

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Човганюк Юрій Васильович
Chovhaniuk Yurii

УДК 004:681.27

Спеціальність 123 «комп'ютерна інженерія»
(шифр та назва спеціальності)

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Моделювання цифрових детекторів з їх проектуванням параметрів
та характеристики

Modeling of digital detectors with their design of parameters and
characteristics

Науковий керівник:
проректор з науково-педагогічної
роботи к. ф.-м. н., професор
Запухляк Р.І.

Рецензенти:
к. ф.-м. н., зав. каф. фізики і
методики викладання
Ліщинський І.М.

Івано-Франківськ

2020

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавр «Моделювання цифрових детекторів з їх проектуванням параметрів та характеристики»: 45 ст., 19 рис., 5 джерел.

Об'єкт дослідження – демодулятори амплітудно-, частотно- та фазо-модульованих сигналів.

Метою роботи – аналіз та дослідження основних видів детектування модульованих сигналів.

Робота складається з вступу, 3 розділів, висновку, списку використаних джерел інформації.

Ключові слова: детектори, демодулятори, радіоприймач, сигнал, модуляція, колювання.

					123.УДК: 004:681.27		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
Розробив		Човганюк Ю.В			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
Перевірив		Запухляк Р.І.				3	44
					Анотація		
Н. Контр.							
Затвердив							

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification for the Bachelor's Degree "Modeling of digital detectors with their design of parameters and characteristics": 45 pages, 19 figures, 5 sources.

Object of study - demodulators of amplitude-, frequency- and phase-modulated signals.

The purpose of the work is to analyze and investigate the main types of modulated signal detection.

The work consists of introduction, 3 sections, conclusion, list of sources of information used.

Keywords: detectors, demodulators, radio, signal, modulation, oscillations.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ДВНЗ
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на тему:
«Моделювання цифрових детекторів з їх проектуванням параметрів та
характеристик»

					123.УДК: 004:681.27			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив		Човганюк Ю.В.			Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
Перевірив		Запухляк Р.І.					5	44
Н. Контр.								
Затвердив								

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

НЧ – низько-частотний

ВЧ – високо-частотний

НВЧ – надвисоко-частотний

ППіОС – пристрої прийому і обробки сигналу

АМ – амплітудна модуляція

ЧМ – частотна модуляція

ФМ – фазова модуляція

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ЗМІСТ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ПРИСТРОЇ ПРИЙОМУ І ОБРОБКИ СИГНАЛІВ	10
1.1. Загальні відомості про радіотехніку.....	10
1.2. Класифікація радіопристроїв.....	15
1.2.1. Лінійні і нелінійні пристрої.....	16
1.2.2. Пристрої пасивного і активного типу.	17
1.2.3. Пристрої автономного або неавтономного типу.	17
1.2.4. Пристрої з елементами зосередженого і розподіленого типу.	18
1.3. Перспективи розвитку теорії та техніки прийому й обробки сигналів.....	18
РОЗДІЛ 2. ЦИФРОВІ ДЕТЕКТОРИ. ЇХ ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ	20
2.1. Загальні поняття.....	20
2.2. Детектування модульованих сигналів.....	22
2.2.1. Характеристики детекторів	23
2.2.2. Амплітудне детектування.....	24
2.2.2.1. Лінійний діодний детектор	24
2.2.2.2. Колекторний детектор	26
2.2.2.3. Квадратичний детектор	28
2.2.2.4. Синхронне детектування.....	30
2.2.3. Частотне і фазове детектування сигналів	30
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ДЕТЕКТОРІВ	34
Вступ.....	34

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

3.1. Дослідження цифрових детекторів з їх проектування параметрів і характеристик	35
3.1.1. Дослідження детектора амплітудно-модульованих коливань.....	35
3.1.2. Дослідження детектора частотно-модульованих коливань	38
3.1.3. Дослідження фазового детектора	40
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Стрімкий розвиток галузі телекомунікацій та обчислювальної техніки постійно розширює коло задач, які необхідно вирішувати при теоретичному розрахунку та практичній реалізації сучасних електронних пристроїв і радіо систем. Крім того, складність вирішення подібних завдань стрімко зростає внаслідок існування негатовного бажання користувачів щодо постійного збільшення швидкості та об'ємів передачі, обробки інформації.

Актуальність теми дипломної роботи полягає в тому, що одним з нагальних завдань, яке виникає перед науковцями та інженерами при проектуванні, налагодженні та експлуатації електронного обладнання є вимірювання заданих характеристик електричних сигналів, моделювання їх параметрів, а саме їх форми, амплітуди, фази, частоти, тощо.

Предметом дослідження – цифрові детектори.

Об'єктом дослідження – демодулятори амплітудно-, частотно- та фазо-модульованих сигналів.

Мета дипломної роботи: аналіз та дослідження основних видів детектування модульованих сигналів.

Для досягнення мети дипломної роботи поставлено такі завдання:

- Дослідження особливостей цифрових детекторів;
- Розрахунок основних параметрів та характеристик детектування;
- Моделювання демодуляторів за допомогою різних засобів розробки електричних кіл

При вирішенні поставлених завдань застосовувалися такі методи, як метод теоретичного узагальнення – для розкриття змісту й уточнення наукових понять радіотехніки; практичний метод моделювання та проектування – для наочного відображення принципів роботи детекторів.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ПРИСТРОЇ ПРИЙОМУ І ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

1.1. Загальні відомості про радіотехніку

Термін *радіотехніка*, що походить від латинського *radio* (випромінюю) самою своєю назвою визначає ту область науки і техніки, яка займається вивченням і застосуванням електромагнітних коливань і хвиль відповідного діапазону для передачі і прийому інформації на відстані. До радіохвиль прийнято відносити електромагнітні хвилі з частотами від 3 до 3 ТГц, що поширюються в просторі без штучно спрямованих ліній.

Радіотехніка є відносно молодою наукою, яка бере свій початок з відкриття явища електромагнітної індукції (1831 р. М.Фарадей), електромагнітного поля (1865 р. Дж. Максвелл) і практичного отримання електромагнітної хвилі (1887 р. Г. Герц).

Початок практичного використання електромагнітних хвиль для передачі інформації пов'язано з іменами російського професора О. Попова та італійського інженера Гульємо Марконі, який проводив свої роботи після опублікування Поповим своїх результатів в 1895 році, але встиг їх запатентувати, тому закордоном саме його часто вважають винахідником першого пристрою для радіозв'язку.

Від минулого часу про уявлення першого пристрою для радіозв'язку радіотехніка зробила величезний крок вперед і на сьогоднішній день охопила практично всі сфери діяльності людини. Постійний розвиток технології, зниження відносної вартості радіотехнічних пристроїв і мінімізація їх розмірів забезпечили широке розповсюдження засобів радіотехніки як на виробництві, так і у побуті. До теперішнього часу значно розширився і діапазон використовуваних радіохвиль. Сучасна класифікація діапазонів радіохвиль приведена в табл.1.1. В реальній практиці використовуються радіохвилі, діапазон яких простягається від дуже низьких до крайньо високих частот.

Найбільш близькими до радіотехніки є такі галузі як *електротехніка* та *електрозов'язок*.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1.

Найменування частотного діапазона	Границі діапазонів (Гц)	Назва хвильового діапазону	Границі діапазонів (м)
Крайньо низькі	3-30 Гц	Декамегаметрові	100-10 Мм
Наднизькі	30-300 Гц	Мегаметрові	10-1 Мм
Інфранизькі	0,3-3 кГц	Гектокілометрові	1000-100 км
Дуже низькі	3-30 кГц	Міріаметрові	100-10 км
Низькі	30-300 кГц	Кілометрові	10-1 км
Середні	0,3-3 МГц	Гектометрові	1-0,1 км
Високі	3-30 МГц	Декаметрові	100-10 м
Дуже високі	30-300 МГц	Метрові	10-1 м
Ультрависокі	0,3-3 ГГц	Дециметрові	1-0,1 м
Надвисокі	3-30 ГГц	Сантиметрові	10-1 см
Крайньо високі	30-300 ГГц	Міліметрові	10-1 мм
Гіпервисокі	300-3000 ГГц	Дециміліметрові	1-0,1 мм

Електрозв'язок орієнтований на завдання прийому і передачі інформації по провідним каналам, а електротехніка зосереджується на питаннях передачі і перетворення електричної енергії.

Радіотехнічні системи є різновидом інформаційно-управляючих систем і в загальному випадку здійснюють завдання *радіо-керування*, а так само *передачі*, *вилучення* або *руйнування* інформації за допомогою електромагнітних хвиль.

Системи передачі інформації в свою чергу поділяються на системи радіозв'язку, телеметрії, передачі команд, радіомовлення і телебачення.

До систем вилучення інформації відносяться радіолокаційні та радіонавігаційні системи, а також системи радіоастрономії і радіорозвідки.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

До систем руйнування інформації відносяться системи, призначені для цілеспрямованого виведення з ладу радіосистем противника або створення умов, в яких робота радіосистем противника стає скрутною або неможливою.

Системи радіо-керування застосовують для управління роботою різних об'єктів за допомогою радіосигналів.

Радіозв'язок – інформаційний зв'язок між об'єктами за допомогою радіохвиль. При цьому радіозв'язок може бути одностороннім, коли споживач має в своєму розпорядженні тільки приймач, а джерело має тільки передавач або двостороннім, коли в розпорядженні кожного учасника радіозв'язку є і приймач і передавач.

До найпоширеніших видів однобічного зв'язку відноситься, наприклад, класичне радіомовлення і телебачення, при якому джерела інформації мають тільки передавачі, а споживачі мають тільки приймачами.

Радіолокація являє собою виявлення об'єктів, визначення їх координат, а також параметрів руху.

Радіонавігація як спосіб визначення власних координат об'єкту за допомогою радіотехнічних засобів знайшла широке застосування в авіації, космонавтиці і різних транспортних системах.

Радіотелеметрія призначена для вимірювання фізичних величин на віддалених об'єктах і в важкодоступних місцях, наприклад, таких як пошукові зонди, супутники і т.п.

У міру розвитку технічного прогресу, вдосконалення елементної бази, появи можливостей мінімізації різних блоків і систем спостерігається широка інтеграція радіотехніки практично в усі галузі науки і техніки, включаючи біологію та медицину.

Обов'язковими елементами загальної радіотехнічної системи (рис.1.1) є джерело інформації (повідомлення), перетворювач вихідної інформації в первинний сигнал, передавач, середовище поширення сигналу, приймач, перетворювач первинного сигналу в повідомлення і одержувач інформації.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сукупність технічних засобів і середовища поширення сигналів для передачі повідомлень від джерела до одержувача називають каналом зв'язку. Канал зв'язку, який розуміється у вузькому сенсі, являє тільки фізичне середовище поширення сигналів.

