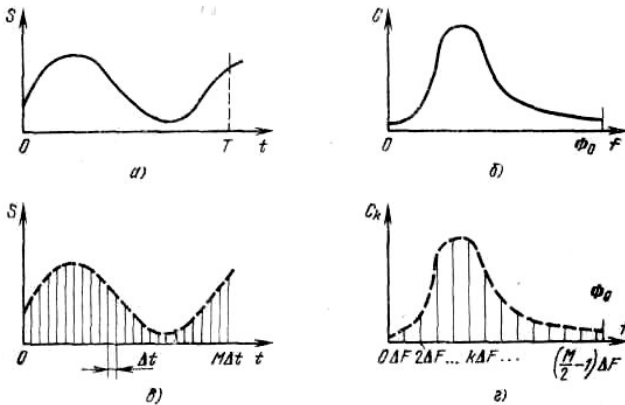


Рис. 3.1. Співвідношення між неперервним та дискретним перетворенням Фур'є

а – неперервна реалізація сигналу, б – справжній спектр Фур'є в смузі аналізу, в – дискретизована реалізація сигналу, г – ДПФ відліків сигналу

При цифровій обробці здійснюється спектральний розклад не самого сигналу $S(t)$, а дискретної реалізації кінцевої тривалості, яка має вигляд послідовності значень $h(i)S(i\Delta t)$ для i от 0 до $M-1$, де M – об'єм вибірки (кінцеве число відліків які оброблюються).

Для обчислення спектральних складових по сукупності цих значень використовують алгоритм дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), якій дозволяє перерахувати сукупність часових відліків в комплексний дискретний спектр:

$$\begin{aligned}
 a_k &= \sum_{i=0}^{M-1} h(i)S(i\Delta t) \cos \frac{2\pi i k}{M} \\
 b_k &= \sum_{i=0}^{M-1} h(i)S(i\Delta t) \sin \frac{2\pi i k}{M}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 33

де a_k та b_k – дійсна та уявна частки комплексного коефіцієнту спектра Фур'є відповідно, k – номер гармонічної складової спектру реалізації яка аналізується.

За цими коефіцієнтами a_k та b_k обчислюють коефіцієнти спектра амплітуд

$$C_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} . \quad (3.2)$$

В сукупності коефіцієнтів C_k знаходиться вся інформація о розподіленні енергії сигналу по частоті, тому вона являється аналогом спектральної характеристики сигналу, які отримують при фільтрових методах аналізу.

Спектр фаз реалізації яка аналізується:

$$\varphi_k = -\arctg(b_r / a_k) . \quad (3.3)$$

Таким чином, використання алгоритму ДПФ еквівалентно застосуванню аналізатора спектра паралельного типу М/2 вузькосмуговими фільтрами.

На узагальненій структурній схемі пристроїв цифрової обробки сигналів (рис. 3.2) лінією «Керування» показана можливість створення адаптивних алгоритмів спектрального аналізу, при яких залежно від результатів обчислень можуть мінятися параметри ШСТ й аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

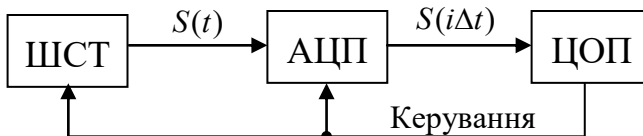


Рис. 3.2. Структурна схема пристрою цифрової обробки

Розглянемо більш докладно вузли пристрою. ШСТ цифрового пристрою спектрального аналізу аналогічний ШСТ, використовуваним в аналогових аналізаторах спектра. Він забезпечує

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 34

селекцію радіовипромінювань у смузі аналізу. Його смугою пропускання Φ_0 визначається частота дискретизації сигналу $f_\delta = 1/\Delta t$. Відповідно до теореми Котельникова $f_\delta = 2\Phi_0$, однак реальні ШСТ мають не строго прямокутну АЧХ, тому поняття смуги пропускання вводиться умовно. Залежно від рівня, по якому вимірюються Φ_0 , її значення будуть різні, що не дозволяє об'єктивно вибрати частоту f_δ . Для фізично реалізованих фільтрів теорема Котельникова узагальнена. Зміст цього узагальнення полягає в тому, що залежно від частотної характеристики ШСТ крок дискретизації вибирається таким, що, з одного боку, про межі необхідної точності обчислень втрат сигналу не відбувається, а з іншої, немає нагромадження надлишкової інформації про сигнал, що має місце при завищеній частоті дискретизації.

В загальному випадку аналізована смуга частот може розміщатися й на проміжних частотах, тобто коли $f_s \gg 2\Phi_0$. Необхідна частота дискретизації при цьому визначається вже не верхньою частотою в аналізованому спектрі, а смугою пропускання ШСТ і середньою частотою його настроювання $f_{nc} = f_s - \Phi_0/2$. Тут потрібне виконання вже двох умов: 1) частота дискретизації, як і колись, повинна бути не нижче подвоєної смуги аналізу; 2) f_δ не повинна бути кратна ні однієї із частот у смузі Φ_0 . Помітимо, що при спектральному розкладанні по низькій частоті (коли $f_s = \Phi_0$) друга умова виконується автоматично при виконанні першого. Умови вибору частоти дискретизації при спектральному розкладанні сигналів на проміжній частоті можна записати у вигляді системи нерівностей:

$$\begin{aligned}
 f_\delta &\geq 2\Phi_0 \\
 nf_\delta &< f_{nc} - \Phi_0 \\
 (n+1)f_\delta &< f_{nc} + \Phi_0
 \end{aligned}
 \quad , \quad (3.4)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 35

де n – будь-яке ціле позитивне число. Ці умови практично легко виконати підбором $f_{nч}$ або незначним підвищенням f_{δ} .

Варто мати на увазі, що при використанні алгоритму ДНФ вибір $f_{\delta} > 2\Phi_0$ не приводить до підвищення точності виміру спектральних складових. В аналізованій смузі частот як і раніше розміститься тільки $\Phi_0 T$ точок аналізу, хоча загальне їхнє число $M/2 = Tf_{\delta}/2$ й зросте. Спектральні складові, відповідним точкам аналізу, що перебуває вище f_{δ} , будуть подавлені в ШСТ і приведуть лише до збільшення обсягу обчислень.

На рис. 3.3 АЧХ умовно зображена штриховою лінією $f_{\delta} = \Phi_0$. Значення $f_{\delta}/2$ обране таким, що спектральні складові, розташовані на інтервалі $(\Phi_0 \dots f_{\delta}/2)$, подавлені фільтром й, отже, не несуть інформації про спектральну структуру сигналу. Інакше кажучи, при невиконанні рівності $\Delta t = 1/2\Phi_0$ рівність $\Delta F = \Phi_0/1/2M$ стає несправедливою, і відстань між спектральними складовими ΔF можна визначити тільки через тривалість T оброблюваної реалізації, а отже, воно залежить від добутку $T = M\Delta t$, а не від кожного співмножника, що входить у нього. Тому при заданому ΔF завжди прагнуть до зниження частоти дискретизації в межах виконання нерівностей (3.4).

Якщо ж перша умова з (3.4) не виконується, тобто частота дискретизації виявляється нижчою подвоєної смуги пропускання ШСТ, то відбувається накладення спектральних складових. Це обумовлено тим, що, коли на період високочастотної гармонічної складової у спектрі сигналу доводиться менше двох відліків. Закон їхньої зміни в часі може збігатися з дискретами однієї з низькочастотних гармонік.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 36

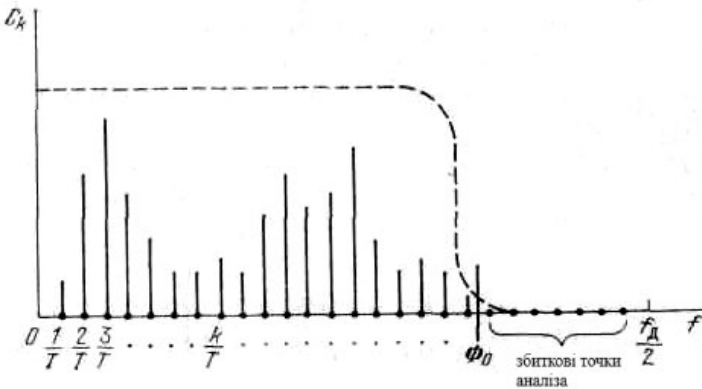


Рис. 3.3. Поява надлишкових крапок аналізу в результаті завищеної частоти дискретизації

На рис. 3.4 суцільною лінією зображена високочастотна складова, дискретизування в часі, а штрихова лінія відповідає гармоніці, що з'явиться в спектрі сигналу після ДПФ цих. Як видно з малюнка, через низьку частоту дискретизації відбувається перенос енергії високочастотних складових у низькочастотну область, а отже, перекручування спектральної картини.

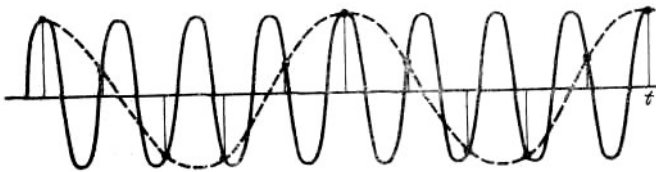


Рис. 3.4. Поява хибної спектральної складової в результаті низької частоти дискретизації

Таким чином, частота дискретизації визначається параметрами ШСТ. Сам же процес узяття відліків здійснюється АЦП. У його функцію входить вимірювання миттєвих значень напруги на виході ШСТ у дискретні моменти часу $i\Delta t$ й подання цих відліків

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015		Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1
			Арк 110 / 37

кінцевими числами. Остання операція являє собою округлення одержуваних значень $S(i\Delta t)$ до необхідної точності виміру $\Delta u / 2$.

Величина Δu називається кроком квантування сигналу за рівнем. Процес квантування сигналу за рівнем зводиться до розбивки всього можливого діапазону зміни відліків на кінцеве число рівнів. Після цього істинні значення відліків замінюють значеннями найближчих рівнів квантування (рис. 3.5,а). У результаті всі значення $S(i\Delta t)$ представляються кінцевими числами, які можна представити у вигляді кодових комбінацій з обмеженим числом розрядів. Так, якщо весь динамічний діапазон сигналів розбитий на N рівнів квантування, то в бінарному коді буде потрібно $\log_2 N$ розрядів з округленням цього числа до найближчого цілого в більшу сторону. На виході АЦП дискретизований сигнал представляється послідовністю кодових комбінацій (рис. 3.5,б), які й має бути обробляти у ЦОП.

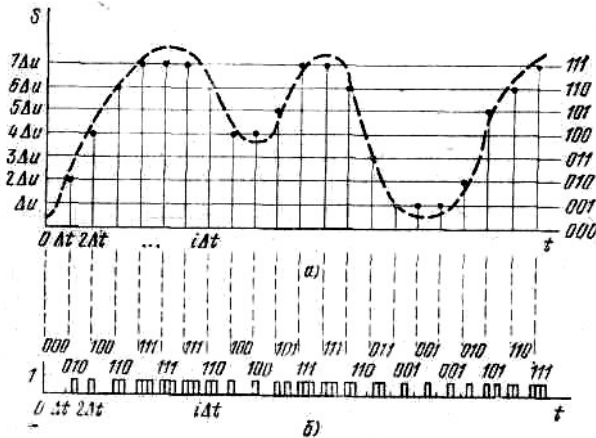


Рис. 3.5. Дискретизування й квантування за рівнем реалізація сигналу (а), послідовність кодових комбінацій на виході АЦП (б)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 38</i>

Природно, округлення значень відліків сигналу приводить до неминучих помилок при вимірі його параметрів. Тому крок квантування вибирають таким, щоб ці погрішності не перевищували заданого рівня. При аналізі радіосигналів досить строгим є припущення про те, що в межах якогось кроку квантування істинне значення відліку рівноімовірно, тобто помилка квантування розподілена рівномірно на інтервалі $(-\Delta u/2, \Delta u/2)$. У цьому випадку її середнє значення дорівнює нулю, а середньоквадратичне визначається виразом

$$\sigma_s = \sqrt{1/12} \Delta u \approx 0,29 \Delta u . \quad (3.5)$$

Помилка квантування еквівалентна погрішності виміру, що виникає при впливі на корисний сигнал шуму зі середньоквадратичним значенням a_s , тому її й прийнято називати шумом квантування. Абсолютне значення погрішності визначається тільки кроком квантування. Відносна ж помилка округлення зростає при зменшенні значень відліків. У зв'язку із цим необхідно, щоб аналізований сигнал займав якомога більшу частину шкали квантування.

При цифровій обробці сигналів динамічний діапазон усього пристрою визначається в більшості випадків числом рівнів квантування. Тому як для зменшення потужності шуму квантування, так і для збільшення динамічного діапазону бажано мати можливо більше їхнє число. Однак зі збільшенням числа рівнів квантування зростає число розрядів у кодових комбінаціях, що приводить до необхідності підвищувати швидкодію АЦП і знижує продуктивність ЦОП.

Як відзначалося, у ЦОП провадиться обробка кодових комбінацій, що надходять із виходу АЦП. Розглянемо структурну схему цифрового аналізатора спектра (рис. 3.6). Для того щоб зробити обробку відліків по алгоритму ДПФ, насамперед необхідно

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 39

нагромадити реалізацію необхідної тривалості T , тобто M відліків сигналу. Це здійснюється буферним накопичувачем, куди надходять кодові комбінації з виходу АЦП.

При фіксованій частоті дискретизації тривалість накопичуваної реалізації, а отже, і величина ΔF визначається числом оброблюваних відліків M . Таким чином, регулювання ΔF можна просто здійснювати, змінюючи обсяг вибірки. Якщо тривалість аналізованого сигналу коротше необхідної тривалості реалізації, то для одержання потрібної відстані між спектральними складовими використовують штучний приймання, що складається в додаванні необхідного числа відліків нулями. Так, якщо реалізацію з M відліків доповнити $(N - 1)M$ нулями, то відстань між спектральними складовими зменшиться в N раз й їхнє число в смузі аналізу стане $(N - 1)N$. Такий спосіб регулювання ΔF широко використовується при цифровому спектральному аналізі коротких реалізацій. Як відзначалося, природне обмеження об'єму вибірки значенням M відповідає множенню вхідної реалізації на прямокутну функцію, що виділяє, у зв'язку із чим у цьому випадку сама операція множення $h(i)S(i\Delta t)$ не виробляється.

