

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

„_____” _____ 2019р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050802 Електронні пристрої та системи
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Вейвлет аналіз характеристик напівпровідникових перетворювачів

Виконав: студент 4 курсу, групи ДС-52

Лисюк Ірина Русланівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник к.т.н. доц. Хижняк Т. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти: Технічний розділ

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент к.т.н. доц. Гармаш О. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра промислової електроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050802 Електронні пристрої та системи
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.С. Ямненко
(підпис) (прізвище ініціали)

«__» _____ 2019 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Лисюк Ірині Русланівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Вейвлет аналіз характеристик напівпровідникових перетворювачів

Керівник проекту _____ к.т.н. доц. Хижняк Т. А. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 23 » березня 2019 року № 1008-с

2. Строк подання студентом проекту 11 червня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту вхідна напруга – 20 В; опір RL-ланки – 0,3 Ом;
індуктивність RL-ланки – 47 мГн; робоча ємність 220 мкФ; опір навантаження 100 Ом
Дослідження характеристик.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Розробка моделі перетворювача, створення множини характеристик для дослідження, проведення аналізу

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема принципова, два теоритичних креслення

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний			

7. Дата видачі завдання 7 вересня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд літератури	07.02.2019-21.02.2019	
2	Вибір схеми і середовища для моделювання	22.02.2019-28.02.2019	
3	Створення моделі	01.03.2019-12.03.2019	
4	Створення множини характеристик для дослідження	13.03.2019-29.03.2019	
5	Аналіз і опрацювання отриманих даних	30.03.2019-21.04.2019	
6	Оформлення супровідної документації	22.04.2019-10.05.2019	
7	Оформлення плакатів	11.05.2019-18.08.2019	
8	Підготовка доповіді	18.08.2019-06.06.2019	

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Керівник проекту

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Метою даної роботи є дослідження методу виявлення помилок та оцінки роботи напівпровідникових перетворювачів за допомогою вейвлет-аналізу їх часових діаграм. Важливим аспектом цієї роботи є саме ідентифікація та класифікація несправностей для забезпечення надійної, оптимальної та безпечної роботи різних видів перетворювачів. Для безпечного функціонування системи можливий підхід до моніторингу несправностей таким чином, щоб точна і швидка класифікація несправності давала змогу забезпечити правильний контроль та керування захистом систем.

SUMMARY

The purpose of this work is to investigate the method for detecting errors and evaluate the performance of semiconductor transducers by wavelet analysis of their timing diagrams. An important aspect of this work is the identification and classification of faults to ensure reliable, optimal and safe operation of different types of converters. For secure operation of a system a feasible approach is to monitor signals so that accurate and rapid classification of fault is possible for making correct protection control.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ВИЯВЛЕННЯ ТА ДІАГНОСТИКА НЕСПРАВНОСТЕЙ	6
1.1 Загальні питання діагностування.....	6
1.2 Особливості діагностування напівпровідникових перетворювачів...8	8
2. ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕННЯ	9
2.1. Принцип вейвлет-перетворення.....	16
2.2. Дискретне вейвлет перетворення.....	22
2.3. Способи представлення вейвлет-спектрів.....	24
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	27
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	43
ДОДАТКИ	

					ДС52.521.421.001 ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Вейвлет аналіз характеристик напівпровідникових перетворювачів	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Лисюк І.Р.</i>							
<i>Перевір.</i>	<i>Хижняк Т.А.</i>						3	
<i>Реценз.</i>						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Батрак Л.М.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Хижняк Т.А.</i>							

ВСТУП

Підвищення вимог до продуктивності та експлуатаційних характеристик силових перетворювальних систем веде до зростання вимог до їх систем діагностування та контролю стану. Системи контролю, які базуються на використанні зворотних зв'язків в підконтрольному об'єкті, здатні відпрацювати незначні відхилення, які можуть виникнути в нормальному робочому стані, але не завжди можуть враховувати аномальну поведінку, яка може бути спровокована несправністю компонентів. В такому випадку система може повністю вийти з ладу. Більшість силових електронних пристроїв, як правило, працюють в умовах зміни частоти комутації, зупинок та запусків, зміни навантаження, роботи в імпульсних режимах при великих струмах та напругах.

У багатьох випадках випадкові збої можуть бути допустимими, але у випадку дорогих високоенергетичних систем, багатоконверторних інтегрованих систем автоматизації та систем безпеки, критичних до вимог, обов'язковою є індикація незвичайної продуктивності, яка може призвести до раптової відмови системи. [6]

Тому знання про можливі несправності силових електронних схем важливі для поліпшення конструкції систем, захисту і відмовостійкого контролю. Для виявлення несправностей активно застосовуються експертні системи, що базуються на знаннях про несправності, що виникали в об'єкті діагностування раніше, та способи їх виявлення і реагування на них [21]

Ідентифікація стану перетворювача може виконуватись за часовими діаграмами струмів та напруг, знятими в контрольних точках схеми, оскільки їх форма може зазнати суттєвих змін при зміні режимів роботи перетворювача чи виникненні аварійних ситуацій [16,17]. Існують різні методи обробки таких діагностичних даних, зокрема з використанням спектральних перетворень [1, 24, 27,]. Тип спектрального перетворення, що застосовується, багато в чому визначається формою діаграм. Для часових

					ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежностей, що містять ділянки постійних значень та ділянки флуктуацій, доцільно використовувати віконні спектральні перетворення такі, як віконне перетворення Фур'є або вейвлет-перетворення [18].

Якщо з цією метою використовувати вейвлет-перетворення, виникає задача визначення множини спектральних коефіцієнтів, за якою доцільно здійснювати подальшу ідентифікацію стану перетворювача. Повний спектр, отриманий при застосуванні вейвлет-перетворення, містить $(n \cdot m^j)$ коефіцієнтів, де m – кількість вейвлетів в базисі перетворення, а n визначається залежно від кількості дискретних значень досліджуваної функції $K = m^n$; j – рівень розкладання, $j = (0 \dots n-1)$ [19]. При зростанні інтервалу часу, на якому буде розглянута функція, зростає також кількість вейвлет-коефіцієнтів, що необхідні для проведення дослідження. І, внаслідок цього, збільшується час виконання ідентифікації стану перетворювача, що є вкрай небажаним.

Саме тому важливою і актуальною є задача визначення набору спектральних коефіцієнтів, за якими буде здійснюватись ідентифікація поточного стану перетворювача, та глибина розкладання аналізованої функції.

Таким чином, метою роботи є дослідження можливостей застосування спектрального вейвлет-перетворення з метою ідентифікації станів перетворювача електричної енергії.

					ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВИЯВЛЕННЯ ТА ДІАГНОСТИКА НЕСПРАВНОСТЕЙ

1.1. Загальні питання діагностування

Процедура діагностування об'єкту передбачає наявність певних даних про цей об'єкт – діагностичних показників, і засобів, за допомогою яких здійснюється аналіз даних показників та приймається рішення про поточний стан об'єкту та про заходи, які необхідно вжити за результатами діагностування – тобто власне систему діагностування.

Принцип дії системи діагностування може бути заснований на використанні певних зовнішніх тестових впливів та відстеженні реакції на них об'єкту діагностування – це характерно для систем тестової діагностики, або ж система може здійснювати аналіз роботи об'єкту в режимі реального функціонування, коли будь-які впливи на об'єкт задаються виключно його алгоритмом роботи і не можуть бути довільно змінені – системи функціональної діагностики [22].

Якщо як об'єкт діагностування розглядається якийсь електротехнічний пристрій чи система, то діагностика є фактично функціональною, оскільки якісь додаткові зовнішні впливи можуть порушити алгоритм функціонування даного об'єкту.

Однак, для дослідження можливих дефектів, несправностей, які можуть викликати порушення в роботі об'єкту діагностування, доцільно провести ряд тестових досліджень, наприклад з використанням математичного чи натурального моделювання.

Задача системи діагностування полягає в реалізації деякого алгоритму, який дозволяє визначити технічний стан об'єкту, застосовуючи сукупність так званих елементарних перевірок об'єкта, які виконуються в певній послідовності і результати яких аналізуються згідно із встановленими правилами. Кожна елементарна перевірка визначається своїм тестовим або робочим впливом, що подається на об'єкт, і складом контрольних точок, з

									Арк.
									6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДС52.521.421.001 ПЗ

яких знімаються відповіді об'єкта на цей вплив. Результатом елементарної перевірки є конкретні значення відповідних сигналів об'єкта. Діагноз ставиться в загальному випадку по сукупності отриманих результатів елементарних перевірок.

При розробці систем діагностування повинні вирішуватися такі задачі як вивчення об'єкту, його можливих дефектів і ознак їх прояву, вибір або побудова математичної моделі поведження справного об'єкта і його несправних модифікацій, аналіз математичної моделі з метою одержання алгоритму діагностування, внесення, при необхідності, змін у структуру і конструкцію об'єкта для забезпечення необхідних умов діагностування, вибір або розробка засобів діагностування, розгляд і розрахунок характеристик системи діагностування в цілому.

Поняття діагностування об'єкту тісно пов'язано з поняттями контролю та керування. В першому випадку здійснюється збір інформації та її опрацювання, в другому – вироблення і здійснення цілеспрямованих керуючих впливів на об'єкт.

Розрізняють поняття контролю параметрів та контролю технічного стану. В першому випадку подією, що фіксується, є факт досягнення деяким параметром об'єкту заданого значення, в другому – встановлення факту перебування об'єкта в справному/несправному, працездатному/непрацездатному стані, або стані правильного/неправильного функціонування. Поняття контролю технічного стану можна поширити також на задачі пошуку дефектів, якщо в якості події визначити факт виявлення місця розташування дефекту в об'єкті.

Таким чином, усі можливі стани будь-якого електротехнічного об'єкту, в тому числі і напівпровідникового перетворювача, можна розділити на два класи – працездатні та непрацездатні стани [13]. Непрацездатні стани, в свою чергу, можна розбити на дрібніші підкласи несхожих між собою станів, що відрізняються видами дефектів.

					ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для такого розбиття потрібно обрати множину параметрів – діагностичних показників, значення яких будуть відображати відмінності між класами.

Початковим етапом діагностування є збір та аналіз даних, які описують процеси в перетворювачі, на основі чого відбувається ідентифікація його стану [26].

1.2. Особливості діагностування напівпровідникових перетворювачів

Отримані діагностичні дані для напівпровідникового перетворювача, як правило, отримуються у формі електричних величин - середні, діючі або амплітудні значення напруги та струми, ємності, індуктивності, опори елементів – які не потребують додаткових перетворень, або ж у формі електричних чи неелектричних величин, що потребують додаткових перетворень [22].

В останньому випадку перетворення здійснюється з метою підсилення, очищення від шумів, дискретизації, виділення характерних особливостей та ін.

Рішення про поточний стан об'єкту діагностування приймається за результатами аналізу отриманих діагностичних даних. Аналіз може виконуватись різними методами, але його суть є загальною – визначити наскільки сильно відрізняються поточні значення діагностичних показників від заданих і про що це свідчить. Фактично методами аналізу здійснюється ідентифікація поточного стану об'єкту діагностування.

Розглядаючи як об'єкти діагностування напівпровідникові перетворювачі електричної енергії, необхідно відмітити, що вони мають різні схемні рішення та алгоритми роботи, працюють за різних умов, мають різний набір основних компонентів, по різному проявляють себе в процесі роботи,

					<i>ДС52.521.421.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

мають різні стрибкоподібні зміни струмів та напруг на елементах під час перехідних процесів [15, 25].

Важливий вплив на надійність роботи системи з напівпровідниковими перетворювачами та її довговічність мають такі фактори, як температура навколишнього середовища, вологість, частота на якій працює перетворювач, робочі струми та напруги, режим роботи, спосіб з'єднання елементів і так далі.

Напівпровідникові перетворювачі, як об'єкти діагностики, досить складні, оскільки мають і активні, і пасивні елементи, які можуть вийти з ладу, що і спричинить аварійний стан роботи перетворювача (рис.1.1).

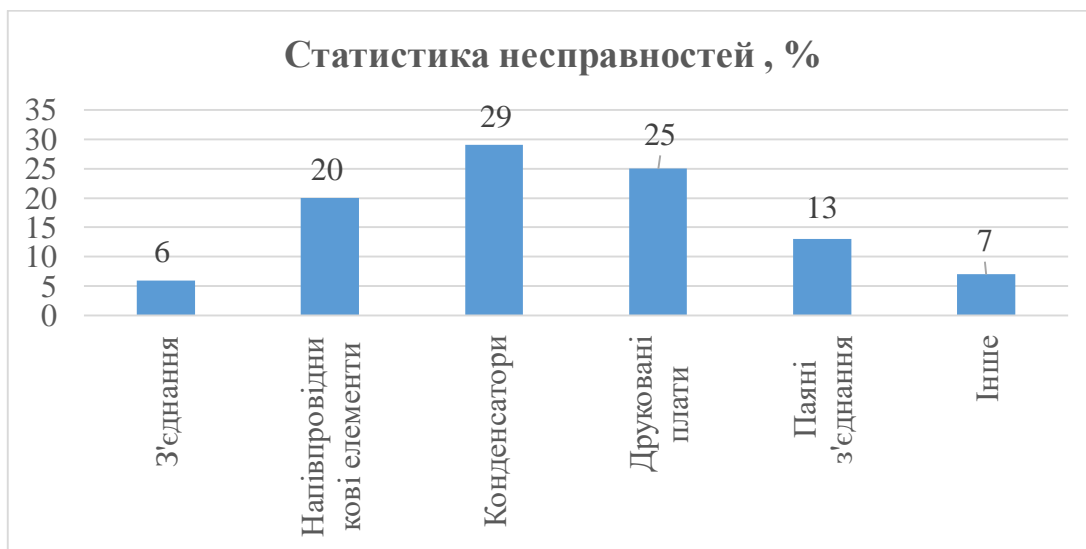


Рис.1.1.

Ті способи діагностування, що вже існують, дозволяють виконати прогнозування стану перетворювачів та передбачити виникнення аварійної ситуації. [10, 14]. Врахування нелінійного та параметричного характеру елементів перетворювачів призводить до зростання складності відповідних математичних моделей, що їх описують, і на основі яких виконується діагностування [22]. Тому виникає необхідність застосування таких способів діагностування, які б враховували всі ці особливості та які могли б бути застосовані в різних типах перетворювачів.

При цьому актуальним залишається питання вибору діагностичних показників, за якими буде виконуватись ідентифікація стану перетворювача.

Такими показниками можуть бути часові залежності струмів та напруг перетворювачів, які несуть інформацію про його стан та принцип функціонування [26].

Поступова або раптова зміна параметрів джерел живлення, навантаження, номіналів елементів викликає зміну форми струмів та напруг на різних елементах перетворювачів. До того ж, варто зауважити, що виникнення аварійних ситуацій спричиняє набагато суттєвішу зміну форми, ніж поступова зміна параметрів [5, 7, 9]. Для запобігання виникненню аварійних ситуацій бажано виявляти поступові зміни параметрів, відстежуючи зміну значень струмів та напруг на поточному інтервалі порівняно з еталонними значеннями. Встановивши допустимий діапазон їх зміни, можна виявляти появу несправності за фактом виходу діагностичних параметрів за допустимі межі.

Напівпровідникові перетворювачі є частиною більш складних систем генерації та перетворення енергії, зокрема систем з електроприводами [3].

У випадку, коли мова йде про велику кількість вимірних значень струмів та напруг доцільно виконати їх перетворення з метою зменшення часу ідентифікації. Це можливо при переході із часової в частотну або частотно-часову область за допомогою спектральних перетворень, зокрема дискретного чи неперервного вейлет-перетворення [12].

В статті [5] розглянуто трифазний напівмостовий перетворювач у випадку виникнення різних несправностей – вихід з ладу діода, втрата фази – що призводять до суттєвих змін форм часових діаграм напруг (рис.1.2). До часових діаграм застосовано дискретне вейлет перетворення Добеші DB4 і висновок про появу несправності генерується на підставі значень коефіцієнтів деталізації, які суттєво змінюються в момент появи спотворень в діаграмі напруги.

					ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

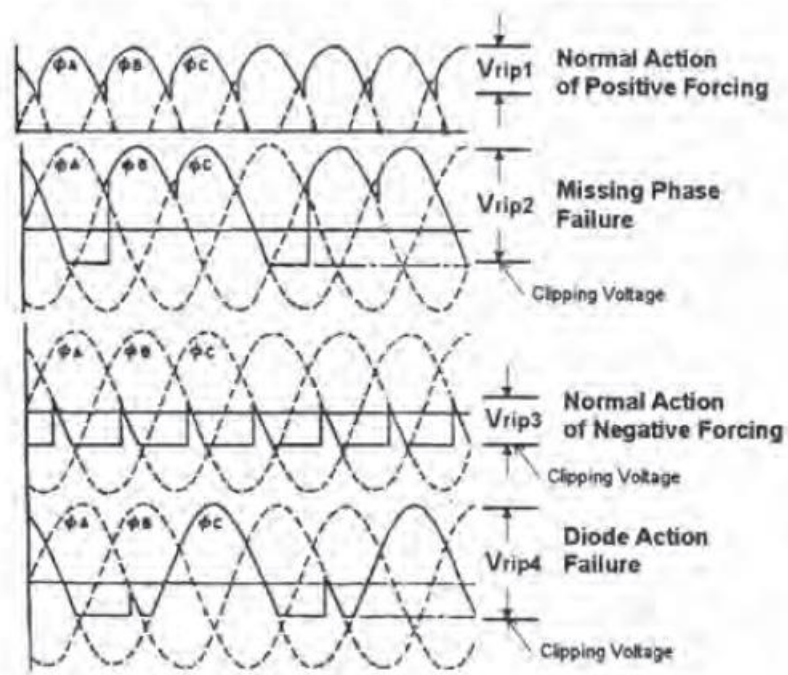
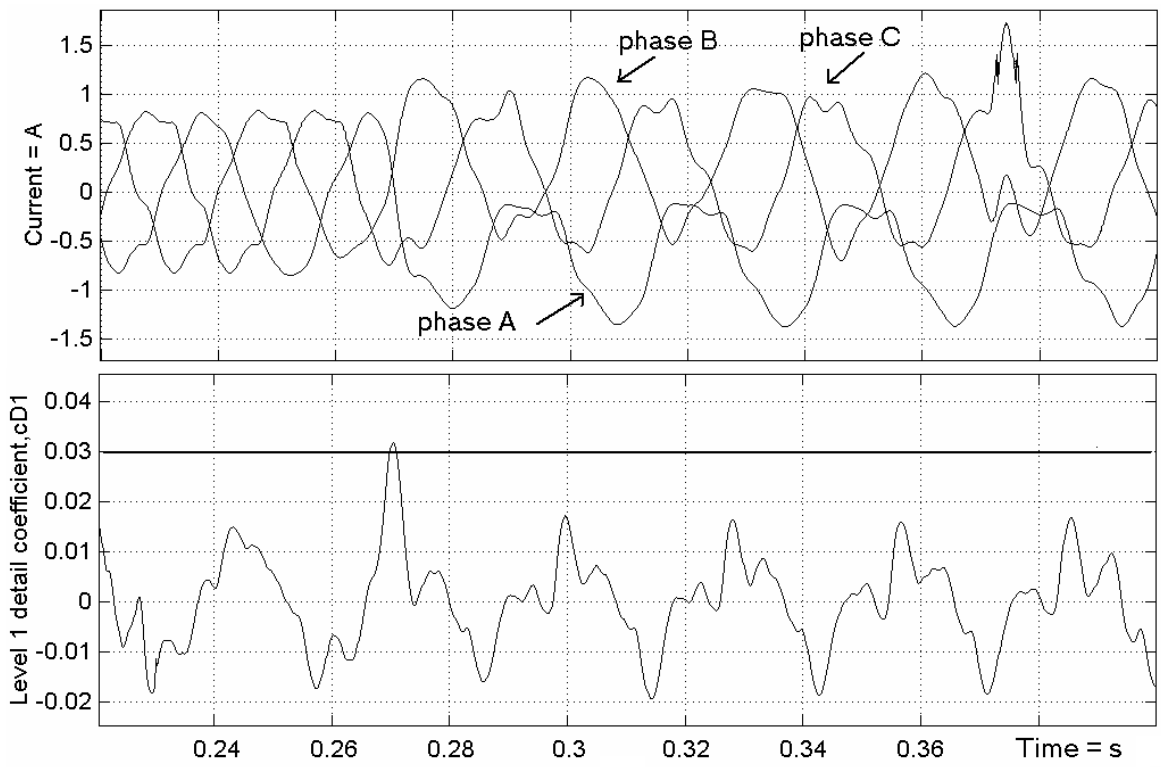


Рис.1.2. Зміна форми напруги перетворювача при появі несправностей

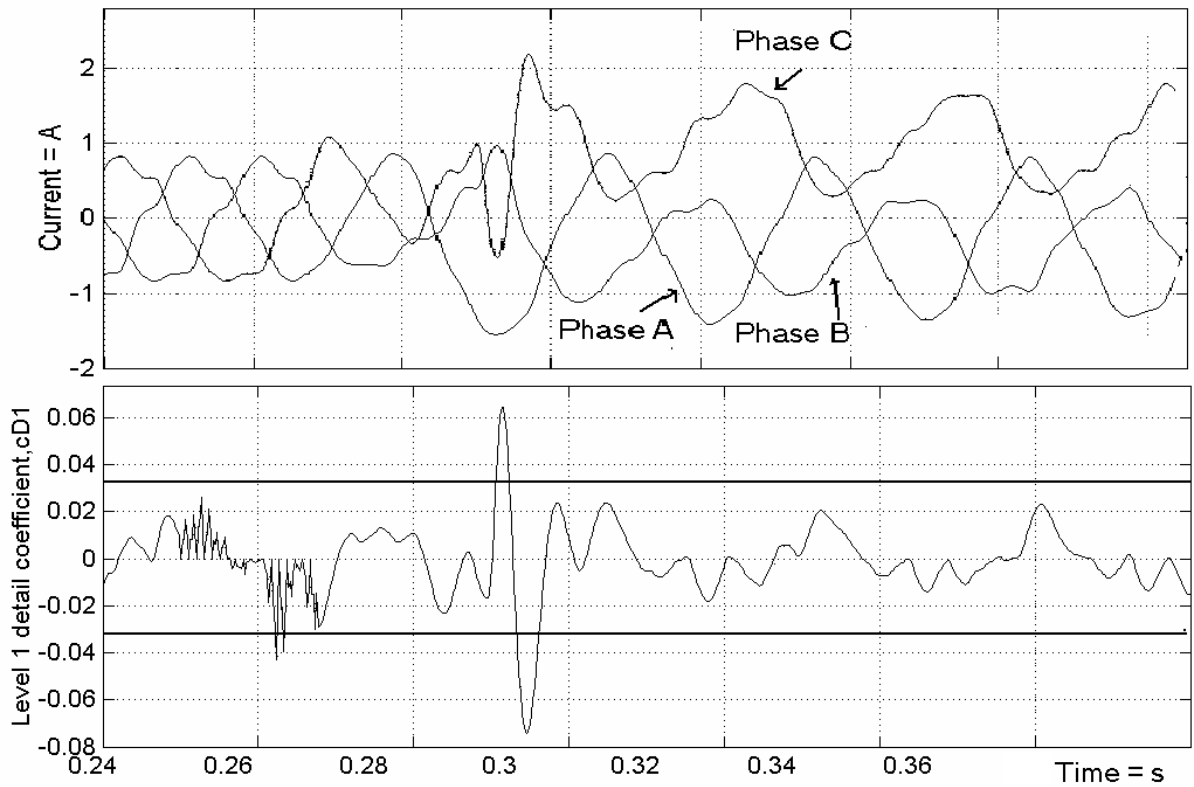
Рухоме вейвлет вікно незначного розміру застосовується в [7] для пошуку моменту появи спотворення в формі фазних напруг трифазної інверторної системи. При цьому, встановлюється допустимий діапазон зміни коефіцієнтів вейвлет розкладання, який відповідає справному режиму роботи перетворювача і вихід за цей діапазон свідчить про появу несправності (рис.1.3). Розглядаються також коефіцієнти деталізації, причому, як видно з графіків рис.1.3, несправності різних елементів по різному впливають на форму діаграм і на характер зміни коефіцієнтів деталізації вейвлет-перетворення.