Крім того в будь-якій реальній радіо системі присутні джерела перешкод і збурень, які впливають на всі раніше перераховані елементи радіосистеми. Вплив джерела перешкод на канал зв'язку та інші елементи радіосистеми приводять до спотворення переданого сигналу, що природним чином може вплинути на правильність сприйняття інформації одержувачем. Тому одним з найважливіших завдань радіотехніки є не просто передача і прийом інформації, а забезпечення процесу безпомилкової передачі і сприйняття інформації в умовах впливу природних або штучних перешкод.

До перешкод відносять не тільки спотворення корисних сигналів, що виникають в каналі зв'язку, але і вплив різних дестабілізуючих факторів на роботу окремих елементів радіотехнічної системи. Виділення корисних складових із загальної суми прийнятих сигналів або максимальне придушення шумів і перешкод в інформаційному сигналі при збереженні його корисних складових є однією з основних задач первинної обробки сигналів або результатів спостережень.

Типи перешкод можуть бути класифіковані за різними джерелами їх виникнення, по енергетичного спектру, за характером впливу на сигнал, по ймовірнісним характеристикам та іншими ознаками. Джерела перешкод можуть бути внутрішніми і зовнішніми. [6]

Внутрішні шуми пояснюються фізичною природою джерел сигналів (Наприклад, теплові шуми електронних потоків в електричних ланцюгах або дробові ефекти в електронних приладах). Крім того вони виникають в вимірювальних пристроях і системах передачі та обробки сигналів через вплив різних дестабілізуючих факторів (зміна температури, вологості,

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

нестабільності джерел живлення, впливу механічних вібрацій на гальванічні з'єднання, і т.п.)

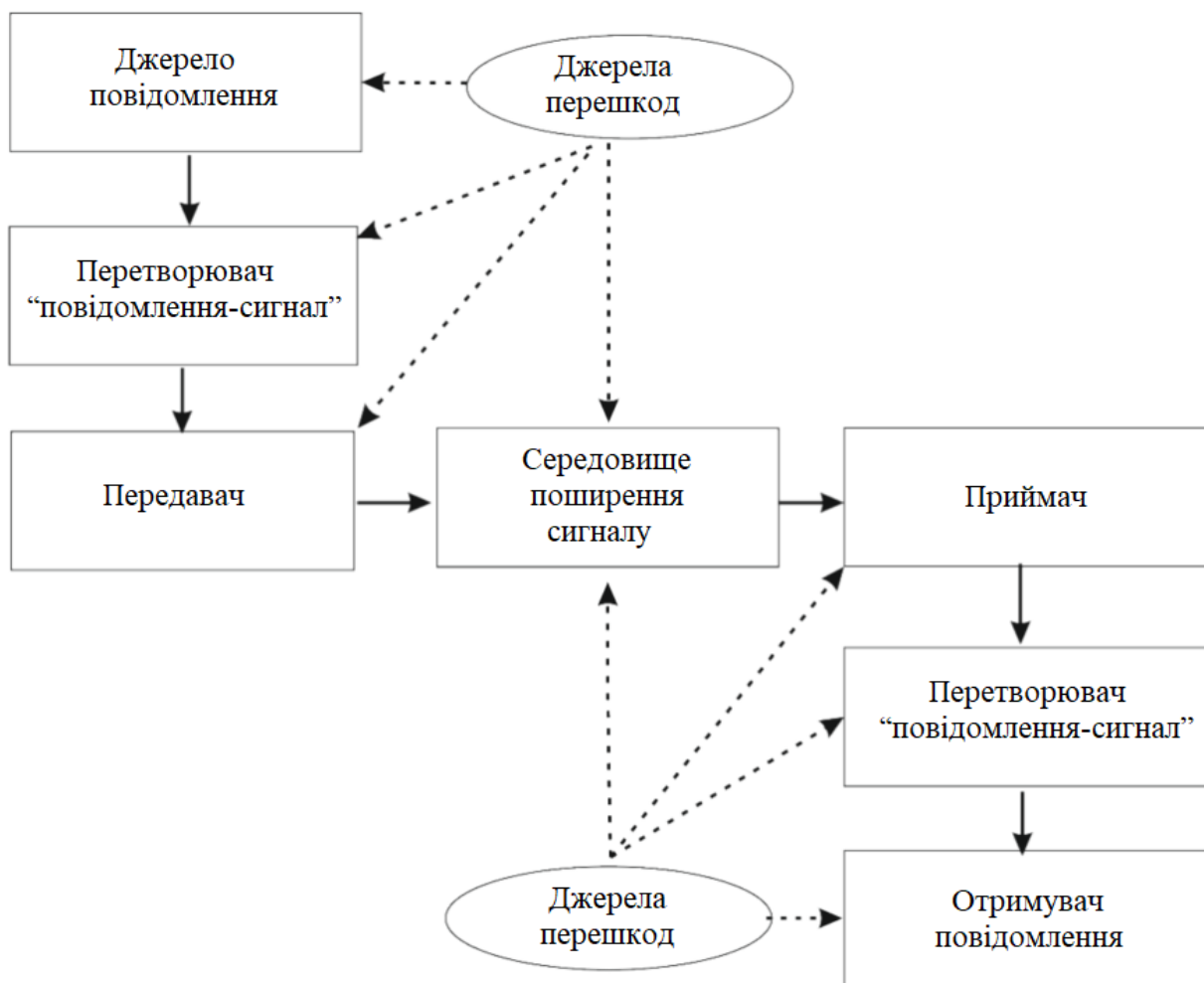


Рис.1.1. Узагальнена схема радіотехнічної системи

Зовнішні джерела шумів можуть бути штучного і природнього походження. Природними джерелами перешкод є блискавки, флуктуації магнітних полів, сплески сонячної енергії, і т.п. До штучних джерел перешкод відносяться індустриальні або навмисні дії на радіотехнічні системи з метою виведення їх з ладу (військове застосування).

Кожен з елементів радіотехнічної системи в тій чи іншій мірі призначений для перетворення переданих або прийнятих сигналів. Ці елементи об'єднуються в ланки, каскади і блоки, на основі яких будуються функціонально закінчені пристрої та комплексні системи.

1.2. Класифікація радіопристроїв

Ієрархія побудови радіотехнічної системи може бути представлена у вигляді піраміди (рис.1.2).

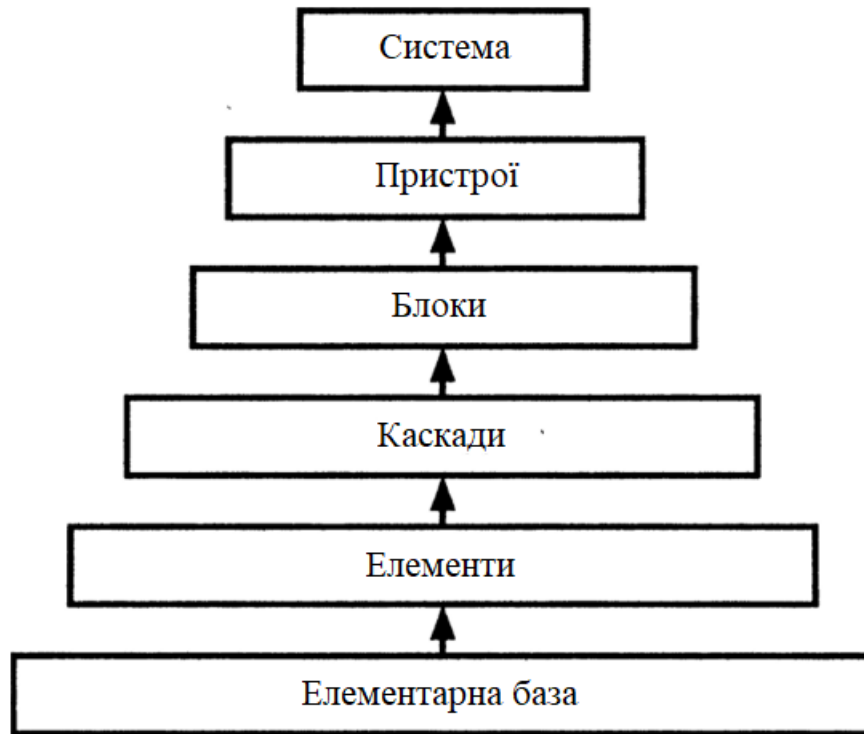


Рис.1.2. Порядок побудови радіотехнічної системи

Нижній рівень "піраміди" становить елементна база, що включає транзистори, діоди, конденсатори, мікросхеми і т. п. З них складаються елементи, що об'єднуються в функціонально закінчені кола – каскади, такі як автогенератор, перетворювач частоти, модулятор, підсилювач потужності коливальних, демодулятор, підсилювачі надвисокої, високої, проміжної і низької частоти і т. д. [5]

Наступний рівень – блоки, наприклад, як малошумливий НВЧ підсилювач, модем-модулятор і демодулятор сигналу, блок обробки сигналу, блок посилення потужності ВЧ або НВЧ коливальних, лінійний тракт радіоприймача т. д.

Ще більш високий поверх "піраміди" включає функціонально закінчені пристрої – радіоприймачі, радіопередавачі, радіостанції, радіолокатори і т. п., які працюють самостійно в складі різних радіотехнічних систем.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

У разі застосування в пристроях тільки інтегральних мікросхем три нижні рівня об'єднуються в один.

Фізичні процеси, пов'язані з перетворенням сигналів, протікають на всіх рівнях "піраміди".

Каскади і елементи, що застосовуються в радіотехнічних пристроях, незалежно від їх призначення, можна класифікувати за чотирма основними ознаками:

- впливу амплітуди сигналу на їх параметри і характеристики, що призводить до поділу всіх об'єктів на лінійні і нелінійні;
- відсутності або наявності в них електронних приладів, що ділить їх на пасивні і активні;
- взаємодії з зовнішніми сигналами – автономного або неавтономного типу;
- діапазону частот і використовуваних в зв'язку з елементами – з зосередженими або розподіленими постійними.

1.2.1. Лінійні і нелінійні пристрої.

Визначальною ознакою при розподілі пристроїв на лінійні і нелінійні є залежність їх параметрів і характеристик від амплітуди сигналу. В лінійних пристроях така залежність відсутня, в нелінійних навпаки. Практично завжди, в лінійних пристроях амплітуда сигналу відносно невелика, що дозволяє режим їх роботи називати режимом "малого" сигналу. Навпаки, в нелінійних пристроях, як правило, амплітуда сигналу порівняно велика і тут має місце так званий режим "великого" сигналу. Нелінійною ланкою в більшості випадків є електронний прилад.

У радіоприймачах до демодулятора сигналу каскади працюють зазвичай в режимі "малого" сигналу, що дозволяє відносити їх до числа лінійних пристроїв і об'єднати в загальний лінійний тракт. Потужні каскади в радіопередавачах, що працюють в режимі "великого" сигналу, відносяться до числа нелінійних.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

В математичному плані розподіл пристроїв на лінійні і нелінійні простежується досить чітко: робота перших описується одним або системою лінійних диференціальних рівнянь, других – нелінійними диференціальними рівняннями.