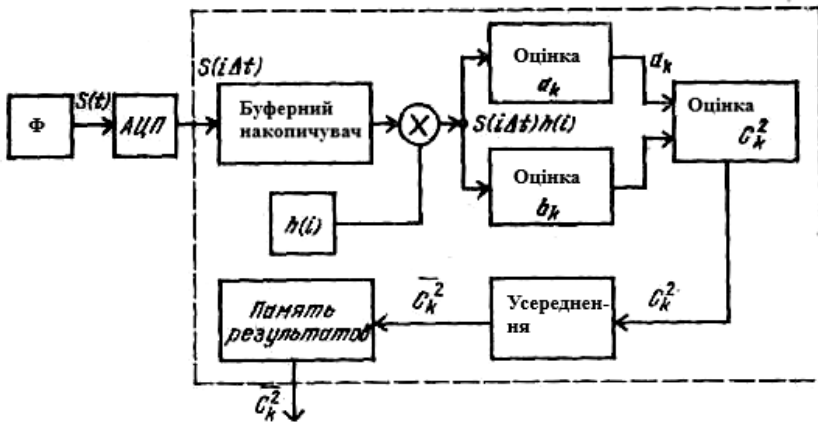


Рис. 3.6. Структурна схема цифрового аналізатора спектра

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 40

У результаті розрахунку коефіцієнтів спектра амплітуд такої послідовності утвориться $M/2$ відліків C_k , які за своїми значеннями збігаються з відгуками на виходах фільтрів у момент часу T . При цьому середні частоти настроювання еквівалентних фільтрів дорівнюють відповідним частотам спектральних складових $k\Delta F$, а огинаючі імпульсних реакцій мають прямокутну форму, тобто тимчасова функція, що виділяє, виступає як обгинає імпульсної реакції еквівалентних фільтрів. На рис. 3.7 зображена АЧХ сукупності еквівалентних вузько смугових трактів, які одержані у результаті ДПФ відліків, узятих із прямокутної що виділяє функцією. АЧХ кожного з еквівалентних фільтрів визначається

$$\frac{\sin \pi(f - k\Delta F)T}{\pi(f - k\Delta F)T}.$$

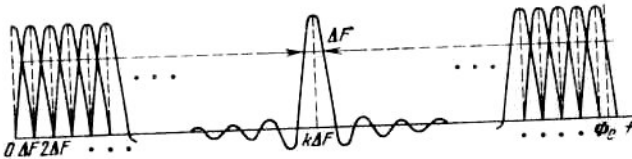


Рис. 3.7. АЧХ сукупності еквівалентних вузько смугових трактів цифрового панорамного пристрою

де $k\Delta F$ — центральна частота настроювання. Тракт панорамного прийому в цілому має частотну характеристику у вигляді гребінки з характеристик $M/2$ таких фільтрів. При прямокутній функції, що виділяє, частотні характеристики еквівалентних вузько смугових трактів не локалізовані навколо своїх середніх частот настроювання й мають множину позитивних і негативних викидів - бічних пелюстків (на рис. 3.7 це показано для k -го еквівалентного фільтра). При цьому амплітуда бічних пелюстків спадає досить повільно. У результаті кожен вузько смуговий тракт має АЧХ, що

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 41

відповідає своїй еквівалентній імпульсній реакції, тобто послідовності $h(i)$. Таким чином, цифрові методи спектрального аналізу дозволяють досить просто здійснювати регулювання частотних характеристик вузько смугового тракту. Для цього досить мати можливість змінювати $h(i)$, що знаходяться у запам'ятовувальному пристрої ЕОМ. Зокрема, для придушення бічних пелюстків АЧХ широке поширення одержала часова функція, що виділяє

$$h(i) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi i}{0,1M} \right) & \text{при } 0 \leq i \leq 0,1M \\ 1 & \text{при } 0,1 \leq i \leq 0,9M \\ \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi(M-i)}{0,1M} \right) & \text{при } 0,9 \leq i \leq M-1 \end{cases} \quad (3.6)$$

зручна тим, що вона плавно наближається до нуля на кінцях, зменшуючи тим самим бічні пелюстки АЧХ,

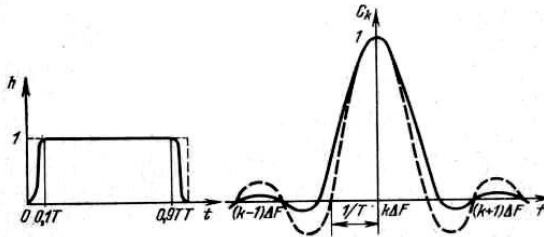


Рис. 3.8. Часові функції, що виділяють, і відповідні їм АЧХ еквівалентних вузько смугових трактів

обумовлені різким спадом прямокутної функції, що виділяє, у той же час 80% відліків у середині інтервалу $(0, T)$ не потрібно додатково множити на $h(i) = 1$ коефіцієнти. На рис. 3.8 зображена тимчасова функція, що виділяє, виду (3.6) для безперервного аргументу $t = i\Delta t$ й відповідна їй АЧХ еквівалентного фільтра. Тут

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 42

же для порівняння штриховою лінією представлена прямокутна функція, що виділяє, і відповідна АЧХ. При цьому обидві частотні характеристики нормовані до одиниці (Коефіцієнт передачі еквівалентного фільтра, що відповідає $h(i)$ виду (3.6), на частотах $k(\Delta F)$ становить 0,875 від коефіцієнта передачі еквівалентного фільтра, що відповідає прямокутної функції, що виділяє.).

Після множення аналізованої реалізації на необхідну функцію, що виділяє, відліки сигналу надходять у блоки, що роблять обчислення по алгоритму ДПФ, і по отриманим відлікам комплексного спектра a_k й b_k розраховуються коефіцієнти спектра амплітуд C_k . При цьому об'єм обчислень, а отже, і час, затрачуваний на нього, визначається числом одночасно оброблюваних відліків M . Якщо для обчислення всієї сукупності з $M/2$ коефіцієнтів C_k потрібен час $T_{обч} \leq T$, те можливий спектральний аналіз у реальному масштабі часу. Під роботою цифрового пристрою в реальному масштабі часу розуміють таку обробку сигналів, при якій не відбувається втрат відліків аналізованого процесу й у той же час немає зростаючого від реалізації до реалізації їхнього накопичення. Таким чином, при роботі в реальному масштабі часу кінцевий результат обчислень повинен бути отриманий за час, що не перевищує тривалість оброблюваної реалізації.

При фіксованій швидкодії цифрового пристрою $T_{обч}$ визначається числом операцій, необхідних для реалізації алгоритму. Розглядаючи вираз (3.1) як алгоритм одержання коефіцієнтів комплексного спектра Фур'є реалізації, що складає з M відліків, бачимо, що для одержання всієї сукупності a_k й b_k , (для k від 0 до $M/2-1$) необхідно провести при прямокутній. функції, що виділяє, M^2 операцій множення й стільки ж операцій додавання. Таким чином, при збільшенні числа одночасно оброблюваних відліків об'єм обчислень росте не по лінійному, а за квадратичним законом. З

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 43

урахуванням цієї обставини в цей час розроблені алгоритми, що дозволяють значно зменшити об'єм обчислень, а отже, і час, затрачений на них. Такі алгоритми одержали загальну назву - швидко перетворення Фур'є (ШПФ).

На закінчення відзначимо, що важливим достоїнством цифрових панорамних пристроїв є можливість одержання високих метрологічних характеристик. Це обумовлюється тим, що вузькосмугові еквівалентні фільтри отримують розрахунковим шляхом, внаслідок чого вони ідентичні завжди з точністю обчислень. Стабільність у часі параметрів сукупності еквівалентних фільтрів визначається тільки стабільністю АЦП і тому може бути досить високої й просто контрольованої. Гранична роздільна здатність цифрових панорамних пристроїв практично не залежить від стабільності параметрів фільтрів і визначається тільки максимально можливою тривалістю T оброблюваної реалізації. Практично існуючі цифрові пристрої спектрального аналізу дозволяють отримувати роздільну здатність у десяти й соті долі герца.

Всі основні технічні характеристики апаратур цифрового спектрального аналізу радіосигналів визначаються досягненнями обчислювальної техніки й удосконалюються в міру її розвитку.

3. Порядок виконання роботи

- 3.1. Дослідити залежність амплітуди частотних відгуків цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від частоти гармонійного радіосигналу для різних видів вагових функцій «вікна» W_t .
- 3.2. Дослідити залежність частотного кроку гребінки частотних каналів h_f та коефіцієнту перекриття K_{Π} смуг частотних каналів цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від співвідношення значень частоти дискретизації F_0 кількості сигнальних відліків N_s ($N_a = N_s$), що аналізуються, та виду вагової функції «вікна» W_t .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 44

- 3.3. Дослідити залежність частотного кроку гребінки частотних каналів h_f та коефіцієнту перекриття K_{II} смуг частотних каналів цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від співвідношення кількості сигналів N_s , та кулькових відліків N_0 , що аналізуються ($N_a = N_s + N_0$).
- 3.4. Дослідити можливість виявлення гармонічного радіосигналу з невідомою частотою цифровим ДПФ-аналізатором РЧР в динамічному діапазоні можливих значень його амплітуди D_s . Для різних вагових функції «вікна» W_t .
- 3.5. Дослідити можливість виявлення гармонічного радіосигналу з невідомою частотою при наявності адитивного білого гаусового шуму цифровим ДПФ-аналізатором РЧР в динамічному діапазоні можливих значень амплітуди D_s .
- 3.6. Дослідити залежність точності визначення частоти Δf гармонічного радіосигналу цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від кількості сигнальних N_s , та кулькових N_0 відліків, що аналізуються $N_a = N_s + N_0$. Дослідити закон розподілу похибки Δf вимірювання частоти та її максимально можливе та середнє значення.
- 3.7. Виконати дослідження пунктів 3.1. ... 3.6. для цифрового пристрою контролю РЧР, що використовує для обробки сигналів алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).
- 3.8. Виконати дослідження залежності еквівалентної шумової смуги пропускання каналів прийому цифрового ДПФ-аналізатора від частоти дискретизації, кількості сигналів N_s , та кулькових N_0 відліків, що аналізуються ($N_a = N_s + N_0$), а також від виду вагової функції «вікна» W_t .

4. Обробка результатів досліджень.

- 4.1. За результатами дослідження п. 3.1. побудувати амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) каналів прийому цифрового ДПФ-аналізатора РЧР. Для різних видів функцій «вікна»

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 45

- визначити ширину смуги пропускання каналів прийому та рівень подавлення радіосигналів за межами їх смуги пропускання. Виконати порівняльний аналіз форми АЧХ різних каналів прийому в межах смуги аналізу для різних видів вагових функцій «вікна»
- 4.2. За результатами п. 3.2. побудувати залежності частотного кроку h_f гребінки частотних каналів та коефіцієнту перекриття K_{Π} смуг частотних каналів цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від частоти дискретизації F_0 , кількості сигнальних відліків $N_s = N_a$ та виду вагової функції «вікна» W_t .
 - 4.3. За результатами п. 3.3. побудувати залежності частотного кроку h_f гребінки частотних каналів та коефіцієнту перекриття K_{Π} смуг частотних каналів цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від співвідношення кількості сигнальних відліків N_s та нульових відліків N_0 радіосигналу, що аналізується $N_a = N_s + N_0$, та виконати їх кількісний і якісний аналіз.
 - 4.4. За результатами п.3.4. побудувати залежність амплітудних відгуків каналів прийому цифрового ДПФ-аналізатора на дію гармонічного радіосигналу з невідомою частотою в межах динамічного діапазону D_s рівня радіосигналу. Виконати аналіз залежностей на можливість виявлення ДПФ-аналізатором РЧР гармонічного радіосигналу для різних вагових функцій «вікна» W_t .
 - 4.5. За результатами п. 3.5 побудувати залежність амплітудних відгуків каналів прийому цифрового ДПФ-аналізатора РЧР, оцінити їх дисперсію. Виконати аналіз залежностей на можливість та якість виявлення гармонічного радіосигналу в шумах цифровим ДПФ-аналізатором.
 - 4.6. За результатами п. 3.6 побудувати залежності похибки вимірювання частоти Δf гармонійного радіосигналу

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 46

- цифровим ДПФ-аналізатором РЧР від кількості сигнальних N_s та нульових відліків N_0 , що аналізуються $N_a = N_s + N_0$. Оцінити закон розподілу похибки вимірювання частоти Δf в межах смуги аналізу та її максимальне і середнє значення.
- 4.7. За результатами п. 3.7 побудувати необхідні залежності параметрів АЧХ ДПФ-аналізатору РЧР та похибки Δf від співвідношення частоти дискретизації F_δ , кількості сигнальних N_s та нульових відліків N_0 , а також від виду вагової функції «вікна» W_t за умови обробки сигналу по алгоритму ШПФ. Виконати порівняльний аналіз результатів пунктів 4.1...4.6 з результатами п. 4.7.
- 4.8. Побудувати залежності величини смуги пропускання цифрового ДПФ-аналізатора від частоти дискретизації F_δ , виду вагової функції W_t , кількості сигнальних N_s та нульових відліків N_0 , що аналізуються $N_a = N_s + N_0$.
- 4.9. Для кожного пункту досліджень розділу 3 виконати аналітичні дослідження основних властивостей цифрового ДПФ-аналізатора РЧР. Отримані результати порівняти із експериментальними даними і зробити обґрунтовані висновки.
- 4.10. За результатами досліджень дати рекомендації щодо визначення оптимальних значень кількості сигнальних N_s та нульових відліків N_0 , що аналізуються ДПФ-аналізатором РЧР, а також типу вагової функції «вікна» W_t , які забезпечують необхідну якість аналізу.
- 4.11. Результати досліджень оформити у вигляді звіту, що підлягає індивідуальному захисту.

Контрольні питання самоконтролю

1. В чому полягає сутність безошукових методів прийому радіосигналів та контролю РЧР?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 47

2. В чому полягають принципи функціонування матричних пристроїв прийому радіосигналів?
3. Як залежить точність визначення частоти радіосигналу матричного пристрою контролю РЧР від його кількості каналів прийому та етапів (стадій) прийому-аналізу?
4. Які вимоги пред'являють до параметрів складових частин матричного пристрою контролю РЧР в залежності від необхідних точності та достовірності функціонування?
5. Чим визначається перепускна здатність матричного пристрою контролю РЧР?
6. Дати порівняльний аналіз матричного та паралельного пристрою контролю РЧР.
7. Які співвідношення сигнал/шум: достовірність аналізу забезпечує матричний пристрій контролю РЧР на виходах каналів прийом, та чим вони зумовлені?
8. Як розраховується значення частоти радіосигналу f_s по вихідному цифровому коду матричного пристрою контролю РЧР?
9. Які варіанти побудови без пошукових пристроїв контролю РЧР ви знаєте?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 48</i>

Лабораторна робота №4

Дослідження характеристик цифрових пристрів контролю РЧР

Мета лабораторної роботи: експериментальне дослідження точностних та часових характеристик цифрового ДПФ-аналізатора РЧР

1. Підготовка до роботи

- 1.1. Опрацювати необхідний теоретичний матеріал в рекомендованому переліку літератури.
- 1.2. Опрацювати методичні вказівки до проведення лабораторної роботи, уявити мету роботи та принцип її виконання.
- 1.3. Вивчити технічні описи приладів, що входять до складу лабораторного робочого місця, а також спеціалізованого пакету прикладних програм ПЕОМ.
- 1.4. Виконати необхідні попередні розрахунки.
- 1.5. Відповісти на питання самотестування, готовності до виконання роботи.
- 1.6. Для кожного пункту третього розділу проробити та запропонувати свій варіант методики досліджень в загальному вигляді із обґрунтуванням використання конкретної моделюючої програми із пакету прикладних програм. Варіант методики досліджень узгодити із викладачем.
- 1.7. Вибрати тип і структуру моделюючих сигналів та розрахувати конкретні їх параметри і діапазони їх можливих значень. Підготувати програму модель із урахуванням проведених розрахунків та узгодити її з викладачем.
- 1.8. Проаналізувати і запропонувати можливість розширення і поглиблення досліджень характеристик цифрового ДПФ-аналізатора РЧР. Запропонувати варіанти додаткових досліджень в доповнення програми розділу 3.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 49

2. Короткі теоретичні відомості

Цифрові методи спектрального аналізу

Методи цифрової обробки радіосигналів знаходять зараз широке застосування при спектральному аналізі в різних галузях науки й техніки. При цьому під цифровою обробкою розуміють процес, при якому необхідні виміри й обчислення здійснюються шляхом операцій над числами, які представляють у дискретній формі аналізований сигнал. Спектральні характеристики аналізованого процесу можна визначити за допомогою універсальних ЕОМ, запрограмованих відповідним чином, або спеціалізованих обчислювальних пристроїв - цифрових аналізаторів спектра. Цифрові аналізатори спектра звичайно дозволяють змінювати алгоритм обчислень у певних межах і часто по цьому показнику наближаються до універсальних ЕОМ. Тому розглядаючи принципи цифрового спектрального аналізу, ми не будемо орієнтуватися на певний тип обчислювального пристрою.

Відомо, що спектр Фур'є реалізації кінцевої тривалості безперервний. Алгоритм же ДПФ дозволяє одержати лише кінцеве число спектральних складових. У точках аналізу $k\Delta F$ ($k = 0, 1, 2, \dots, M/2 - 1$) значення C_k , дорівнює безперервній спектральній щільності $C(f)$, тобто $C_k = C(k\Delta F)$. Співвідношення між безперервним і дискретним перетвореннями Фур'є ілюстроване рис. 4.1.

При цифровій обробці здійснюється спектральний розклад не самого сигналу $S(t)$, а дискретної реалізації кінцевої тривалості, яка має вигляд послідовності значень $h(i)S(i\Delta t)$ для i от 0 до $M - 1$, де M - об'єм вибірки (кінцеве число відліків які оброблюються).