В [4] розглянуто приклад застосування вейвлет-перетворення для аналізу процесів в понижуючому імпульсному регуляторі напруги.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



a)



б)

Рис. 1.3. Струм статора та вейвлет-коєфіцієнти при обриві в колі транзистора Т1 (а), при обриві в колі транзистора Т2 (б)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.521.421.001 ПЗ

Арк.

12

Автори здійснюють попереднє моделювання понижуючого перетворювача з метою формування множини діаграм при зміні ємності конденсатора (рис.1.4), а потім застосовують дискретне вейвлет-перетворення Добеші для виділення коефіцієнтів деталізації, коефіцієнти апроксимації повністю ігноруються. Після цього додатково застосовується низькочастотний фільтр, для очищення отриманих сигналів від шумів, обумовлених застосуванням ШІМ при керуванні перетворювачем (рис.1.5). Це дозволяє краще навіть візуально оцінити зміни, що відображають несправності.

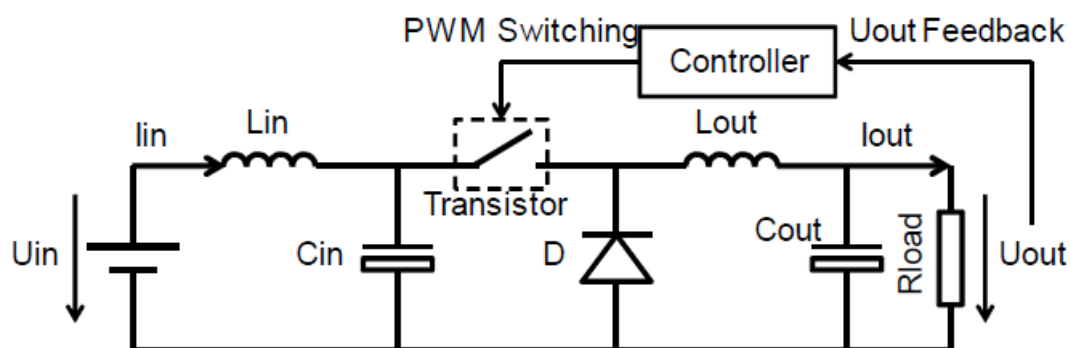


Рис.1.4. Схема понижуючого перетворювача

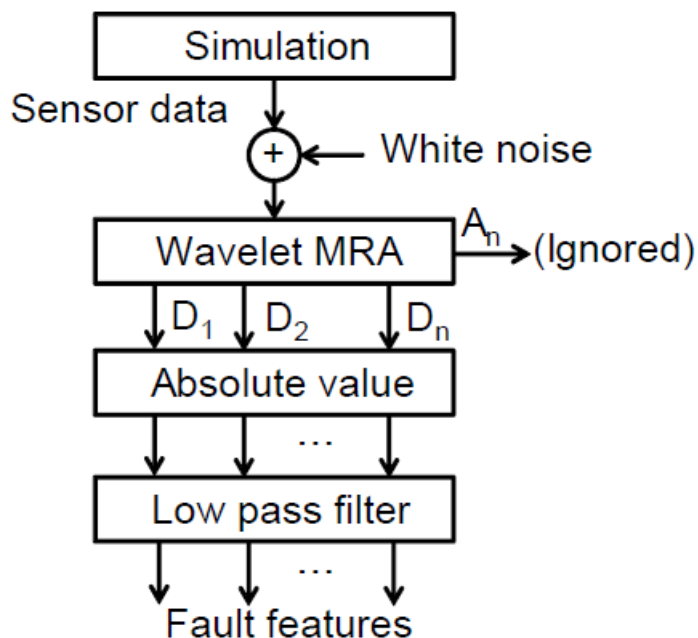
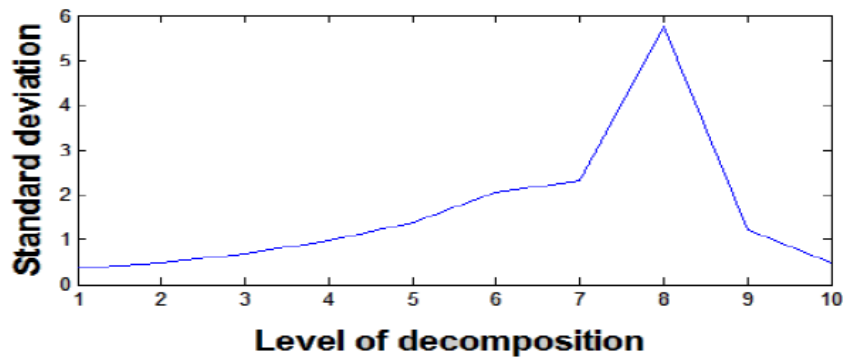
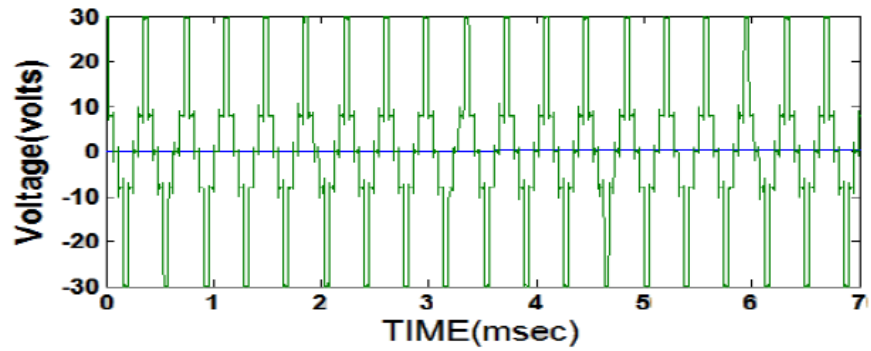
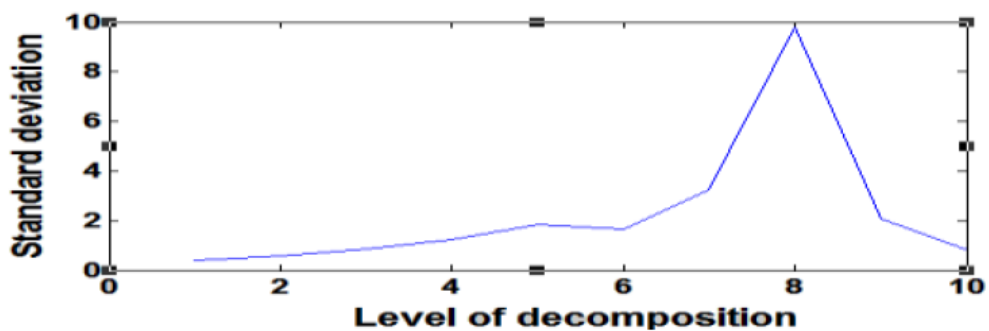
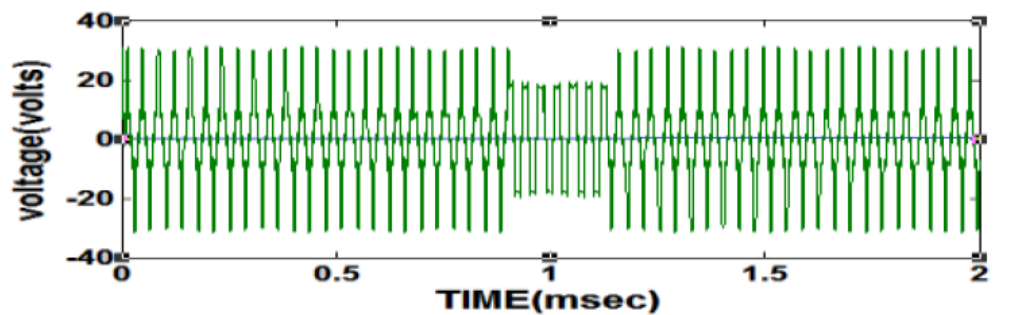


Рис.1.5. Загальний алгоритм ідентифікації несправності за вейвлет-коефіцієнтами

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



a)



б)

Рис.1.7. Зміна коефіцієнтів деталізації при зміні форми діаграми

При застосуванні вейвлет-перетворення важливим є вибір базису – тобто форми та кількості вейвлетів – та визначення глибини розкладання, достатньої для достовірної ідентифікації стану перетворювача за вейвлет-коефіцієнтами з одного боку, та прийнятної за часом виконання аналізу, з іншого боку.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2. ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕННЯ

2.1. Принцип вейвлет-перетворення

Гармонічні функції базису перетворення ряду Фур'є гранично локалізовані у частотній області (імпульсні функції Дірака при $T \rightarrow \infty$) та не локалізовані у часовій (визначені у часі від $-\infty$ до ∞) [20].

Головні недоліки розкладу сигналів в ряд Фур'є:

1) аналіз нестационарних сигналів обмежений інформативністю та майже неможливий аналіз їх особливостей (сингулярності), тому як у частотній області виникає «розмазування» особливостей сигналу (розривів, сходинок, піків і т.п.) у всьому частотному діапазоні спектра;

2) гармонійні базисні функції розкладу не можуть відобразити перепади сигналів з безкінечною крутизною таких як прямокутні імпульси, оскільки для цього необхідно мати нескінченність членів ряду. Якщо обмежена чисельність членів ряду Фур'є то в околицях розривів та стрибків при відновленні сигналу утворюються осциляції (явище Гібса);

3) перетворення ряду Фур'є показує глобальні дані про частоту досліджуваного сигналу та не дає уявлення про локальні характеристики сигналу при різких тимчасових змінах спектрального складу. Перетворення Фур'є не відрізняє стаціонарний сигнал суми двох синусоїд від нестационарного сигналу з двома синусоїдами що ідуть одна за одною з однаковими частотами, тому що спектральні коефіцієнти рахуються інтеграцією всього інтервалу задання сигналу. Перетворення Фур'є не може провести аналіз частотних характеристик сигналу у довільні моменти часу.

Протилежністю Фур'є функцій є імпульсні базисні функції типу імпульсів Кронекера, тобто які границею локалізовані у часовій області та не чіткі у всьому діапазоні частот.

Вейвлет аналіз - це особливий тип лінійного перетворення сигналів та фізичних даних. Базис власних функцій, за яким проводиться вейвлет

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДС52.521.421.001 ПЗ

розкладання сигналів, має багато специфічних властивостей, а також можливостей. Вейвлет функції базису дозволяють сконцентрувати увагу на певних локальних особливостях процесів, які аналізують, що не можуть бути виявлені за допомогою традиційних перетворень Фур'є і Лапласа.

Вейвлети можна розглядати по локалізації у часі та по спектру як функції, що займають середнє положення між гармонічною та імпульсною функціями. Вони мають бути локалізованими і у часовій, і в частотній області представлення. Однак, якщо проектувати такі функції неминуха зустріч з принципом невизначеності, який пов'язує діючі значення тривалості функції та ширини її спектра. Що точніше буде здійснюватися локалізація часового положення функції, то ширший буде її спектр, та навпаки, що зображено на рис. 2.1.

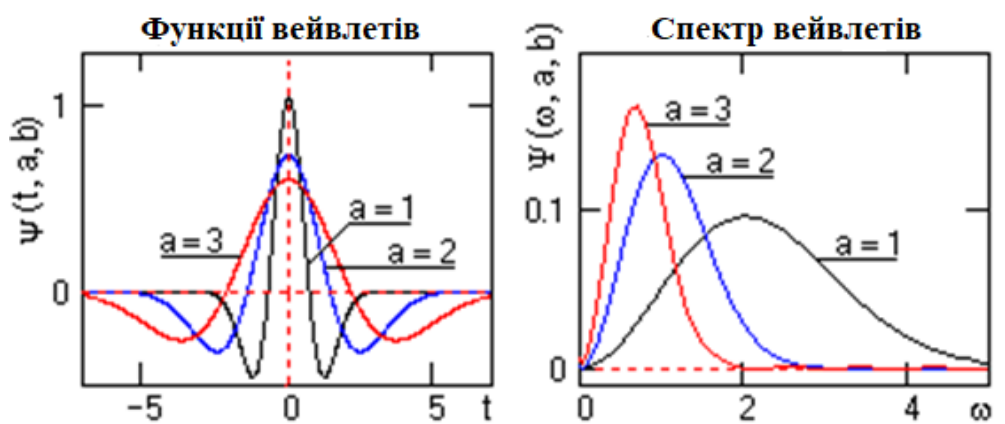


Рис.2.1. Взаємозв'язок між вейвлетами та їх спектрами

Характерною особливістю вейвлет-аналізу є те, що у ньому можливо застосовувати сімейства функцій, які утворюють різноманітні варіанти співвідношень невизначеності. Тому є можливість вибору між ними та використання тих вейвлетів, що найбільше підходять для виконання конкретних завдань.

Вейвлетний базис простору $L^2(\mathbb{R})$, $\mathbb{R}(-\infty, \infty)$, потрібно конструювати із скінченних функцій, які є в цьому ж просторі, і які мають рухатись до нуля на безкінечності. Що швидше функція прагне до нуля, тим зручніше використати її в якості базису перетворення для аналізу реальних сигналів.

Допустимо, що такою функцією є функція ψ , яка рівна нулю за межами певного кінцевого інтервалу та має нульове середнє значення на інтервалі існування. Таким чином задається локалізація спектра вейвлета у частотній області. За допомогою цієї функції моделюється базис у просторі $L^2(\mathbb{R})$ використовуючи масштабні перетворення незалежної змінної шляхом лінійної операції розтягування або стиснення, яка забезпечує схожість функції в різних масштабах представлення.

З урахуванням вимоги масштабування та зсуву одночасно структуру базисної функції можна прийняти наступною:

$$\psi(t) \Rightarrow \psi(a^m t + k), \quad (2.1)$$

де коефіцієнт a^m – відображає масштабування функції $\psi(t)$, k – імітує зміщення функції по часовій осі t .

Щоб спростити подальші викладки значення змінних m і k приймаються цілочисельними. При приведенні функції (2.1) до одиничної норми, одержується наступний вираз:

$$\psi_{mk}(t) = a^{m/2} \psi(a^m t + k). \quad (2.2)$$

Якщо для сімейства функцій $\psi_{mk}(t)$ виконується умова ортогональності:

$$\langle \psi_{nk}(t), \psi_{lm}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{nk}(t) \psi_{lm}^*(t) dt = \delta_{nl} \cdot \delta_{km}, \quad (2.3)$$

то його можна використовувати у якості ортонормованого базису простору $L^2(\mathbb{R})$. Довільну функцію цього простору можливо розкласти у ряд по базису $\psi_{mk}(t)$:

$$s(t) = \sum_{m,k=-\infty}^{\infty} S_{mk} \psi_{mk}(t), \quad (2.4)$$

де коефіцієнти S_{mk} – є проекцією сигналу на новий ортогональний базис функцій, який, як і в перетворенні Фур'є, визначається скалярним добутком.

При цьому, ряд рівномірно сходиться

						ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			18

$$S_{mk} = \langle s(t), \psi_{mk}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \Psi_{mk}(t) dt,$$

$$\lim_{M, K \rightarrow \infty} \left\| s(t) - \sum_{m=-M}^M \sum_{k=-K}^K S_{mk} \psi_{mk}(t) \right\| = 0 \quad (2.5)$$

Якщо ці умови виконуються базисну функцію перетворення $\psi(t)$ називають ортогональним вейвлетом.

Простим прикладом ортогональної системи функції цього типу є функція Хаара. Базисна функція Хаара визначається співвідношенням

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < 1/2 \\ -1, & 1/2 < t < 1 \\ 0, & t < 0, t > 1 \end{cases} \quad (2.6)$$

Неважко перевірити, що при $a = 2$, $m = 0, 1, 2, \dots$, $k = 0, 1, 2, \dots$ будь-які дві функції, що отримані з використанням цього базисного вейвлету методом масштабних перетворень та зміщень, мають одиничну норму та ортогональні. На рис. 2.2 зображені приклади функцій для перших трьох значень m та k при різних їх комбінаціях – ортогональність цих функцій видно наочно.

Вейвлетний спектр відрізняється від перетворення Фур'є тим, що він є двовимірним та визначає двовимірну поверхню у просторі змінних m і k . При графічному зображенні параметр розтягування або стиснення спектру m відкладається по осі абсцис, а параметр локалізації k по осі ординат - осі незалежної змінної сигналу. Розрахунки процесу вейвлет розкладання сигналу у простій формі розглянуто на прикладі розкладу сигналу $s(t)$ вейвлетом Хаара з трьома послідовними по масштабу m вейвлетними функціями з параметром $a=2$, а сам сигнал $s(t)$, при цьому, отримуємо підсумовуванням цих же вейвлетних функцій з однаковою амплітудою та з різними зміщеннями, що показано на рис. 2.3.

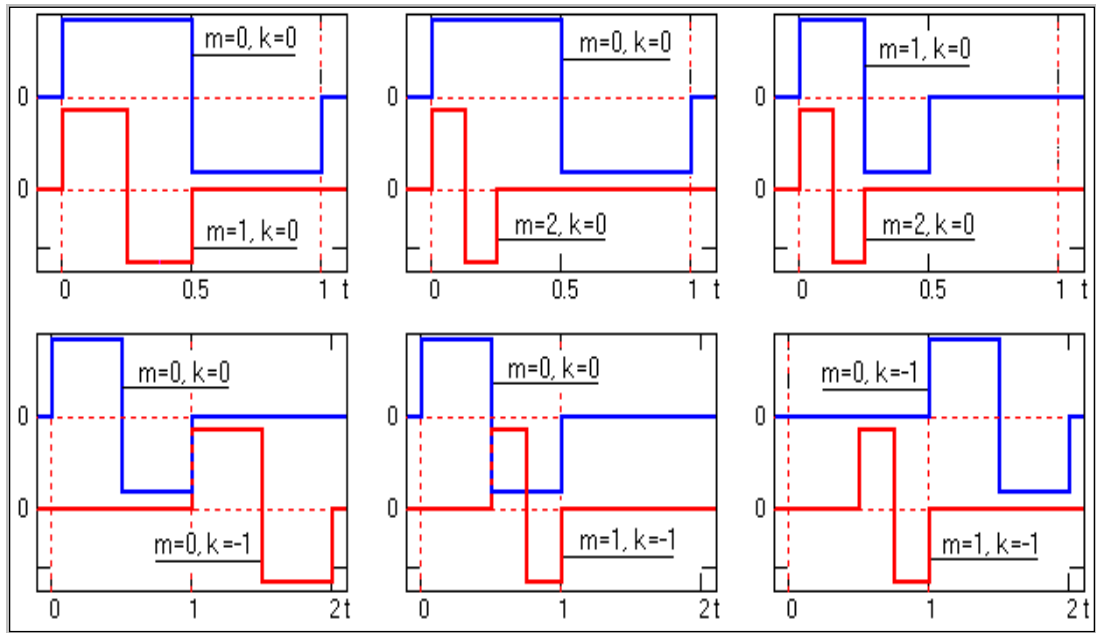
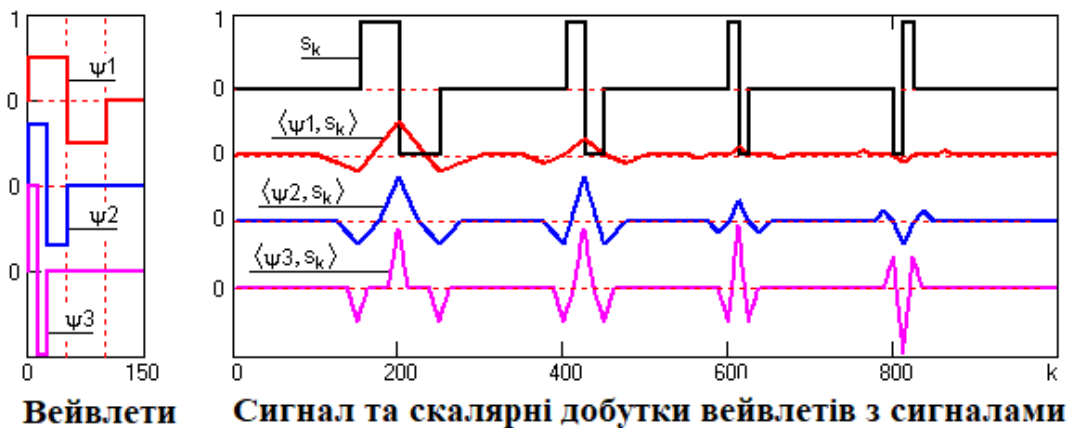


Рис. 2.2. Функції Хаара масштабовані та зміщені



Вейвлети

Сигнал та скалярні добутки вейвлетів з сигналами

Рис. 2.3. Розкладання сигналу за вейлетом Хаара

Початкове значення масштабного коефіцієнту стиснення m визначається функцією вейвлета ($\psi_1(t)$ на рис. 2.3), обчислюється скалярний добуток сигналу з вейлетом $\psi_1(t)$, $s(t+k)$ з аргументом зсуву k . Для наочності отримані результати обрахунків скалярних добутків на рис. 2.3 побудовані відносно центру вейвлетів (тобто по аргументу k від нуля з зсувом на половину довжини вейвлетної функції). Як і очікувалось, максимальні значення скалярного добутку розміщені там, де локалізується ця вейвлетна функція.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після побудови першого масштабного рядка розкладу, змінюється масштаб вейвлетної функції (ψ_2 на рис. 2.3) та виконуються обчислення другого масштабного рядка спектру, і т.д.

Як видно на рис. 2.3, що точніше локальна особливість сигналу сходиться з відповідною функцією вейвлета, то ефективніше виділяється ця особливість на відповідному масштабному рядку вейвлетного спектру. Також при сильно стисненому вейвлеті Хаара можливо побачити, що характерною локальною особливістю є те, що стрибок сигналу легко помітити, причому не тільки саму зміну функції, але також напрямок зміни – зростання чи спадання.

Теорія вейвлетів не є фундаментальною фізичною теорією, але вона дає зручний і ефективний інструмент для вирішення багатьох практичних завдань. Основна область застосування вейвлет перетворень - це аналіз і обробка сигналів і функцій, нестационарних в часі або неоднорідних в просторі, коли результати аналізу повинні містити не тільки частотну характеристику сигналу (розподіл енергії сигналу по частотним складовим), але і відомості про локальні координати, на яких проявляються ті чи інші групи частотних складових або на яких відбуваються швидкі зміни частотних складових сигналу. У порівнянні з розкладанням сигналів в ряд Фур'є, вейвлети здатні з набагато більш високою точністю представляти локальні особливості сигналів, аж до розривів 1-го роду (стрибків). На відміну від перетворень Фур'є, вейвлет-перетворення одновимірних сигналів забезпечує двовимірну розгортку, при цьому частота і координата розглядаються як незалежні змінні, що дає можливість аналізувати сигнали відразу в двох просторах.

Одна з головних і особливо плідних ідей вейвлетного представлення сигналів на різних рівнях декомпозиції (розкладання) полягає в поділі функцій наближення до сигналу на дві групи: апроксимуючу – грубу, з досить повільною часовою динамікою змін, і деталізуючу – з локальною та швидкою динамікою змін на тлі плавної динаміки, з подальшим їх

					ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дробленням і деталізацією на інших рівнях декомпозиції сигналів. Це можливо як в часовій, так і в частотній областях представлення сигналів вейвлетами [1, 12].

2.2. Дискретне вейвлет перетворення

У безперервному вейвлет-перетворенні материнський вейвлет розширюється і постійно рухається по реальній безперервній системі числення. Тому воно може генерувати істотну надлишкову інформацію.

Материнський вейвлет може бути розширений і зміщений дискретно:

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right), \quad (2.7)$$

де n – рівень розкладання, b_0 – коефіцієнт зсуву, a_0 – коефіцієнт масштабу.