1.2.2. Пристрої пасивного і активного типу.

До складу пасивних пристроїв входять такі елементи, як конденсатори, індуктивності, резистори, резонатори і т. д. До складу активних лінійних пристроїв крім перерахованих обов'язково входять і електронні прилади. Таким чином, відмітною ознакою активного пристрою є перетворення в ньому енергії з одного виду в інший, наприклад, енергії джерела постійного струму в енергію високочастотних коливань: У пристроях пасивного типу такого перетворення енергії не відбувається, з чим і пов'язана їх назва.

За допомогою пасивних пристроїв здійснюється фільтрація сигналів, підсумовування і розподіл їх потужності, узгодження і зв'язок між собою різних каскадів та елементів.

За допомогою активних пристроїв з електронними приладами здійснюється генерація коливань, їх посилення по потужності в різних діапазонах частот – від низьких до надвисоких, перетворення частоти, модуляція і демодуляція, обробка сигналу та інші функції.

1.2.3. Пристрої автономного або неавтономного типу.

Дві ознаки відрізняють пристрої неавтономного типу: залежність вихідного сигналу від вхідного та зміна параметрів вхідного сигналу при його проходженні через пристрій. Так, в підсилювачах збільшується потужність сигналу, в перетворювачах – змінюється частота.

Ознакою пристроїв автономного типу є відсутність зовнішнього впливу, в них вихідний сигнал визначається виключно властивостями самого пристрою. Так, в автогенераторі – типовому пристрої автономного типу – частота автоколивань залежить від параметрів коливальної системи, а потужність сигналу – від електронного приладу і режиму його роботи.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.4. Пристрої з елементами зосередженого і розподіленого типу.

До елементів зосередженого типу відносяться конденсатори, резистори та індуктивності. Елементи з розподіленими постійними являють собою збірки з відрізків фідерних ліній – коаксіальних, полоскових, мікрополоскових. До них також відносяться об'ємні резонатори.

Через фізичні відмінності елементів із зосередженими та розподіленими постійними радикально змінюється апарат дослідження пристроїв, зібраних на їх основі. При використанні елементів зосередженого типу складаються рівняння, в які входять повні значення струму і напруги в різних ділянках схеми. При застосуванні елементів розподіленого типу рівняння, що описують роботу пристрою, складаються щодо струмів і напруг падаючих і відбитих хвиль, що поширюються в лініях передачі.[4]

1.3. Перспективи розвитку теорії та техніки прийому та обробки сигналів

Науково-технічний прогрес в області ППіОС проявляється в створенні нових технічних засобів, що володіють кращими показниками і більш широкими функціональними можливостями. Основа розвитку ППіОС – це досягнення фундаментальних і прикладних наук, розвиток теоретичної бази техніки радіоприйому. Важливими напрямками вдосконалення ППіОС є:

- інтелектуалізація ППіОС за рахунок використання засобів обчислювальної техніки;
- підвищення завадостійкості;
- освоєння широкого діапазону радіохвиль: від міліметрового до наддовгих;
- побудова приймачів, адаптивних до стану радіоканалу;
- використання функціонально складних інтегральних мікросхем;
- комплексна автоматизація приймальних пристроїв;
- автоматизоване проектування ППіОС.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На практиці знаходять застосування нові види сигналів. Визначення виду модуляції сигналів є актуальною проблемою при вирішенні багатьох прикладних задач.

Пріоритетним напрямком розвитку радіоелектроніки є впровадження цифрових методів синтезу і обробки сигналів. У зв'язку з безперервним ускладненням радіоелектронної апаратури, різноманітністю типів сигналів, зростаючими вимогами до точності їх обробки і завадостійкості, простежується тенденція уніфікації тракту обробки, яка вирішується шляхом застосування радіоприймальних пристроїв з цифровою обробкою. Цифрова обробка найбільш ефективна для сигналів, що надходять по «цифровим» каналам зв'язку. Застосування сигналів відомої форми, в яких цифрова інформація закладена в зміні їх параметрів, дозволяє реалізовувати цифровими методами оптимальну обробку.

В даний час проблема підвищення ефективності використання радіочастотного спектру (РПС) в радіозв'язку виходить у всьому світі на передній план, диктуючи необхідність розвитку цифрових методів мовлення і зв'язку [9].

Важливе значення в подальшому вдосконаленні радіоелектронної апаратури гратимуть нанотехнології. Розвиток нанотехнологій дасть можливість створити нові наноелектронні компоненти. Вже зараз з'явилися нанотранзистори на основі нанотрубок.

За наявними оцінками мінімізація мікропроцесів досягнула технічного і економічного порогу, а нанотехнології дозволяють йти цим шляхом далі. Майбутні транзистори будуть органічними молекулами або неорганічними наноструктурами, за рахунок чого будуть досягатися високі швидкості, зменшиться потреба в енергоспоживанні і скоротиться число побічних ефектів, пов'язаних з нагріванням матеріалів. [6]

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ЦИФРОВІ ДЕТЕКТОРИ. ЇХ ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ

2.1. Загальні поняття

Детектором називають пристрій, призначений для формування напруги, що змінюється відповідно до закону модуляції одного з параметрів вхідного сигналу.

При проектуванні приймача однією з найважливіших завдань є розподіл посилення і вибіркості між основними трактами: сигнальної, проміжної частот та частотних трактів прийому сигналу різних видів. Це розподілення буде більш обґрунтованим, якщо попередньо будуть хоча б орієнтовно відомі дані елементів, що розмежують тракти – перетворювачі частоти (при декількох перетвореннях) і детекторів (при прийомі декількох видів сигналів).

До перетворювачів частоти професійних приймачів короткохвильового і суміжних з ним діапазонів досить високі вимоги, які визначаються призначенням і класом приймача. Основними вимогами є:

- 1) висока лінійність перетворення частоти;
- 2) мінімум побічних компонентів перетворення;
- 3) висока вибіркості навантаження перетворювача;
- 4) малий коефіцієнт шуму перетворювача і, по можливості, високий коефіцієнт передачі потужності;
- 5) слабке просочування коливань гетеродина і його шумів як на вхід приймача, так і на вихід схеми перетворювача;
- 6) по можливості високий вхідний і вихідний опір, узгоджені з попередніми і наступними елементами схеми;
- 7) стійкість параметрів, електрична та механічна міцність, економічність.

До детекторів радіосигналів професійних приймачів також високі вимоги, основними з яких є:

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1) високий ступінь відповідності закону зміни одержуваного на виході первинного сигналу закону зміни модулюючого параметра радіосигналу (амплітуда, частота, фаза) на вході;
- 2) малі погіршення відношення сигнал-перешкода і сигнал-шум на виході в порівнянні з відповідними відношення на вході;
- 3) допустима фільтрація коливань проміжної частоти на вході схеми;
- 4) високий коефіцієнт передачі;
- 5) високий вхідний опір;
- 6) стійкість параметрів, електрична та механічна міцність, економічність.

Якість роботи детектора залежить не тільки від його власних даних, але і від характеру підготовки радіосигналу до детектора. Процес підготовки радіосигналу включає в себе фільтрацію від перешкод, перетворення до оптимальної з точки зору детектування проміжної частоти та, нарешті, реалізацію досить великого посилення до детектора, при якому забезпечується нормальний для даного детектора рівень радіосигналу на вході.

У професійних приймачах радіотракт зазвичай є загальним для сигналів з різними видами модуляції і сигналів, внаслідок чого він може працювати на кілька видів детекторів: амплітудний, однополосий, частотний, фазовий. На вхід кожного з цих детекторів повинен бути поданий сигнал з нормальним для нього рівнем. У табл. 2.1 .приведені значення нормального напруження радіосигналу на вході основних типів детекторів. Різниця в необхідній амплітуді радіосигналу на вході різних детекторів вимагає різного підсилювача до їх входів. Загальний радіотракт забезпечує деяке мінімальне посилення, а додаткове посилення сигналів, необхідна для деяких детекторів, забезпечується одним - двома каскадами.

Для подальшого проектування структурної схеми важливо знати також коефіцієнт, передачі (для амплітудного і однополосного детекторів), крутизну детекторної характеристики (для частотного і фазового детекторів) або орієнтовне значення напруги на виході.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Тип детектора	Нормальна напруга на вході, В
<i>Амплітудний</i>	
Діодний напівпровідник	0,5-1,0
Діодний ламповий	1,0-2,0
Транзисторний	0,1-0,2
<i>Частотний</i>	
Диференціальний	2,0-4,0
Дробний	0,05-0,1
<i>Фазовий</i>	
Балансний	0,05-0,1
Кільцевий	0,05-0,1

Відповідно для схем амплітудного, частотного і фазового детекторів напруга на виході через параметри детектора виражається наступним чином:

$$U_{m \text{ вих}} = \begin{cases} m_{\text{ам}} U_{m \text{ вх}} K_d, \\ m_{\text{чм}} \Delta f_m S_{\text{чд}}, \\ m_{\text{фм}} \Delta \varphi_m S_{\text{фд}}, \end{cases} \quad (2.1)$$

де $m_{\text{ам}}, m_{\text{чм}}, m_{\text{фм}}$ – коефіцієнти модуляції; $U_{m \text{ вх}}, \Delta f_m, \Delta \varphi_m$ – амплітуда, відхилення частоти і фази сигналу на вході; $K_d, S_{\text{чд}}, S_{\text{фд}}$ – коефіцієнт передачі амплітудного детектора, крутизна детекторної характеристики відповідно частотного і фазового детекторів.[3]

2.2. Детектування модульованих сигналів

Детектування – процес виділення модулюючого сигналу з модульованого коливання або сигналу. [5]

Детектування може здійснюватися при когерентному і некогерентному прийомі сигналів.

При когерентном прийомі, при детектуванні, використовуються дані про початкову фазі сигналу.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При некогерентному прийомі, при детектуванні, не використовуються дані про початковій фазі сигналу.

Детектування здійснюється в пристроях – детекторах. Умовне графічне позначення детектора має вигляд:

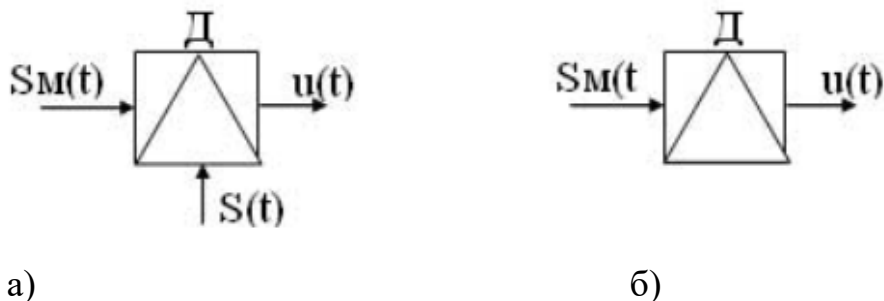


Рис.2.1. Умовне графічне позначення детектора: а) при когерентному прийомі; б) при некогерентному прийомі

2.2.1. Характеристики детекторів

Характеристиками детектора є: детекторна, частотна характеристики і коефіцієнт передачі.