Для обчислення спектральних складових по сукупності цих значень використовують алгоритм дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), якій дозволяє перерахувати сукупність часових відліків в комплексний дискретний спектр:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 50

$$\begin{aligned}
 a_k &= \sum_{i=0}^{M-1} h(i)S(i\Delta t) \cos \frac{2\pi k}{M} \\
 b_k &= \sum_{i=0}^{M-1} h(i)S(i\Delta t) \sin \frac{2\pi k}{M}
 \end{aligned}
 \quad (4.1)$$

де a_k та b_k – дійсна та мніма частки комплексного коефіцієнту спектра Фур'є відповідно, k – номер гармонічної складової спектру реалізації яка аналізується.

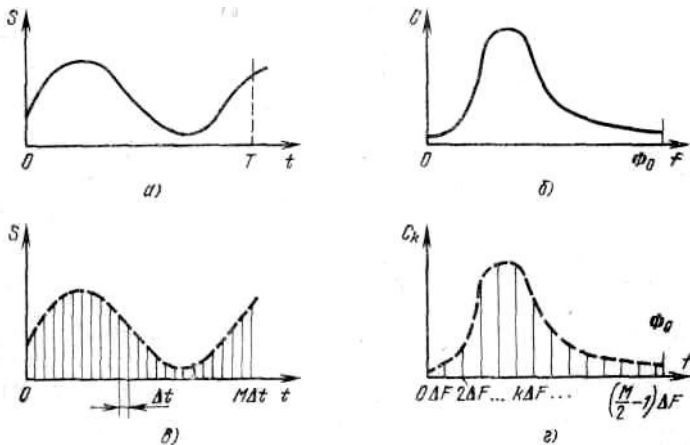


Рис. 4.1. Співвідношення між неперервним та дискретним перетворенням Фур'є

а – неперервна реалізація сигналу, б – справжній спектр Фур'є в смузі аналізу, в – дискретизована реалізація сигналу, г – ДПФ відліків сигналу.

За цими коефіцієнтами a_k та b_k обчислюють коефіцієнти спектра амплітуд

$$C_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} . \quad (4.2)$$

В сукупності коефіцієнтів C_k знаходиться вся інформація о розподіленні енергії сигналу по частоті, тому вона являється аналогом

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 51

спектральної характеристики сигналу, які отримують при фільтрових методах аналізу.

Спектр фаз реалізації яка аналізується:

$$\varphi_k = -\arctg(b_r / a_k) \quad (4.3)$$

Таким чином, використання алгоритму ДПФ еквівалентно застосуванню аналізатора спектра паралельного типу М/2 вузькосмуговими фільтрами.

Частота дискретизації та час спостереження

При дискретизації та перетворенні аналогового сигналу в цифрову форму для його вивчення за допомогою гармонічного аналізу частоту дискретизації f_δ вибирають залежно від найбільшої частоти сигналу. Не менш важливим, ніж частота дискретизації, є число виборок N і сумарний час спостереження NT_δ . Цим параметром визначається спектральне розрізнення. Перед початком обчислення необхідно записати значення виборок у пам'ять, яка заповнюється тим швидше, чим частіше будуть вибірки, довшим час спостереження або чим більшою буде розрядність аналого-цифрового перетворювача.

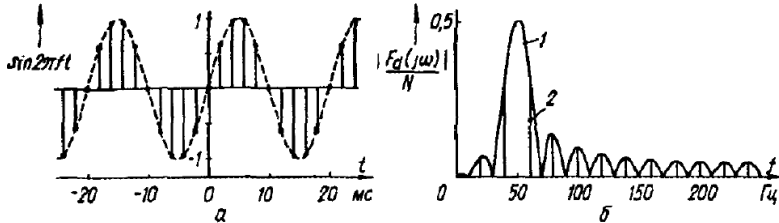
На практиці необхідно всі ці три параметри узгоджувати. При цьому частоту виборок ні в якому разі не повинна бути занадто високою за рахунок загального часу спостереження. Так, якщо основна частота фільтра вимірювального каналу дорівнює 1 кГц, то частоту дискретизації, яка за теоремою про вибірки має вдвоє перевищувати основну частоту, виберемо рівною 8 кГц, тобто період дискретизації буде $T_\delta = 125$ мкс. При спостереженні сигналу протягом 2 с дискретні частоти знаходяться на відстані $\Delta f = 1/2 \text{ с} = 0,5$ Гц одна від одної. Усього потрібно буде записати у пам'ять 16 000 виборок. Якщо для кожної з них буде потрібно 2 байти пам'яті, то об'єм пам'яті повинен становити 32 Кбайт.

Функції вікна

Розширення спектра в ДПФ необмеженого в часі сигналу виникає тоді, коли запам'ятовується спектр не самого сигналу, а його

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 52

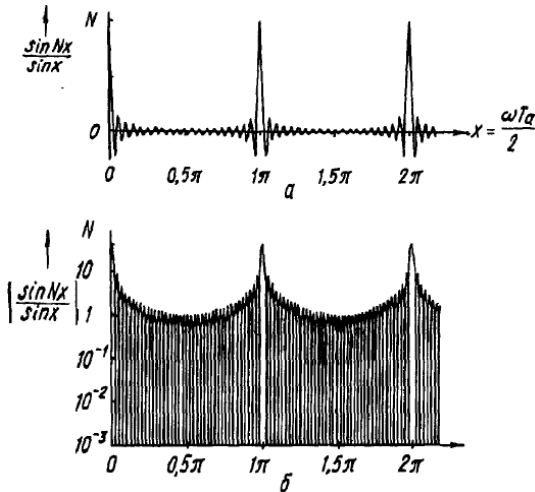
згортка зі спектром вікна. Якщо час спостереження (або ширина вікна) не є цілим числом, кратним періоду основного коливання, з'являються «фальшиві» спектральні лінії, як, наприклад, на рисунку



У цьому відношенні гострі краї прямокутного вікна особливо небажані. Тому застосовують інші типи вікон, які дають змогу запобігти стрибкам амплітуди на початку і в кінці вікна. Деякі з них розглянемо нижче після вивчення трьох критеріїв порівняння.

Критерії оцінки

ДПФ вікна має форму, зображену на рисунку:



Функція $\frac{\sin Nx}{\sin x}$ має один основний та багато додаткових пелюсток. Ця функція дає обвідну спектральних ліній. Дискретні спектральні лінії знаходяться одна від одної на відстані

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 53

$$\Delta f = 1 / NT_{\delta} . \quad (2.4)$$

Спектр повторюється з частотою виборок $f_{\delta} = 1 / T_{\delta}$. При виборі вікна необхідно враховувати точки, наведеш на рис. 4.1.

Відношення амплітуди найбільшого з додаткових пелюстків до амплітуди основного пелюстка. ДПФ $W_{\delta}(j\omega)$ функції вікна $w(t)$ дає при $\omega = 0$ максимальну амплітуду основного пелюстка. Амплітуди додаткових пелюстків менші. Відношення

$$a = \frac{\text{Амплітуда найбільшої пелюстки}}{\text{Амплітуда основної пелюстки}} . \quad (4.5)$$

використовується для порівняння різних функцій вікна.

Максимальна похибка дискретизації.

Спектральні лінії вимірної вибірки функції не обов'язково збігаються з нулями ДПФ. Спектральні лінії вікна знаходяться одна від одної на відстані Δf . Амплітуда основного пелюстка при $f = 0$ більша, ніж амплітуда при частоті $f = \Delta f / 2$.

Відношення

$$b = \frac{\text{Амплітуда ДПФ вікна при } f = \Delta f / 2}{\text{Амплітуда ДПФ вікна при } f = 0} . \quad (2.6)$$

показує, на скільки максимально невірно може бути виміряна амплітуда, і називається *похибкою дискретизації*.

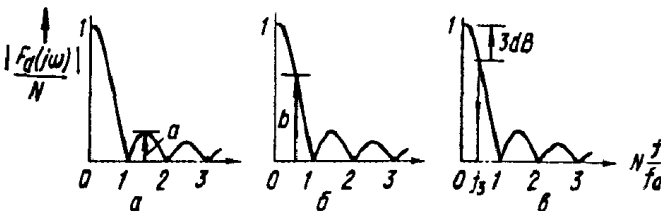


Рис. 4.1. Критерії оцінки прямокутного вікна ($N = 17$):
 a – співвідношення між амплітудою найбільшого з додаткових пелюстків та амплітудою основного пелюстка; b – максимальна

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 54

похибка дискретизації; σ – ширина основного пелюстка, виражена різницею частот $c = f_0 - f_3$

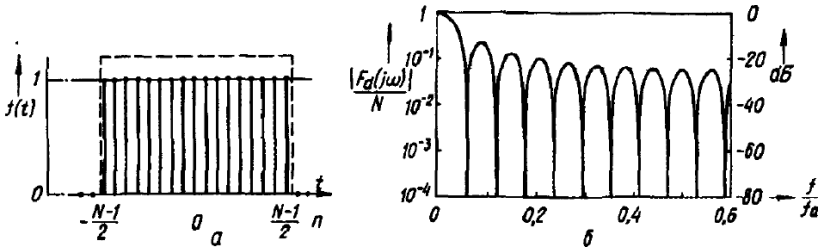


Рис. 4.2. Прямокутне вікно:

a – амплітуда; b – обвідна ДПФ при вимірюванні вибірками обмеженого в часі сигналу

Ширина основного пелюстка.

Функції вікна, в яких додаткові пелюстки малі, мають особливо широкий основний пелюсток. Це й веде до розбігання спектральних ліній. Для характеристики основного пелюстка використовують граничну частоту, при якій амплітуда основного пелюстка зменшується на 3 дБ. Відношення

$$\frac{\text{Амплітуда при } f = 0}{\text{Амплітуда при } f_3} = 3\text{дБ} . \quad (4.7)$$

визначає частоту f , яка є мірилом ширини основного пелюстка.

Функції вікна та їх спектри

Розглянемо деякі функції вікон разом з їх спектрами (табл. 4.1).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 55

Таблиця 4.1. Особливості функцій вікна

Вікно	Найбільший додатковий пелюсток a	Максимальна похибка дискретизації b	Ширина основного пелюстка c
Прямокутне	-13 дБ = 0,224	0,64	0,45 Δf
Трикутне	-27 дБ = 0,045	0,81	0,64 Δf
Фон-Ганна	-32 дБ = 0,025	0,85	0,72 Δf
Хеммінга	-43 дБ = 0,007	0,82	0,65 Δf
Блекмана	-58 дБ = 0,001	0,88	0,84 Δf

Прямокутне вікно.

Показано на рис. 4.2 для порівняння з іншими типами. Його формула

$$w(nT_0) = 1 \text{ для } |nT_a| < \frac{NT_a}{2}.$$

Інші типи вікон зображені на рис. 4.3 – 4.6.

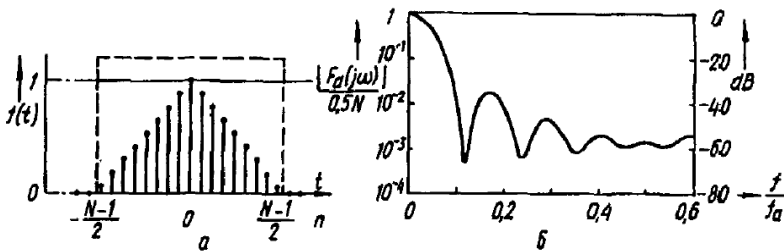


Рис. 4.3. Трикутне вікно, або вікно Бартлета:

а – функція $f(t) = w(nt_a) = 1 - 2 |nT_a| / NT_a$ для $|nT_a| < \frac{NT_a}{2}$;

б – спектр функції $f(t)$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015		Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1

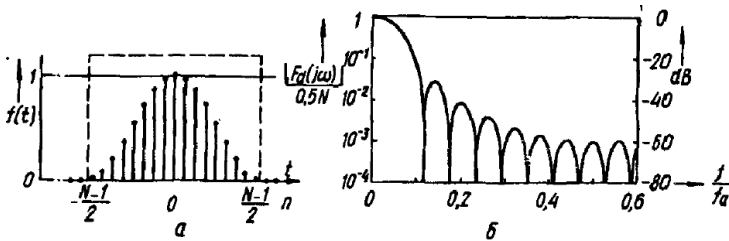


Рис. 4.4. Вікно фон-Ганна:

а – функція $f(t) = w(nT_a) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi n T_a}{N T_a} \right)$ для $|NT_a| < \frac{nT_a}{2}$;

б – спектр функції $f(t)$

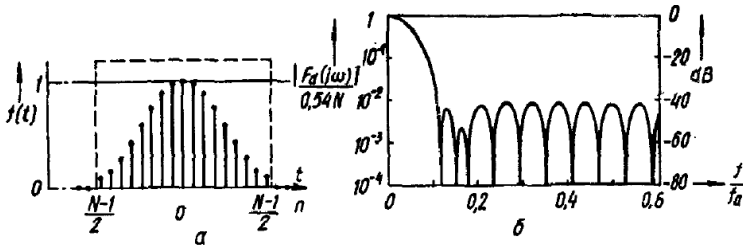


Рис. 4.5. Вікно Хеммінга:

а – функція $f(t) = w(nT_a) = 0,54 + 0,46 \cos \frac{2\pi n T_a}{N T_a}$ для $|NT_a| < \frac{nT_a}{2}$;

б – спектр функції $f(t)$

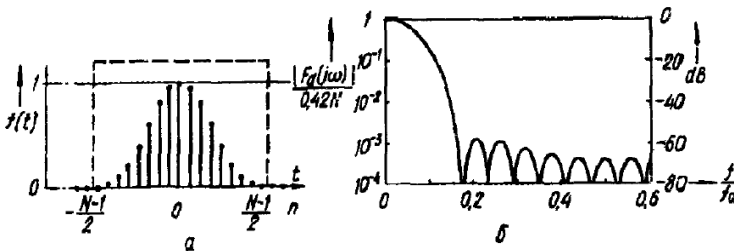


Рис. 4.6. Вікно Блекмана:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 57

а – функція $f(t) = w(nT_a) = 0,42 + 0,5 \cos \frac{2\pi n T_a}{N T_a} + 0,08 \cos \frac{4\pi n T_a}{N T_a}$ для
 $|N T_a| < \frac{n T_a}{2}$; б – спектр функції $f(t)$

3. Порядок виконання роботи

3.1. Дослідити залежність рівносигнальної роздільної здатності Δf_{p1} цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, амплітуди радіосигналів.

3.2. Дослідити залежність рівносигнальної роздільної здатності Δf_{p1} цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від відношення сигнал/шум на його вході.

3.3. Дослідити залежність нерівносигнальної роздільної здатності Δf_{p2} цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від співвідношення амплітуд $K_A = A_{s1} / A_{s2}$ гармонічних радіосигналів, виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізується.

3.4. Дослідити залежність нерівносигнальної роздільної здатності Δf_{p2} цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від відношення сигнал/шум на його вході.

3.5. Дослідити залежність двохсигнального динамічного діапазону D_A цифрового ДПФ-аналізатора РЧР в залежності від виду вагової функції «вікна» W_t , і кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізується.

3.6. Дослідити залежність пропускну здатності цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізується.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 58

3.7. Дослідити залежність похибки визначення ширини спектру полігармонічного радіосигналу цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізується $N_a = N_s$.

3.8. Дослідити залежність похибки визначення середньої частоти спектра полігармонічного радіосигналу цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізується.

4. Обробка результатів досліджень.

4.1. За результатами дослідження п. 3.1. побудувати та проаналізувати залежності рівносигнальної роздільної здатності Δf_{p1} цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від виду вагової функцій «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, амплітуди радіосигналів. За отриманими графіками оцінити тип вказаних залежностей аналітично.

4.2. За результатами п. 3.2. побудувати графічно залежність рівносигнальної роздільної здатності цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від відношення сигнал/шум на вході та оцінити вказану залежність аналітично.