Дискретне вейвлет-перетворення може бути визначене як:

$$DWT_{\psi} x(m, n) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{m,n}^*(t) dt, \quad (2.8)$$

де $x(t)$ – функція, що досліджується, $\psi_{m,n}^*(t)$ – комплексне спряжене до материнського вейвлету.

Дискретне вейвлет перетворення розкладає сигнал на різні масштаби з різними часовими та частотними межами. У дискретному вейвлет перетворенні процедура починається з передачі дискретного сигналу $x[n]$ довжиною N через цифровий фільтр нижніх частот з імпульсною характеристикою $g[n]$ і цифровим фільтром високих частот з імпульсною характеристикою $h[n]$. Вихід цих фільтрів складається з N вейвлет-коефіцієнтів.

Це являє собою перший рівень розкладання дискретного сигналу і може бути математично виражений як

						ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
							22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$a^1[n] = \sum_{k=0}^{N-1} g[k]x[n-k] \quad (2.9)$$

$$d^1[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k]x[n-k] \quad (2.10)$$

Коефіцієнти апроксимації (a^1) на першому рівні перетворення використовуються в якості вхідних даних для іншої пари вейвлет-фільтрів (однакових з першою парою) після масштабування вейвлету в два рази.

Фільтри на другому рівні перетворення генерують набори апроксимацій і деталі коефіцієнтів довжини $N/2$. Це являє собою другий рівень розкладання дискретного сигналу і може бути математично виражене як

$$a^2[n] = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} g[k]a^1[2n-k] \quad (2.11)$$

$$d^2[n] = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} h[k]a^1[2n-k] \quad (2.12)$$

На рис.2.4 показана дворівнева декомпозиція дискретного сигналу дискретного вейвлет перетворення. В цьому випадку використовуються фільтри високих частот (H) і фільтри низьких частот (G) в процесі розкладання. Якщо функція вейвлету збігається з формою сигналу в певному масштабі і в певному місці, тоді буде згенеровано велике значення коефіцієнту розкладання. З іншому випадку, якщо вейвлет функція і сигнали не корелюють добре, то генерується низьке значення вейвлет коефіцієнту [3].

										Арк.
										23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

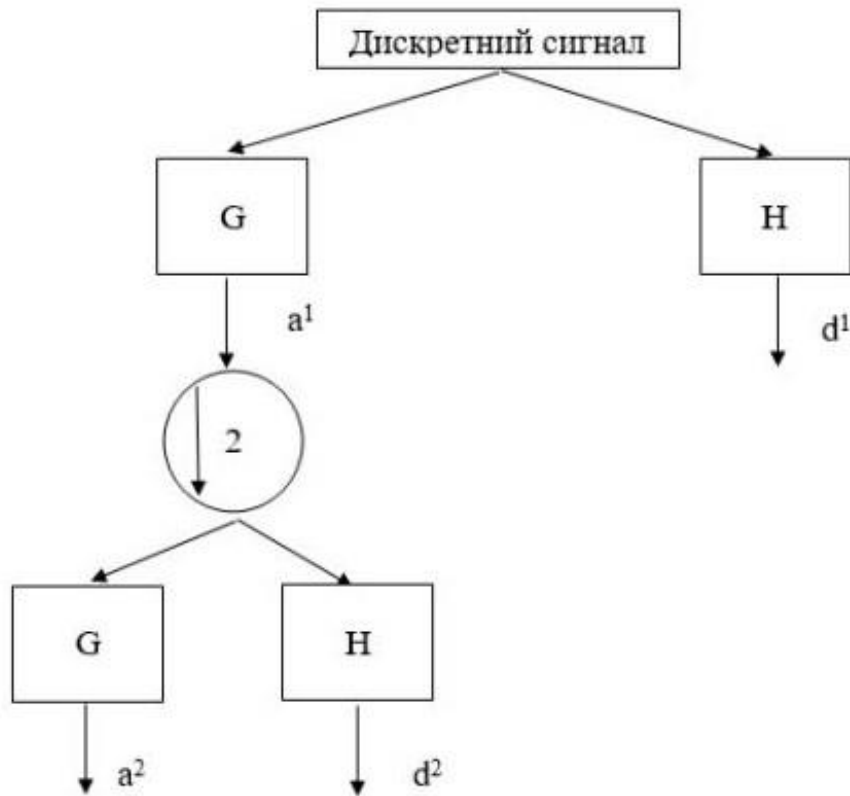


Рис.2.4. Дворівнева декомпозиція дискретного сигналу за допомогою дискретного вейвлет перетворення

2.3. Способи представлення вейвлет-спектрів

Як показав аналіз джерел щодо застосування вейвлет-перетворення в задачах діагностики, для ідентифікації несправностей, як правило, застосовуються коефіцієнти деталізації. Однак, залежно від форми функцій, які аналізуються, важливу інформацію можуть містити як коефіцієнти деталізації, так і коефіцієнти апроксимації. Тому є сенс розглянути всі можливі варіанти представлення спектрів.

Спектр може бути сформований лише коефіцієнтами усереднення, отриманими при застосуванні вейвлет-перетворення (спектр тут і далі представлений для випадку застосування вейвлет перетворення Хаара з двома базисними функціями та для випадку $N=m^n=2^3$):

$$\begin{bmatrix} s_{3,0}^z & s_{3,1}^z & s_{3,2}^z & s_{3,3}^z & s_{3,4}^z & s_{3,5}^z & s_{3,6}^z & s_{3,7}^z \\ s_{2,0}^z & s_{2,1}^z & s_{2,2}^z & s_{2,3}^z & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s_{1,0}^z & s_{1,1}^z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s_{0,0}^z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.13)$$

В цьому випадку відстежується загальний тренд зміни сигналу, без розгляду характерних його особливостей та відстеження різких змін. З іншого боку, така форма представлення дозволяє по зростанню коефіцієнтів усереднення на 3-му (найвищому) рівні розкладання судити про якісь сплески в сигналі.

Найбільше інформації про сигнал буде містити спектр, що складається з усіх, розрахованих для функції, вейвлет коефіцієнтів:

$$\begin{bmatrix} s_{3,0}^z & s_{3,1}^z & s_{3,2}^z & s_{3,3}^z & s_{3,4}^z & s_{3,5}^z & s_{3,6}^z & s_{3,7}^z \\ s_{2,0}^z & s_{2,1}^z & s_{2,2}^z & s_{2,3}^z & 0 & 0 & 0 & 0 \\ d_{2,0}^z & d_{2,1}^z & d_{2,2}^z & d_{2,3}^z & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s_{1,0}^z & s_{1,1}^z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ d_{1,0}^z & d_{1,1}^z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s_{0,0}^z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ d_{0,0}^z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.14)$$

Сpektри можуть містити коефіцієнти усереднення та деталізації, отримані на лише одному рівні розкладання:

$$\begin{bmatrix} s_{2,0}^z & s_{2,1}^z & s_{2,2}^z & s_{2,3}^z \\ d_{2,0}^z & d_{2,1}^z & d_{2,2}^z & d_{2,3}^z \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} s_{1,0}^z & s_{1,1}^z \\ d_{1,0}^z & d_{1,1}^z \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} s_{0,0}^z \\ d_{0,0}^z \end{bmatrix}. \quad (2.15)$$

Спектр, що містить 1 коефіцієнт усереднення та всі коефіцієнти деталізації, буде містити інформацію про тренд загальний і про нюанси сигналу, виявлені на різних рівнях розкладання:

$$\left[s_{0,0}^z \quad d_{0,0}^z \quad d_{1,0}^z \quad d_{1,1}^z \quad d_{2,1}^{(1)z} \quad d_{2,2}^{(1)z} \quad d_{2,3}^{(2)z} \quad d_{2,4}^{(2)z} \right] \quad (2.16)$$

Залежно від способу представлення вейвлет-спектру буде змінюватись складність подальшого процесу ідентифікації поточного стану об'єкту діагностування.

Надалі при дослідженні діаграм струму і напруги перетворювача розглядають коефіцієнти всіх типів, оскільки є задача з'ясувати як саме вони реагують на зміну параметрів перетворювача.

					ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Існує багато різних видів вейвлет перетворень, але вейвлет Хаара найбільш поширений. До того ж, з усіх видів вейвлетів, програмну реалізацію саме вейвлету Хаара можна зустріти в багатьох різних середовищах. Це зіграло вагому роль у виборі виду вейвлет-перетворення для проведення дослідження.

Наступним кроком був вибір середовища, в якому доцільно і зручно проводити дослідження. Таке середовище повинно було відповідати декільком критеріям. Воно мало бути добре знайомим, зручним, надійним, мати програмну реалізацію для роботи з вейвлет перетвореннями Хаара. Тому в даному випадку, було обрано Matlab (та Simulink) це значно спрощувало та пришвидшувало роботу.

Для діагностики був обраний понижуючий перетворювач, схема якого представлена на рис. 3.1. Потім створено його модель в середовищі Simulink (рис 3.2). Була досліджена робота цього перетворювача в різних режимах, проведено велику кількість моделювань схеми з різними значеннями ємності, індуктивності, опору навантаження і так далі. Врешті-решт, було зроблено висновок, що найбільш наочними є результати, що отримані при зміні ємності і доцільним є звернути увагу саме на це.

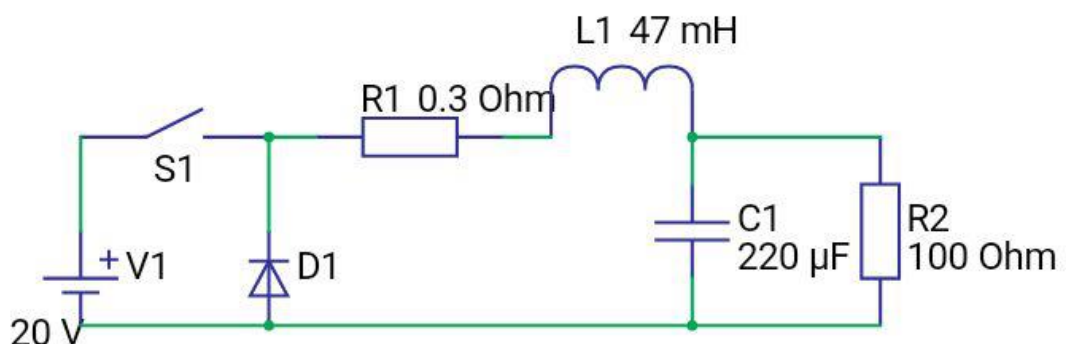


Рис.3.1 Понижуючий перетворювач

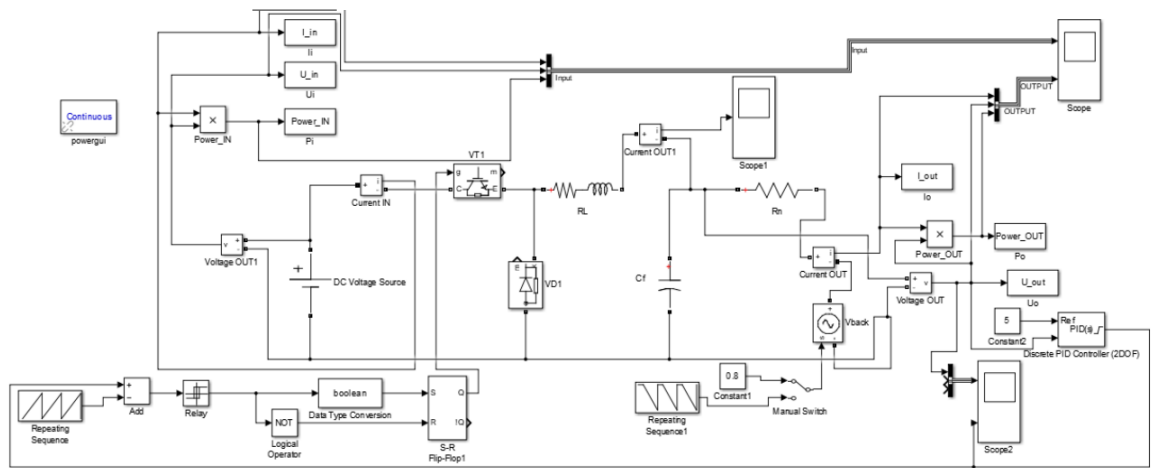
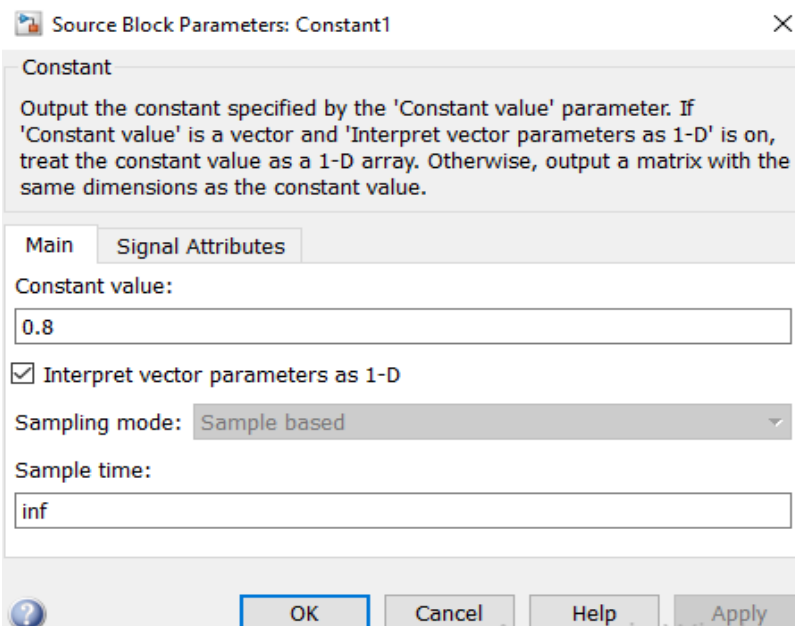


Рис.3.2 Модель для дослідження

Елементи схеми мають наступні номінали:

- вхідна напруга – 20 В;
- опір R_L -ланки – 0,3 Ом;
- індуктивність R_L -ланки – 47 мГн;
- робоча ємність 220 мкФ;
- опір навантаження 100 Ом

При моделюванні також враховано, що навантаження в реальному житті не буває чисто активним і може накопичувати енергію, яка буде передаватися в схему. Для врахування цього використано блок Constant1 (рис. 3.3)



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Рис3.3 Налаштування блоку Constant 1

Використаний при моделюванні ПІД-регулятор налаштований таким чином, що його диференціальна частина відсутня (рис 3.4).

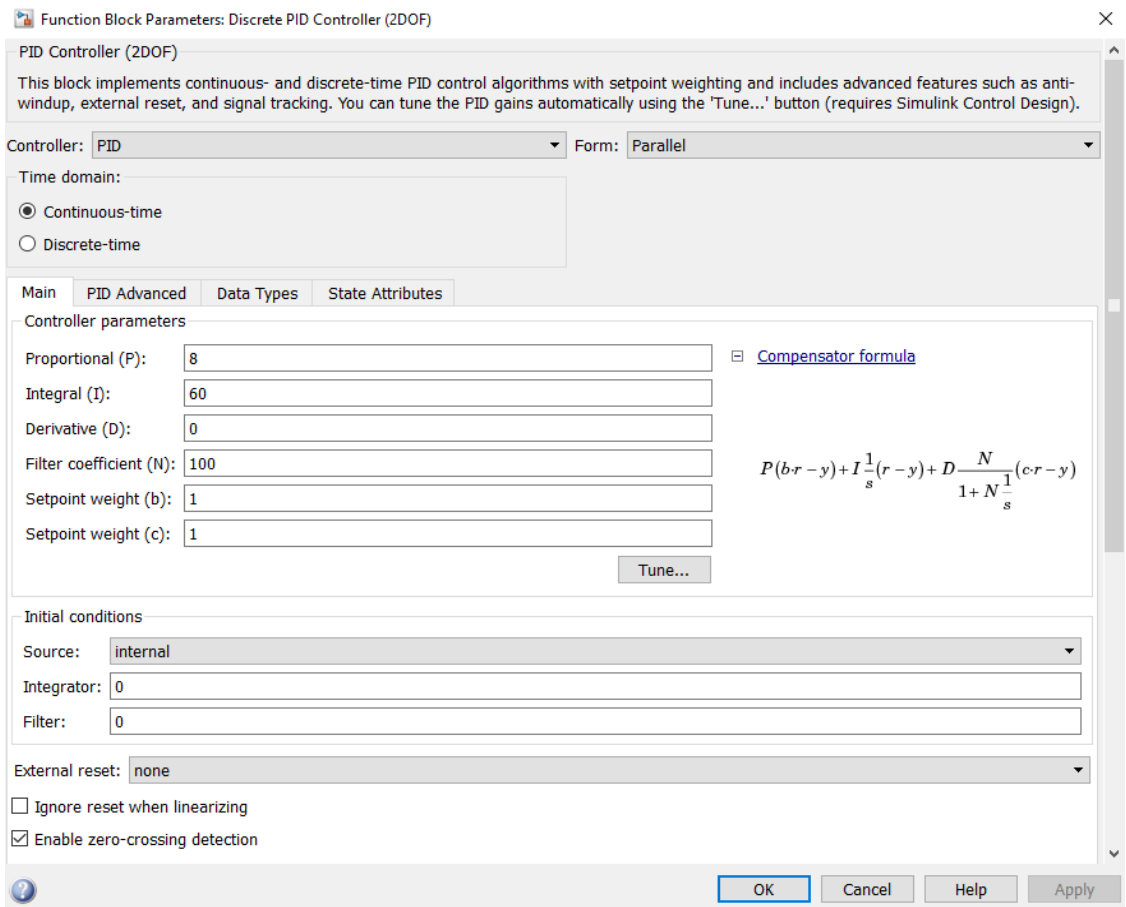


Рис. 3.4 Налаштування ПІД-регулятора

В якості діагностичних параметрів було обрано для дослідження діаграми струму. За допомогою вбудованих функцій Matlab отримано коефіцієнти для восьми рівнів розкладання. Код програми додається (додаток Б). Всі результати, отримані в результаті роботи в середовищі Matlab, наведені в додатку А.

Було проведено 25 моделювань при опорі навантаженні 100 Ом. Змінюючи ємність від 5 до 230 мкФ. При чому від 5 до 90 змінюючи ємність з кроком 5, а від 90 до 230 з кроком 20. Також проведено по 5 моделювань при опорі навантаження 10 і 1000 Ом, встановлюючи при цьому ємність 0, 20, 50, 100 та 220 мкФ. Отримано графіки, що описують значення коефіцієнтів апроксимації та деталізації, з яких в подальшому було

										Арк.
										29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

виокремлено мінімальні та максимальні значення, яких досягають ці коефіцієнти при зміні ємності, що зведено до таблиць для зручності. Відповідні таблиці викладені нижче. Значення коефіцієнтів апроксимації та деталізації при опорі навантаження 100 Ом та при різній ємності наведено у табл. 3.1 та 3.2 відповідно.

Значення коефіцієнтів апроксимації та деталізації при опорі навантаження 100 Ом та при різній ємності наведено у табл. 3.3 та 3.4 відповідно.

Значення коефіцієнтів апроксимації та деталізації при опорі навантаження 1000 Ом та при різній ємності наведено у табл. 3.5 та 3.6 відповідно.

Аналізуючи отримані таблиці, можна зауважити, що коефіцієнти апроксимації першого, другого, третього та четвертого рівня розкладання не змінюють своїх максимальних та мінімальних значень при зміні ємності, присутні лише незначні відмінності при деяких значеннях ємності, що радше є неточністю при аналізі графіків та перетворенні їх в таблицю, аніж корисною інформацією. Якщо розглядати вищі рівні розкладання, то вже стає помітним, що діапазон значень, в яких знаходиться мінімум та максимум поступово змінюється. На п'ятому рівні розкладання, мінімальні значення залишаються майже незмінними, тоді як максимальні починають коливатися в діапазоні від 0,104 до 0,1075. А на шостому рівні починає також змінюватися мінімум, приймаючи значення від 0,137 до 0,139 і розширюватися діапазон максимумів від 0,147 до 0,152. Для сьомого рівня мінімальні значення від 0,195 до 0,198, а максимальні від 0,207 до 0,214. І, нарешті, для восьмого рівня розкладання мінімальні значення коливаються в діапазоні від 0,281 до 0,2836, а максимальні від 0,287 до 0,292.

					<i>ДС52.521.421.001 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1

Ємність, мкФ		Коефіцієнти апроксимації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
5	Від	0,002	0,021	0,038	0,06	0,0955	0,1385	0,198	0,2836
	До	0,042	0,052	0,054	0,076	0,1075	0,152	0,207	0,289
10	Від	0,002	0,021	0,037	0,06	0,0955	0,1375	0,196	0,281
	До	0,044	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,214	0,291
15	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,094	0,139	0,197	0,282
	До	0,044	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,214	0,291
20	Від	0,002	0,021	0,039	0,06	0,095	0,138	0,1975	0,283
	До	0,044	0,053	0,054	0,076	0,1055	0,15	0,211	0,289
25	Від	0,002	0,022	0,039	0,06	0,094	0,1385	0,1975	0,282
	До	0,044	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,213	0,291
30	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,094	0,138	0,195	0,281
	До	0,044	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,214	0,292
35	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,1375	0,198	0,2825
	До	0,044	0,053	0,054	0,076	0,104	0,147	0,208	0,2875
40	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,139	0,197	0,2825
	До	0,043	0,053	0,054	0,076	0,106	0,149	0,211	0,2895
45	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,094	0,1385	0,197	0,282
	До	0,043	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,214	0,2905
50	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,197	0,283
	До	0,042	0,052	0,054	0,076	0,104	0,148	0,208	0,288
55	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,197	0,2815
	До	0,042	0,052	0,054	0,076	0,107	0,151	0,213	0,291
60	Від	0,002	0,022	0,038	0,061	0,095	0,139	0,198	0,283
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,213	0,2915
65	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,139	0,197	0,2825
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,106	0,150	0,211	0,2895

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.521.421.001 ПЗ

Арк.

31

Продовження табл.3.1

70	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,197	0,2825
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,106	0,149	0,211	0,2895
75	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,094	0,138	0,197	0,283
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,104	0,147	0,208	0,287
80	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,137	0,1975	0,2825
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,213	0,291
85	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,197	0,2825
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,213	0,2915
90	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,196	0,281
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,106	0,149	0,211	0,29
110	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,197	0,2815
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,214	0,292
130	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,198	0,2825
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,106	0,149	0,211	0,2895
150	Від	0,002	0,022	0,039	0,06	0,095	0,139	0,198	0,2825
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,106	0,149	0,211	0,29
170	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,197	0,2825
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,106	0,149	0,211	0,29
190	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,094	0,138	0,196	0,2825
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,106	0,149	0,211	0,289
210	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,197	0,2835
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,106	0,149	0,211	0,2905
230	Від	0,002	0,022	0,038	0,06	0,095	0,138	0,198	0,2835
	До	0,042	0,053	0,054	0,076	0,107	0,151	0,214	0,2915

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.521.421.001 ПЗ

Арк.

32

Таблиця 3.2

Ємність, МКФ		Коефіцієнти деталізації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
5	Від	-0,029	-0,02	-0,021	-0,007	-0,01	-0,005	-0,0078	-0,0035
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,01	0,0062	0,002	0,0034
10	Від	-0,029	-0,02	-0,021	-0,007	-0,01	-0,005	-0,0039	-0,0115
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,01	0,006	0,0041	0,004
15	Від	-0,029	-0,02	-0,021	-0,007	-0,01	-0,006	-0,004	-0,011
	До	0,03	0,02	0,022	0,01	0,01	0,006	0,003	0,003
20	Від	-0,029	-0,02	-0,021	-0,006	-0,01	-0,006	-0,004	-0,01
	До	0,03	0,02	0,022	0,01	0,01	0,006	0,004	0,005
25	Від	-0,029	-0,02	-0,021	-0,006	-0,01	-0,007	-0,005	-0,011
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,01	0,006	0,004	0,002
30	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,01	-0,006	-0,003	-0,01
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,009	0,006	0,005	0,005
35	Від	-0,029	-0,02	-0,021	-0,006	-0,01	-0,005	-0,004	-0,008
	До	0,03	0,02	0,022	0,011	0,01	0,006	0,004	0,003
40	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,01	-0,005	-0,0035	-0,009
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,009	0,006	0,0035	0,004
45	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,01	-0,006	-0,0035	-0,012
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,01	0,007	0,004	0,004
50	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,01	-0,006	-0,003	-0,007
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,01	0,006	0,0045	0,0035
55	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,011	-0,006	-0,0025	-0,011
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,011	0,006	0,0035	0,004
60	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,01	-0,006	-0,003	-0,011
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,011	0,0055	0,004	0,003
65	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,006	-0,003	-0,009
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,01	0,006	0,004	0,0035

Арк.