Детекторна характеристика являє собою залежність постійної складової напруги на виході детектора від зміни інформаційного параметра несучого сигналу, що підводиться до нього. При АМ інформаційним параметром є амплітуда, при ЧМ частота, при ФМ фаза.

Ідеальна характеристика є лінійною проходячи через початок координат під кутом α до осі абсцис (рис. 2.2). Реальна характеристика має відхилення, які призводять до нелінійних спотворень сигналу.

Частотна характеристика являє собою залежність амплітуди вихідної напруги U_{m_u} детектора від частоти модулюючого гармонійного сигналу. Реальна характеристика має лінійний характер і постійна для U_{m_u} на всіх частотах (рис. 2.3). Відхилення реальної характеристики від ідеальної приводить до частотних спотворень сигналу. Також як і для модуляторів, по частотній характеристиці визначають полосу пропускання детектора. [1]

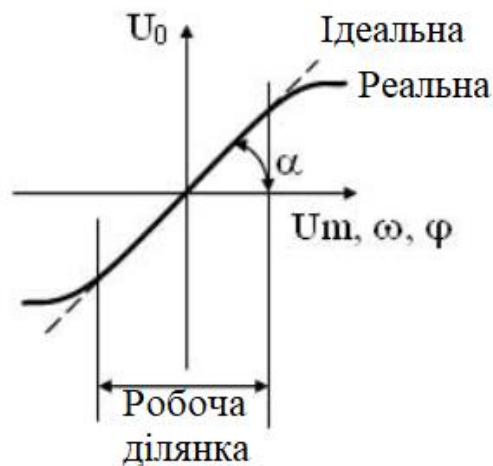


Рис.2.2. Детекторна характеристика детектора

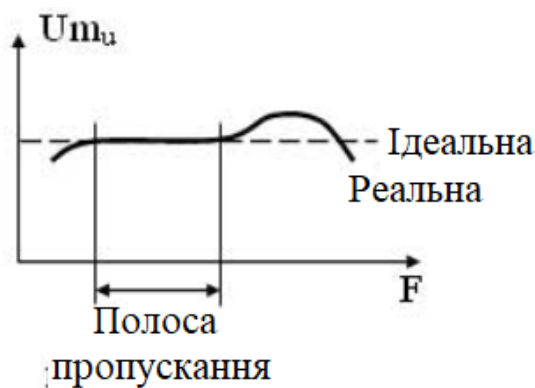


Рис. 2.3. Частотна характеристика детектора

Коефіцієнт передачі детектора визначається для гармонійного модулюючого сигналу і дорівнює відношенню амплітуди гармонійного сигналу U_{m_u} до амплітуди збільшення інформаційного параметра несучого сигналу

$$K_{\partial} = U_{m_u} / \Omega U_m \quad (2.2)$$

2.2.2. Амплітудне детектування

2.2.2.1. Лінійний діодний детектор

Амплітудне детектування це операція зворотня амплітудної модуляції. Вхідним сигналом амплітудного детектора є сигнал

$$u_{AM}(t) = U_{m_{вх}}(1 + M \cos(\Omega t)) \cos \omega_0 t, \quad (2.3)$$

а на виході потрібно отримати сигнал виду

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$u_{\text{вих}}(t) = U_{m \text{ вих}} \cos(\Omega t), \quad (2.4)$$

Значення початкових фаз в розглянутій задачі не є принциповим і тому для простоти запису прийняті рівними нулю.

Ефективність роботи амплітудних детекторів прийнято характеризувати коефіцієнтом детектування, який дорівнює відношенню амплітуди вихідного низькочастотного сигналу до амплітуди обвідного вхідного АМ-сигналу:

$$K_D = \frac{U_{m \text{ вих}}}{MU_{\text{max}}}. \quad (2.5)$$

Залежно від виду характеристики використовуваного для детектування нелінійного елемента і амплітуди АМ-сигналу розрізняють два основні режими детектування:

- лінійний режим (великі амплітуди і частинної апроксимація характеристики нелінійного елемента);
- квадратичний режим (малі значення амплітуд і апроксимація робочої ділянки характеристики поліномом 2-го порядку). [2]

Схема найпростішого діодного детектора приведена на рис.2.4.

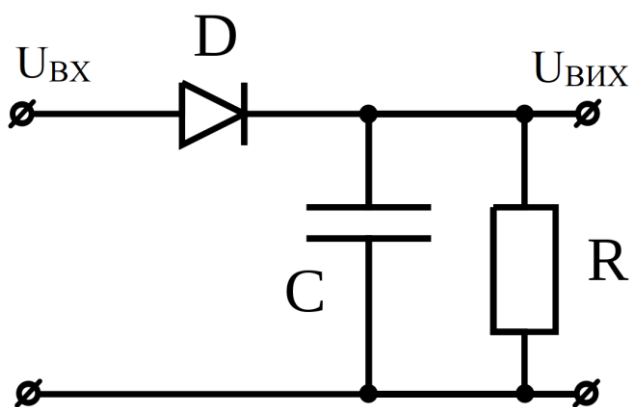


Рис.2.4. Схема діодного детектора

Для використаного в наведеній схемі діода можна скористатись спрощеною частинною апроксимацією ВАХ:

$$i(u) \begin{cases} Su, & u \geq 0 \\ 0, & u \leq 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

де S – крутизна характеристики.

Опір навантаження вибирається таким чином, щоб він значно перевищував внутрішній опір відкритого діода, тобто $R \gg r = 1/S$.

З іншого боку схеми видно, що представлений детектор за своєю суттю є однопівперіодним випрямлячем з ємнісним фільтром. Тому потрібно подавляти пульсації на частоті. Відповідно,

$$RC \gg \frac{1}{\omega_0}. \quad (2.7)$$

При цьому завдання детектора полягає в відстежуванні змін амплітуди корисного сигналу, який в нашому випадку представлений моногармонічним коливанням з частотою Ω . Отже, необхідно забезпечити виконання умови

$$RC \ll \frac{1}{\Omega}. \quad (2.8)$$

Таким чином, діапазон допустимих значень для параметрів детектора визначається подвійною нерівністю

$$\frac{1}{\omega_0} \ll RC \ll \frac{1}{\Omega}. \quad (2.9)$$

Детальний аналіз роботи діодного детектора прводить до такої формули для коефіцієнта детектування

$$K_d = \cos \left(\sqrt[3]{\frac{3\pi}{SR}} \right), \quad (2.10)$$

тобто завжди залишається менше одиниці.

Важливим параметром діодного детектора є його вхідний опір. Зрозуміло, що вхідний опір схеми, що працює з відсіченням, не є постійним. Тому в даному випадку під вхідним опором розуміється деяка посередня величина, що визначається як відношення амплітуди вхідної напруги до амплітуди першої гармоніки струму.

На частоті несучого коливання вхідний опір діодного детектора є рівним

$$R_{вх} = \frac{R}{2}. \quad (2.11)$$

2.2.2.2. Колекторний детектор

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо схему колекторного детектора, який являє собою підсилювальний каскад з навантаженням у вигляді паралельного RC-кола, наведена на рис.2.5.

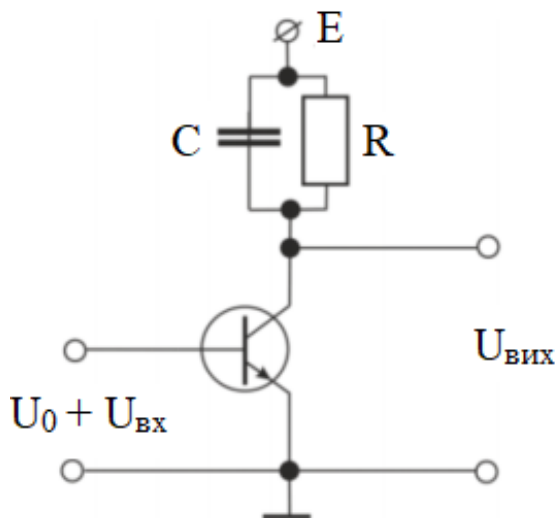


Рис. 2.5. Схема колекторного детектора

На вхід даного каскаду надходить АМ-сигнал спільно з напругою зміщення u_0 .

Для спрощення процесу аналізу приймемо частинну апроксимацію ВАХ транзистора і будемо вважати $u_0 = u_n$, що відповідає куту відсічення $\Theta = 90$ і не залежить від вхідної напруги. Схема перетворення сигналів для такого випадку приведена на рис. 2.6.

Колекторний струм може бути представлений як сума, що виникає в процесі детектування гармонік

$$i(t) = \sum_{k=0}^{\infty} S U_{\text{вх}}(t) \gamma_k(90) \cos(k\omega_0 t). \quad (2.12)$$

Якщо величину ємності вибрати таким чином, щоб виконувалася умова (2.9), яку приводили при розгляді діодного детектора, то на всіх вищих гармоніках резистор буде фактично шунтований ємністю і реальне падіння напруги на ньому буде викликати тільки складова струму I_0 . Тоді

$$\begin{aligned} U_{\text{вих}}(t) &= E - I_0 R = E - S R U_{\text{вх}}(t) \gamma_k(90) = \\ &= E - 0,318 S R U_{\text{max}} (1 + M \cos(\Omega t)). \end{aligned} \quad (2.13)$$

Звідси коефіцієнт детектування може бути визначений за формулою

$$K_D = 0,318SR. \quad (2.14)$$

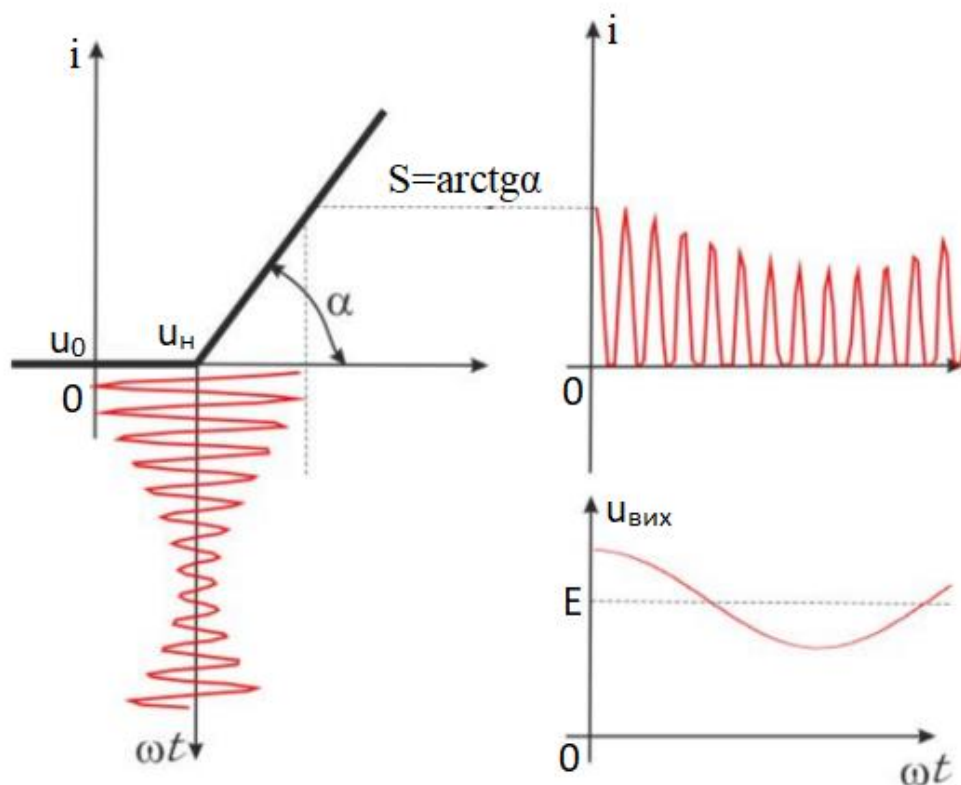


Рис. 2.6. Амплітудне детектування зі застосуванням колекторного детектора

Отримана формула наочно показує переваги колекторного детектора, в якому коефіцієнт детектування може бути доведений в реальних умовах до тисячі, в той час як діодний детектор має коефіцієнт детектування менше одиниці. [3]