4.3. За результатами п. 3.3. побудувати графіки залежностей нерівносигнальної роздільної здатності по частоті Δf_{p2} цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від співвідношення амплітуд $K_A = A_{s1} / A_{s2}$ гармонічних радіосигналів, від виду вагової функцій «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів та виконати аналіз вказаних залежностей. Визначити за побудованими графіками аналітичну форму вказаних залежностей.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 59

- 4.4. За результатами п. 3.4. виконати якісний аналіз нерівносигнальної роздільної здатності по частоті Δf_{p2} цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від відношення сигнал/шум на його вході. Дати варіант аналітичної моделі цієї залежності.
- 4.5. За результатами п. 3.5. отримати якісну оцінку залежності двохсигнального динамічного діапазону цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від виду вагової функцій «вікна» W_t і кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів. Дати варіанти аналітичної моделі вказаних залежностей.
- 4.6. За результатами п. 3.6. виконати аналіз залежності пропускну здатності цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізуються. Дати варіанти аналітичної моделі вказаних залежностей.
- 4.7. За результатами п. 3.7. і п. 3.8. виконати аналіз залежності похибки визначення ширини та середньої частоти спектру полігармонічного радіосигналу цифрового ДПФ-аналізатора РЧР від виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізуються. Запропонувати математичні моделі вказаних залежностей.
- 4.8. Для кожного пункту обробки результатів 4.1...4.7. розрахувати аналітичні оцінки залежностей точностних та часових параметрів цифрового ДПФ-аналізатора РЧР та порівняти їх із експериментальними даними. Та зробити висновки.
- 4.9. За результатами досліджень п. 4.1...4.8. запропонувати методи покращення точності та швидкості цифрового ДПФ-аналізатора РЧР та варіанти методик розрахунків цих параметрів на етапі синтезу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 60

4.10. Результати досліджень оформити у вигляді звіту, який підлягає індивідуальному захисту.

Контрольні питання самоконтролю

1. Дати визначення основним точностним та часовим параметрам цифрових ДПФ-аналізаторів РЧР.
2. Як розраховується рівносигнальна роздільна здатність цифрового ДПФ-аналізатора РЧР по відомим виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізуються?
3. Як впливає на рівносигнальну роздільну здатність цифрового ДПФ-аналізатора РЧР шум на його вході.
4. Як розраховується нерівносигнальна роздільна здатність цифрового ДПФ-аналізатора РЧР по відомим виду вагової функції «вікна» W_t , частотного кроку h_f гребінки каналів прийому, кількості сигнальних відліків N_s радіосигналів, що аналізуються?
5. Як впливає на нерівносигнальну роздільну здатність цифрового ДПФ-аналізатора РЧР шум на його вході.
6. Чим визначається значення односигнального та двохсигнального динамічного діапазону цифрового ДПФ-аналізатора РЧР?
7. На значення яких параметрів цифрового ДПФ-аналізатора РЧР впливає вимога забезпечення необхідної його перепускної здатності?
8. В якій послідовності ведеться розрахунок необхідних значень точностних та часових параметрів цифрових ДПФ-аналізаторів РЧР при їх синтезі?
9. На які параметри цифрового ДПФ-аналізатора РЧР впливає вид вагової часової функції «вікна», що використовується?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 61</i>

10. Якими факторами зумовлюється точність визначення цифрового ДПФ-аналізатора РЧР ширини і середньої частоти полігармонічного сигналу?
11. Дати порівняльний аналіз цифрових ДПФ-аналізаторів та аналогових паралельних аналізаторів РЧР.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 62

Лабораторна робота №5

Дослідження послідовного пристрою контролю РЧР

Мета лабораторної роботи: експериментальне дослідження принципів функціонування і основних властивостей послідовного пристрою контролю РЧР

1. Підготовка до роботи

- 1.1. Опрацювати необхідний теоретичний матеріал в рекомендованому переліку літератури.
- 1.2. Опрацювати методичні вказівки до проведення лабораторної роботи, уявити мету роботи та принцип її виконання.
- 1.3. Вивчити технічні описи приладів, що входять до складу лабораторного робочого місця, а також спеціалізованого пакету прикладних програм ПЕОМ.
- 1.4. Виконати необхідні попередні розрахунки.
- 1.5. Відповісти на питання самотестування, готовності до виконання роботи.
- 1.6. Для кожного пункту третього розділу проробити та запропонувати свій варіант методики досліджень в загальному вигляді із обґрунтуванням використання конкретної моделюючої програми із пакету прикладних програм. Варіант методики досліджень узгодити із викладачем.
- 1.7. Вибрати тип і структуру моделюючих сигналів та розрахувати конкретні їх параметри і діапазони їх можливих значень. Підготувати програму модель із урахуванням проведених розрахунків та узгодити її з викладачем.
- 1.8. Проаналізувати і запропонувати можливість розширення і поглиблення досліджень щодо послідовного пристрою контролю РЧР.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 63</i>

2. Короткі теоретичні відомості

Основні якісні показники панорамних пристроїв

Залежно від призначення панорамні пристрої повинні задовольняти певним вимогам. Для порівняння різних панорамних пристроїв й оцінки ступеня відповідності пред'явленим до них вимогам уводиться сукупність параметрів, що характеризують їхні якісні показники.

Основними параметрами будь-яких панорамних пристроїв є: роздільна здатність, точність відліку частоти, смуга огляду, швидкість аналізу, динамічний діапазон і чутливість по візуальному каналі.

Роздільна здатність є найважливішим параметром панорамного пристрою. Під нею розуміють здатність пристрою розрізнити (розділяти) дві сусідні частотні складові аналізованого спектру або два сусідніх по частоті радіовипромінювання (тут під роздільною здатністю розуміють роздільну здатність, обумовлену резонатором. При цьому вважають, що роздільна здатність індикатора не накладає обмежень).

Кількісно роздільну здатність визначають як мінімальний інтервал по частоті між двома радіовипромінюваннями або складовими спектра, при якому панорамний приймач (аналізатор спектра) спроможний їх розділити. На індикаторі відліку від частотних складових повинні спостерігатися роздільно, тому що в основі дії панорамних пристроїв лежить явище резонансу, та їхня роздільна здатність в остаточному підсумку буде визначатися параметрами резонансної системи й методом частотного аналізу. При порушенні резонатора форма напруги, що знімається з нього, буде залежати від вигляду його резонансної характеристики. Таким чином, на індикаторі буде спостерігатися не спектральна лінія, а імпульс, що повторює форму статичної або динамічної характеристики резонатора. Очевидно, що складові спектра із частотним інтервалом між ними, меншим ширини резонансної характеристики, не можуть бути розрізнені. Отже, для підвищення роздільної здатності необхідно

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 64</i>

прагнути до звуження резонансної кривої, тобто до підвищення добротності резонатора. Однак цього ще недостатньо. Роздільна здатність також істотно залежить від форми статичної характеристики резонансної системи й швидкості послідовного аналізу.

Розходження фізичних процесів у резонаторах при паралельному й послідовному аналізі потребує різного підходу до визначення роздільної здатності цих методів. Тому якісну й кількісну оцінку роздільної здатності варто дати окремо для паралельного й послідовного аналізу.

Роздільна здатність при паралельному аналізі визначається формою статичної характеристики й смугою пропускання резонансної системи.

Представимо, що в панорамному пристрої застосовані ідеальні фільтри із частотними границями, що тісно примикають. У цьому випадку результати аналізу будуть однозначними в тому розумінні, що кожен фільтр буде відгукуватися лише на частотну складову, що потрапила в його смугу пропускання.

При наявності декількох частотних складових виявляться збудженими ті фільтри, у смуги пропускання яких потрапили складові досліджуваного спектра. Очевидно, що роздільна здатність при цьому буде обумовлена смугою пропускання кожного фільтра. Точне визначення частоти кожної складової спектра неможливо. Можна лише стверджувати, що складова перебуває в межах смуги пропускання даного фільтра. Якщо інтервал між двома спектральними складовими менше смуги пропускання фільтра, то вони можуть бути виявлені лише у випадку влучення в смуги пропускання двох суміжних фільтрів. Якщо кілька спектральних складових виявляться в межах смуги пропускання одного фільтра, то вони розрізнені не будуть. У цьому випадку на виході фільтра буде визначатися сумарним впливом всіх складових.

Роздільна здатність при послідовному аналізі визначається динамічною характеристикою резонансної системи. Чим ширша

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 65

динамічна характеристика, тим нижче роздільна здатність. Ширина динамічної характеристики (або динамічна смуга пропускання) залежить від форми й ширини статичної резонансної кривої і швидкості зміни частоти (швидкості аналізу). Таким чином, при послідовному аналізі для одержання найкращої роздільної здатності необхідно забезпечити певне відношення між статичною смугою пропускання системи і швидкістю зміни частоти $\gamma = \Phi_0 P$, де p — частота розгортки (сканування).

Прагнення підвищити роздільну здатність викликає бажання зменшити статичну смугу пропускання резонансної системи. Однак існує оптимальна статична смуга $\Delta F_{ст.опт}$ при заданій γ , коли можна одержати мінімальну динамічну смугу пропускання.

При колоколоподібній статичній характеристиці й заданій швидкості зміни частоти γ мінімальна динамічна смуга пропускання:

$$\Delta F_{дин.мин} \cong 0.94 \sqrt{\gamma}. \quad (5.1)$$

Оптимальна статична смуга пропускання резонансної системи:

$$\Delta F_{ст.опт} \cong 0.66 \sqrt{\gamma}. \quad (5.2)$$

Формула (5.1) служить основним критерієм при обчисленні роздільної здатності панорамного пристрою, а (5.2) визначає вибір смуги пропускання резонатора.

Точність відліку частоти є досить важливим параметром, тому що вона разом з роздільною здатністю визначає частотну точність пристрою в цілому. Точність відліку частоти безпосередньо залежить від форми й ширини відмітки на індикаторі, обумовленою динамічною характеристикою резонансної системи. Чим ширше відмітка, спостережувана на екрані індикатора, тим нижче буде точність відліку частоти.

Точність відліку частоти зручно характеризувати відношенням динамічної смуги пропускання до резонансної частоти резонатора

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 66

$$s = \Delta F_{\text{дин}} / f_0. \quad (5.3)$$

Чим менше це відношення, тим вище точність відліку частоти.

Для підвищення точності відліку частоти в панорамних пристроях можна вжити спеціальних заходів по стиску відмітки (імпульсу), спостережуваної на екрані. При цьому роздільна здатність не поліпшується. Справа в тому, що стиск відмітки відбувається в елементах схеми, що включають після резонатора, що забезпечує розрізнення складових. Тому власне кажучи поліпшується індикація вже розділених спектральних складових. Способи підвищення точності відліку частоти пристрої докладно розглядаються нижче.

Смуга огляду Φ_0 характеризує смугу частот, що переглядають одночасно, у межах якої ведеться частотний аналіз. У пристроях паралельного й комбінованого аналізу смуга огляду визначається смугою пропускання високочастотного тракту (смугою пропускання всіх каскадів до змішувача), що називають широкополосним, а також сумарною смугою пропускання вузькосмугових фільтрів. У пристроях послідовного аналізу вона визначається смугою пропускання широкосмугового тракту й межами зміни (девіацією) частоти гетеродина.

Залежно від призначення й діапазону частот смуга огляду панорамних пристроїв може змінюватися від сотень герц до десятків мегагерц. Більшість панорамних пристроїв мають змінну смугу огляду. При цьому в більш широких смугах огляду ведеться більш грубий аналіз із гіршою роздільною здатністю, а у вузьких - точний. У першому випадку проглядається весь спектр досліджуваного процесу, а в другому - окремі його ділянки.

Швидкість аналізу характеризує, наскільки швидко здійснюється аналіз досліджуваного процесу в певній смузі огляду. При паралельному аналізі швидкість аналізу визначається часом установлення коливань у резонаторі, при послідовному - швидкістю зміни частоти.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 67

$$\gamma = \Phi_0 p. \quad (5.4)$$

Однак це не завжди зручно. Тому що швидкість зміни частоти γ залежить від смуги огляду Φ_0 й частоти розгортки (сканування) p , те, знаючи тільки γ , важко судити про те, наскільки швидко ведеться аналіз. Дійсно, те саме значення швидкості зміни частоти γ може відповідати повільному аналізу в широкої й швидкому аналізу у вузьких смугах огляду. Тому іноді швидкість аналізу зручніше характеризувати частотою розгортки p , безпосередньо зв'язаної з часом аналізу незалежно від смуги огляду.

У всіх випадках аналіз бажано вести з якомога більшою швидкістю. Але варто мати на увазі, що при послідовному аналізі швидкість його проведення повинна вибиратися цілком певною, тому що підвищення її приводить до розширення динамічної смуги пропускання, а отже, до погіршення роздільної здатності пристрою.

Динамічним діапазоном D панорамного пристрою як і будь-якого радіоприймального пристрою називається міра здатності пристрою нормально функціонувати за певним критерієм при впливі на його вхід сигналів з більшим розкидом рівнів.

При односигнальному впливі динамічний діапазон визначається відношенням максимального значення напруги сигналу E_{\max} , при якому нелінійні спотворення не перевищують допустимих, до номінальної чутливості E_{\min} : $D = E_{\max} / E_{\min}$

При багатосигнальному впливі під динамічним діапазоном розуміють відношення амплітуди перешкоди U_n , що викликає припустимий нелінійний ефект (блокування, перехресні спотворення, взаємна модуляція, що характеризуються відповідно коефіцієнтами $r_{\text{бл}}$, $r_{\text{пер}}$ й $r_{\text{взм}}$), до амплітуди сигналу, що відповідає чутливості пристрою E_{\min} . В умовах сильного завантаження діапазону доцільно як критерій вибрати припустимий рівень нелінійних шумів. У всіх випадках бажано мати максимальний динамічний діапазон, щоб забезпечити неспотворений прийом сигналів з різними рівнями.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 68</i>

У панорамних пристроях динамічний діапазон здобуває ще більше значення. Це обумовлено тим, що при панорамному радіоприйманні й аналізі спектрів розходження амплитуд окремих складових може бути дуже великим. Імовірність же одночасного впливу на вхід пристрою сигналів з різними рівнями зростає внаслідок широкосмуговості преселектора. Крім того, збільшення динамічного діапазону в панорамних пристроях конче потрібно з погляду підвищення роздільної здатності.

Чутливість панорамних пристроїв варто визначати по візуальному каналу прийому. Вона визначається мінімальною е.р.с. або потужністю в антені, при якій забезпечуються нормальні умови роботи пристрою, тобто необхідна вихідна напруга й задане перевищення амплітуди сигналу над рівнем власних шумів. Від сигналів, рівних номінальній чутливості пристрою, повинна виходити оцінка заданого розміру на екрані індикатора, а оцінка від власних шумів не повинна перевищувати встановленого розміру.

Оскільки панорамні пристрої, особливо панорамні радіоприймачі, є широкосмуговими, то в них співвідношення сигнал/шум, а отже, і чутливість по візуальному каналу прийому завжди гірше, ніж по слуховому.

Послідовний частотний аналіз

Сутність послідовного частотного аналізу полягає в тому, що частотні складові досліджуваного радіовипромінювання в певній смузі огляду виявляються послідовно (по черзі). Панорамні пристрої послідовного аналізу отримали широке розповсюдження завдяки простоті їхнього здійснення. У пристроях цього типу в найпростішому випадку досить мати один вузькосмуговий резонатор (одну резонансну систему).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 69

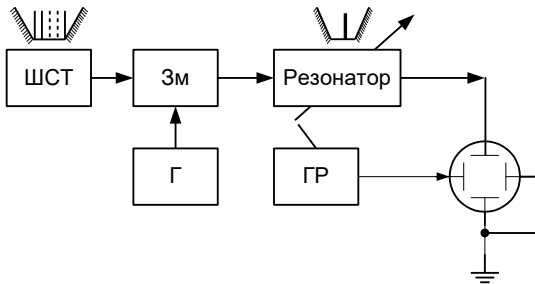


Рис. 5.1. Структурна схема панорамного пристрою з переналадженням резонатора

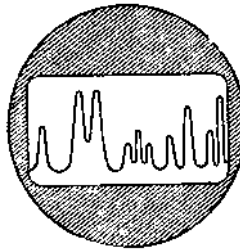


Рис. 5.2. Індикація результатів аналізу на екрані індикатора панорамного пристрою

На практиці знаходять застосування панорамні пристрої з переналадженням резонатора, рис. 5.1, і з переміщенням спектра по осі частот. У процесі перебудови резонатора його частота, плавно змінюючись, послідовно збігається із частотними складовими досліджуваного радіовипромінювання.