ДС52.521.421.001 ПЗ

33

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження табл.3.2

70	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,011	-0,006	-0,0028	-0,009
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,011	0,006	0,0034	0,0035
75	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,01	-0,006	-0,003	-0,008
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,01	0,006	0,0045	0,003
80	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,01	-0,006	-0,0045	-0,011
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,01	0,006	0,004	0,003
85	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,005	-0,004	-0,0105
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,01	0,005	0,0045	0,0045
90	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,005	-0,003	-0,009
	До	0,03	0,02	0,02	0,011	0,009	0,006	0,0035	0,003
110	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,006	-0,003	-0,011
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,01	0,006	0,004	0,0035
130	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,006	-0,0025	-0,009
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,01	0,0055	0,004	0,003
150	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,006	-0,01	-0,006	-0,003	-0,009
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,01	0,005	0,004	0,003
170	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,006	-0,005	-0,009
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,01	0,006	0,0035	0,004
190	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,006	-0,003	-0,01
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,009	0,006	0,0055	0,005
210	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,006	-0,004	-0,008
	До	0,03	0,02	0,021	0,01	0,01	0,007	0,004	0,005
230	Від	-0,029	-0,02	-0,02	-0,007	-0,01	-0,005	-0,0035	-0,011
	До	0,03	0,02	0,021	0,011	0,01	0,006	0,003	0,0025

Таблиця 3.3

Ємність, МКФ		Коефіцієнти апроксимації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0	Від	0,29	0,41	0,88	1,35	2,12	3,15	4,49	6,44
	До	0,58	0,83	1,18	1,66	2,35	3,32	4,7	6,56
20	Від	0,29	0,62	1,02	1,44	2,055	2,91	4,12	5,945
	До	0,59	0,83	1,175	1,56	2,2	3,07	4,29	6,035
50	Від	0,29	0,62	1,02	1,44	2,05	2,91	4,11	5,915
	До	0,59	0,83	1,17	1,56	2,2	3,06	4,28	6,03
100	Від	0,29	0,62	1,02	1,435	2,05	2,9	4,1	5,91
	До	0,59	0,83	1,17	1,555	2,2	3,055	4,28	6,025
220	Від	0,29	0,62	1,02	1,435	2,05	2,9	4,1	5,9
	До	0,59	0,83	1,17	1,555	2,19	3,1	4,32	6,04

Таблиця 3.4

Ємність, МКФ		Коефіцієнти деталізації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0	Від	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	-0,23	-0,15	-0,11	-0,08
	До	0,3	0,2	0,15	0,1	0,075	0,15	0,11	0,125
20	Від	-0,3	-0,2	-0,15	-0,1	-0,075	-0,053	-0,038	-0,03
	До	0,3	0,2	0,15	0,1	0,075	0,05	0,035	0,125
50	Від	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	-0,075	-0,052	-0,039	-0,03
	До	0,3	0,2	0,15	0,1	0,075	0,052	0,035	0,1
100	Від	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	-0,075	-0,053	-0,038	-0,03
	До	0,3	0,2	0,15	0,1	0,075	0,052	0,036	0,1
220	Від	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	-0,075	-0,053	-0,075	-0,05
	До	0,3	0,2	0,15	0,1	0,075	0,052	0,035	0,1

Таблиця 3.5

Ємність, мкФ		Коефіцієнти апроксимації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0	Від	0,0007	0,0046	0,0077	0,012	0,0176	0,0263	0,0384	0,0554
	До	0,0063	0,0087	0,0122	0,017	0,0234	0,0319	0,0445	0,0618
20	Від	0,0004	0,0018	0,0039	0,0061	0,0089	0,0133	0,019	0,0271
	До	0,0036	0,005	0,0054	0,0073	0,0099	0,014	0,0194	0,0274
50	Від	0,0004	0,0018	0,0039	0,006	0,009	0,0133	0,0189	0,0271
	До	0,0036	0,005	0,0054	0,0073	0,0099	0,014	0,0195	0,0273
100	Від	0,0005	0,0018	0,004	0,0061	0,0091	0,0133	0,019	0,0272
	До	0,004	0,0057	0,0057	0,0075	0,0101	0,014	0,0195	0,0273
220	Від	0,0005	0,0017	0,0039	0,0061	0,009	0,0134	0,0191	0,027
	До	0,0044	0,006	0,0062	0,0073	0,0101	0,0142	0,0197	0,0275

Таблиця 3.6

Ємність, мкФ		Коефіцієнти деталізації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0	Від	-0,003	-0,0036	-0,0029	-0,0022	-0,002	-0,002	-0,0033	-0,001
	До	0,003	0,0034	0,0027	0,0024	0,0018	0,002	0,0023	0,001
20	Від	-0,003	-0,0022	-0,0022	-0,0061	-0,0075	-0,006	-0,005	-0,0005
	До	0,0031	0,0022	0,0022	0,0061	0,005	0,006	0,0045	0,00245
50	Від	-0,003	-0,0022	-0,0022	-0,006	-0,007	-0,005	-0,0035	-0,002
	До	0,0033	0,0021	0,0022	0,0065	0,004	0,007	0,0045	0,004
100	Від	-0,0032	-0,0024	-0,0022	-0,0006	-0,007	-0,006	-0,005	-0,0015
	До	0,0038	0,0022	0,0022	0,008	0,005	0,005	0,004	0,0035
220	Від	-0,0035	-0,0027	-0,0024	-0,0006	-0,007	-0,006	-0,005	-0,001
	До	0,004	0,0024	0,0022	0,0015	0,0055	0,007	0,004	0,0045

										Арк.
										36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДС52.521.421.001 ПЗ					

Що стосується коефіцієнтів деталізації, то тут незмінними залишаються значення для першого та другого рівнів розкладання. Для третього рівня мінімальні значення є незмінними і відповідають $-0,02$, а максимальні коливаються від $0,02$ до $0,022$. Для четвертого рівня мінімальні значення хаотично змінюються від $-0,007$ до $-0,006$, а максимальні від $0,01$ до $0,011$. Для п'ятого мінімальні значення коливаються в межах від $-0,011$ до $-0,01$, тоді як максимальні від $0,009$ до $0,01$. Для шостого рівня мінімальні значення знаходяться в межах від $-0,007$ до $-0,005$, а максимальні від $0,005$ до $0,007$. Для сьомого мінімальні від $-0,0078$ до $-0,0025$, а максимальні від $0,002$ до $0,0055$. І, нарешті, для восьмого мінімальні від $-0,012$ до $-0,0035$, а максимальні від $0,002$ до $0,005$.

Щоб краще зрозуміти, що нам дає саме це дослідження, було представлено дані результати у вигляді графіків, що описують залежність зміни максимальних та мінімальних значень коефіцієнтів апроксимації та деталізації від ємності. Найбільш інформаційні графіки залежності коефіцієнту апроксимації від ємності наведено нижче на рис 3.5, рис. 3.6, рис 3.7, рис 3.8. Найбільш інформаційні графіки залежності коефіцієнту деталізації від ємності наведено на рис 3.9, рис. 3.10, рис 3.11, рис 3.12. Всі графіки представлено у додатку В.

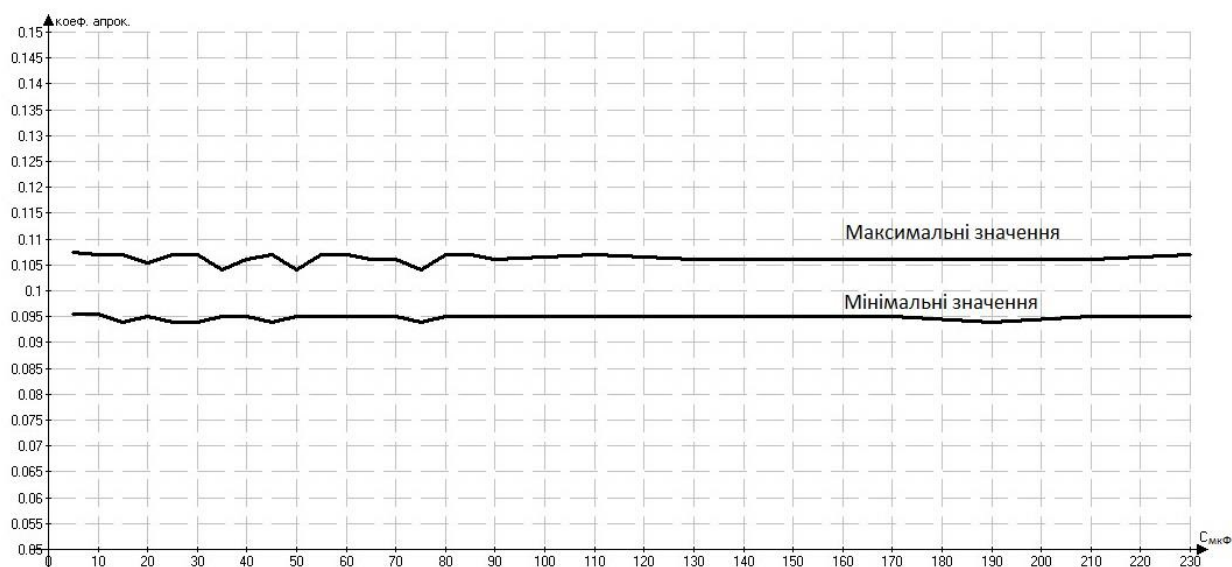


Рис 3.5. П'ятий рівень розкладання при опорі навантаження 100 Ом. Коефіцієнти апроксимації

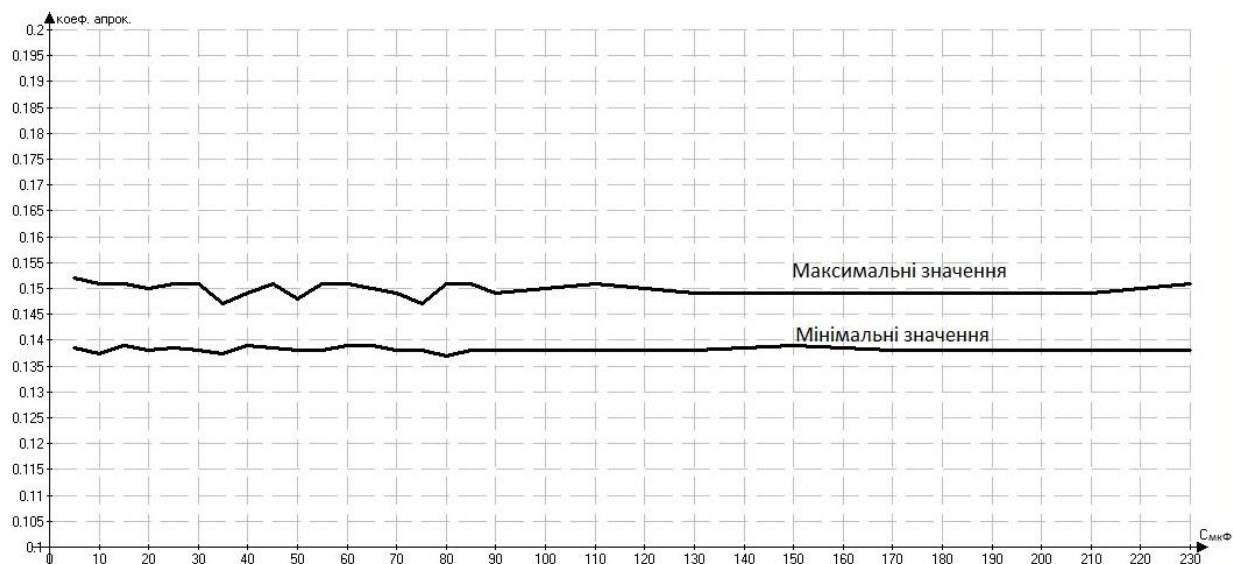


Рис 3.6. Шостий рівень розкладання при опорі навантаження 100 Ом Коефіцієнти апроксимації

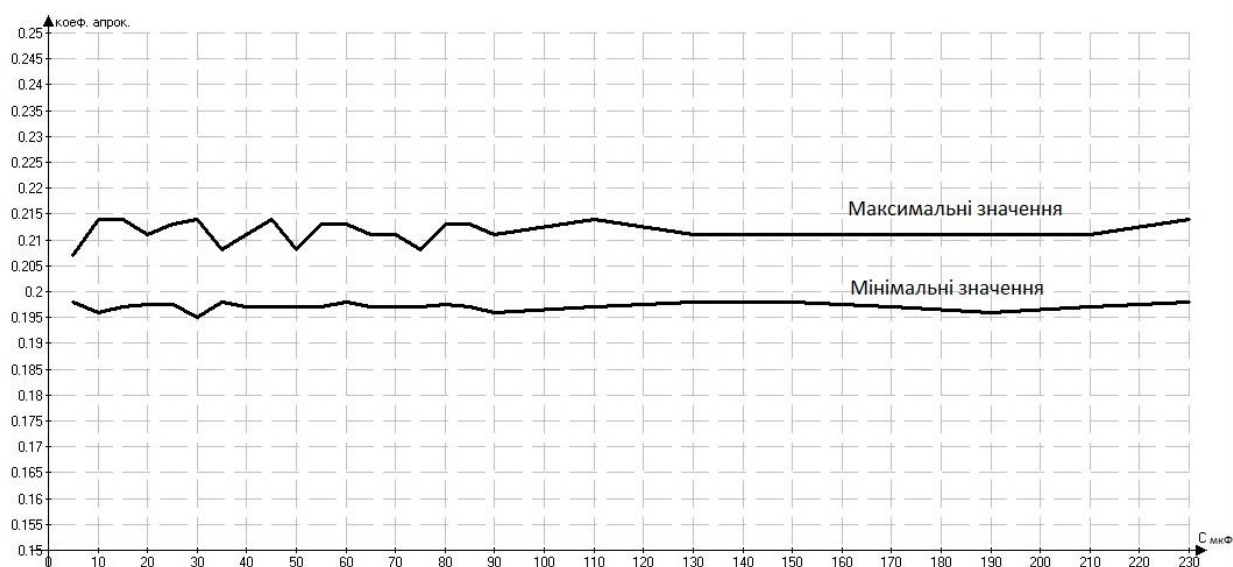


Рис 3.7. Сьомий рівень розкладання при опорі навантаження 100 Ом. Коефіцієнти апроксимації

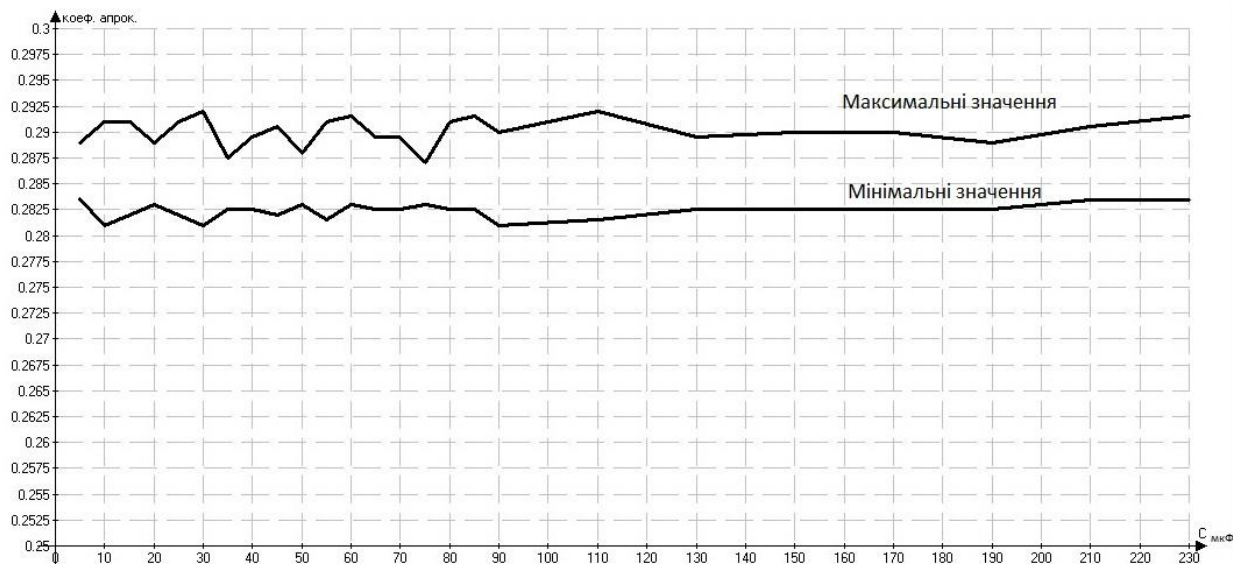


Рис 3.8. Восьмий рівень розкладання при опорі навантаження 100 Ом. Коефіцієнти апроксимації

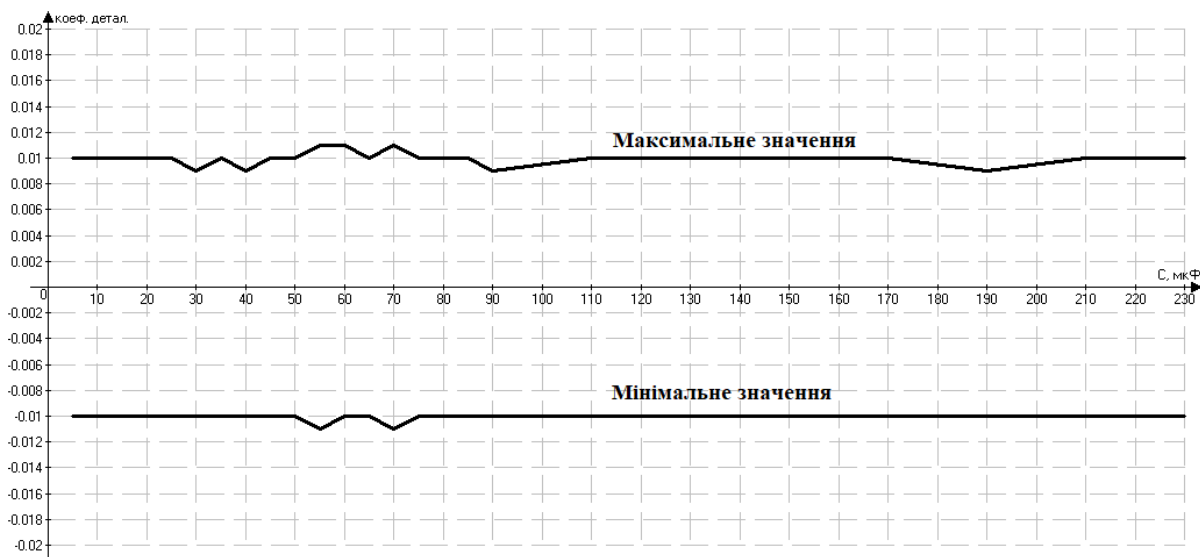


Рис 3.9. П'ятий рівень розкладання при опорі навантаження 100 Ом. Коефіцієнти деталізації

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.521.421.001 ПЗ

Арк.

39

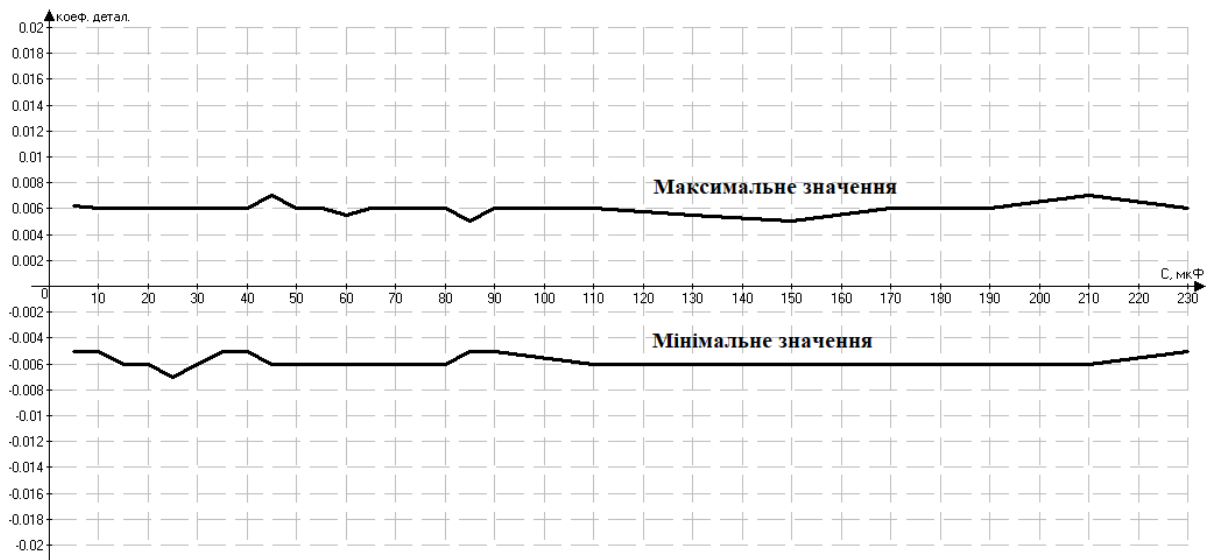


Рис 3.10. Шостий рівень розкладання при опорі навантаження 100 Ом. Коефіцієнти деталізації

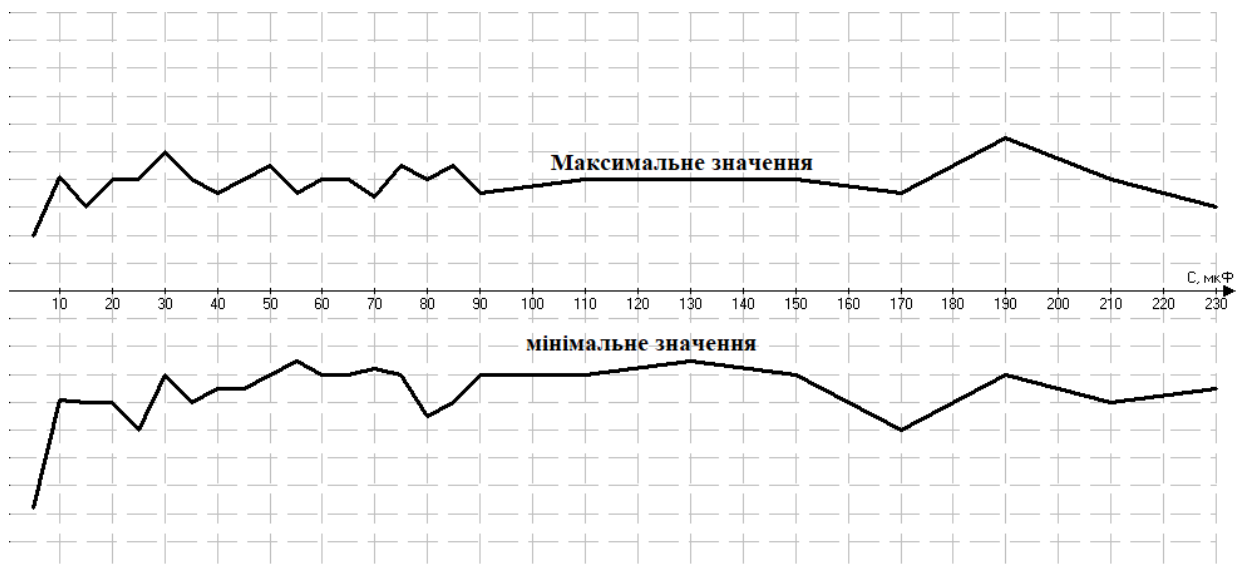


Рис 3.11. Сьомий рівень розкладання при опорі навантаження 100 Ом. Коефіцієнти деталізації

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.521.421.001 ПЗ

Арк.