2.2.2.3. Квадратичний детектор

При малих значеннях амплітуди детектування сигналу реальні характеристики нелінійних елементів добре апроксимуються поліномами другого ступеня

$$i(t) = a_1 u + a_2 u^2. \quad (2.15)$$

Підставляючи в це рівняння вирази для вхідного АМ-сигналу

$$u_{AM}(t) = U_{max}(1 + M \cos(\Omega t)) \cos \omega_0 t, \quad (2.16)$$

отримаємо

$$i(t) = a_1 U_{\text{вх}}(t) \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} a_2 U_{\text{вх}}^2(t) + \frac{1}{2} a_2 U_{\text{вх}}^2(t) \cos 2\omega t. \quad (2.17)$$

Високочастотні складові струму в (2.16) з частотами ω_0 і $2\omega_0$ фільтруються відповідним фільтром, в результаті чого залишається тільки низькочастотні складові $\frac{1}{2} a_2 U_{\text{вх}}^2(t)$, яка может мати вигляд

$$i_{\text{нч}}(t) = a_2 U_{m \text{ вх}}^2 M \cos(\Omega t) + \frac{1}{2} a_2 U_{m \text{ вх}}^2(t) \cos(2\omega_0 t). \quad (2.18)$$

На навантаженні детектора R цей струм викликає напругу

$$u_{\text{вих}}(t) = R a_2 U_{m \text{ вх}}^2 M \cos(\Omega t) + \frac{R}{4} a_2 U_{m \text{ вх}}^2 M^2 \cos(2\Omega t). \quad (2.19)$$

Перший доданок цієї напруги в (2.19) являє корисний результат детектування. Оскільки амплітуда корисної вхідної напруги пропорційна квадрату амплітуді інформаційного сигналу, то такий вид детектування є квадратичним. Коефіцієнт детектування при цьому визначається за вирвзом

$$K_{\text{д}} = R a_2 U_{m \text{ вх}}^2. \quad (2.20)$$

Другий доданок корисної інформації не несе, а лиш спотворює отриманий результат. Ефект його впливу оцінюють так званим коефіцієнтом нелінійних спотворень, рівним відношенню амплітуд вихідних коливання на частотах Ω і 2Ω . В даному випадку

$$K_{\text{нс}} = \frac{M}{4}. \quad (2.21)$$

Як бачимо з розглянутого, нелінійні спотворення в квадратичном детекторі являються досить вагомими, особливо при глибокій модуляції. З цієї причини в радіоприймачах АМ-сигнал обов'язково попередньо посилюється, щоб на вході детектора він складав 1В, що переводить детектор в режим лінійного детектування з малою кількістю нелінійних спотворень. [8]

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2.4. Синхронне детектування

Синхронне детектування є окремим випадком перетворення частоти, при якому частота коливань гетеродина збігається з частотою коливань, що несуть АМ-сигнали.

Раніше для операції перетворення частоти ми отримували рівняння

$$i_{\phi}(t) = a_2 U_m U_r (1 + M \cos(\Omega t)) \cos[(\omega_0 + \omega_r)t + (\theta_0 + \theta_r)] + a_2 U_m U_r (1 + M \cos(\Omega t)) \cos[(\omega_0 - \omega_r)t + (\theta_0 - \theta_r)], \quad (2.22)$$

що при підстановці $\omega_r = \omega_0$ призводить до рівняння для повільно змінюючої складової струму

$$i_{\phi}(t) = a_2 U_m U_r (1 + M \cos(\Omega t)) \cos[(\theta_0 - \theta_r)] + \cos[2\omega_0 t + (\theta_0 + \theta_r)], \quad (2.23)$$

яка після НЧ-фільтрації дає складову

$$i_{\text{нч}}(t) = i_{\phi}(t) = a_2 U_r u(t) \cos(\theta_0 - \theta_r), \quad (2.24)$$

збігаючою за формою з обвідною АМ-сигналу.

Даний метод детектування називається синхронним і його основна перевага складається в можливості підвищення якості прийому слабких сигналів. На жаль, практична реалізація даного методу пов'язана з необхідністю забезпечення синхронності частоти гетеродина з частотою сигналу, що є досить складним технічним завданням особливо в умовах присутності значних шумів. [7]

2.2.3. Частотне і фазове детектування сигналів

При використанні кутової модуляції інформаційний радіосигнал можна представити у вигляді модульованого коливання

$$x(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \theta(t)) = A(t) \cos \psi(t), \quad (2.25)$$

де $A(t)$ і $\theta(t)$ є інформаційними параметрами сигналу, що передається.

Якщо $A(t) = \text{const}$ і $\theta(t) \neq \text{const}$, то виходить модель радіосигналу з кутовою модуляцією.

Тому завданням частотного детектора є виділення корисної інформації з високочастотного сигналу у вигляді

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$u_{\text{чд}}(t) = S_{\text{чд}} \frac{d}{dt} \theta(t), \quad (2.26)$$

де $S_{\text{чд}}$ – крутизна характеристики частотного детектора.

Відповідно для фазового детектора можна записати

$$u_{\text{фд}}(t) = S_{\text{фд}} \theta(t), \quad (2.27)$$

де $S_{\text{фд}}$ – крутизна характеристики фазового детектора.

При цьому передбачається, що $u_{\text{чд}}(t)$ і $u_{\text{фд}}(t)$ є "повільними" функціями часу.

Особливість частотного детектування на відміну від амплітудного полягає в тому, що використання для детектування тільки одного нелінійного елемента буде недостатньо, так як при сталості амплітуди вхідної напруги елемент не реагує на зміни частоти вхідної напруги. Тому для частотного детектування потрібні два пристрої:

- вибіркоче лінійне коло, що служить для перетворення частотної модуляції в амплітудну;
- амплітудний детектор.

В якості лінійного кола може бути використане будь-яке коло з нерівномірною частотною характеристикою, хоча в високочастотних колах найбільш часто використовуються коливальні контури і кола на їх основі. [10]

Якщо коливальний контур налаштовується таким чином, що його резонансна частота відрізняється від середньої частоти модульованого сигналу, як показано на рис. 2.7 напруга на контурі в певних межах повторює зміну частоти вхідної напруги.

За аналогією з розглянутим вище амплітудним синхронним детектуванням розглянемо нелінійне перетворення суми ФМ-сигналу

$$u(t) = U \cos(\omega_0 t + \theta(t)) \quad (2.28)$$

та гармонійного сигналу гетеродина

$$u_r(t) = U_r \cos(\omega_r t + \theta_r), \quad (2.29)$$

за допомогою нелінійного елемента з ВАХ, описуваної рівнянням $i = a_2 u^2$.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

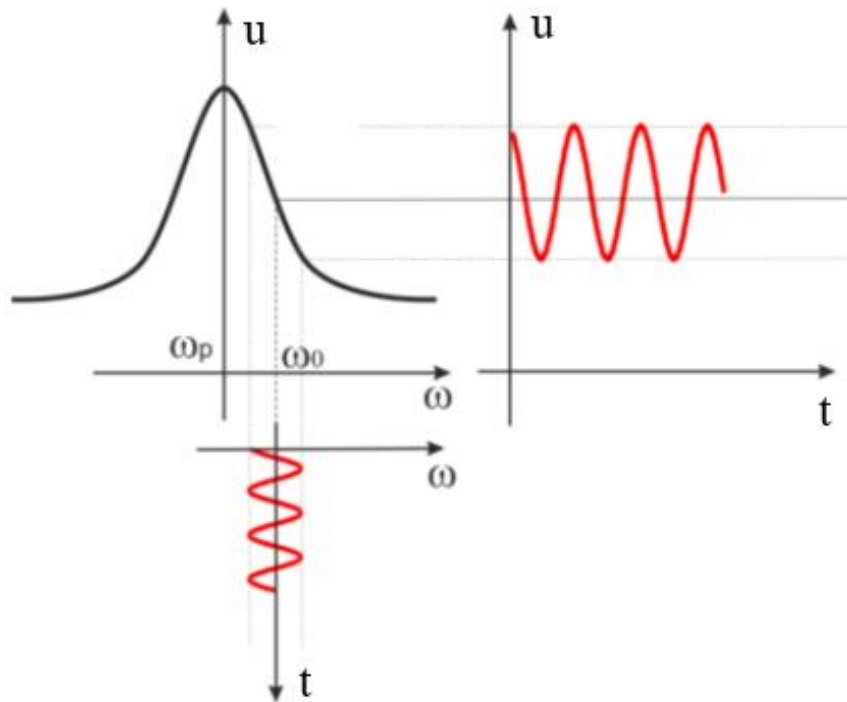


Рис. 2.7. Принцип частотного детектування

Схема найпростішого частотного детектора, що складається з двох описаних частин, показано на рис. 2.8.