Для визначення частоти кожній складовій спектра й частотного інтервалу між ними перебудова резонатора повинна бути погоджена в часі із процесом відображення результатів аналізу на індикаторі. Для цього використовується єдиний генератор розгорнення (ГР), що забезпечує перебудову резонатора синхронно з горизонтальним розгорненням лучачи на індикаторі. Як індикатор найчастіше застосовують електронно-променеву трубку ЕПТ. При синхронізації

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 70</i>

перебудови резонатора з горизонтальним розгорненням лучачи лінію розгорнення можна використати як вісь частот, причому її довжина буде відповідати смузі огляду. Для зручності користування такою частотною віссю перебудову й розгорнення лучачи здійснюють лінійно. У цьому випадку шкала частот буде рівномірної по всій довжині лінії розгорнення.

При подачі напруги, що знімається з резонатора, на вертикально відхиляючи пластини, ЕПТ буде виявлене співвідношення амплітуд частотних складових як результат відгуку резонатора на їхній вплив. На екрані ЕПТ будуть спостерігатися імпульси, які розташовані уздовж лінії розгорнення відповідно до частотним складовим досліджуваного процесу, рис. 5.2. По відстані між ними можна визначити різницю між складовими спектра, а по положенню на лінії розгорнення - справжнє значення частоти кожної з них.

Послідовний частотний аналіз із переналагоджуваним резонатором, іноді викликає великі труднощі при схемній реалізації. Застосування простих резонаторів не забезпечує високої відбірковості й оптимальної форми резонансної кривій. Складні резонансні системи важко переналагоджувати в широких межах, зберігаючи рівномірну амплітудно-частотну характеристику у всій смузі перебудови.

Тому послідовний частотний аналіз із перебудовою резонатора використовується в тих випадках, коли неможливо забезпечити переміщення спектра досліджуваного радіовипромінювання, але можна знизити вимоги до частотної точності пристрою, наприклад у панорамних радіоприймачах, призначених для перегляду широких смуг огляду. У цьому випадку вимога до точності визначення частоти можна знизити, тому що розбіг частот працюючих радіостанцій значний. У той же час дуже важко забезпечити зміну частоти гетеродина в широких межах для переміщення спектра по шкалі частот. Крім того, важко одержати необхідну смугу пропущення преселектора (широкосмугового тракту ШСТ), рівну смузі огляду.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 71

В аналізаторах спектра й панорамних радіоприймачів, розрахованих на перегляд відносно нешироких смуг огляду, частіше використовується метод послідовного Частотного аналізу з переміщенням спектра по шкалі частот (рис. 5.3).

Для одержання, що зміщається по шкалі частот спектра необхідно досліджуваний спектр відповідним чином перетворити. Для цього на змішувач панорамного пристрою подається напруга з виходу.

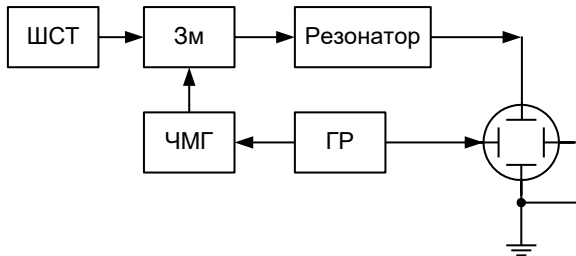


Рис. 5.3. Структурна схема панорамного пристрою з переміщенням спектра по шкалі частот

ШСТ (тобто досліджуваний спектр) і напруга частотно-модульованого гетеродина (ЧМГ) із частотою яка плавно змінюється. При цьому частотні складові досліджуваного спектра, що знаходяться у смузі пропускання ШСТ, будуть по черзі перетворюватися в проміжну частоту, на яку настроєний резонатор. У результаті спектр буде переміщатися щодо частоти настроювання резонатора відповідно до закону зміни частоти гетеродина. У цьому випадку, як і при перебудові резонатора, має місце послідовний збіг частот складових спектра із частотою настроювання резонатора.

Таким чином, резонатор буде послідовно збуджуватися кожної частотної складової. Якщо межі зміни частоти гетеродина дорівнюють смузі огляду й забезпечена синхронізація її зміни з горизонтальним розгорненням лучачи на ЕПТ, то на екрані буде

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 72</i>

спостерігатися така ж картина, як і при переналагодженні резонатора. Синхронізація зміни частоти гетеродина з горизонтальним розгорненням променів забезпечується при використанні одного джерела напруги як для зміни потенціалу на пластинах, що відхиляють, трубки, так і для модуляції гетеродина.

Переналагодження резонаторів або зміна частоти гетеродина, а також розгорнення лучачи на ЕПТ можуть здійснюватися вручну або автоматично. Ручний спосіб застосовується, коли необхідно особливо ретельно досліджувати частотні характеристики радіовипромінювачів у відносно вузьких смугах огляду. Природно; що це можливо лише в тому випадку, якщо не потрібне швидке одержання результатів аналізу. Автоматичну переналагодження резонаторів (або зміна частоти гетеродина) і розгорнення променя можна робити механічним або електричним способом. При механічному способі використовується електромотор або інший механічний двигун. Електричний спосіб зміни частоти гетеродина або перебудови резонатора можна здійснити за допомогою спеціальних модуляторів: реактивних ламп, варикапів, варікондів й інших, реактивний опір яких змінюється залежно від значення прикладеної до них напруги.

Специфічні перехідні процеси в резонаторах панорамних пристроїв послідовного аналізу, обумовлені переналагодженням резонатора або збудженням його напругою із частотою яка плавно змінюється, накладають істотні обмеження на швидкість проведення аналізу. Тому пристрої цього типу застосовують при дослідженні процесів, характер яких змінюється досить повільно в порівнянні із часом ведення аналізу. При дослідженні процесів які швидко змінюються або короткочасних радіовипромінювань послідовний аналіз можливий лише при їхньому періодичному повторенні, причому періодичність повторення повинна бути вище або у всякому разі порівнянна з періодом перегляду смуги огляду.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 73

3. Порядок виконання роботи

- 3.1. Дослідити принципи функціонування послідовного пристрою контролю РЧР, аналізуючи залежність вихідного його сигналу від частоти і амплітуди вхідного гармонічного радіосигналу.
- 3.2. Дослідити залежність динамічної амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) послідовного пристрою контролю від його статичної АЧХ. Зняти залежність ширини смуги пропускання каналу прийому послідовного пристрою контролю РЧР в режимі пошуку від ширини смуги пропускання каналу при відсутності пошуку і амплітуди вхідного радіосигналу.
- 3.3. Дослідити залежність динамічної АЧХ послідовного пристрою контролю від швидкості огляду $V_{ог}$. Діапазону робочих частот.
- 3.4. Дослідити рівносигнальну роздільну здатність по частоті послідовного пристрою контролю РЧР в залежності від ширини статичної смуги пропускання і амплітуди вхідних радіосигналів при незмінній швидкості огляду ($V_{ог} = const$).
- 3.5. Дослідити залежність нерівносигнальної роздільної здатності по частоті послідовного пристрою контролю РЧР від ширини статичної смуги пропускання і співвідношення амплітуд вхідних радіосигналів при незмінній швидкості огляду ($V_{ог} = const$).
- 3.6. Дослідити залежність роздільної здатності по частоті послідовного пристрою контролю РЧР в режимі змінної швидкості огляду ($V_{ог} = var$).
- 3.7. Дослідити залежність точності визначення частоти радіосигналу Δf від статичної ширини смуги

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 74</i>

пропускання, послідовного пристрою контролю РЧР, а також від амплітуди радіосигналу і порогу виявлення в пристрої контролю РЧР.

- 3.8. Дослідити залежність перепускної спроможності послідовного пристрою контролю РЧР від ширини статичної смуги пропускання каналу прийому швидкості огляду $V_{ог}$ діапазону робочих частот та амплітуди радіосигналу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 75

4. Обробка результатів досліджень.

- 4.1. За результатами п. 3.1. визначити і сформулювати принципи функціонування послідовного пристрою контролю РЧР, синтезувати варіанти структурної схеми такого пристрою і частотно-часові діаграми, що пояснюють їх роботу.
- 4.2. За результатами п. 3.2. виконати аналіз залежності ширини динамічної $\Delta f_{\text{кд}}$ і статичної $\Delta f_{\text{кст}}$ смуги пропускання послідовного аналізатора РЧР від амплітуди радіосигналу та чутливості. Виконати якісний аналіз співвідношення величин $\Delta f_{\text{кд}}$ і $\Delta f_{\text{кст}}$.
- 4.3. За результатами п. 3.3. виконати якісний аналіз залежності динамічної АЧХ каналу прийому послідовного пристрою контролю РЧР від швидкості огляду $V_{\text{ог}}$ діапазону робочих частот.
- 4.4. За результатами п. 3.4. виконати аналіз залежності рівно сигнальної роздільної здатності по частоті послідовного пристрою контролю РЧР від ширини статичної смуги пропускання каналу прийому, амплітуди гармонічних радіосигналів. Дати оцінку аналітичної моделі вказаної залежності.
- 4.5. За результатами п.3.5. виконати аналіз залежності нерівносигнальної роздільної здатності $\Delta f p_2$ послідовного пристрою контролю РЧР від ширини статичної смуги пропускання каналу прийому, співвідношення амплітуд радіосигналів та чутливості. Дати оцінку аналітичної моделі вказаних залежностей.
- 4.6. За результатами п.3.6 виконати аналіз впливу на роздільну здатність послідовного пристрою контролю РЧР оперативної зміни швидкості огляду $V_{\text{ог}}$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 76</i>

- 4.7. За результатами п.3.6 виконати аналіз залежності точності визначення частоти радіосигналу послідовним пристроєм контролю РЧР від ширини статичної смуги пропускання каналу прийому, амплітуди радіосигналу і порогу виявлення. Обґрунтувати аналітичну оцінку цих залежностей і дати їх якісну оцінку.
- 4.8. За результатами п.3.6 виконати аналіз залежності перепускної спроможності послідовного пристрою контролю РЧР від ширини статичної смуги пропускання каналу прийому, швидкості огляду V_{oe} та амплітуди радіосигналу. Обґрунтувати аналітичну оцінку цих залежностей і дати їх якісну оцінку.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 77

Контрольні питання самоконтролю

1. В чому полягає сутність послідовного пошуку радіосигналів?
2. Як реалізується технічно послідовний пошук радіосигналів по частоті?
3. Як реалізується технічно послідовний пошук радіосигналів у просторі?
4. Як впливає швидкість огляду $V_{ог}$ діапазону робочих частот послідовного пристрою контролю РЧР на параметри його каналу прийому?
5. Які фактори впливають на точність визначення частоти радіосигналу послідовного пристрою контролю РЧР?
6. Які фактори впливають на роздільну здатність по частоті радіосигналу послідовного пристрою контролю РЧР?
7. Які фактори впливають на перепускную спроможність послідовного пристрою контролю РЧР.
8. Дати порівняльний аналіз послідовного та паралельного пристроїв контролю РЧР.
9. Які методи використовують для покращення швидкості та точності послідовних пристроїв контролю РЧР?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 78

Лабораторна робота №6 **Фазове радіопеленгування**

Мета лабораторної роботи: експериментальне дослідження принципу роботи та основних властивостей фазового багатоканального радіопеленгатора

1. Підготовка до роботи

- 1.1. Опрацювати необхідний теоретичний матеріал в рекомендованому переліку літератури.
- 1.2. Опрацювати методичні вказівки до проведення лабораторної роботи, уявити мету роботи та принцип її виконання.
- 1.3. Вивчити технічні описи приладів, що входять до складу лабораторного робочого місця, а також спеціалізованого пакету прикладних програм ПЕОМ.
- 1.4. Виконати необхідні попередні розрахунки.
- 1.5. Відповісти на питання самотестування, готовності до виконання роботи.
- 1.6. Для кожного пункту третього розділу проробити та запропонувати свій варіант методики досліджень в загальному вигляді із обґрунтуванням використання конкретної моделюючої програми із пакету прикладних програм. Варіант методики досліджень узгодити із викладачем.
- 1.7. Вибрати тип і структуру моделюючих сигналів та розрахувати конкретні їх параметри і діапазони їх можливих значень. Підготувати програму модель із урахуванням проведених розрахунків та узгодити її з викладачем.
- 1.8. Проаналізувати і запропонувати можливість розширення і поглиблення досліджень щодо фазового радіопеленгатора.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 79

2. Короткі теоретичні відомості

Амплітудний і фазовий методи пеленгації

В амплітудних системах пеленгації для виміру кутів використовується пропорційність між амплітудою вихідного сигналу антени U_m та її діаграмою спрямованості $G(u_{x,y})$:

$$U_m(u_{x,y}) = U_{m0} G(u_{x,y} - u_{x,y}^0), \quad (6.1)$$

де U_{m0} – амплітуда сигналу, прийнятого з напрямку максимуму діаграми спрямованості $u_{x,y}^0$. При цьому діаграма спрямованості звичайно береться дійсною; використання модуля комплексної діаграми не реалізує максимальної точності. Одночасно з вимірюванням забезпечується просторова селекція сигналів – роздільна здатність по кутових координатах.

Однак по одному відліку амплітуди вихідного сигналу антени (6.1) ще не можна однозначно судити про напрямок його приходу. По-перше, у відліку присутній невідомий амплітудний множник U_{m0} , що залежить від дальності цілі, інтенсивності відбитого або випроміненого ціллю сигналу, затухання в атмосфері й т.п. По-друге, тому самому рівню відліку сигналу відповідають два напрямки щодо максимуму діаграми спрямованості: правдиве й помилкове, симетричне правдивому. Для усунення неоднозначності вимірювань в амплітудних системах пеленгації застосовуються два методи: метод максимуму (аналіз огинаючої) і метод порівняння (рис. 6.1).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 80

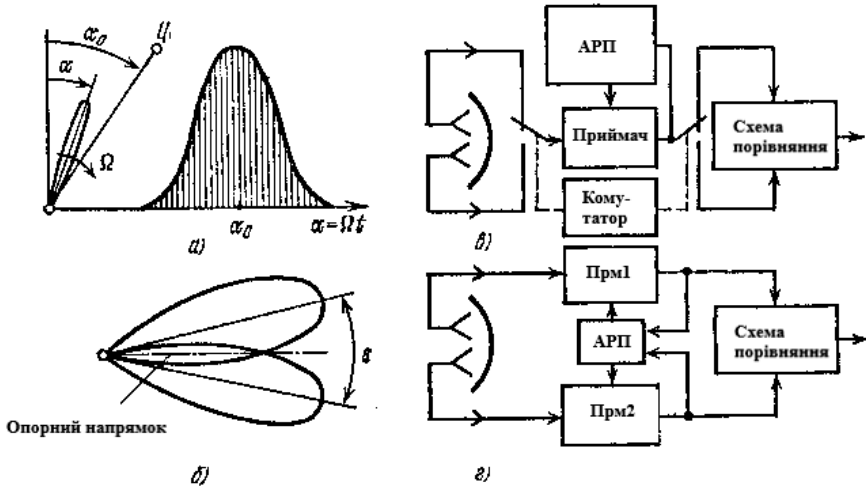


Рис. 6.1. Амплітудна пеленгація методом максимуму (а) і методом порівняння (б); одноканальний (в) і багатоканальний (г) пеленгатори, що використовують метод порівняння

Метод максимуму використовується звичайно в оглядових Радіолокаційних системах, що провадять циклічний огляд простору антенним променем. При повороті променя з кутовою швидкістю Ω огинаюча амплітуд прийнятого сигналу цілі, розташованої в напрямку φ ,

$$U_m(t) = U_{m0}G(\alpha - \Omega t). \quad (6.2)$$

повторює форму діаграми спрямованості (по напруженості поля для сигналів прямого випромінювання й по потужності для відбитих сигналів). Напрямок на ціль ототожнюється з положенням скануючого променя антени в той момент, коли огинаюча амплітуд сигналу (послідовності імпульсів) проходить через максимум. Положення максимуму не залежить від абсолютної величини прийнятого сигналу U_{m0} і визначається однозначно.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 81</i>

Метод порівняння, як треба з його назви, заснований на порівнянні амплітуди сигналів відповідно двом однаковим за формою діаграмам спрямованості, максимумами яких симетрично зміщені щодо опорного (рівносильного) напрямку. При рівності амплітуд порівнюваних сигналів точно фіксується напрямок на ціль по положенню опорного напрямку антени в цей момент. При зсуві цілі щодо опорного напрямку виробляється сигнал неузгодженості, амплітуда якого вказує величину, а полярність (знак) - сторону зсуву. Метод порівняння особливо широко застосовується у слідкуючих вимірювачах напрямку.