40

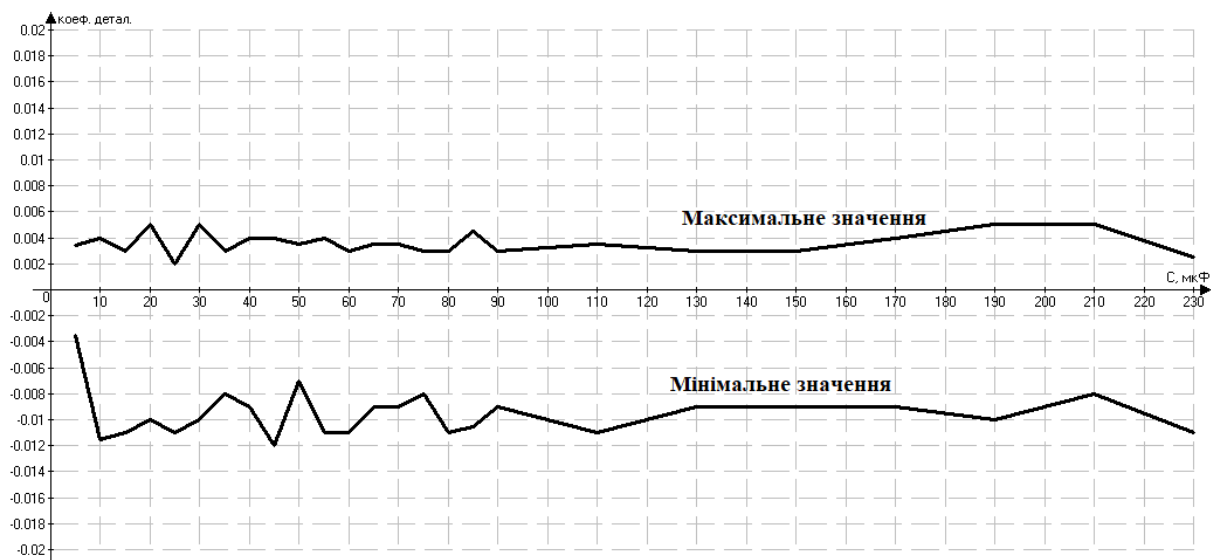


Рис 3.12. Восьмий рівень розкладання при опорі навантаження 100 Ом. Коефіцієнти деталізації

З наведених графіків видно, що при значній зміні ємності за допомогою вейвлет аналізу можна помітити проблему, оскільки ця зміна сильно впливає на коефіцієнти апроксимації та деталізації.

ВИСНОВКИ

При діагностуванні несправностей в роботі перетворювачів виникає проблема класифікації або своєчасності виявлення помилок. Оскільки переважна більшість сучасних приладів має блочну структуру, інколи ми можемо отримати доступ лише до входів та виходів певних блоків, що значно ускладнює діагностування.

Для спрощення діагностування різних проблем в роботі перетворювачів необхідно мати чітку класифікацію проблем, які можуть виникати.

З цією метою було виконано моделювання понижуючого перетворювача та досліджено його поведінку при зміні ємності конденсатора в широких межах.

Як показали розрахунки, вейвлет аналіз діаграм дозволяє зменшити кількість дискретних значень які аналізуються, а також визначити діапазони зміни спектральних коефіцієнтів, які відповідають певним значенням ємності.

Зміна діапазону між максимальними та мінімальними значеннями коефіцієнтів на одному рівні розкладання, свідчить про відхилення ємності від номінального значення – як видно з графіків ця залежність є прямою і більшій зміні ємності відповідає інтенсивніша зміна діапазону.

					ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A.M.Gaouda, V.K.Sood, A.Y. Chikhani, “Disturbance Monitoring in HVDC Systems Using Wavelet Multiresolution Analysis”, IEEE Transactions on Power System, Vol. 16, No.4, November 2000. Pp. 678-684.
2. Farid Khoucha, Soumia Mouna Lagoun, Khoudir Marouani, Abdelaziz Kheloui, Hybrid Cascaded H-Bridge Multilevel-Inverter Induction-Motor-Drive Direct Torque Control for Automotive Applications, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 3 PP.892-899, 2010
3. Garapati Durga Prasad , V. Jegathesan , Veerasamy Moorthy. Minimization of power loss in newfangled cascaded H-bridge multilevel inverter using in-phase disposition PWM and wavelet transform based fault diagnosis// Ain Shams Engineering Journal (<http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2016.09.008>)
4. Jianbo Gao, Yang Ji, Johann Bals, Ralph Kennel. Fault Detection of Power Electronic Circuit using Wavelet Analysis in Modelica// Proceedings of the 9th International Modelica Conference, September 3-5, 2012, Munich, Germany. – pp.513-522
5. Jong-Min Cheon, Choon-Kyung KilO, Jong-Moo Lee, Seog-Ju Kim and Soonman Kwon. A New Fault Detector for Three-Phase Half-Wave Converter Using Wavelet Transform// IFAC Power Plants and Power Systems Control. – 2003. - pp.945-950
6. K.Satyanarayana*, Saheb Hussain MD**, B.Ramesh* Identification of Faults in HVDC System using Wavelet Analysis Vol.2, No.2, April 2012, pp. 175~182
7. M. S. Khanniche and M. R. Mamat-Ibrahim. Fault Detection and Diagnosis of 3-Phase Inverter System// Rev. Energ. Ren.: Power Engineering. – 2001. – pp. 69-75
8. Surin Khomfoi and Leon M. Tolbert, Chapter 31 multilevel power converters, The university of tennssae, 2010

					ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

9. V.Vinothkumar, Dr.C.Muniraj. Fault Diagnosis in H-Bridge Multilevel Inverter Drive Using Wavelet Transforms//International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. - Vol. 2, Issue 4, April 2013. – pp.1255-1262
- 10.Агамалов О.Н. Методика оценки технического состояния электрооборудования в реальном масштабе времени с помощью нечетких авторегрессионных моделей с внешним выходом // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”. – 2004. – Ч. 2. – С. 37-42.].
- 11.Аронов В.Л., Федотов Я.А. Испытание и исследование полупроводниковых приборов. Учебн. Пособие для специальностей полупроводниковой техники вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 325 с.
- 12.Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук.– 1996. – № 166. – С. 1145-1170
- 13.Бондаренко В.М., Редковец С.Н. Методы диагностики электрических цепей / К., 1985. – 44с. (Препр. / ИЭД АН УССР; 388).
- 14.Вержановская М.Р. Идентификация параметров силовой схемы и нагрузки в преобразователях частоты / Дисс. канд. техн. наук: 05.09.12. – Харьков, 2005. – 152 с.,
- 15.Гончаров Ю.П., Будьонний О.В., Морозов В.Г., Панасенко М.В., Ромашко В.Я., Руденко В.С. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч.2 / За ред. В. С. Руденка. – Харків: Фоліо, 200. – 360 с.
- 16.Домнин И.Ф., Вержановская М.Р., Прокопенко В.Ю. Оптимизация структуры микропроцессорной системы управления прогнозного типа // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”. – 2004. – Ч.2. – С. 55-60.
- 17.Домнин И.Ф., Севрюков О.В., Вержановская М.Р. Локализация неисправностей силовой схемы автономного инвертора тока // Third International Scientific and Technical Conference on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems. – 1997. – Vol.2 – С.547-552.

						ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
							44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

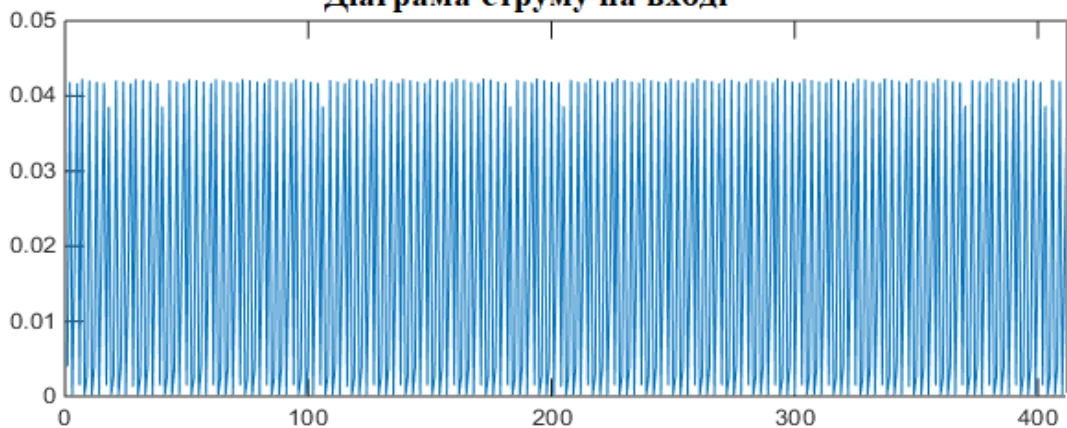
18. Жуйков В.Я., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С. Дискретные спектральные преобразования на конечных интервалах. – К.: НТУУ «КПИ», 2010. – 244с.
19. Жуйков В.Я., Терещенко Т.О., Хижняк Т.А. Вейвлет-перетворення дискретних функцій з m базисними СКІ функціями // Доповіді НАН України. – 2006. – №1. – С.99-101.
20. Залманзон Л.А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1989. – 496 с.
21. Захарченко М. В., Клименко В. А., Філатов Г. Г., Кривіленко В. М. Системи експлуатації обладнання передавання даних: Навч. посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2003. – 65 стор.
22. Клюев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. и др.; Технические средства диагностирования: Справочник. Под общ.ред. Клюева В.В. – М.: Машиностроение, 1989. – 672с., ил.
23. Лисенко Я.С. Класифікація станів перетворювачів за вейвлет-спектрами. Дис...маг. 2018.
24. Петергеря Ю.С., Хижняк Т.А. Дослідження впливу параметрів елементів квазірезонансного перетворювача на вейвлет-спектр вихідної напруги // Електроніка и связь. – 2007. – №5. – С. 33-38.
25. Руденко В.С., Ромашко В.Я., Морозов В.Г. Перетворювальна техніка. Частина 1: Підручник. – К.: ІСДО, 1996. – 262 с.,
26. Хижняк Т.А. Діагностика напівпровідникових перетворювачів із застосуванням вейвлет-функцій m -ічного аргументу: Дис... канд. наук: 05.09.12 - 2008.
27. Хижняк Т.А. Определение параметров элементов полупроводниковых преобразователей по коэффициентам вейвлет-спектров // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”. – 2006. – Ч.3 – С.10-12.

						ДС52.521.421.001 ПЗ	Арк.
							45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

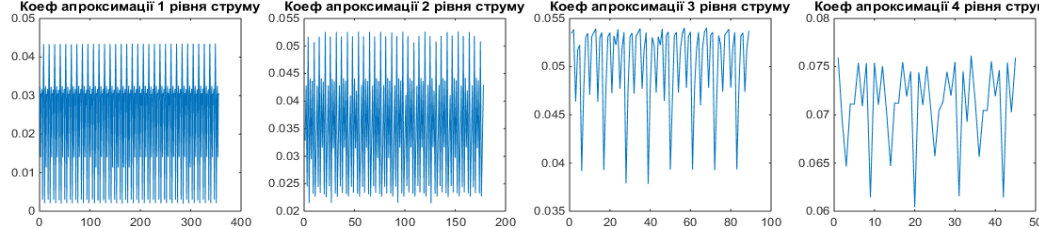
Опір навантаження 100 Ом

Ємність 5 мкФ

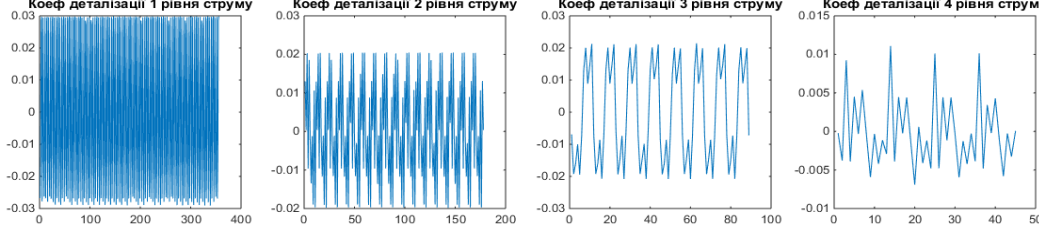
Діаграма струму на вході



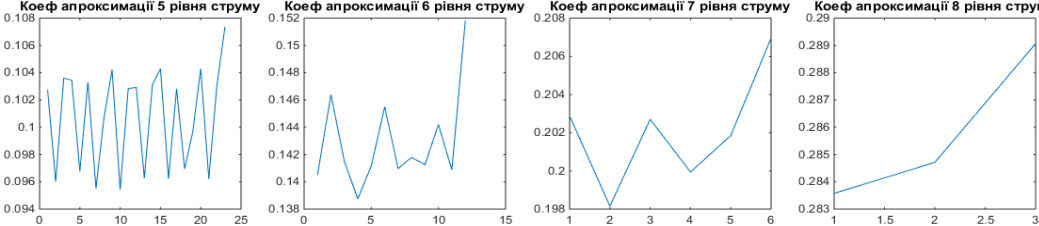
Коеф апроксимації 1 рівня струму Коеф апроксимації 2 рівня струму Коеф апроксимації 3 рівня струму Коеф апроксимації 4 рівня струму



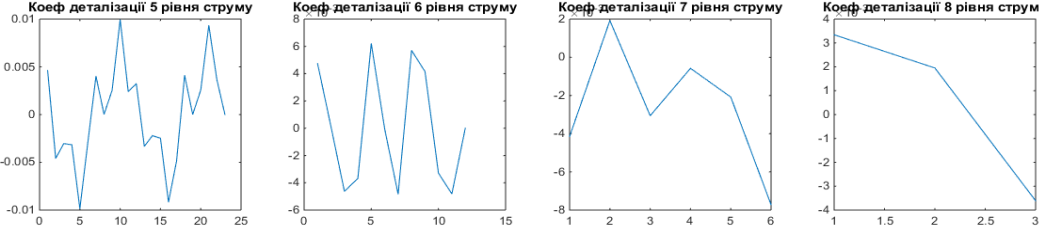
Коеф деталізації 1 рівня струму Коеф деталізації 2 рівня струму Коеф деталізації 3 рівня струму Коеф деталізації 4 рівня струму



Коеф апроксимації 5 рівня струму Коеф апроксимації 6 рівня струму Коеф апроксимації 7 рівня струму Коеф апроксимації 8 рівня струму

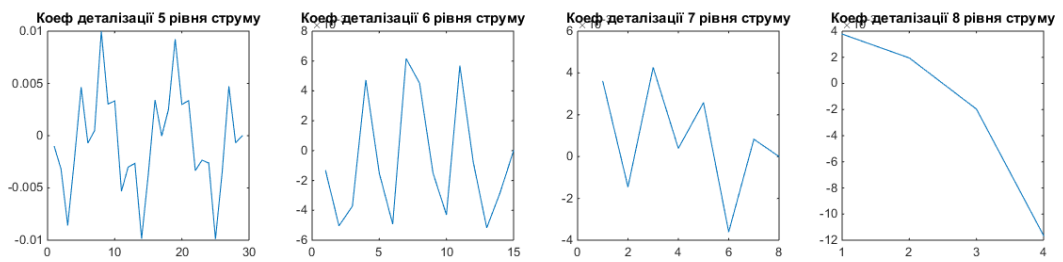
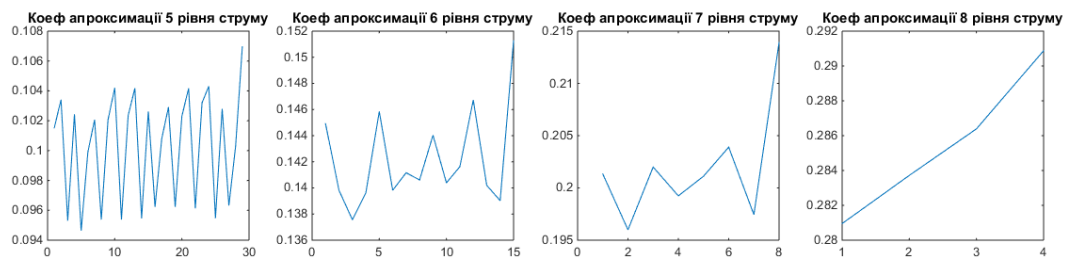
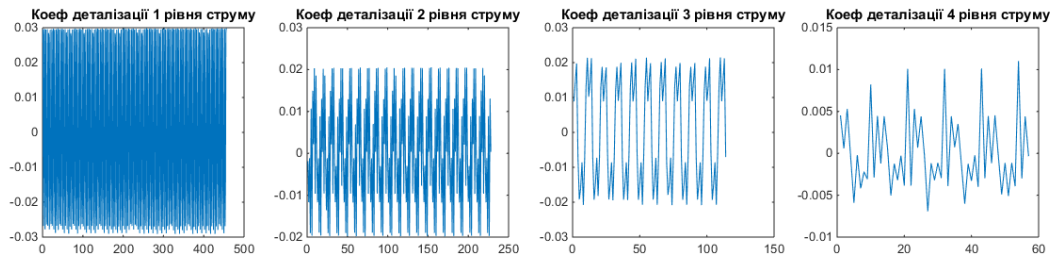
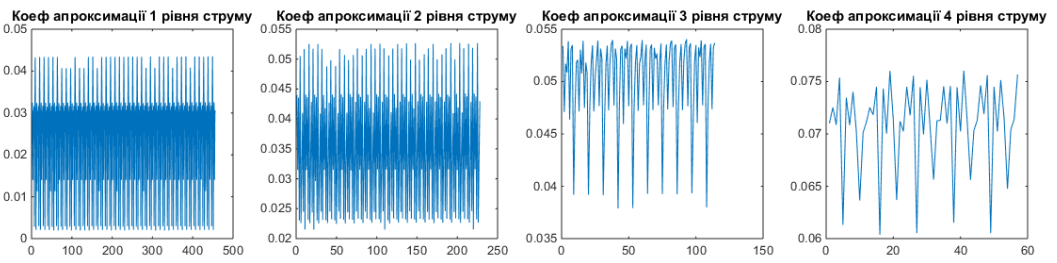
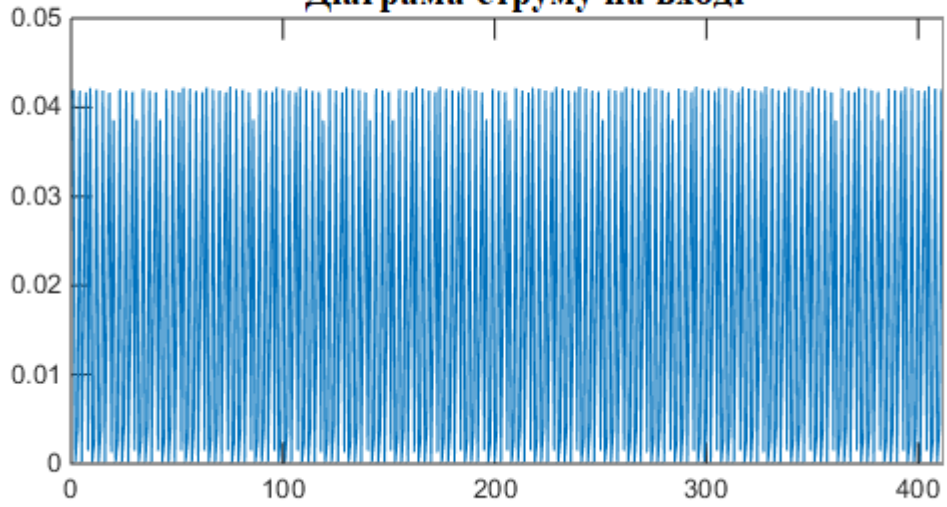


Коеф деталізації 5 рівня струму Коеф деталізації 6 рівня струму Коеф деталізації 7 рівня струму Коеф деталізації 8 рівня струму



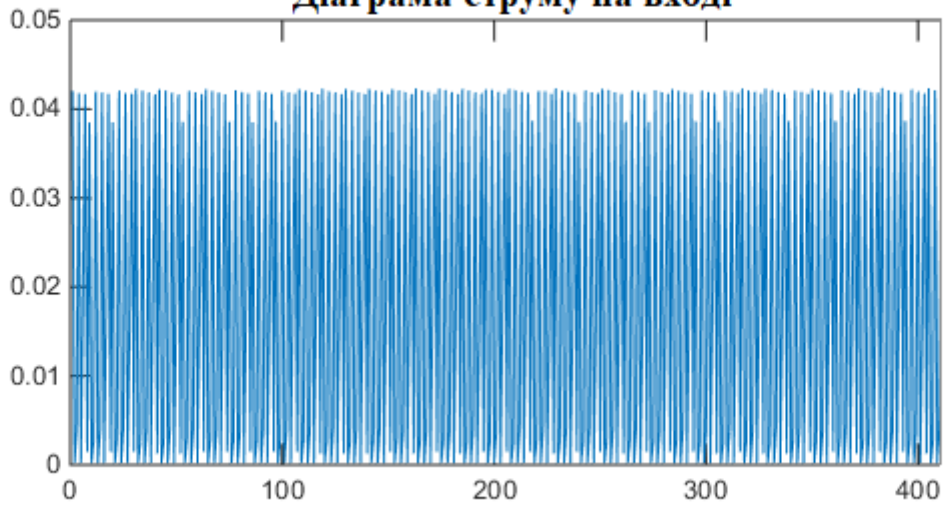
Ємність 10 мкФ

Діаграма струму на вході

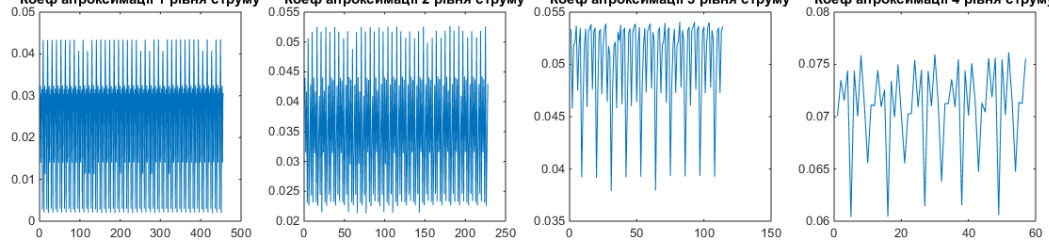


Ємність 15 мкФ

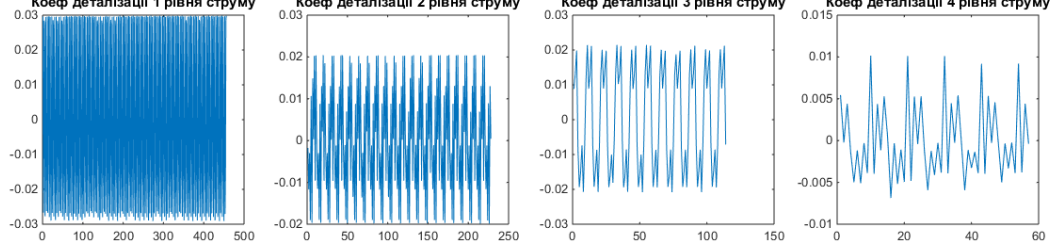
Діаграма струму на вході



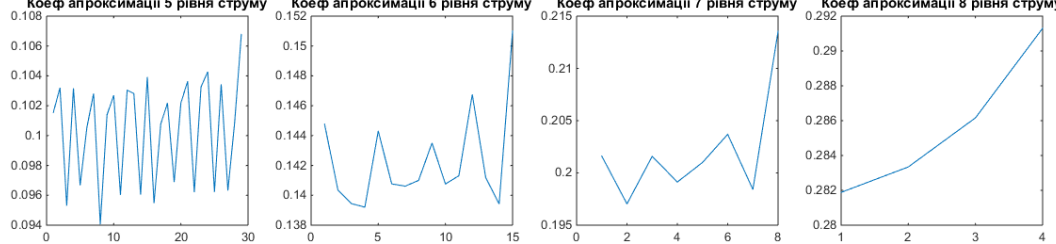
Коеф апроксимації 1 рівня струму Коеф апроксимації 2 рівня струму Коеф апроксимації 3 рівня струму Коеф апроксимації 4 рівня струму