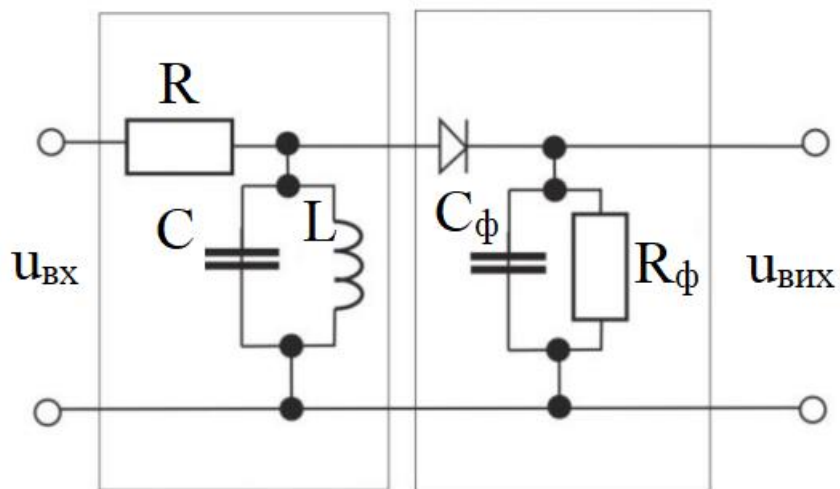


Рис. 2.8. Схема простого частотного детектора

Для струму на сумарних та різничних частотах в даному випадку можна записати

$$i_{\phi}(t) = a_2 U U_r \cos((\omega_0 + \omega_r) t + \theta(t) + \theta_r) + a_2 U U_r \cos((\omega_0 - \omega_r) t + \theta(t) - \theta_r). \quad (2.30)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

При виборі частоти коливань гетеродина рівній середній частоті коливань вихідного ФМ-сигналу $\omega_r = \omega_0$ отримуємо

$$i_\phi(t) = a_2 U U_r \cos(2\omega_0 t + \theta(t) + \theta_r) + a_2 U U_r \cos(\theta(t) - \theta_r), \quad (2.31)$$

що після низькочастотної фільтрації дає

$$i_{нч}(t) = a_2 U U_r (\cos(\theta(t)) \cos\theta_r + \sin(\theta(t)) \sin\theta_r). \quad (2.32)$$

Якщо прийняти $\theta_r = \pi/2$ і діапазон зміни $\theta(t)$ вважати таким, що справедливо уявлення $\sin \alpha \approx \alpha$, то

$$i_{нч}(t) = a_2 U U_r \theta(t). \quad (2.33)$$

В результаті нам вдалося отримати досить просте рівняння для перетворення сигналу, однак, слід пам'ятати, що всі перетворення (2.31) - (2.33) зберігають свою справедливість тільки при малих значеннях індексу модуляції.

Складність реалізації синхронного фазового детектування аналогічно синхронного амплітудному детектуванню складається в необхідності суворої синхронізації частоти гетеродина детектора і прийнятого сигналу.[5]

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ДЕТЕКТОРІВ

Вступ

Комп'ютерне моделювання, проведення обчислювального експерименту є одним із сучасних методів дослідження фізичних явищ. Він має свої особливості, переваги і недоліки в порівнянні з іншими методами вивчення фізичних систем. Сучасний персональний комп'ютер дозволяє за кілька секунд вирішити складну систему рівнянь, побудувати графік досліджуваної залежності та змодельовати експеримент.

Для виконання практичних робіт використовується пакет моделювання електронних схем NI Multisim і пакет програм Mathcad.

Програмний пакет Multisim є інтерактивним емулятором електронних схем, до складу якого входить редактор схем, бібліотека елементів і вимірювальних приладів. Даний пакет дозволяє змодельовати роботу електричного кола і виконати її аналіз на ПК.

Mathcad відноситься до так званих систем комп'ютерної алгебри, тобто засобів автоматизації математичних розрахунків. В цьому класі програмного забезпечення існує багато аналогів різноманітної спрямованості і принципу побудови. Найбільш часто Mathcad порівнюють з такими програмними комплексами, як Maple, Mathematica, MATLAB. Втім, об'єктивне порівняння ускладнюється у зв'язку із різним призначенням програм і ідеологією їх використання. [4]

Mathcad містить сотні операторів і вбудованих функцій для вирішення різних технічних завдань. Програма дозволяє виконувати чисельні і символні обчислення, проводити операції з скалярними величинами, векторами і матрицями, автоматично переводити одні одиниці вимірювання в інші.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

3.1. Дослідження цифрових детекторів з їх проектування параметрів і характеристик

3.1.1. Дослідження детектора амплітудно-модульованих коливань

Для початку за допомогою пакета моделювання електронних схем NI Multisim складемо модель схеми послідовного (рис. 3.1) АМ-детектора.

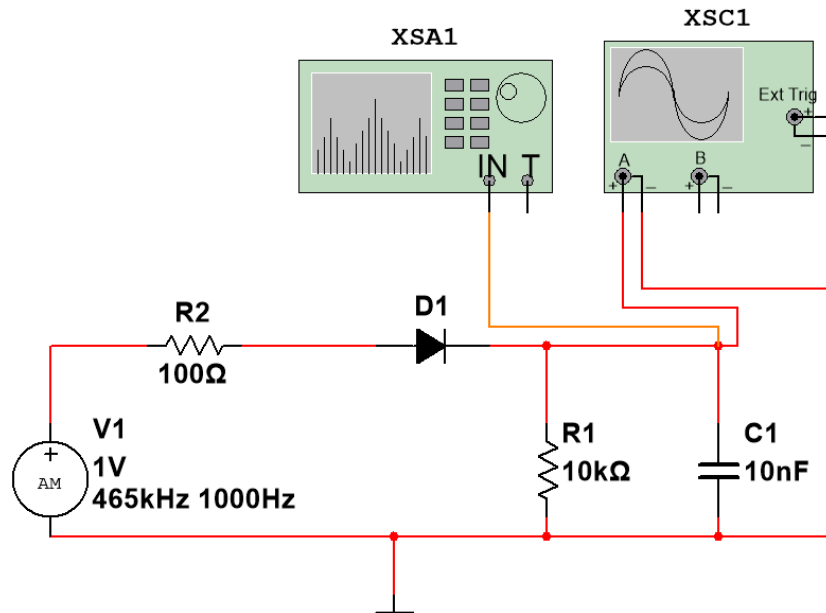


Рис. 3.1. Модель схеми послідовного АМ-детектора

На рис. 3.1 показана модель схеми послідовного АМ-детектора. Джерелом сигналу є генератор АМ-коливань, навантаженням генератора є резистор R_2 . Навантаженням діода D_1 є резистор R_1 та конденсатор C_1 .

Детекторна характеристика діодного детектора.

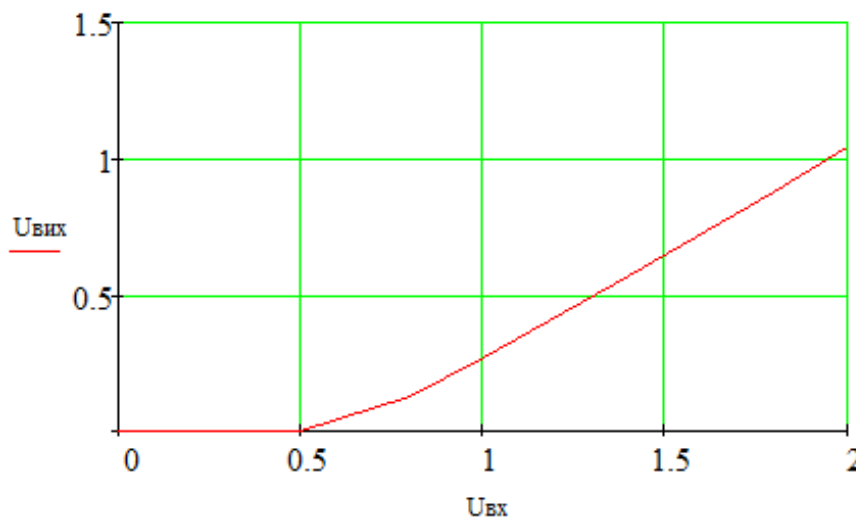


Рис.3.2. Графік детекторної характеристики

Таблиця 3.1

$U_{вх}, В$	$U_{вих}, В$
0	0
0,1	220 п
0,2	9,86 н
0,5	660 мк
0,8	0,126
1,0	0,268
1,4	0,567
1,8	0,879
2	1,04

Змінюючи амплітуду несучого коливання $U_{вх}$ відповідно до табл. 3.1, вимірюємо значення $U_{вих}$ та будуємо графік детекторної характеристики.

Амплітудно-частотна характеристика детектора.

Змінюючи частоту модулюючого коливання F відповідно до табл. 3.2, вимірюємо значення $U_{мF}$. Для зняття характеристики потрібно встановити коефіцієнт модуляції $m_{AM} = 0,3$ та амплітуду несучого сигналу $U_{вх} = 1 В$.

Таблиця 3.2

$F, Гц$	$U_{мF}$
50	240 пВ
100	1,5 мкВ
250	311 мкВ
500	4,7 мВ
1000	248 мВ
2000	135 нВ
3000	162 нВ
5000	62 нВ

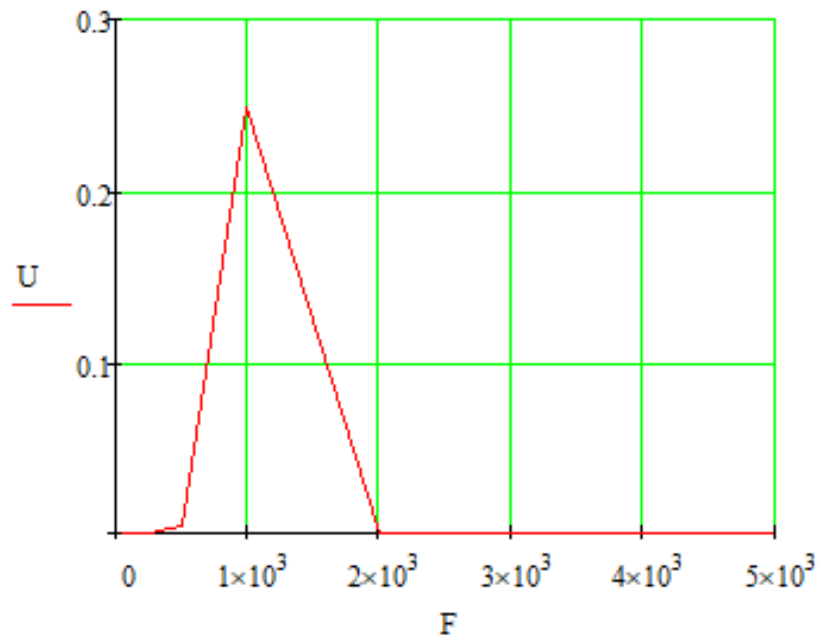


Рис. 3.3. Графік амплітудно-частотної характеристики

Визначення коефіцієнта передачі детектора.

Виміри проводяться при значенні коефіцієнта глибини модуляції $m_{AM} = 0,3$ і частоти $F = 1$ кГц.

$$k_{\Omega} = U_{\Omega} / m_{AM} U_{ВХ}$$

Таблиця 3.3

$U_{ВХ}, В$	k_{Ω}
0.25	0.2
0.5	0.41
1	0.82
1.25	1
1.5	1.24
1.75	1.44
2	1.65

Форма спектру вихідного сигналу.

До виходу детектора підключимо спектроаналізатор та проведемо вимірювання частотних складових спектра в лінійній шкалі (рис. 3.4).