Для виключення впливу невідомої інтенсивності прийнятого сигналу U_{m0} на сигнал неузгодженості провадиться нормування, звичайно виконується за допомогою схеми автоматичного регулювання підсилення (АРП). Завдяки АРП коефіцієнт підсилення приймача змінюється обернено пропорційно інтенсивності прийнятого сигналу й сигнал неузгодженості стає однозначною функцією зсуву цілі щодо рівносигнального напрямку.

Існує два види амплітудних пеленгаторів, що використовують метод порівняння: одноканальний (послідовний) і багатоканальний (моноімпульсний) (рис. 6.1, *в* і *г*).

В одноканальному пеленгаторі на дзеркальних антенах використовується або змінне підключення одного із двох симетрично винесених з фокуса дзеркала опромінювачів до загального прийомного тракту, або переміщення єдиного опромінювача з одного зміщеного положення в протилежне. Прийняті сигнали з виходу приймача по черзі подаються на протилежні входи схеми порівняння синхронно з комутацією антени. У схемі порівняння провадиться запам'ятовування й вирахування сигналів, прийнятих за обидва напівперіоди комутації. Схема АРП змінює коефіцієнт підсилення приймача обернено пропорційно середньому значенню сигналів обох напівперіодів.

У багатоканальному амплітудному пеленгаторі одночасно порівнюються сигнали, що надходять через роздільні прийомні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 82</i>

канали, посилення яких змінюється схемою АРП обернено пропорційно сумі порівнюваних сигналів. У багатоканальних системах пеленгації, що використовують імпульсні сигнали, порівняння й нормування в принципі здійсненні за час прийому кожного імпульсу, через що амплітудні пеленгатори цього типу одержали назву моноімпульсних, хоча вони успішно працюють і при сигналах безперервного випромінювання.

Позитивною рисою одноканальних пеленгаторів є простота апаратури і порівняно низькі вимоги до неї. Навіть при пеленгації цілі у двох площинах потрібно всього один приймальний канал. При цьому звичайно зміщений з фокуса опромінювач швидко обертають навколо опорного напрямку (оптичної осі антени) і антенний промінь описує в просторі конічну поверхню, послідовно займаючи праве, верхнє, ліве й нижнє положення. Такий спосіб комутації, що одержав назву конічного сканування променями, використовують у слідкуючих вимірювачах напрямку. Основним недоліком одноканального амплітудного пеленгатора є наявність модуляційних помилок. Зміна інтенсивності сигналу із частотою комутації приводить до утворення помилкового сигналу неузгодженості навіть при знаходженні цілі на опорному напрямку. Оскільки сигнали цілі звичайно піддаються флуктуації по інтенсивності й у спектрі флуктуацій містяться гармоніки частоти комутації, помилковий сигнал неузгодженості дає додаткову помилку пеленгації. Досить сильна навмисна модулююча перешкода, амплітуда якої змінюється із частотою комутації, повністю порушує роботу системи.

У фазових системах пеленгації для відліку направлення u_x виміряється різниця фаз сигналів, прийнятих від цілі у двох точках, рознесених на відстань b (база):

$$\Delta\varphi = 2\pi(b/\lambda)u_x. \quad (6.3)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 83

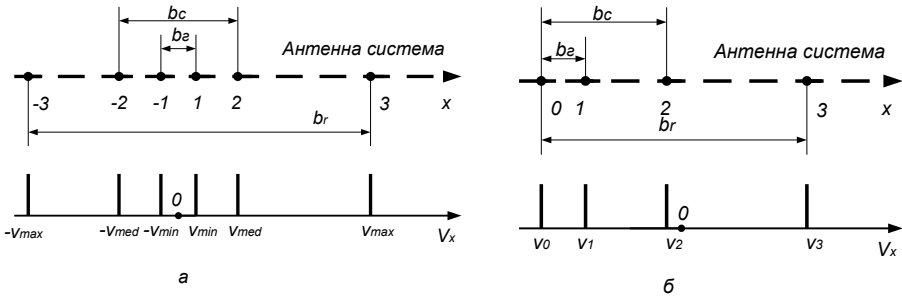


Рис. 6.2. Симетричний (а) і несиметричний (б) багатобазовий фазовий пеленгатор

Різниця фаз – періодична функція, тому для однозначного й точного відліку кутової координати u_x необхідно використовувати багатознакову (багатобазову) антенну систему (рис. 6.2). Мала база b_T забезпечує грубий однозначний відлік, більша база b_T – задану точність вимірювань, а середня база b_C (їх може бути декілька) служить для виключення збою – невірної розкриття неоднозначності точної шкали.

Класична багатобазова антенна система має симетричну функцію розкриття $G(v_x)$, де максимальна кутова частота $v_{max} = b_T / 2\lambda$, середня $v_{med} = b_C / 2\lambda$ і мінімальна $v_{min} = b_T / 2\lambda$ (рис. 6.2, а).

Представивши функції розкриття у вигляді симетричного просторового спектра шириною $\Delta v_x = b / 2\lambda$, можна скористатися формулами (6.4) – (6.7), справедливими для будь-яких багатознакових систем, при визначенні параметрів багатобазового пеленгатора. При цьому вважаються заданими: середньоквадратичні помилки вимірювання кутової координати σ_{ux} й фази σ_φ , діапазон вимірювань $u_{x_{max}} - u_{x_{min}} = 2$ й імовірність збою $P_{сб}$ при розкритті

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 84

неоднозначності. У результаті підстановки конкретних параметрів у загальні формули знаходимо: велику й малу бази

$$b_T = 2\lambda v_{\max} = \lambda \sigma_\phi / \pi \sigma_{u.x}. \quad (6.4)$$

$$b_T = 2\lambda v_{\min} = \lambda. \quad (6.5)$$

припустиме відношення суміжних шкал (баз)

$$m = \pi / \sigma_\phi \Phi^{-1}(1 - P_{c\delta}). \quad (6.6)$$

і число шкал (ціле)

$$n \geq 1 + \log(b_T / b_T) \log m, \quad (6.7)$$

де $\Phi(z)$ – інтеграл ймовірностей.

Оптимальна обробка сигналу, прийнятого багатобазовою антеною системою з даного напрямку, зводиться до компенсації фазових зсувів, відлічуваних щодо середини бази, і підсумовуванню. При підсумовуванні таких сигналів, синфазних після компенсації фазових зсувів, на виході оптимального просторового фільтра одержуємо напругу максимально можливої амплітуди. Хоча сигнали точної й середньої баз можуть дати часті максимуми на декількох напрямках (де різниця фаз відрізняється від напрямку настроювання на ціле число 2π), сигнали грубої бази мають єдиний максимум, у результаті чого головний максимум суми, що перевищує всі інші, відповідає правдивому напрямку прийому. Таким чином, оптимальна багатобазова система пеленгації проявляє себе як амплітудна.

У фазових багатошкальних системах пеленгації оптимальність порушується. По-перше, замість фазування й підсумовування всіх сигналів роздільно заміряють різницю фаз прийнятих по кожній базі сигналів, я потім результати вимірювань поєднують для розкриття неоднозначності. При такому способі вимірювання вимога великого відношення сигнал/шум повинна бути виконана не для сукупного прийнятого сигналу, як при оптимальному прийомі, а для часткових сигналів по кожній базі. Чутливість прийомного пристрою знижується. По-друге, відмовляються від симетричної антенної

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 85

системи, використовуючи в якості опорного сигнал загальної для всіх баз опорної антени O , при збереженні розмірів баз (рис. 6.2, б). Антенна система спрощується, а несиметричність функції розкриття при роздільному вимірюванні по кожній базі істотної ролі не грає. Співвідношення (6.4) – (6.7) у несиметричній фазовій системі пеленгації повністю зберігаються.

Для вимірювання обох кутових координат використовують дві багатобазові антенні системи, розташовані під прямим кутом, у яких опорна антена загальна.

На відміну від оптимальної у фазовій системі мінімальна середньоквадратична похибка вимірювань обмежена енергією часткового сигналу даної бази (або інструментальною похибкою фазометра), а не енергією сукупного сигналу всієї антени.

Як видно з формули (6.5), груба база $b_r = \lambda$, і зазвичай не вдається розмістити дві антени на настільки малій відстані. Тому грубу базу утворюють штучним шляхом: розміщують по обидві сторони від опорної дві антени, що утворять досить великі бази b_1 й b_2 (одна із цих баз є проміжною), причому різниця баз $b_1 - b_2 = b_r$.

Звичайним способом вимірюють дві різниці фаз ($\Delta\phi_1$ і $\Delta\phi_2$) і одержують $\Delta\phi_r = \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1$, що рівносильне прямому вимірюванню різниці фаз по грубій базі.

Для подання даних вимірювань у цифровій формі використовуються цифрові фазометри з попереднім перетворенням різниці фаз порівнюваних сигналів у часовий інтервал, як і при вимірюванні дальності фазовим методом. Для цього сигнали піддають глибокому обмеженню й диференціюванню. Часовий інтервал між отриманими після диференціювання порівнюваних сигналів короткими імпульсами, пропорційний різниці фаз, заповнюється рахунковими імпульсами. Отримані в лічильнику числа після розкриття неоднозначності стають оцінкою кутової координати. Щоб

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 86

зробити заповнюваний рахунковими імпульсами часовий інтервал досить великим, вимірювана різниця фаз переноситься на коливання низької частоти, отримані в результаті гетеродування порівнюваних сигналів напругою від загального джерела.

Багатошкальні фазові пеленгатори навіть у неоптимальному виконанні дозволяють отримувати дуже високу точність вимірювань при великих базах. Однак розглянуті системи не мають куту роздільною здатністю і мають порівняно невелику дальність дії, оскільки використовують ненаправлені або слабонаправлені антени, діаграми спрямованості яких перекривають зону огляду. Існує спосіб, що дозволяє забезпечити роздільну здатність по напрямку й підвищити дальність дії, а також значно знизити неоднозначність вимірювань завдяки використанню в багатошкальній фазовій системі поворотних гостронаправлених антен, діаграми спрямованості яких безупинно супроводжують ціль. Для супроводу звичайно використовується спеціальний слідкуючий вимірник малої точності, що автоматично стежить за ціллю по напрямку, а антени багатошкальної системи повторюють його повороти за допомогою сельсинно-слідкуючої системи. Завдяки використанню спрямованих антен забезпечується просторова селекція сигналів і підвищується дальність дії. Крім того, неоднозначність точного відліку кутів фазовим пеленгатором зберігається тільки в межах ширини діаграми спрямованості обертових антен $\theta = \lambda / d$. Для визначення розмірів грубої бази в цьому випадку замість формули (6.5) варто користуватися співвідношенням

$$b_r = 2\lambda v_{\min} = 2\lambda / \theta = 2d, \quad (6.8)$$

де d – діаметр поворотних антен, що звичайно значно більше довжини хвилі. Тому число баз (шкал) у фазових пеленгаторах з антенами, що стежать, менше, ніж при використанні слабкоспрямованих антен.

Фазові пеленгатори звичайно виконуються в стаціонарному варіанті, мають низьку пропускну здатність, висувають жорсткі вимоги до стабільності й ідентичності фазових характеристик

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 87</i>

розгалуженого фідерного тракту, що ускладнює їхнє технічне обслуговування. Крім того, найбільш прийнятними для них є сигнали безперервного випромінювання. Через це багатошкальні фазові пеленгатори застосовуються в основному в системах спеціального призначення, наприклад при пеленгації космічних об'єктів, де основною вимогою є висока точність вимірювань, реалізована при дуже великих базах.

Для підтримки високої точності радіопеленгаторів з великими базами необхідні спеціальні заходи щодо забезпечення ідентичності фазових характеристик у каналах елементів антенної системи (включення схем компенсації, періодичні перевірки й регулювання), а також контроль і стабілізація частоти сигналу. Зсув частоти сигналу щодо резонансної частоти вузькосмугових фільтрів викликає паразитні фазові зсуви. Крім того, зі зміною частоти коливаються відносні розміри бази. Абсолютні розміри бази також змінюються в процесу експлуатації під впливом кліматичних умов і деформацій ґрунту. Основи антен звичайно бетонують, однак і при цьому коливання розмірів великих баз досягають декількох одиниць або десятків сантиметрів, через що періодично повторюється топографічна прив'язка антен.

Відносні помилки вимірювання при коливанні відносних розмірів бази дорівнюють сумі відносних значень відходу частоти й відхилення розмірів бази від номіналу. У напрямку нормалі до бази помилки цього роду відсутні (у поворотних (що стежать) антенах).

Для фазових систем, що використовують імпульсні сигнали, характерний надзвичайно малий час вимірювання різниці фаз (тривалість імпульсу) і порівнянний з базою розкрив антени, що виключає неоднозначність вимірювань. Ці системи, що одержали назву моноімпульсних, будуються на інших принципах подібно багатоканальним амплітудним пеленгаторам.

Багатоканальні (моноімпульсні) системи пеленгації - амплітудні й фазові - поступово витісняють одноканальні пеленгатори з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 88</i>

послідовним порівнянням сигналів через недостатню точність і низкою перешкодозахищеності останніх. На моноімпульсні пеленгатори не діє модулююча перешкода, тому що будь-яка зміна інтенсивності вхідного сигналу однаковою мірою проявляється у всіх каналах й в принципі можливе ідеальне нормування, виконане за допомогою миттєвої АРП або глибокого обмеження. Моноімпульсні системи пеленгації не піддаються перешкодам, створюваним з однієї точки простору. Однак ці системи відрізняються складністю апаратури і високими вимогами до ідентичності й стабільності характеристик всіх каналів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 89

3. Порядок виконання роботи

3.1. Дослідити залежність різниці початкових фаз $\Delta\varphi_{12}$ радіосигналів, що формуються на виході пеленгаційних каналів фазового двоканального радіопеленгатора, від частоти f_S (довжини хвилі λ_S) радіовипромінювання РЕЗ, величини бази α_1 антенної системи та напрямку приходу Θ радіовипромінювання РЕЗ. Експериментально знайти режим однозначного визначення пеленгу.

3.2. Дослідити залежність різниці початкових фаз ($\Delta\varphi_{12}, \Delta\varphi_{13}, \Delta\varphi_{23}$) радіосигналів, що формуються на виході пеленгаційних каналів фазового радіопеленгатора з лінійною триелементною антенною системою, від частоти f_S (довжини хвилі λ_S) радіовипромінювання РЕЗ, величини баз антенної системи $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ та напрямку приходу Θ радіовипромінювання РЕЗ. Експериментально знайти режим однозначного визначення пеленгу.

3.3. Дослідити залежність різниці початкових фаз ($\Delta\varphi_{kn}$) радіосигналів, що формуються на виході пеленгаційних каналів фазового радіопеленгатора з лінійною чотириелементною антенною системою, від частоти f_S (довжини хвилі λ_S) радіовипромінювання РЕЗ, величини баз антенної системи $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$ та напрямку приходу Θ радіовипромінювання РЕЗ. Експериментально знайти режим однозначного визначення пеленгу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 90

4. Обробка результатів досліджень.