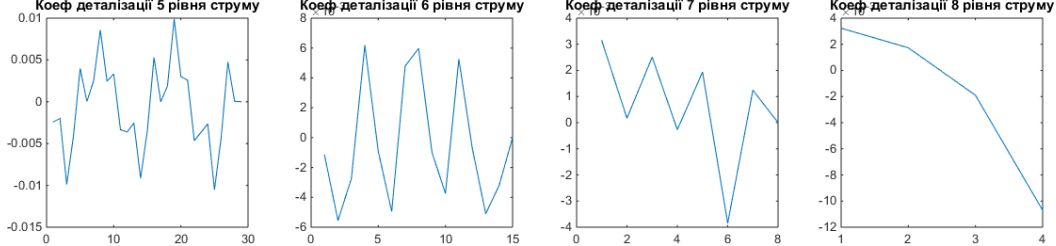
Коеф деталізації 1 рівня струму Коеф деталізації 2 рівня струму Коеф деталізації 3 рівня струму Коеф деталізації 4 рівня струму



Коеф апроксимації 5 рівня струму Коеф апроксимації 6 рівня струму Коеф апроксимації 7 рівня струму Коеф апроксимації 8 рівня струму

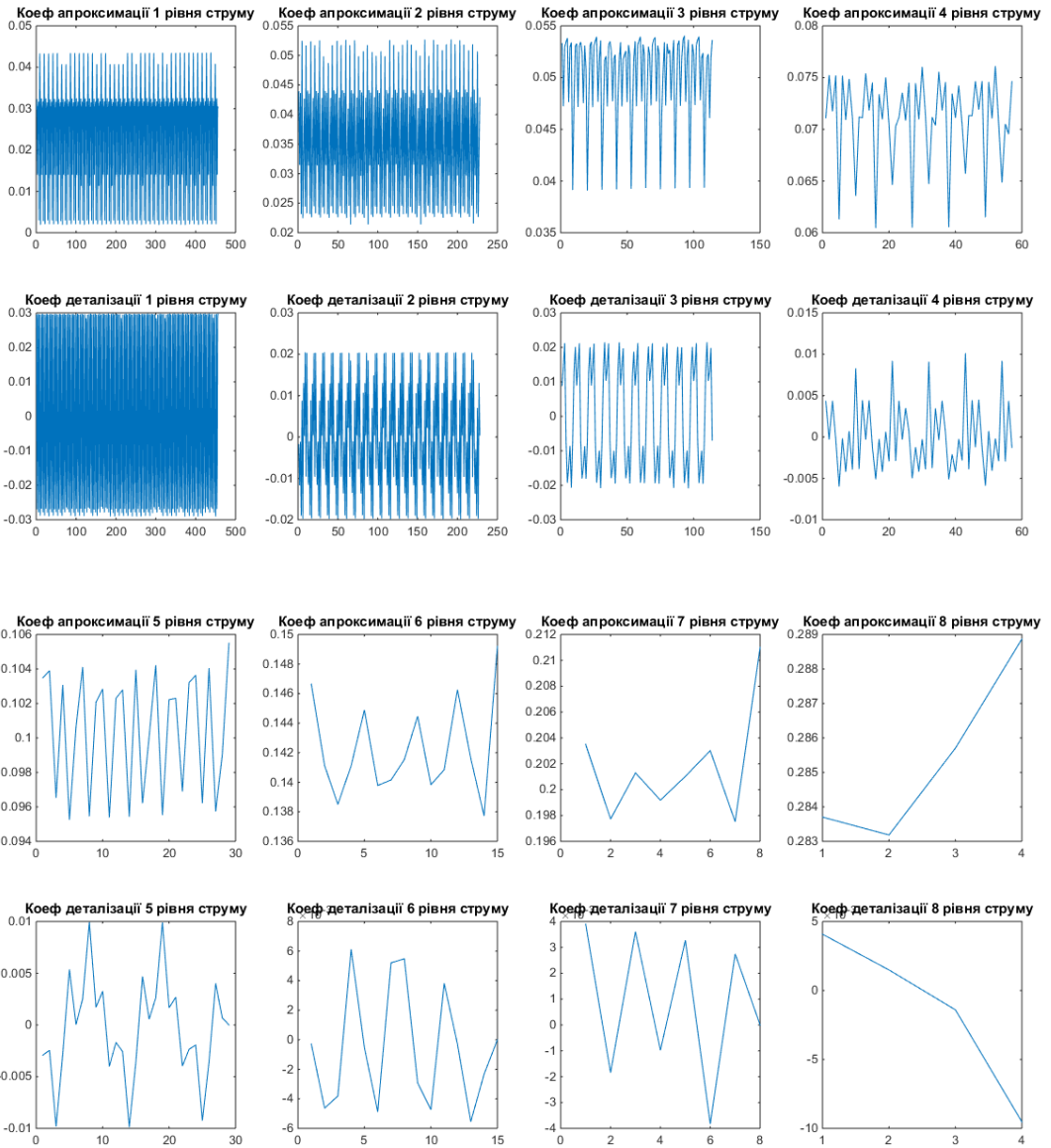
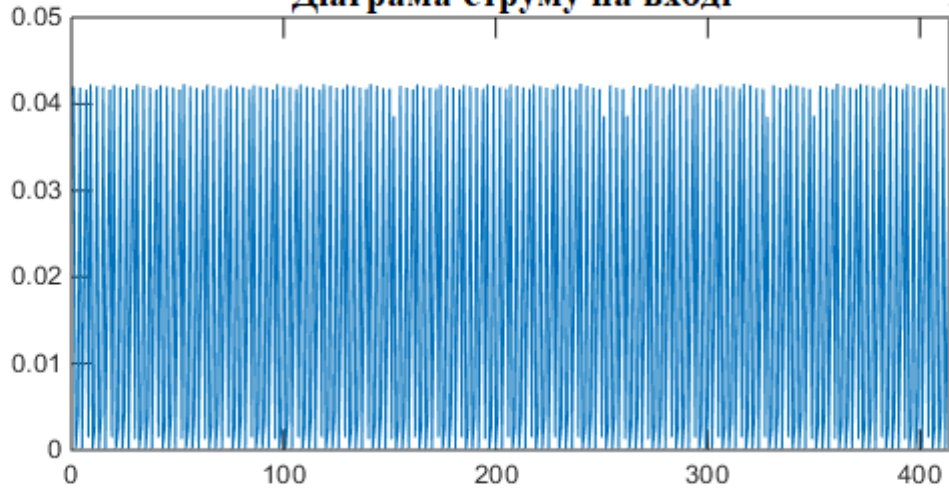


Коеф деталізації 5 рівня струму Коеф деталізації 6 рівня струму Коеф деталізації 7 рівня струму Коеф деталізації 8 рівня струму



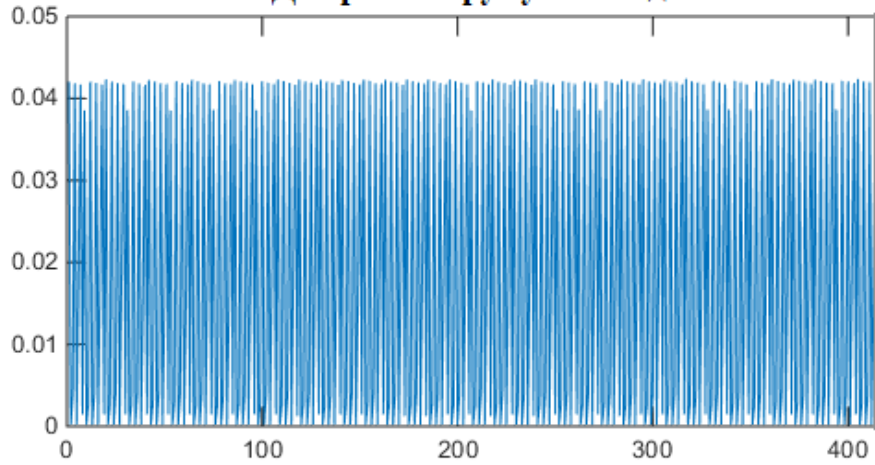
Ємність 20 мкФ

Діаграма струму на вході



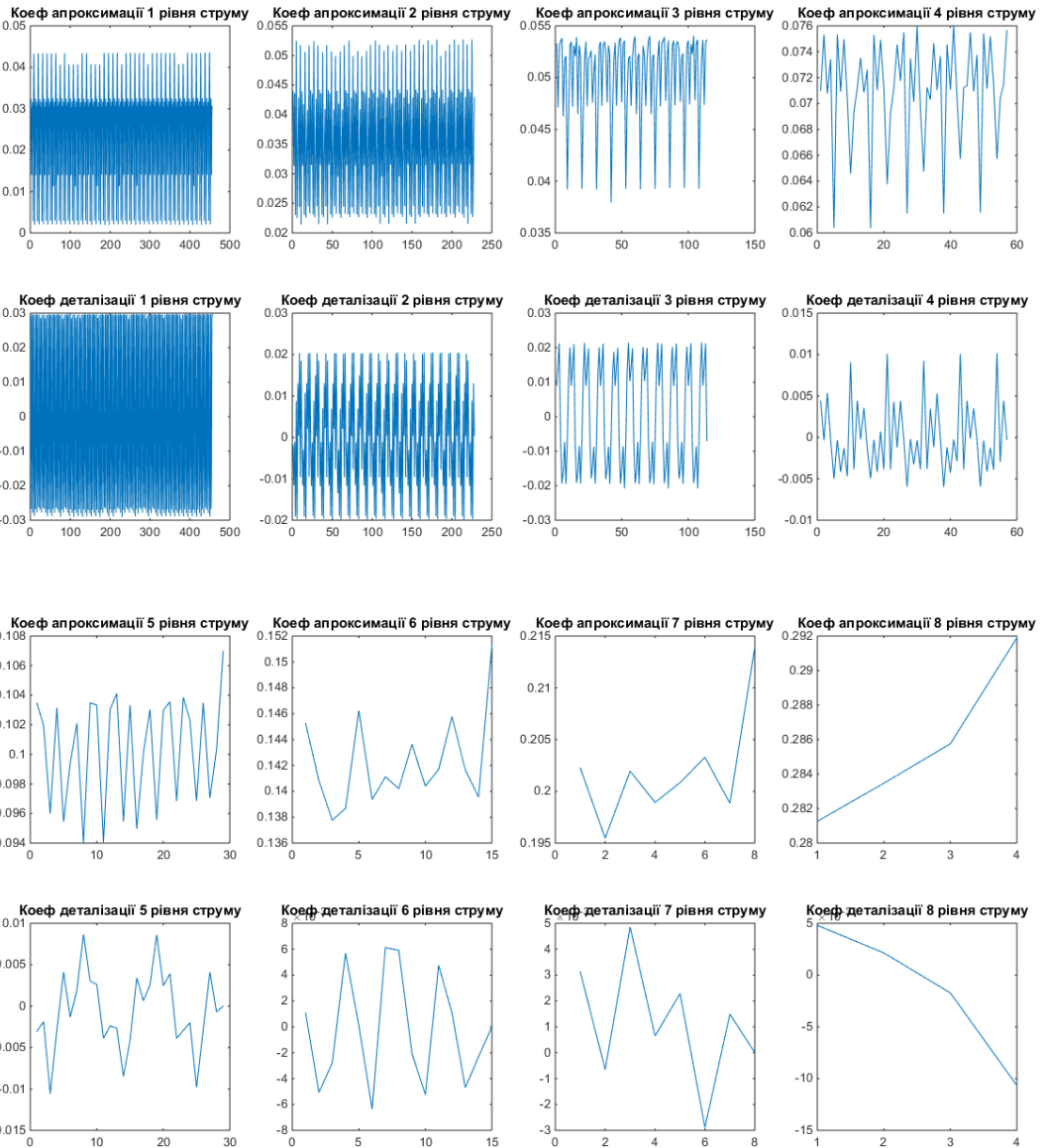
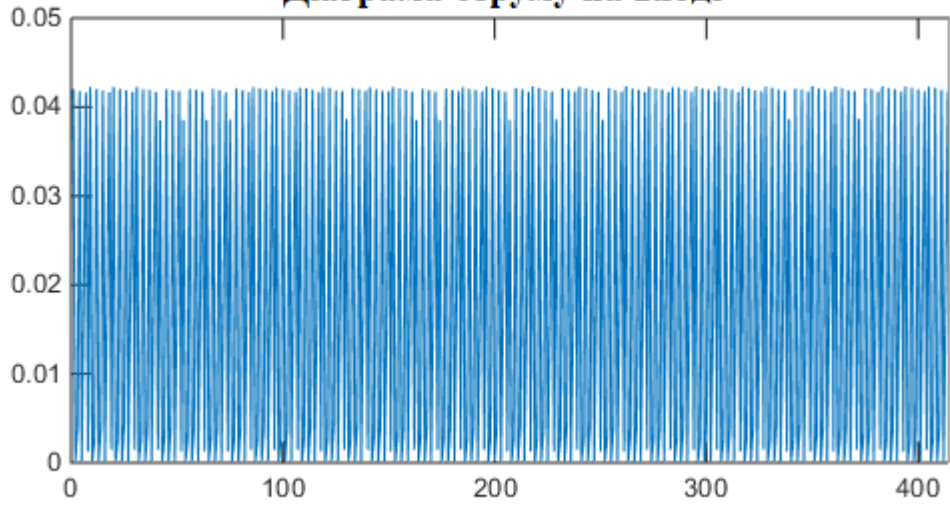
Ємність 25 мкФ

Діаграма струму на вході



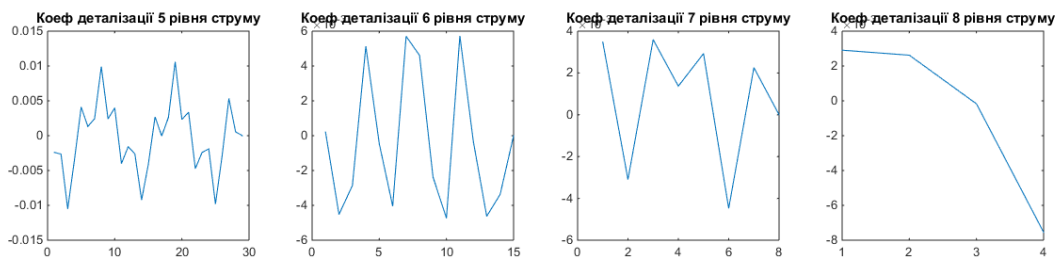
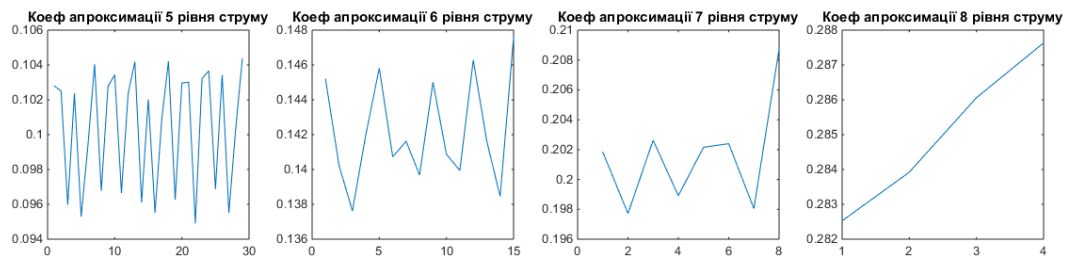
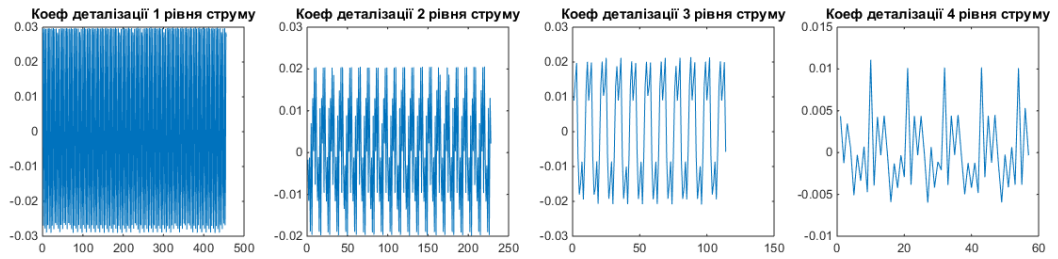
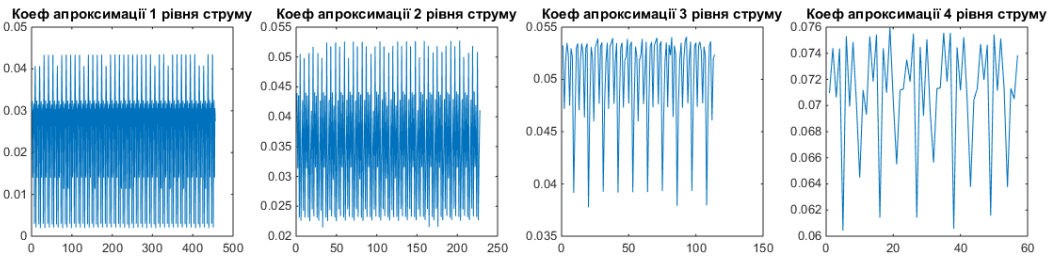
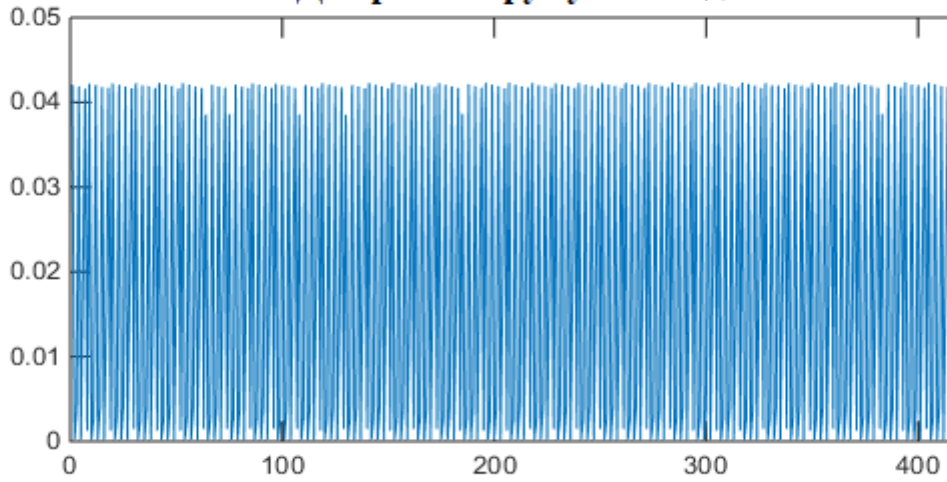
Ємність 30 мкФ

Діаграма струму на вході



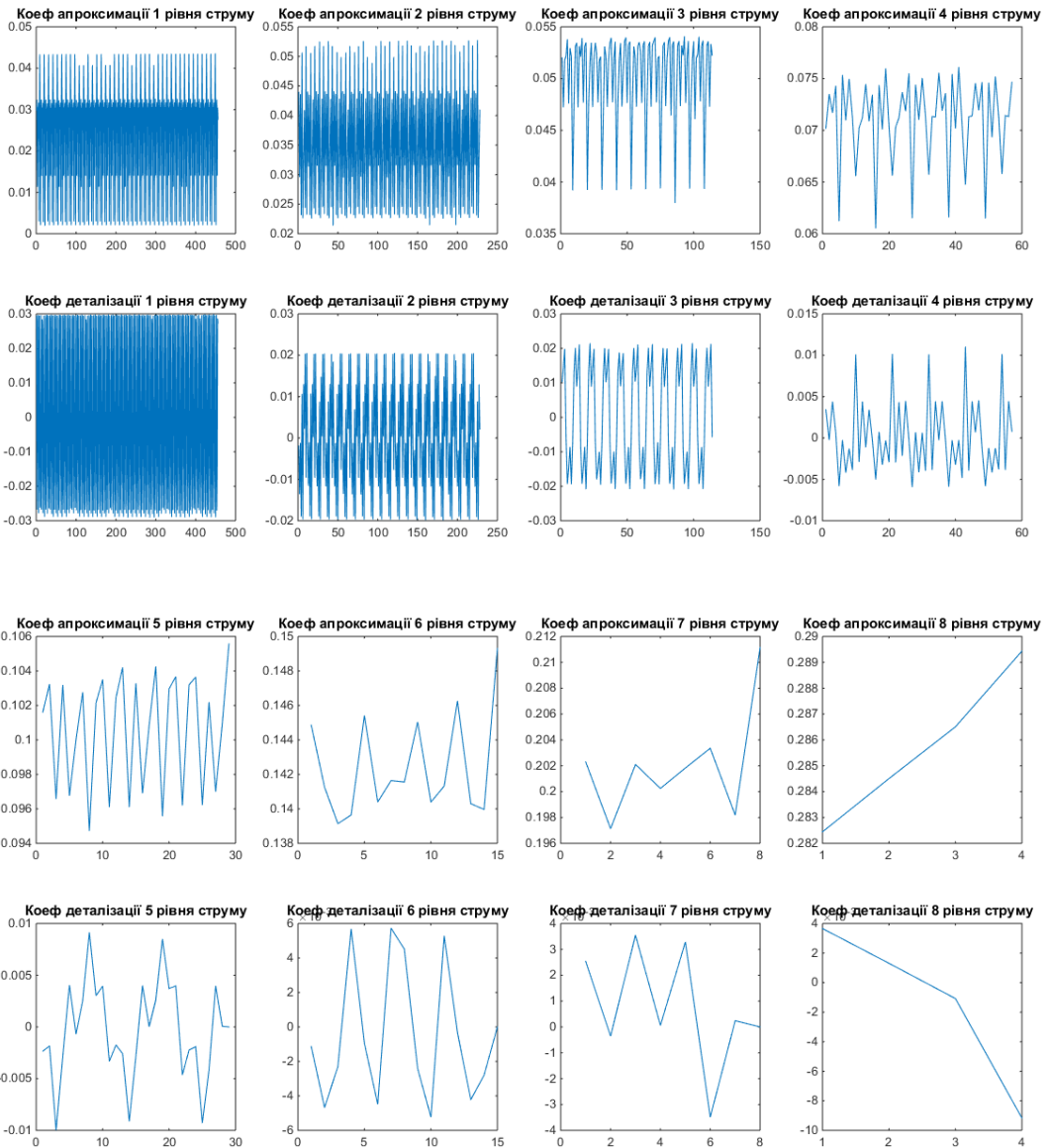
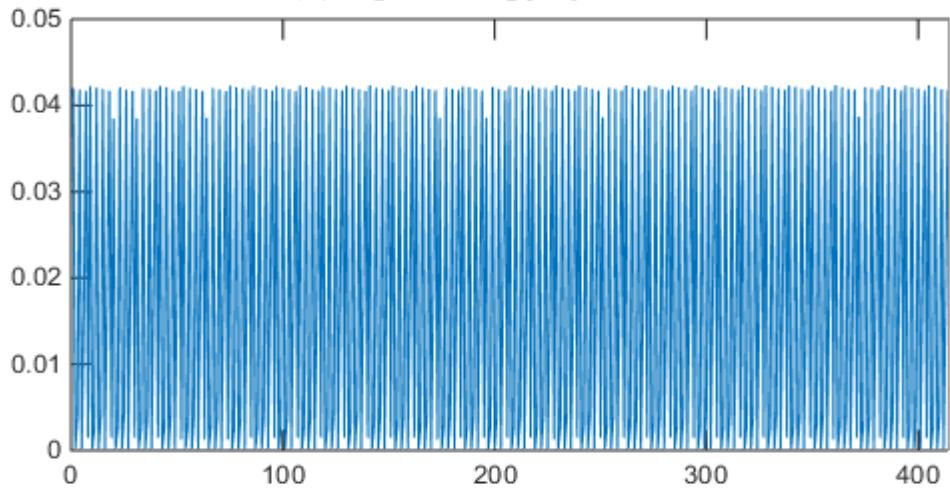
Ємність 35 мкФ