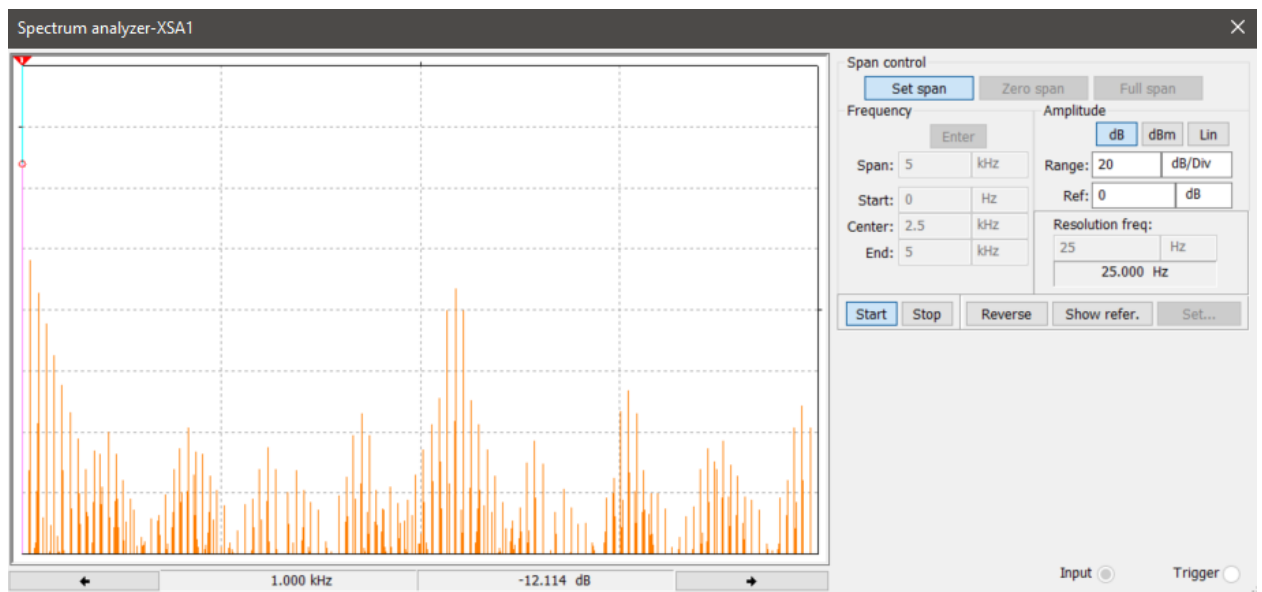


Рис. 3.4. Спектр вихідно АМ-сигналу

3.1.2. Дослідження детектора частотно-модульованих коливань

Для початку за допомогою пакета моделювання електронних схем NI Multisim складемо модель (рис. 3.5) ЧМ-детектора.

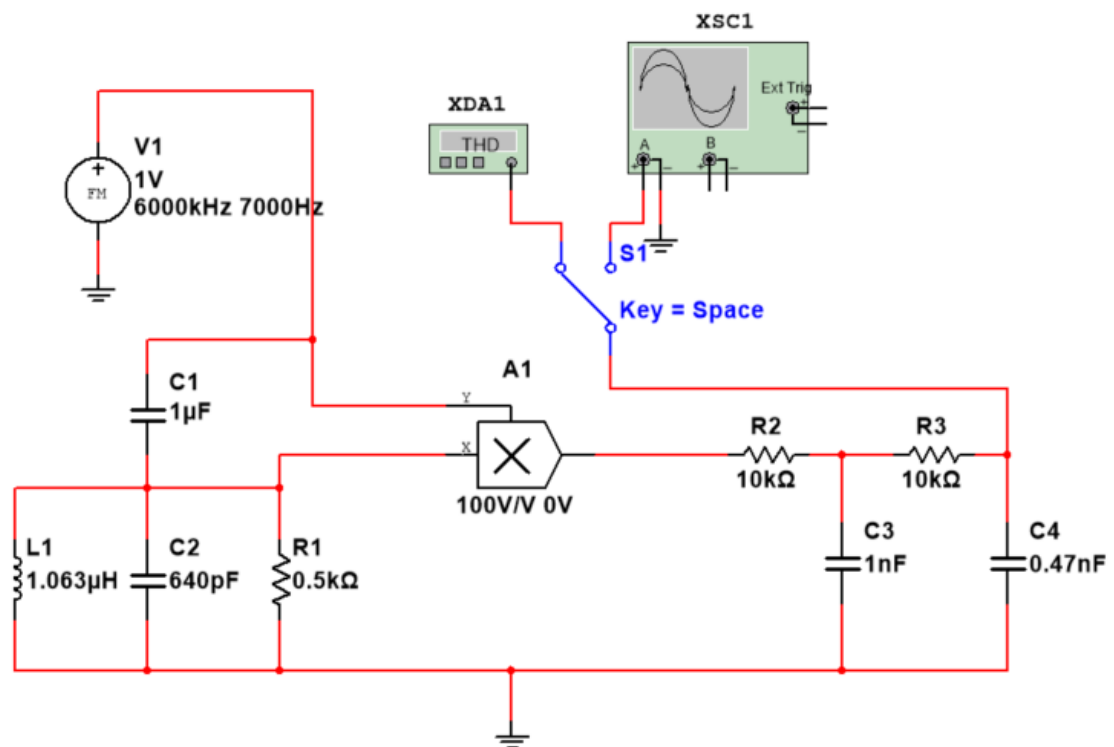


Рис. 3.5. Схема частотного детектора

Дослідження осцилограми на виході детектора (рис. 3.6).

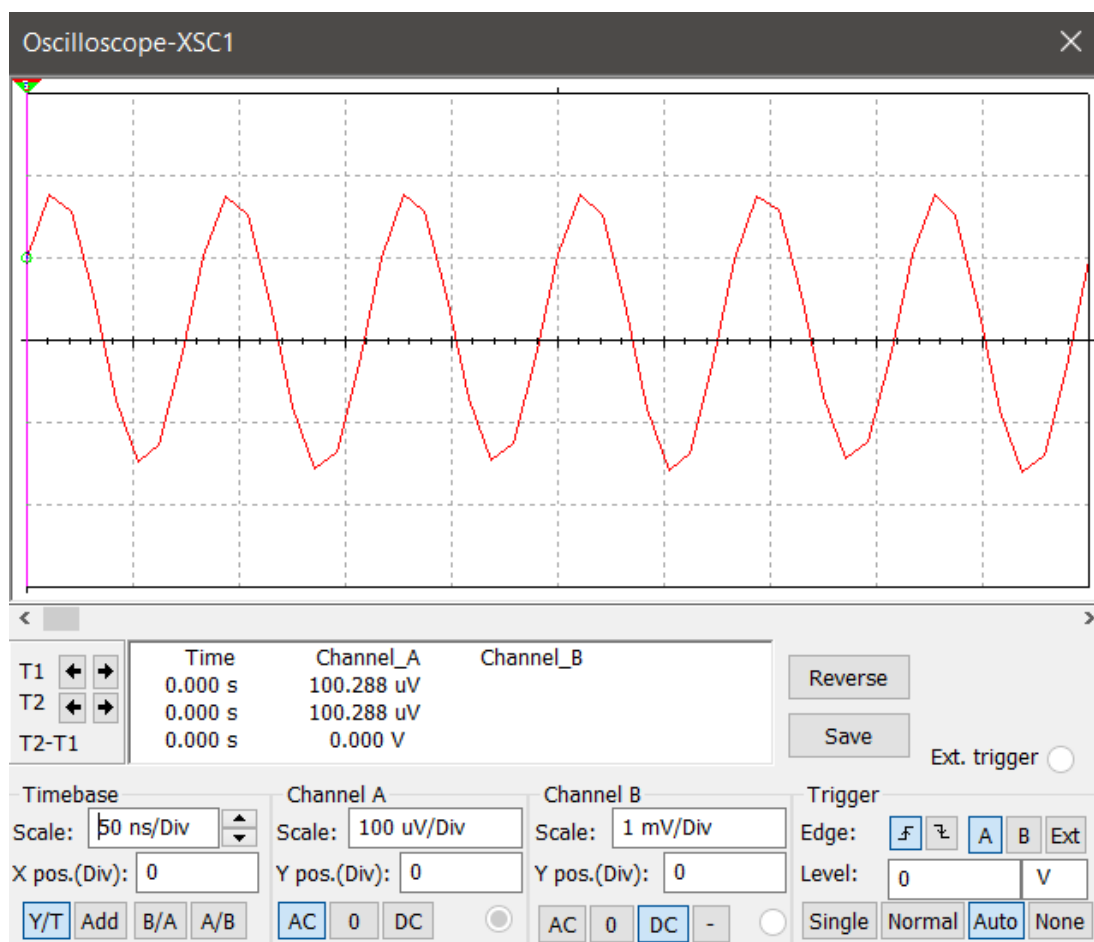


Рис. 3.6. Осцилограма детектора ЧМ-сигнала

Детекторна характеристика частотного детектора.

Для зняття детекторної характеристики потрібно встановити на генераторі частоту модулюючого сигналу $F = 0$ Гц, індекс модуляції – 0.

Таблиця 3.4

F_c , кГц	$U_{\text{вих}}$		F_c , кОм	$U_{\text{вих}}$	
	$R_1 = 0.5$ кОм	$R_2 = 1$ кОм		$R_1 = 0.5$ кОм	$R_2 = 1$ кОм
5800	500.015 мВ	-	6050	499.987 мВ	-
5850	500.009 мВ	-	6100	499.982 мВ	-
5900	500.003 мВ	-	6150	499.977 мВ	-
5950	499.998 мВ	-	6200	499.972 мВ	-
6000	499.992 мВ	-	6300	499.962 мВ	-

123.УДК: 004:681.27

Арк.

39

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

3.1.3. Дослідження фазового детектора

Для початку за допомогою пакета моделювання електронних схем NI Multisim складемо модель (рис. 3.7) ФМ-детектора.