- 4.1. За результатами п. 3.1. визначити якісну залежність різниці початкових фаз $\Delta\varphi_{12}$ радіосигналів двоканального радіопеленгатора від частоти f_s (довжини хвилі λ_s) радіовимірювання РЕЗ, величини бази α_1 . Та напрямку приходу радіовипромінювання Θ . Визначити аналітичну залежність $\Delta\varphi_{12} = P\{f_s, \alpha_1, \theta\}$ як функцій трьох змінних. Визначити необхідні та достатні умови однозначного фазового пеленгування в заданих діапазоні робочих частот $D_f = \{f_i, f_a\}$, та робочому секторі $D_\theta = \{\theta_i, \theta_a\}$.
- 4.2. За результатами п. 3.2. визначити якісні залежності різниць початкових фаз $\Delta\varphi_{12}, \Delta\varphi_{13}, \Delta\varphi_{23}$ радіосигналів триканального фазового радіопеленгатора як функції від частоти f_s (довжини хвилі λ_s) радіовимірювання РЕЗ, величини баз $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ та напрямку приходу радіовимірювання Θ . Визначити аналітичні залежності $\Delta\varphi_{12} = P_1\{f_s, \alpha_1, \theta\}, \Delta\varphi_{13} = P_2\{f_s, \alpha_2, \theta\}, \Delta\varphi_{23} = P_3\{f_s, \alpha_3, \theta\}$ як функції трьох змінних. Визначити необхідні та достатні умови однозначного фазового пеленгування триканальним радіопеленгатором із лінійною триелементною антенною системою в заданих діапазоні робочих частот $D_f = \{f_i, f_a\}$, та робочому секторі $D_\theta = \{\theta_i, \theta_a\}$. Визначити оптимальне співвідношення величин баз $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$ антенної системи.
- 4.3. За результатами п. 3.3. визначити якісні залежності різниць початкових фаз $\Delta\varphi_{kn}$ радіосигналів чотирьохканального фазового радіопеленгатора із чотирьох елементною лінійною антенною системою як функцій від частоти f_s (довжини хвилі λ_s) радіовимірювання РЕЗ, величини баз $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$ та напрямку приходу радіовипромінювання θ . Визначити

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 91

- аналітичні залежності $\Delta\phi_{kn} = P_i \{f_s, \alpha_i, \theta\}$ як функції трьох змінних. Визначити необхідні та достатні умови однозначного фазового пеленгування чотирьохканального радіопеленгатора із лінійною чотирьохелементною антенною системою в заданих діапазоні робочих частот $D_f = \{f_n, f_e\}$ та робочому секторі $D_\theta = \{\theta_n, \theta_e\}$. Оцінити оптимальне співвідношення величин баз $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4\}$ антенної системи.
- 4.4. Виконати порівняльний аналіз результатів досліджень пунктів 4.1, 4.2, 4.3 та визначити ефективність використання збільшення кількості елементів антенної системи і каналів прийому для реалізації сучасних фазових радіопеленгаторів.
- 4.5. Виконати теоретичний аналіз функціонування багатоканального фазового радіопеленгатора в сучасних умовах проведення контролю використання РЧР, що характеризується діапазоном робочих частот $D_f = \{f_n = 0,01 \text{ МГц}, f_e = 10^4 \text{ МГц}\}$ та невизначеністю місцезнаходження РЕЗ, тобто $D_\theta = 360^\circ$. Результати теоретичного аналізу порівняти із результатами експериментальних досліджень і зробити обґрунтовані висновки.
- 4.6. За результатами досліджень лабораторної роботи запропонувати методику синтезу широкосмугових фазових радіопеленгаторів.
- 4.7. Результати досліджень оформити у вигляді звіту, що підлягає індивідуальному захисту.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 92</i>

Контрольні питання самоконтролю

1. В чому полягає сутність фазового методу пеленгування РЕЗ?
2. Що таке неоднозначність пеленгування і які причини його виникнення в фазових радіопеленгаторах?
3. Як реалізується технічно послідовний пошук радіосигналів у просторі?
4. Як впливає швидкість огляду $V_{ог}$ діапазону робочих частот послідовного пристрою контролю РЧР на параметри його каналу прийому?
5. Які фактори впливають на точність визначення частоти радіосигналу послідовного пристрою контролю РЧР?
6. Які фактори впливають на роздільну здатність по частоті радіосигналу послідовного пристрою контролю РЧР?
7. Які фактори впливають на перепускную спроможність послідовного пристрою контролю РЧР.
8. Дати порівняльний аналіз послідовного та паралельного пристроїв контролю РЧР.
9. Які методи використовують для покращення швидкості та точності послідовних пристроїв контролю РЧР?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 93

Практична робота №7

Дослідження моделі кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора

Мета лабораторної роботи: навчитись проводити дослідження характеристик пристроїв пасивної радіолокації шляхом моделювання

Короткі теоретичні відомості

Аналіз джерел літератури показав, що в останні роки все більшого застосування знаходить кореляційно-інтерферометричне радіопеленгування, що проводиться шляхом часової кореляційної інтерферометрії комплексних напруг сигналів для кожної пари антени з подальшим обробленням вимірів та оцінюванням пеленга. Функція взаємної кореляції, що характеризує ступінь статистичного взаємозв'язку між прийнятими сигналами, визначається за допомогою корелятора, основними складовими якого є перемножувач миттєвих значень напруг двох сигналів та, підключений до його виходу інтегратор, який усереднює отримане значення напруги.

Сучасні кореляційно-інтерферометричні радіопеленгатори зазвичай використовують нерухомі антени.

Для стаціонарних і мобільних станцій радіомоніторингу найбільшого поширення в даний час набула схема з двома каналами прийому.

Основними його елементами є: антенна решітка, антенний комутатор, двоканальний когерентний радіоприймач, блок аналого-цифрової обробки, що складається з двох АЦП та блоку цифрового оброблення сигналів (ЦОС). Двоканальний приймач має два входи: перший називатимемо сигнальним, другий – опорним. Антенний комутатор послідовно підключає до входів двоканального приймача пари елементів АР, вибрані згідно алгоритму пеленгування. Для забезпечення когерентного прийому сигналів на змішувачі обох

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 94</i>

каналів прийому подається одна і та ж високочастотна напруга, що формується синтезатором частот.

Інтерферометр з цифровим приймачем, число когерентних каналів якого рівне числу антенних елементів (АЕ), реалізує моноімпульсний метод пеленгування. Такий пеленгатор забезпечує найбільшу швидкість обчислення пеленгів, але складний, дорогий у виготовленні і налаштуванні. Важливим завданням, яке необхідно вирішити в моноімпульсному пеленгаторі, є виконання вимоги ідентичності амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик приймальних каналів. Звичайно це завдання вирішується шляхом періодичного калібрування за допомогою тестового зонduючого сигналу невеликої потужності, що подається в приймальні канали.

Принцип роботи інтерферометра оснований на порівнянні фаз поля в просторово рознесених точках з метою визначення орієнтації поверхні рівних фаз, однозначно пов'язаної з напрямом поширення від ДРВ. Збільшення кількості просторово рознесених пар точок, що відрізняються між собою відстанню «рознесення» або базою і кутвою орієнтацією в просторі, дозволяє збільшити інформацію про структуру хвилі, що приймається, і відповідно підвищити якість формування кутового просторового спектра радіосигналу. АЕ, що є датчиками поля, розташовуються, як правило, в площині пеленгування (азимутної площини), що пов'язано з можливостями технічної реалізації ідентичних фазових центрів кожного АЕ. Для забезпечення однозначності пеленгування в круговій зоні необхідно мати принаймні три АЕ, розташованих в площині пеленгування. Враховуючи необхідність сканування в межах 360° з однаковою якістю вимірювань, АР повинна бути симетричною щодо її фазового центру. До симетричних плоских АР відносяться еквідистантні одна-та багатокільцеві АР з центральним антенним елементом або без нього.

Радіопеленгування проводиться за максимумом взаємної кореляційної функції, що буде коли різниця Δt часу поширення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 95

сигналів від ДРВ до обох антен компенсується часом $\tau_{ЛЗ}$ регульованої лінії затримки.

Таким чином, за оціненим числовим значенням часу $\hat{\tau}_{ЛЗ}$, яке можна визначити за максимальним рівнем напруги на виході корелятора шляхом регулювання вручну або автоматично часу лінії затримки, можна визначити кут α між напрямком на ДРВ і напрямком антенної бази d із виразу:

$$\cos \alpha = \frac{c \cdot \hat{\tau}_{ЛЗ}}{d},$$

де c – швидкість поширення електромагнітного випромінювання у вільному просторі;

d – антенна база;

$\hat{\tau}_{ЛЗ}$ – оцінка значення часу затримки поширення сигналів від джерела до двох антен.

Недоліком кореляційно-інтерферометричного пеленгатора з двоканальним приймачем порівняно з багатоканальним варіантом є більший час обчислення пеленгів (при забезпеченні однакової інструментальної точності і чутливості). Проте час реакції (швидкодія пеленгування) двоканального пеленгатора, як правило, виявляється цілком прийнятною.

Поліпшення основних характеристик кореляційно-інтерферометричного пеленгатора може бути досягнуто шляхом збільшення розмірів АР з відповідним збільшенням числа АЕ. Це не завжди реалізується по ряду відомих причин, до яких можна віднести необхідність забезпечення високої швидкості огляду простору при круговому скануванні, наявність обмежень на масо-габаритні характеристики радіосистеми і т.д. У зв'язку з цим виникає завдання оптимального розміщення обмеженої кількості АЕ, що дозволяє отримати максимальну інформацію про структуру поля в розкритві антени. Для кореляційного інтерферометра оптимальне розміщення АЕ на площині повинне забезпечувати, по-перше,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 96</i>

формування максимального числа пеленгаційних пар з різними базами; по-друге, різну кутову орієнтацію пеленгаційних пар з однаковими базами; по-третє, зміна баз пеленгаційних пар з однаковою кутовою орієнтацією.

В ряді випадків виникає необхідність радіопеленгування з більшою точністю об'єктів, радіовипромінювання яких має шумовий характер. До подібних об'єктів відносяться, наприклад, сигнали із стрибкоподібною зміною частоти, шумові завади, сигнали з лінійною частотною модуляцією і широкосмугові псевдовипадкові сигнали. В таких випадках, використовуючи кореляційно-інтерферометричний радіопеленгатор з досить великою антенною базою, можна досягти високої чутливості і точності радіопеленгування. При цьому, завдяки тому, що функція взаємної кореляції для сигналів шумового характеру монотонно зменшується при збільшенні Δt , ДС кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора виявляється однозначною і бічні пелюстки в ній відсутні. Антени А1 та А2 можуть мати як кругову ДС так і гостру. В останньому випадку для забезпечення слідування за джерелом радіовипромінювання повинно бути передбачено синхронний поворот ДС.

Важливе значення при побудові кореляційно-інтерферометричних засобів радіопеленгування є реалізація необхідної точності, що впливає на їх швидкодію та апаратні витрати.

Отже в цілому кореляційні інтерферометри на сьогодні є найперспективніші серед радіопеленгаторних систем, що зумовлено їхніми наступними суттєвими перевагами:

– якісне радіопеленгування практично будь-яких видів радіосигналів, у тому числі, широкосмугових зі складними видами модуляції;

– можливість оброблення та розрізнення одночасно двох або декількох сигналів в одному частотному каналі, причому як когерентних (у процесі приймання багатопроменевого випромінювання одного й того ж ДРВ), так і некогерентних (у процесі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 97</i>

приймання радіосигналів від декількох ДРВ, спектри яких перебиваються);

- наявність ефективних методів зменшення інструментальних похибок, зумовлених взаємним впливом антенних елементів і місцевих умов, які можуть враховуватися для будь-яких типів антенних решіток;

- відсутність обмежень на конфігурацію АР радіопеленгатора, що дозволяє застосовувати складні решітки з широкою зоною однозначного радіопеленгування і високою розрізнявальною здатністю як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах;

- більша, ніж у фазових радіопеленгаторів, стійкість до впливу когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі.

Крім перерахованих переваг, кореляційні інтерферометри допускають поширене застосування методів цифрового оброблення сигналів на всіх стадіях визначення пеленгу.

Основні недоліки кореляційних інтерферометрів:

- складність реалізації, що викликана двоканальним прийманням сигналів, внаслідок чого виникає необхідність конструювання спеціальних широкосмугових двоканальних радіоприймачів або дороблення існуючих;

- необхідність забезпечення в радіоприймальних каналах радіоприймачів якомога більшої ідентичності комплексних коефіцієнтів передачі;

- неповний, порівняно з амплітудними радіопеленгаторами з вузькою ДС, захист від когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі;

- висока обчислювальна складність і в результаті низька швидкодія або великі апаратні витрати, тобто необхідність для точної оцінки затримки в реальному масштабі часу використання багатоканальної кореляційної системи обробки інформації.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 98

Хід виконання роботи

1. Відкрити MathCad модель безпошукового кореляційно-інтерферометричного пеленгатора з двоелементною антенною решіткою.

2. Задати початкові дані дослідження – напрямок (кут) приходу радіосигналу θ , величину антенної бази b_a , рис. 7.1.

Mathcad - [Дисперс 0.75МГц 500М 0.25m - 65536р.mcd]

Файл Правка Вид Вставити Формат Інструменти Символіка Окно Помощь

Normal Arial 10 B I U

1. Задаємо початкові умови

Задаємо кут приходу радіосигналу в межах від 0 до 180°

$$\theta_{grad} := 70$$

Переводимо градуси в радіани

$$\theta_{rad} := \frac{(\theta_{grad} \pi)}{180} \quad \theta_{rad} = 1.2217$$

Задаємо антенну базу, м:

$$b_a := 0.25$$

Задаємо константу швидкості світла, м/с:

$$c := 299792458$$

Отримуємо значення затримки, що відповідає цим початковим даним, с:

$$\tau := \frac{b_a \cdot \cos(\theta_{rad})}{c} \quad \tau = 2.8521 \times 10^{-10}$$

Рис. 7.1. Початкові умови пеленгування

3. Задати параметри сигналів 1 та 2 радіоканалів $S(t)$, рис. 7.2.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 99

2. Створюємо сигнали

2.1 Створюємо перший сигнал

Задаємо амплітуду сигналу, В:
 $S_0 := 100$

Задаємо початкову фазу сигналу в градусах та переводимо її в радіани
 $\Phi_{grad} := 0$ $\Phi_0 := \frac{(\Phi_{grad} \cdot \pi)}{180}$ $\Phi_0 = 0$

Задаємо період сигналу, с
 $T_s := (1000 \times 10^{-6})$ $T_s = 1 \times 10^{-3}$

Задаємо базу сигналу, Гц:
 $b := 0.1 \times 10^9$

Задаємо середню частоту сигналу, Гц:
 $f_0 := 500 \cdot 10^6$

Записуємо перший сигнал
 $SI(t) := S_0 \cdot \sin\left[\Phi_0 + 2 \cdot \pi \cdot (f_0 \cdot t + b \cdot t^2)\right]$

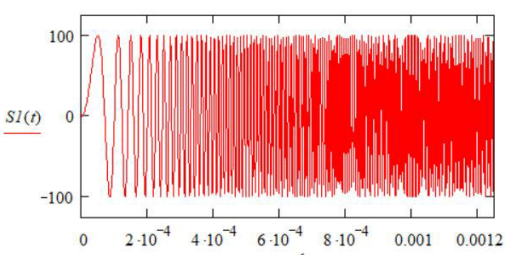


Рис 1. Зображення першого сигналу

Рис. 7.2. Параметри сигналів

4. Задати параметри цифрового оброблення (дискретизації) – частоту дискретизації Fd , кількість набраних відліків N , віконні функції Wk , на які множаться масиви відліків прийнятих радіовипромінювань для подальшого спектрального аналізу за допомогою Швидкого перетворення Фур’є (ШПФ) (FFT) рис. 7.3.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015		Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1 Арк 110 / 100

3. Створюємо вікна

3.1. Задаємо параметри дискретизації вікон

Задаємо кількість відліків

$$N := 131072 \quad Fd := 32.8 \cdot 10^6$$

$$Td := \frac{1}{Fd} \quad Td = 3.0488 \times 10^{-8}$$

Задаємо час аналізу, який рівний періоду імпульса ширококутового сигналу,с:

$$tMax := N \cdot Td \quad tMax = 3.9961 \times 10^{-3}$$

$$k := 0..N - 1 \quad tk := k \cdot Td$$

3.2. Створюємо вікна

3.2.2 Вікно Блекмана

$$W_2(k) := 0.42 + \frac{1}{2} \cdot \cos\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot \left(k - \frac{N}{2}\right)}{N}\right] + 0.08 \cdot \cos\left[\frac{4 \cdot \pi \cdot \left(k - \frac{N}{2}\right)}{N}\right]$$

3.2.3 Вікно Ханна

$$W_3(k) := 0.5 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2 \cdot \pi k}{N}\right)\right)$$

Рис. 7.7. Параметри сигналів

5. Задати параметри нормального адитивного шуму радіоканалів, рис. 7.4.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 101

Mathcad - [Дисперс 0.75МГц 500М 0.25m - 65536р.mcd]

Файл Правка Вид Вставити Формат Інструменти Символіка Окно Помощь

Normal Arial 10 B I U

4. Створюємо шуми з нормальним розподілом

Середньоквадратичне очікування

$$\sigma_1 := 100 \quad \sigma_2 := \sigma_1 \quad J := 1$$

Математичне очікування

$$\mu_1 := 0 \quad \mu_2 := 0$$

$$20 \cdot \log\left(\frac{S_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma_1}\right) = -3.0103$$

Нормальні шуми в першому та другому каналах

$$\text{Noise1} := J \cdot \text{norm}(N, \mu_1, \sigma_1) \quad \text{Noise2} := J \cdot \text{norm}(N, \mu_2, \sigma_2)$$

Табл.1 Шум в першому каналі

	0
0	-132.3893
1	-199.5046
2	77.6649
3	-168.365
4	-119.8924
5	23.3717
6	61.4953
7	74.9409
8	0.6294
9	-5.4017
10	-52.211
11	20.0007

Табл.2 Шум в другому каналі

	0
0	-172.6987
1	-61.126
2	-4.2552
3	-249.2367
4	-125.9169
5	-25.5238
6	55.7257
7	43.6958
8	14.7373
9	-213.7322
10	5.4401
11	47.1993

Noise1 =

Noise2 =

Noise1₁₀₂₃ = -224.62

Рис. 7.4. Параметри шуму

6. Задати параметри ШПФ, рис. 7.5.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 102

5. Швидке перетворення Фур'є

5.1. Перетворюємо перший сигнал

Дискретизуємо сигнал по k -ім відлікам, додаємо шум, та множимо отриману суміш на вікно

$$y1_k := (SI(t_k) + Noise1_k) \cdot W_2(k)$$

Здійснюємо швидке дискретне перетворення Фур'є ШПФ

$$Z1 := FFT(y1)$$

Оскільки сигнал дійсний, то відкидаємо дзеркальну копію отриманого спектру, яка не містить в собі корисної інформації:

$$m := 0.. \left(\frac{N}{2} - 1 \right)$$

Іаδωά ±ἀνδρῶδ ἁ πῖἀεὐδῖ

$$\Omega := \frac{Fd}{N}$$

$$\Omega = 250.2441$$

N -нна частота у спектрі

$$\Omega D_m := m \cdot \Omega$$

$$\Omega D_1 = 250.2441$$

Остання частота у спектрі

$$\Omega N := \frac{Fd}{2}$$

Рис. 7.5. Параметри ШПФ

7. Виконати кореляційне оброблення сигналів радіоканалів.