Діаграма струму на вході



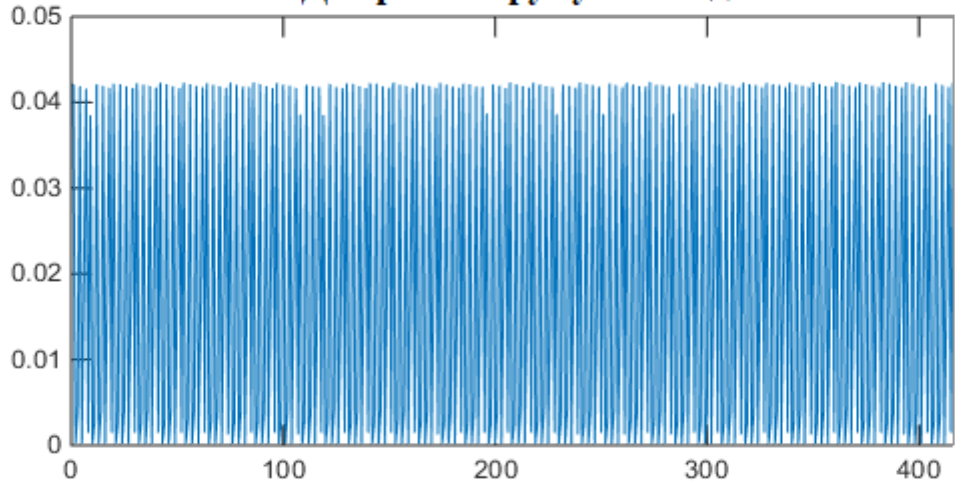
Ємність 40 мкФ

Діаграма струму на вході



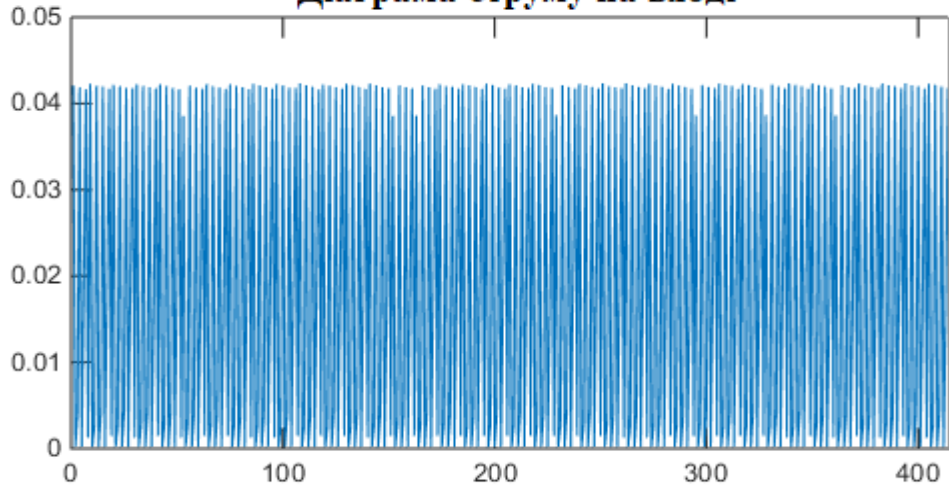
Ємність 45 мкФ

Діаграма струму на вході

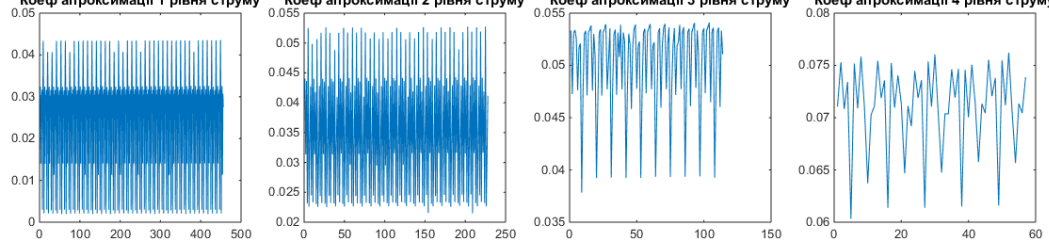


Ємність 50 мкФ

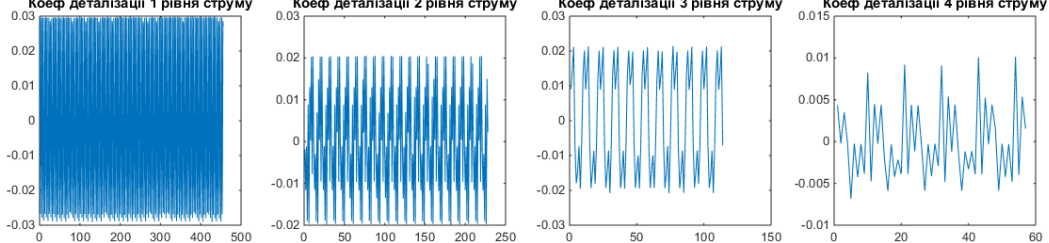
Діаграма струму на вході



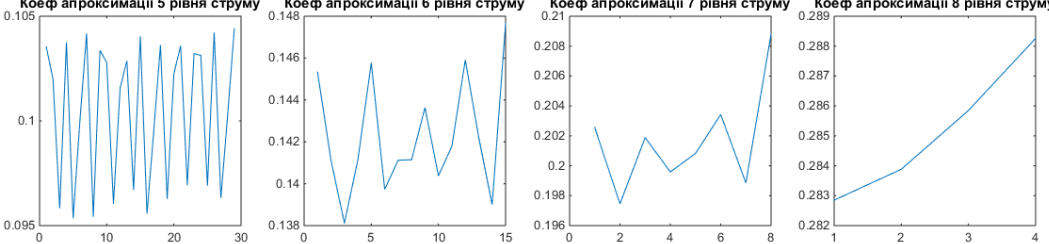
Коеф апроксимації 1 рівня струму Коеф апроксимації 2 рівня струму Коеф апроксимації 3 рівня струму Коеф апроксимації 4 рівня струму



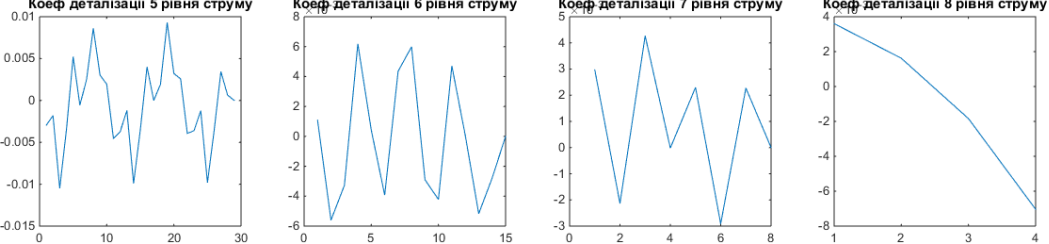
Коеф деталізації 1 рівня струму Коеф деталізації 2 рівня струму Коеф деталізації 3 рівня струму Коеф деталізації 4 рівня струму



Коеф апроксимації 5 рівня струму Коеф апроксимації 6 рівня струму Коеф апроксимації 7 рівня струму Коеф апроксимації 8 рівня струму

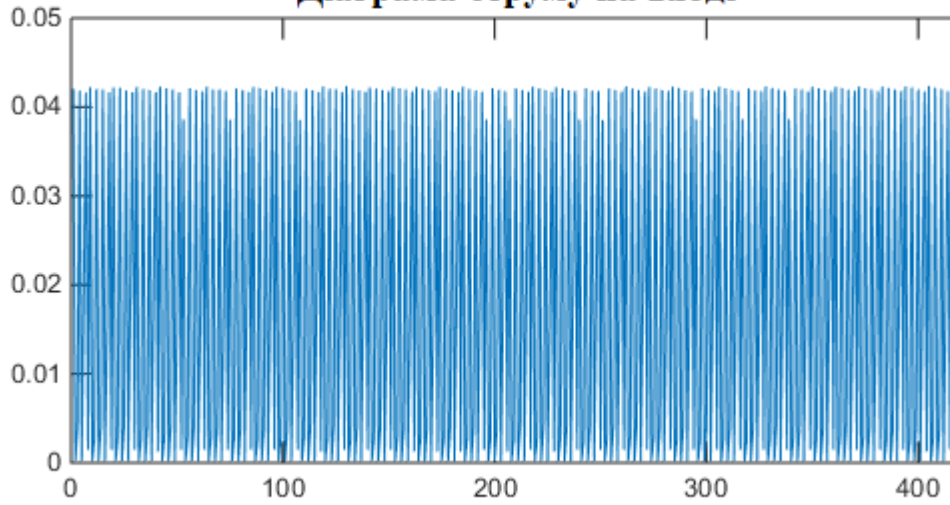


Коеф деталізації 5 рівня струму Коеф деталізації 6 рівня струму Коеф деталізації 7 рівня струму Коеф деталізації 8 рівня струму



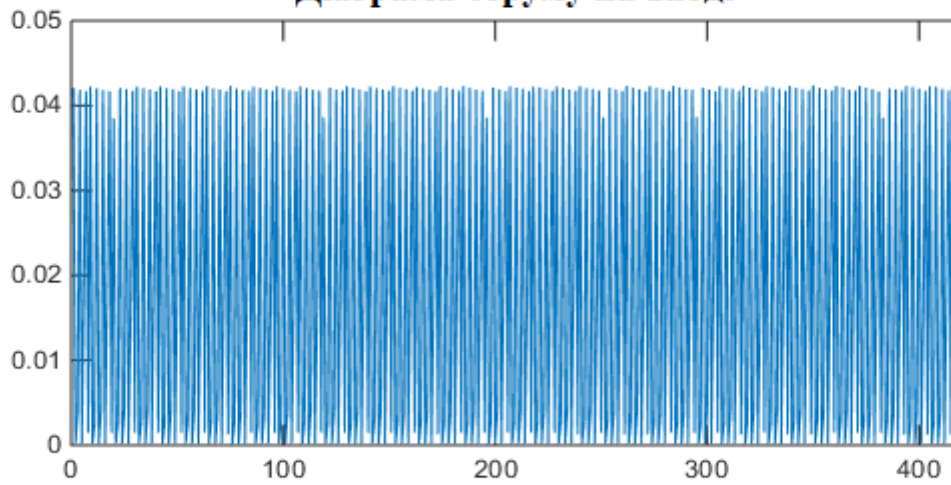
Ємність 55 мкФ

Діаграма струму на вході



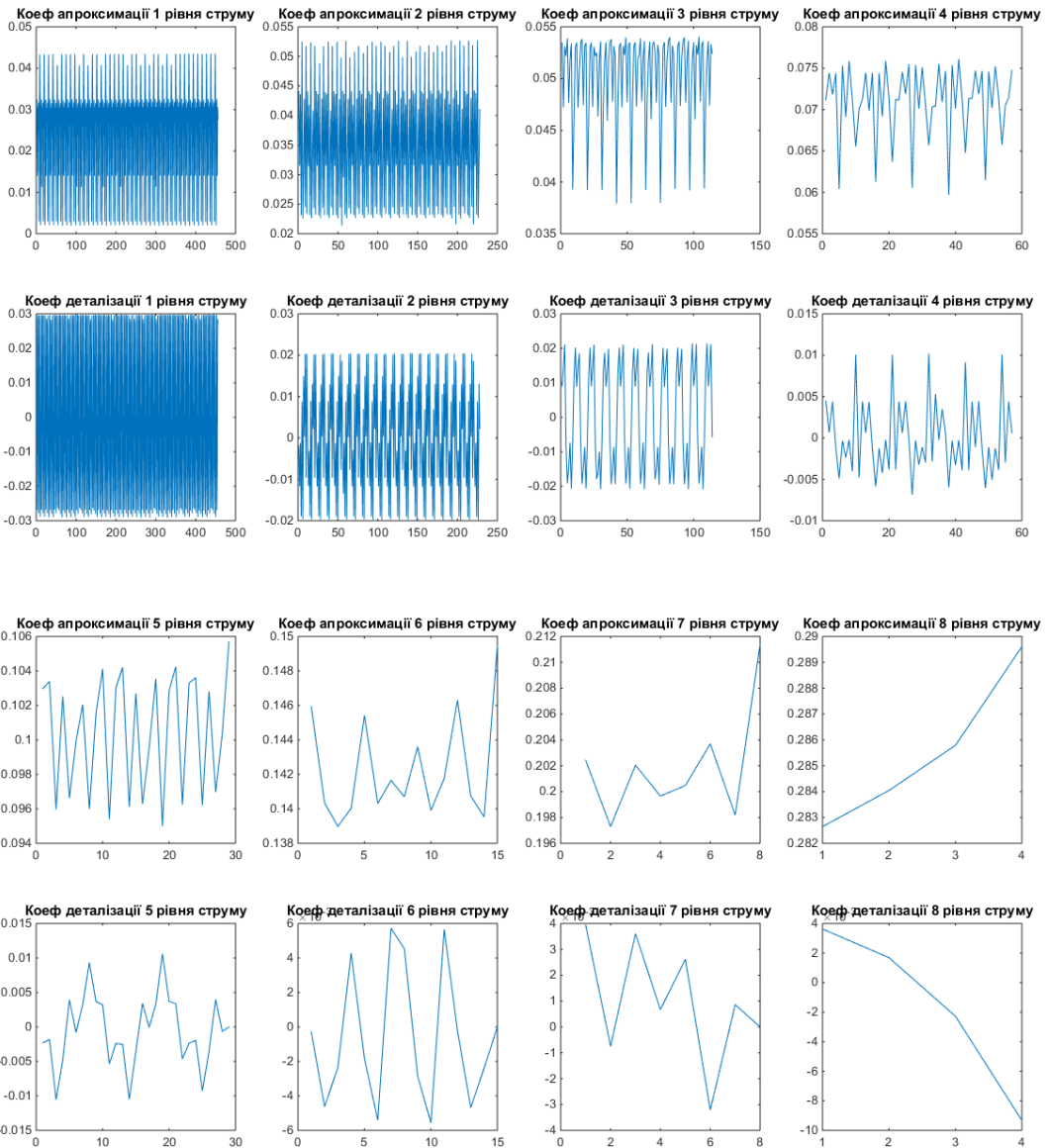
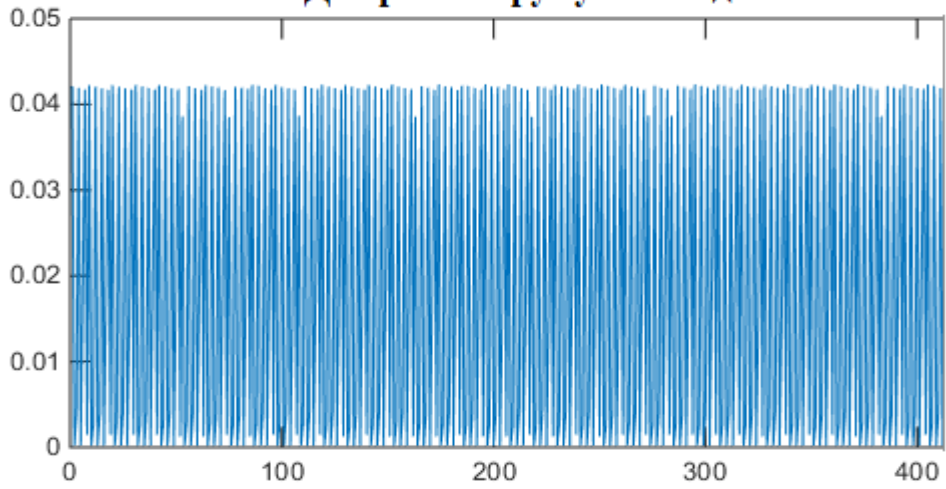
Ємність 60 мкФ

Діаграма струму на вході



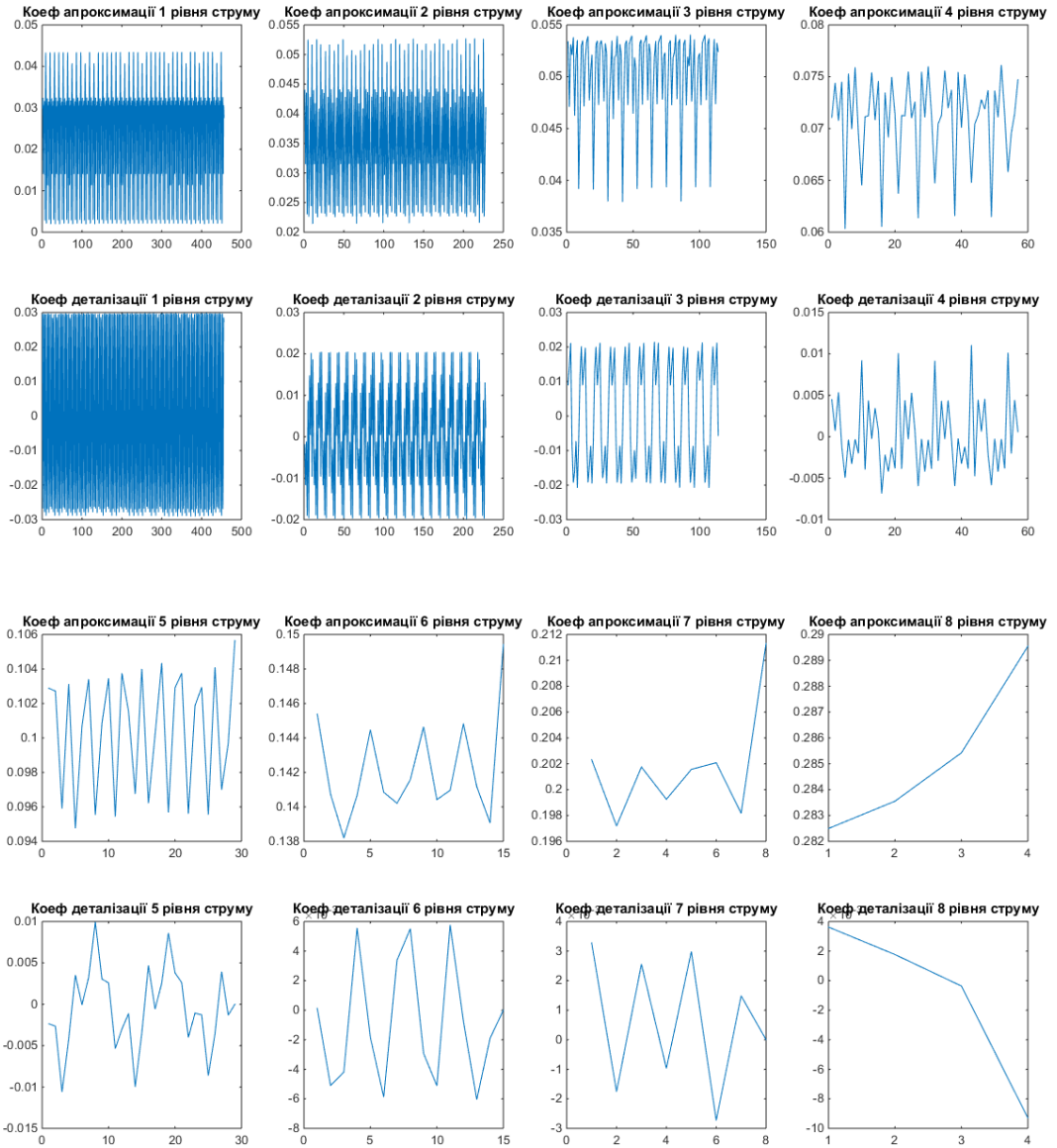
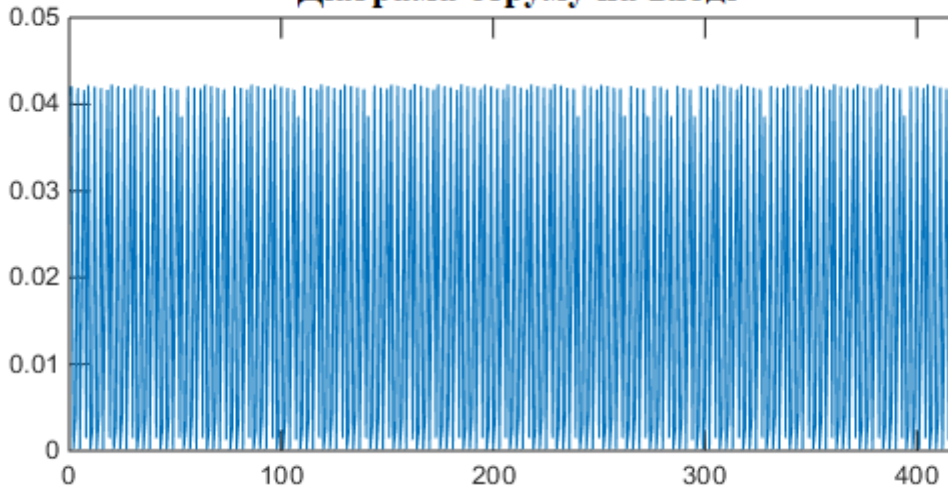
Ємність 65 мкФ