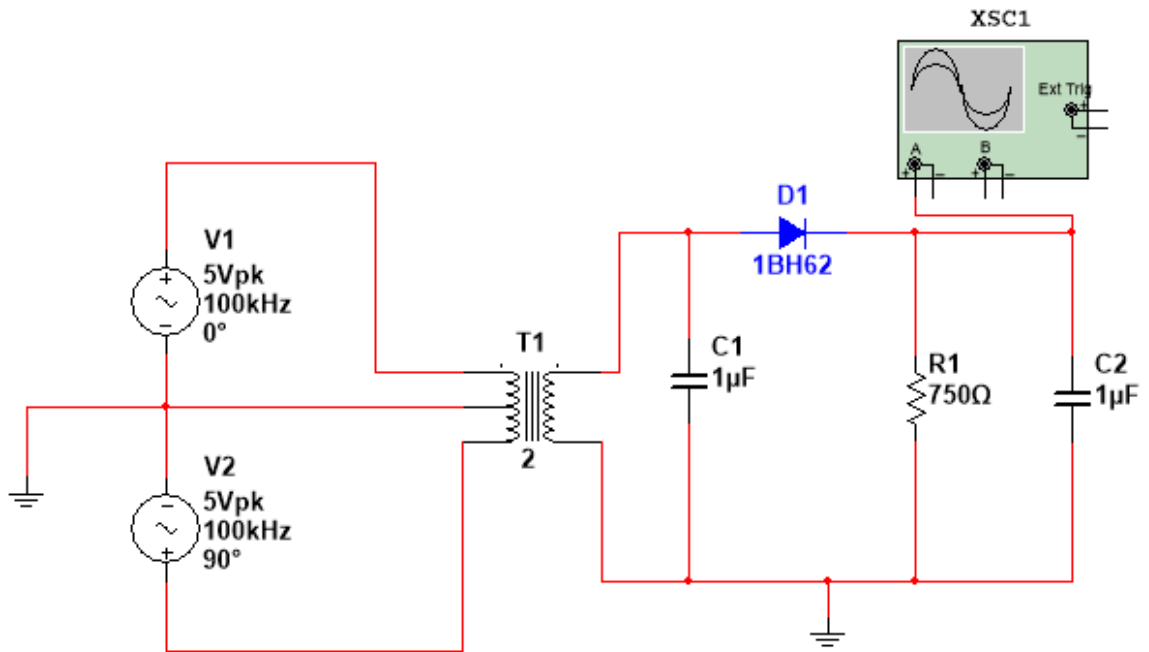


Рис. 3.7. Модель одноконтного діодного фазового детектора

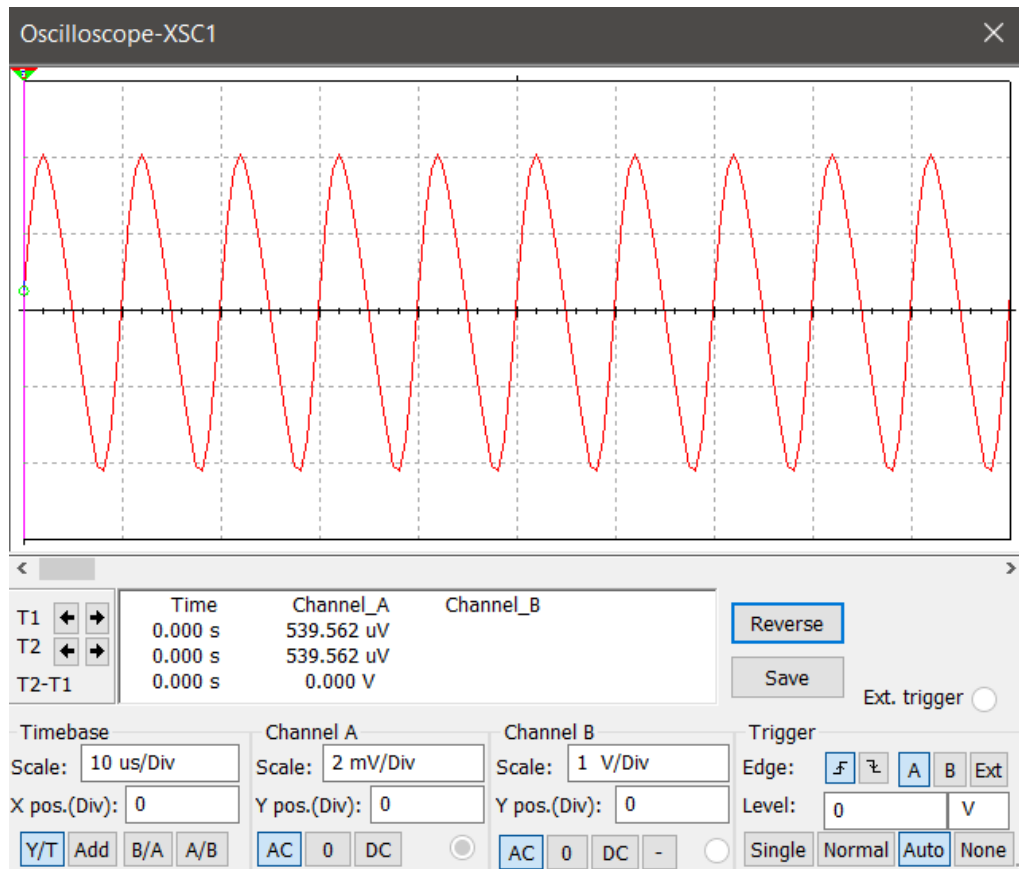


Рис. 3.8. Осцилограма вихідного сигналу детектора

Детекторна характеристика ФД.

Для зняття детекторної характеристики фазового детектора потрібно виміряти напругу на виході детектора змінюючи фазу на генераторі V_1 .

Таблиця 3.5

Фаза, °	$U_{\text{вих}}, \text{В}$
0	4.37
15	3.1
30	1.94
45	960 м
60	280 м
75	20 м
90	65 н
105	20 м
120	280 м
135	960 м
150	1.94
165	3.1
180	4.37
195	5.64
210	6.83
225	7.85
240	8.63
255	9.1
270	9.3
285	9.1
300	8.63
315	7.85
330	6.83
345	5.64
360	4.37

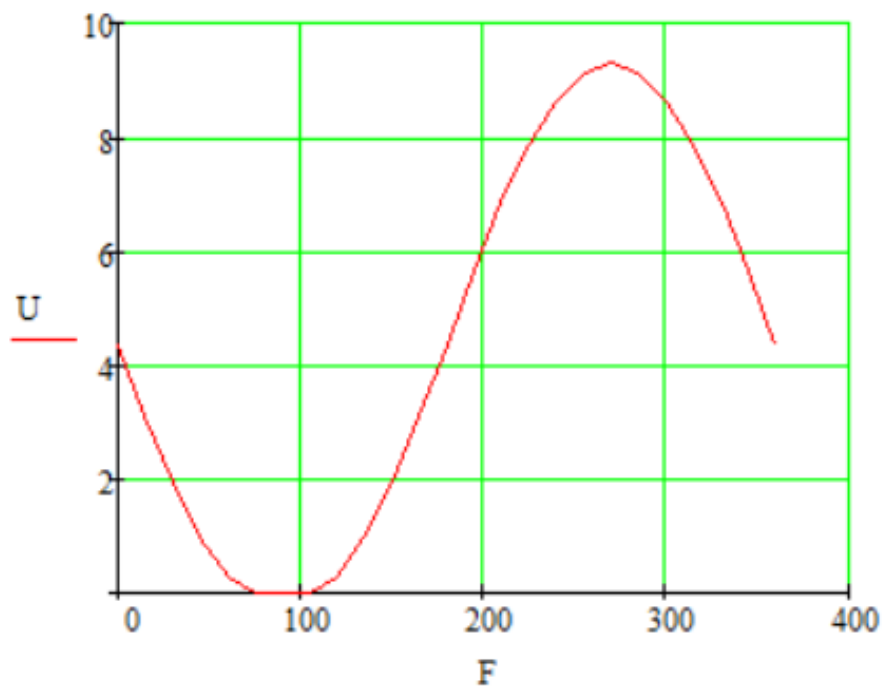


Рис. 3.9 Графік детекторної характеристики ФД

ВИСНОВКИ

Відповідно до мети і поставлених завдань у роботі було з'ясовано та проаналізовано:

- особливості цифрових детекторів;
- основні параметри та характеристики детектування;
- змодельовано демодулятори за допомогою різних засобів розробки електричних кіл

Детекуванням (демодуляцією) називають процес перетворення модульованого високочастотного сигналу в коливання, форма якого відтворює низькочастотний модулюючий сигнал.

Визначено роль цифрових детекторів в електричних колах. Завдання детектора - максимально безпомилково відтворити модулюючий, сигнал. Детектори діляться на амплітудні, частотні, фазові, імпульсні, цифрові.

У нашому дослідженні ми з'ясували, що амплітудним детектором називається пристрій, призначений для отримання на виході напруги, що змінюється відповідно до закону модуляції амплітуди вхідного гармонійного сигналу. Процес детектування амплітудно-модульованих сигналів виду $u_c(t) = u_a(t)\cos(\omega_c t)$.

Частотні детектори за характером перетворень, які здійснюються над коливанням, що підлягають детектуванню, ділять на наступні типи: частотно-амплітудні; частотно-фазові; частотно-імпульсні. У першому випадку частотно-модульовані коливання перетворюється на коливання, у якого крім частоти змінюється і амплітуда. Причому амплітуда змінюється відповідно модульованою функцією ЧМ коливання.

Фазовим детектором називають пристрій, призначений для створення напруги, пропорційної різниці фаз між сигналом і опорним коливанням.

У висновку також відзначимо, що цифрові детектори характеризуються детекторною, амплітудно-частотною характеристикою та коефіцієнтами детектування, крутизни та передачі.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При вирішенні завдання моделювання основних параметрів та характеристик детекторів в роботі вивчено схеми детекторів, а також основні детекторні та амплітудно-частотні характеристики з наведеними графіками та розрахунками.

Таким чином, завдання вирішені в повному обсязі, мета досягнута – дослідження цифрових детекторів з їх моделювання параметрів та характеристик.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баскаков С.И. Радіотехнічні кола і сигнали: навч. посіб. Москва: вид-во “Вища школа”, 2000. 462 с.
2. Гоноровский И.С. Радіотехнічні кола і сигнали: навч. посіб. Москва: вид-во “Дрофа”, 2006. 608 с.
3. Горшелев В.Д. Основи проектування приймачів. Москва: вид-во «Енергия», 1977. 384 с.
4. Каганов В.И. Радіотехніка + комп'ютер + Mathcad. Москва: вид-во “Горячая линия”, 2001. 416 с.
5. Кудряков С.А. Радіотехнічні кола і сигнали: навч. посіб. Санкт-Петербург: вид-во «Свое Издательство», 2015. 340 с.
6. Рудой В.М. Системи передачі інформації Москва: МДОУ, 2004. 172 с.
7. Сергієнко А.Б. Цифрова обробка сигналів: навч. посіб., 3-тє вид. Санкт-Петербург: вид-во “БХВ-Петербург”, 2011. 751 с.
8. Солоніна А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Солов'єва Е.Б. Основи цифрової обробки сигналів: навч. посіб. 2-ге вид. Санкт-Петербург: вид-во “БХВ-Петербург”, 2005. 753 с.
9. Толкачев, А. А. Деякі тенденції розвитку радіолокаційних і зв'язних систем/ ред. Толкачев А. А., Егоров Е. Н., Шишлов А. В. Москва: ВАТ “Радіотехніка”. 2006. № 4. С. 6–11.
10. Федосов, В. П., Нестеренко А. К. Цифрова обробка сигналів в LabVIEW/ ред. проф. Федосова. В. П. Москва: ДМК “Пресс”, 2007. 472 с.

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		