8. Виконати оцінку пеленга θ_{vimir} , та похибки пеленгування як різницю між заданим та отриманим значенням: $\theta_{grad} - \theta_{vimir}$, рис. 7.6.

Повторити дослід 30 разів за допомогою перерахування аркуша маткад, комбінація клавіш (Ctrl+F9) та визначити СКВ оцінки пеленгу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 103

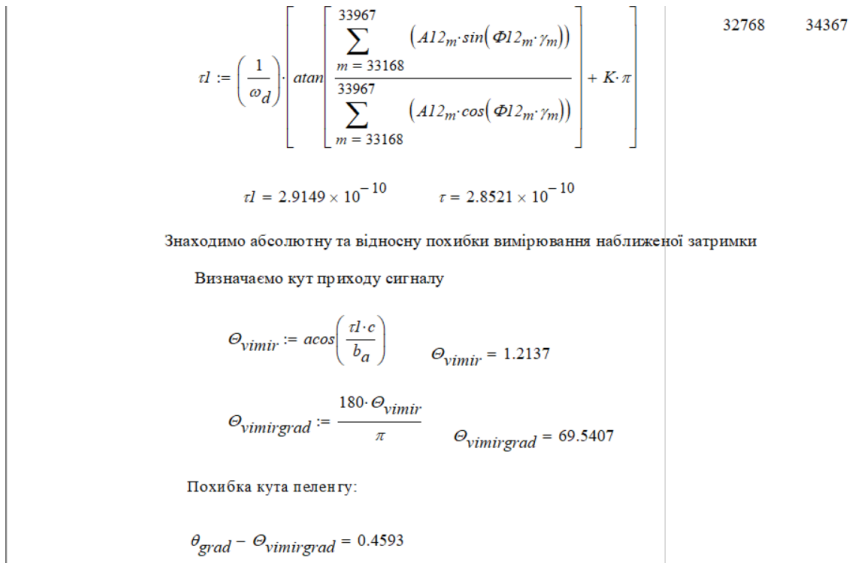


Рис. 7.6. Кореляційна безпошукова оцінка пеленга

9. Дослідити залежність СКВ оцінки пеленгу від наступних параметрів:

- Напрямку θ ;
- Частоти сигналу (100-3000МГц із заданим кроком);
- Вхідного відношення сигнал / шум, дБ;
- Величина антенної бази b_a ;
- Ширини спектра сигналу, що пеленгується;
- Типу вікна часового спектрального аналізу.

Зміст звіту. Звіт повинен містити:

1. Результати досліджень.
2. Результати розрахунків та відповідні графіки, їх аналіз.
3. Зробити висновки: про об'єм виконаної роботи, чи досягнена мета роботи, чи практичні результати співпали з теоретичними.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 104</i>

Контрольні питання

1. Завдання пасивної радіолокації і методи її проведення
2. Методи пошуку радіоелектронних засобів по частоті і напрямку
3. Методи вимірювання часових і частотних параметрів випромінювань
4. Принципи побудови моноімпульсних пеленгаторів
5. Цифрові кореляційно-інтерферометричні моноімпульсні пеленгатори це...
6. Цифрові SDR-приймачі і їх застосування апаратури пасивної локації
7. Аналіз точності і швидкодії засобів пасивної локації
8. Як перевести коефіцієнт підсилення з разів в децибели дБ за напругою та потужністю?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 105

Лабораторна робота №8

Дослідження характеристик SDR засобу радіомоніторингу

Мета лабораторної роботи: дослідити можливості SDR засобу радіомоніторингу, оцінити програмне забезпечення для керування SDR трансівером Hack RF.

2. Завдання на лабораторну роботу

- 2.1. Проведення сканування заданого діапазону частот.
- 2.2. Дослідження можливостей програм SDR++ та SDR sharp щодо пошуку сигналів певної частоти та оцінки їх параметрів.
- 2.3. Дослідження можливості Hack RF щодо аналізу частотного діапазону та виявлення сигналів з використанням антен різного типу.

3. Теоретичні відомості

Програмно визначена радіосистема (англ. Software-defined radio, SDR) – радіопередавач та/або радіоприймач, що використовує технологію, що дозволяє за допомогою програмного забезпечення встановлювати або змінювати робочі радіочастотні параметри, включаючи, зокрема, діапазон частот, тип модуляції або вихідну потужність виключенням зміни робочих параметрів, що використовуються під час звичайної попередньо визначеної роботи з попередніми установками радіопристрою, відповідно до тієї чи іншої специфікації або системи.

Програмно визначена радіосистема виконує значну частину цифрової обробки сигналів на звичайному персональному комп'ютері або ПЛІС. Метою такої схеми є радіоприймач або радіопередавач довільних радіосистем, що змінюється шляхом програмної переконфігурації (звідси походить альтернативне найменування таких систем - програмно-конфігуровані).

Яке залізо вибрати для SDR. Побутових (аматорських) SDR, які можна просто купити в магазині, багато: Funcube Dongle, RTL-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 106</i>

SDR, USRP, OsmoSDR, BladeRF, HackRF, AirSpy, пристрої LimeSDR USB Type-A та інші. Одним із найпопулярніших пристроїв є HackRF. Цей пристрій має великий діапазон підтримуваних частот, а також прийнятна (порівняно з деякими іншими моделями) ціна.

HackRF One, рис. 7.1, має характеристики:

- Діапазон робочих частот: 1 MHz – 6 GHz;
- Смуга пропускання: 8-20 MHz;
- Частота дискретизації: 8 – 20 Msps;
- Напівдуплексний ресівер;
- Збільшення потужності прийому та передачі, а також фільтр частот налаштовується програмно;
- Інтерфейс хоста: USB 2.0.

Як можна побачити, пристрій досить повільний інтерфейс USB 2.0, а також частота пропускання тільки 20 MHz, тобто це не самий «ТОП». Але для цього вистачить. До того ж останнім часом на пристрій сильно знизилася ціна. І ще, хоча в характеристиках зазначена частота, що підтримується 1 MHz - 6 GHz, але можна вийти за цей діапазон. Цей пристрій має прошивку з відкритим вихідним кодом. Воно сумісне з GNU Radio, SDR# та іншими програмами. Хороша сумісність із Linux.

Запобіжні заходи для HackRF

Не можна запускати прийом або передачу даних без підключеної антени! Це дуже важливо, оскільки прилад не контролює, чи антена під'єднана і в будь-якому випадку під навантаженням подає електрику, тому без антени HackRF може просто згоріти.

Або замість антени використовуйте заглушку – мається на увазі не пластикові червоні заглушки, які захищають від пилу, а заглушку з функцією споживання навантаження – золотиста «гайка», яка наvertsється на гніздо антени.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 110 / 107

У приладі три однакові SMA female роз'єми: два на одній стороні і один на іншій стороні. Роз'єм для антени це той, який розташований один (інші два призначені для синхронізації кількох пристроїв HackRF), рис. 7.1.



Рис. 7.1

Структурна схема SDR трансивера наведена на рис. 7.2.

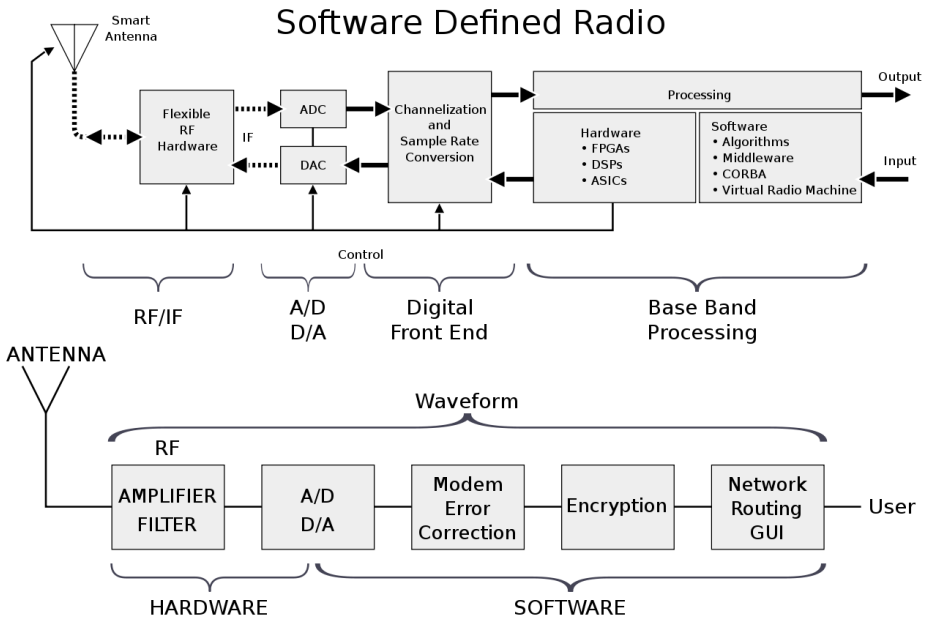


Рис. 7.2. Структурна схема SDR трансивера

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015		Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1
			Арк 110 / 108

Вигляд меню SDR sharp з HackRF наведено на рис. 7.2, 7.3.

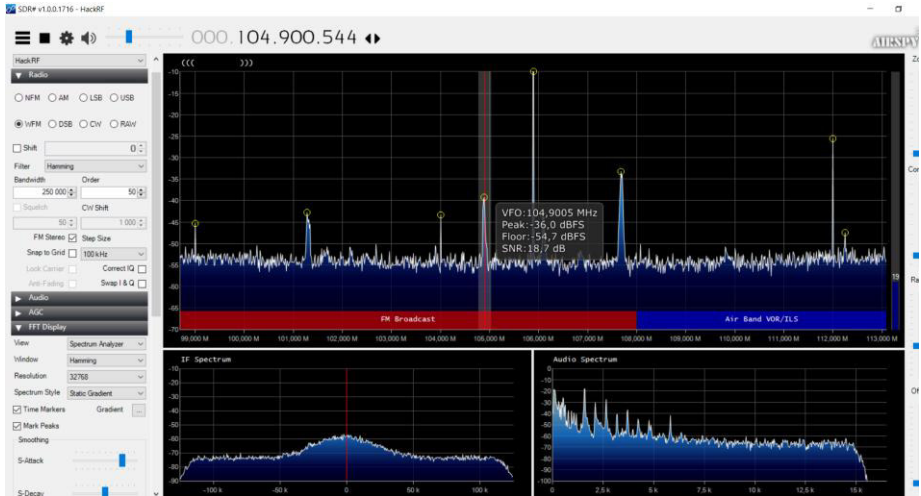


Рис. 7.2

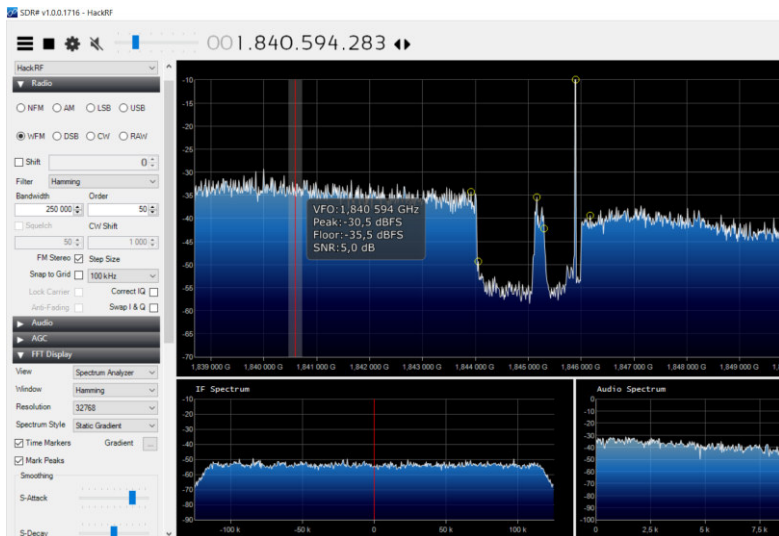


Рис. 7.3

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 109</i>

4. Виконання роботи

1. Прикрутіть антену до Hack RF.
2. Підключіть Hack RF за допомогою USB до комп'ютера.
3. Дослідіть можливості широкосмугового радіоприймача Hack RF.
3. Встановіть програму SDR++ та SDR sharp на комп'ютері.
4. Дослідіть можливості щодо сканування певного діапазону частот у залежності від виставлених параметрів ширини смуги пропускання, типу антени, рівня підсилення сигналу, виставленого виду модуляції.
6. Виміряйте в ручному та автоматичному режимі параметри 4-х радіовипромінювань в різних частотних діапазонах за індивідуальним завданням.

5. Контрольні запитання

1. Призначення програм SDR++ та SDR sharp.
2. Призначення широкосмугового приймача Hack RF.
3. Можливості SDR++ та SDR sharp щодо сканування та вимірювання параметрів певного діапазону частот.
4. Можливості широкосмугового приймача AR 8200.
5. Особливості сканування частотного діапазону 1 MHz – 6 GHz.

6. Обробка результатів вимірювань та зміст звіту:

1. Мета лабораторної роботи.
2. Інтерфейс програм SDR++ та SDR sharp.
3. Скріншоти виконання роботи по пунктах.
4. Висновки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ВК2.4-1-2024
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 110 / 110</i>

Література

1. Шолохов С.М., Самборський І.І., Вакуленко О.В., Ніколаєнко Б.А. Завадозахист радіоелектронних засобів. Частина 1. Основи завадозахисту систем зв'язку: навчальний посібник. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 210 с.
2. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посібник / Ушенко Ю.О., М.С. Гавриляк, М.В. Талах, В.В. Дворжак. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича. – 2021. – 308 с.
3. Rembovsky A.M., Ashikhmin A.V., Kozmin V.A. Radio monitoring. Springer, 2019. – 467 p.
4. Засоби радіопротидії в інформаційно-телекомунікаційних системах. Електронний навчальний посібник. Браїловський В. В., Рождественська М. Г., Гресь О. В., Косован Г. В. Чернівці Чернівецький нац. ун-т, 2021. – 129 с.