Діаграма струму на вході



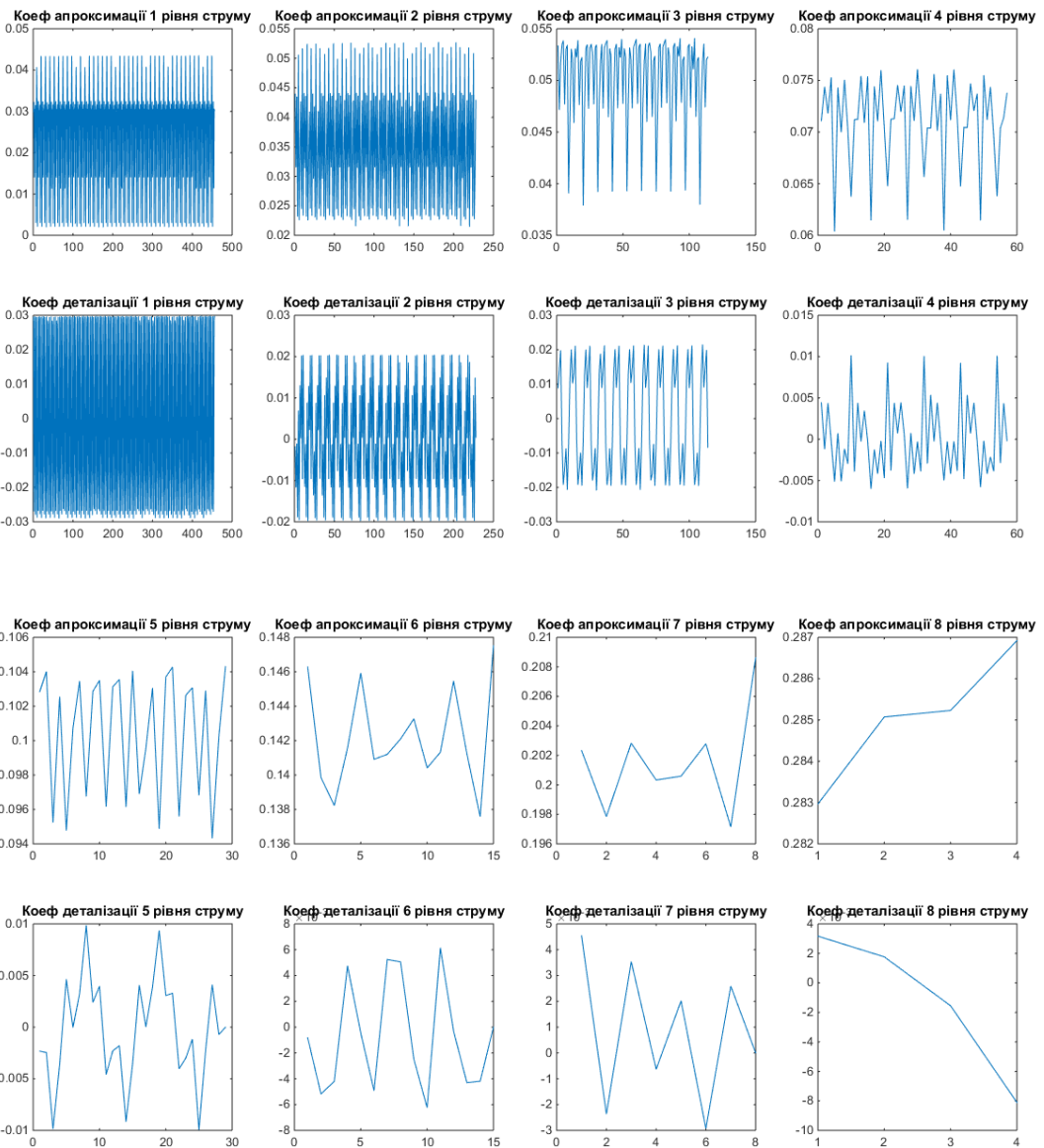
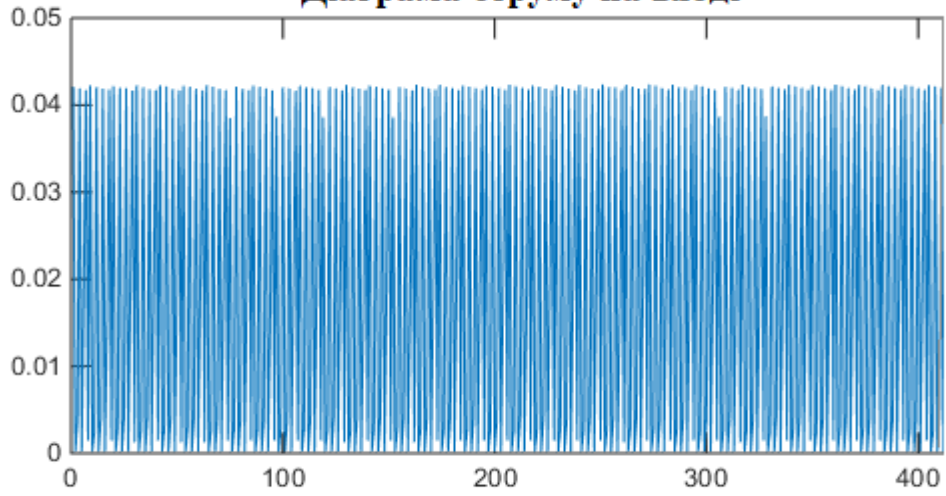
Ємність 70 мкФ

Діаграма струму на вході



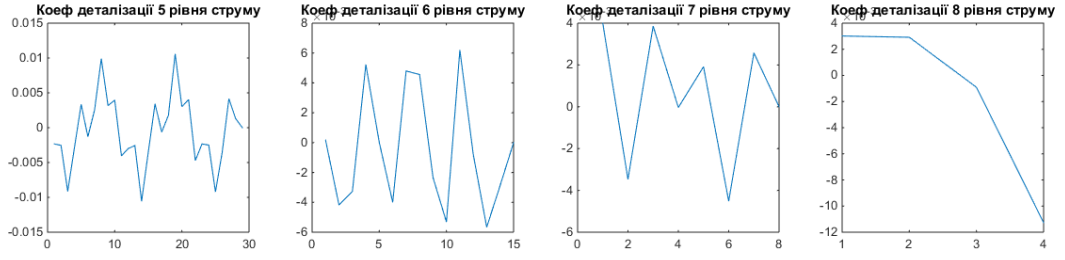
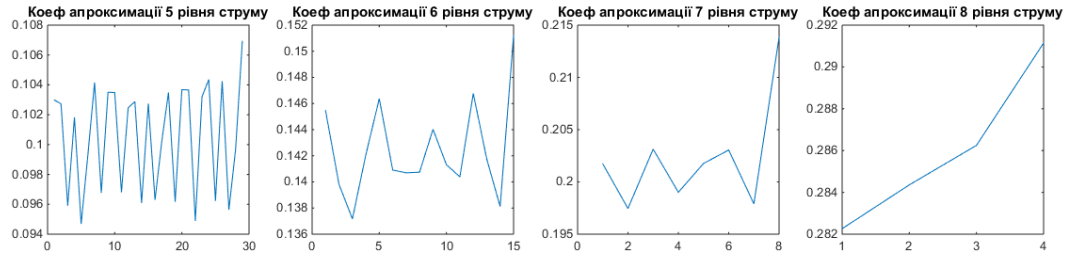
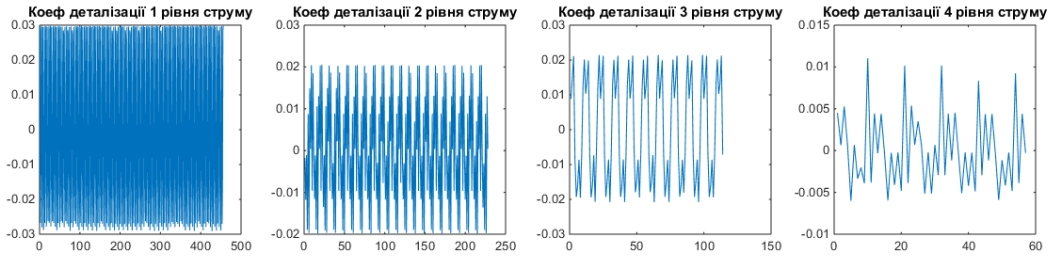
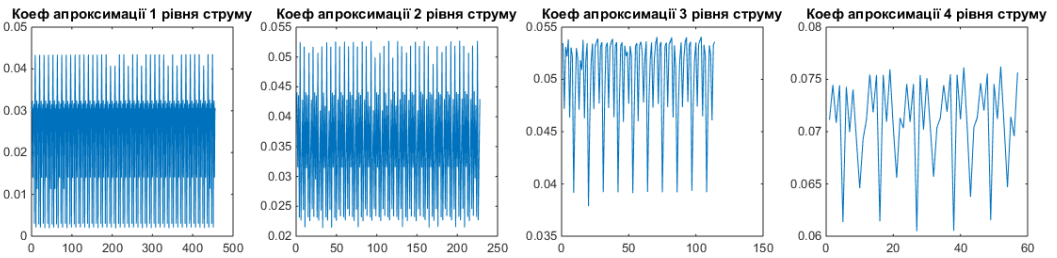
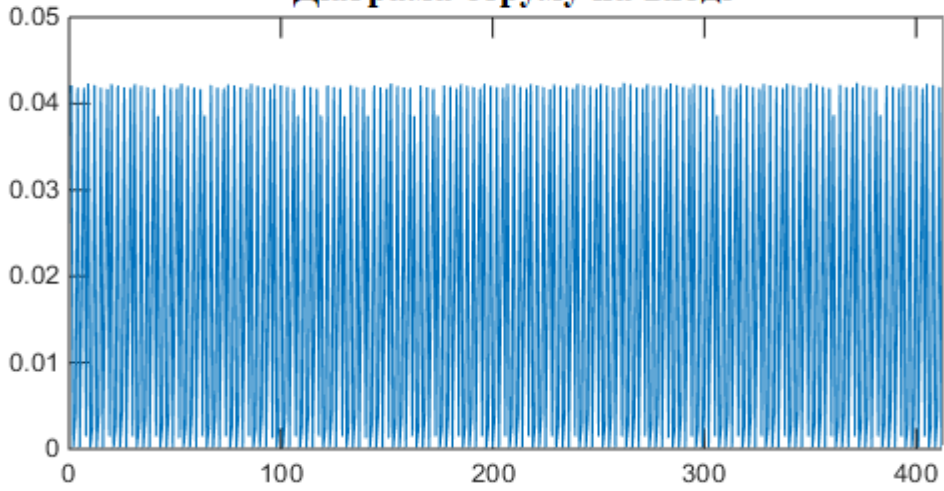
Ємність 75 мкФ

Діаграма струму на вході



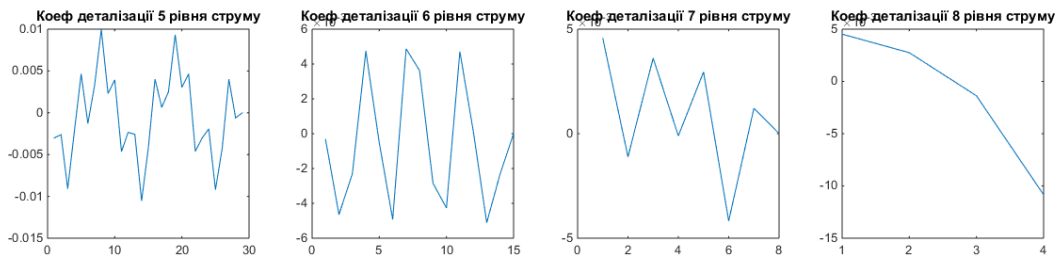
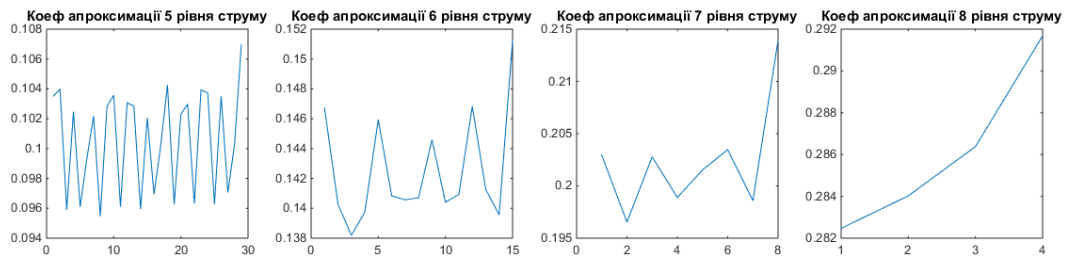
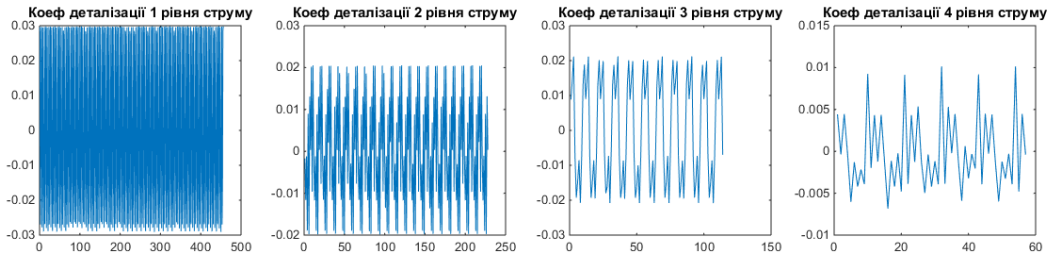
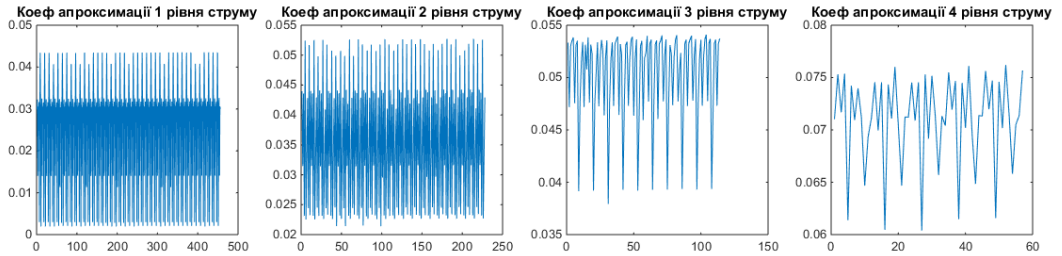
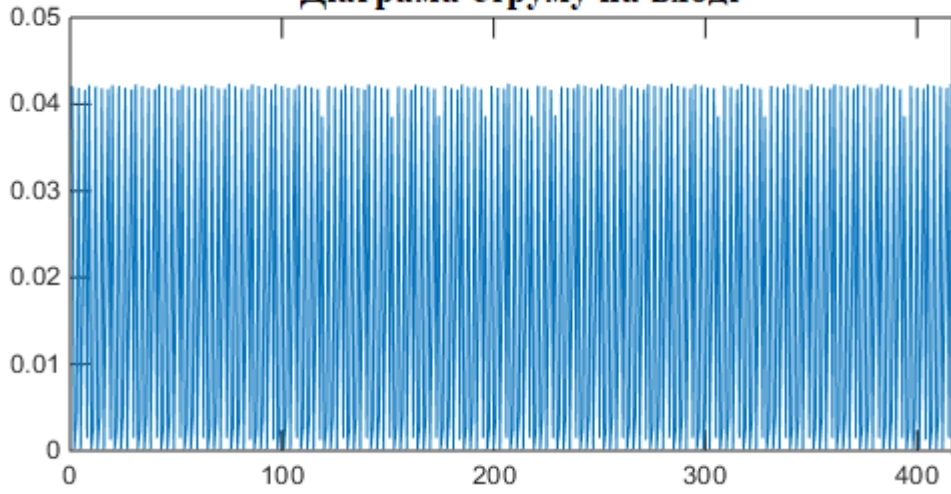
Ємність 80 мкФ

Діаграма струму на вході



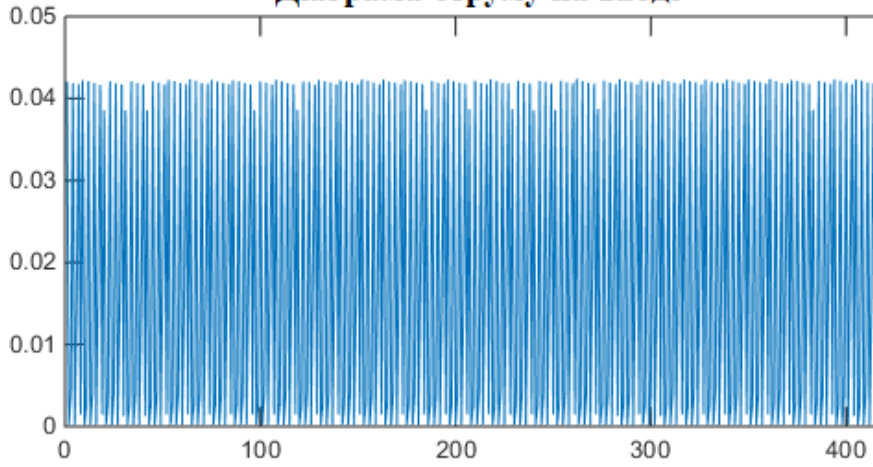
Ємність 85 мкФ

Діаграма струму на вході

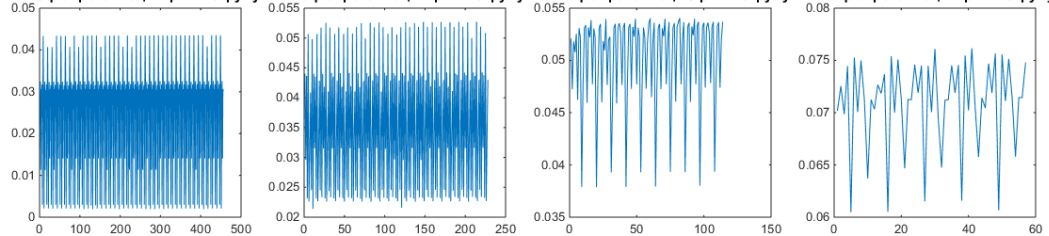


Ємність 90 мкФ

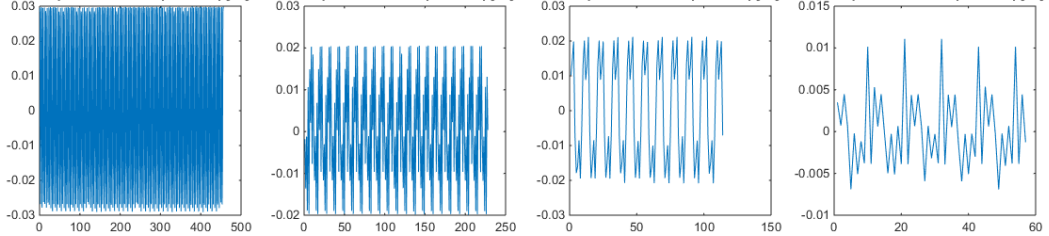
Діаграма струму на вході



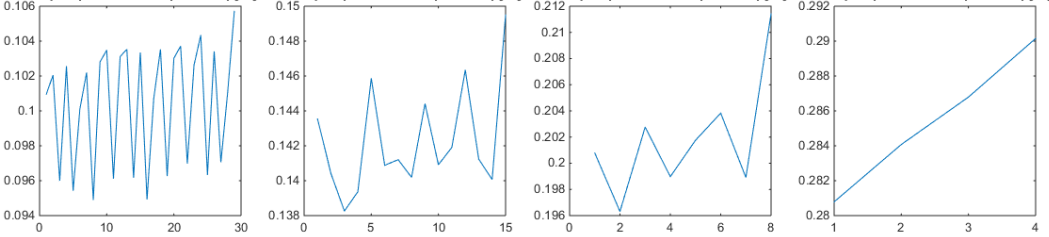
Коеф апроксимації 1 рівня струму Коеф апроксимації 2 рівня струму Коеф апроксимації 3 рівня струму Коеф апроксимації 4 рівня струму



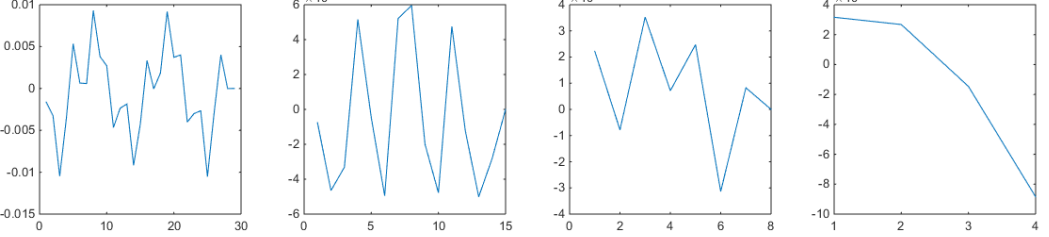
Коеф деталізації 1 рівня струму Коеф деталізації 2 рівня струму Коеф деталізації 3 рівня струму Коеф деталізації 4 рівня струму



Коеф апроксимації 5 рівня струму Коеф апроксимації 6 рівня струму Коеф апроксимації 7 рівня струму Коеф апроксимації 8 рівня струму

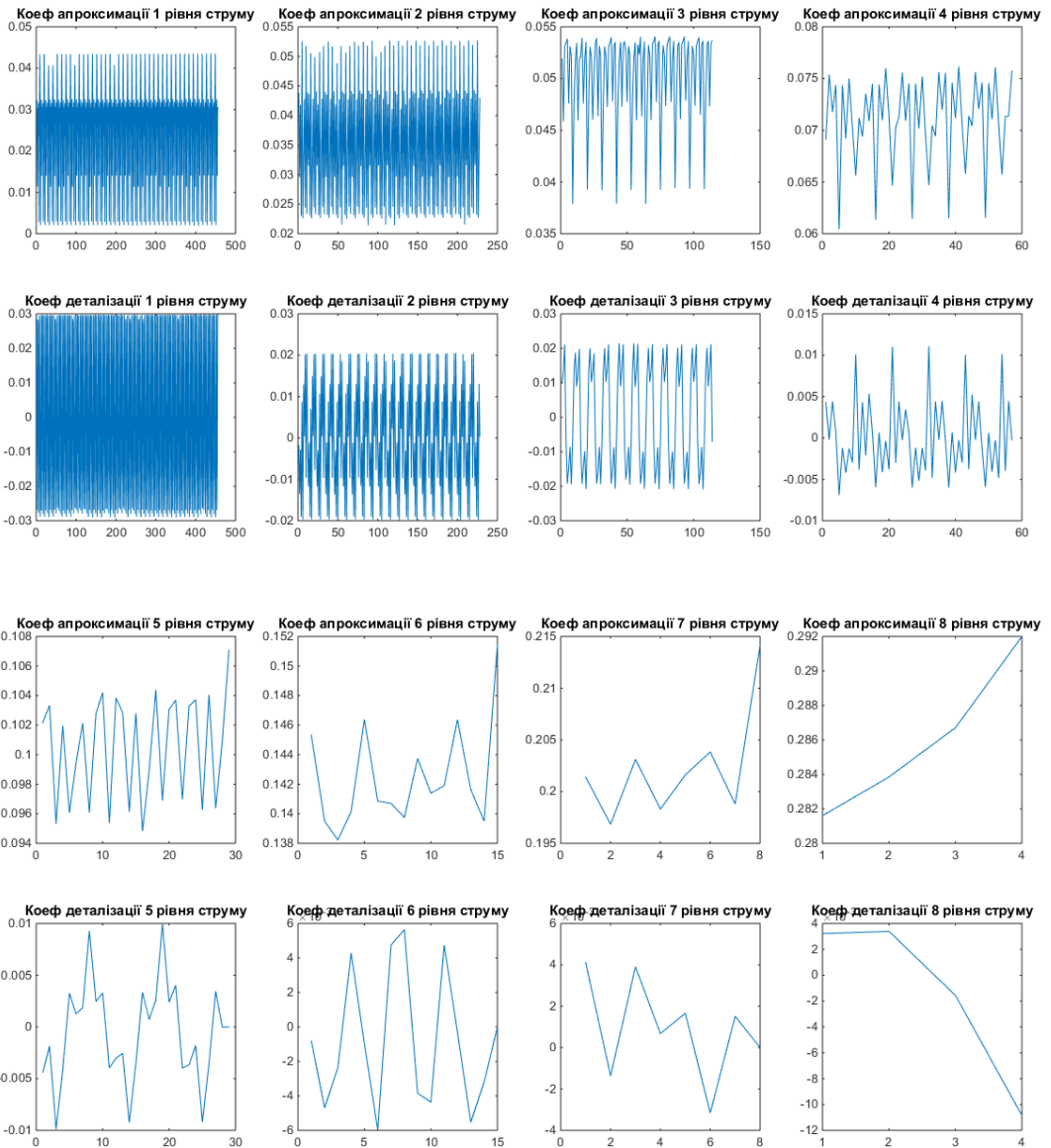
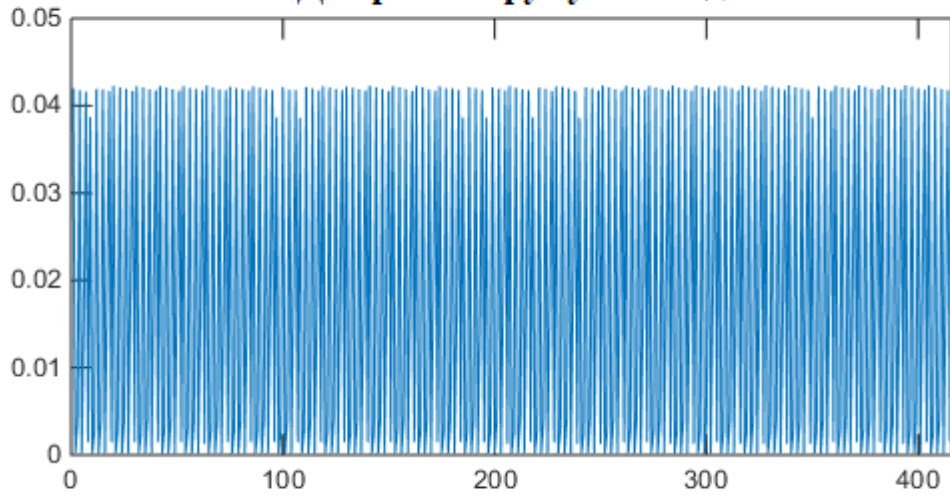


Коеф деталізації 5 рівня струму Коеф деталізації 6 рівня струму Коеф деталізації 7 рівня струму Коеф деталізації 8 рівня струму



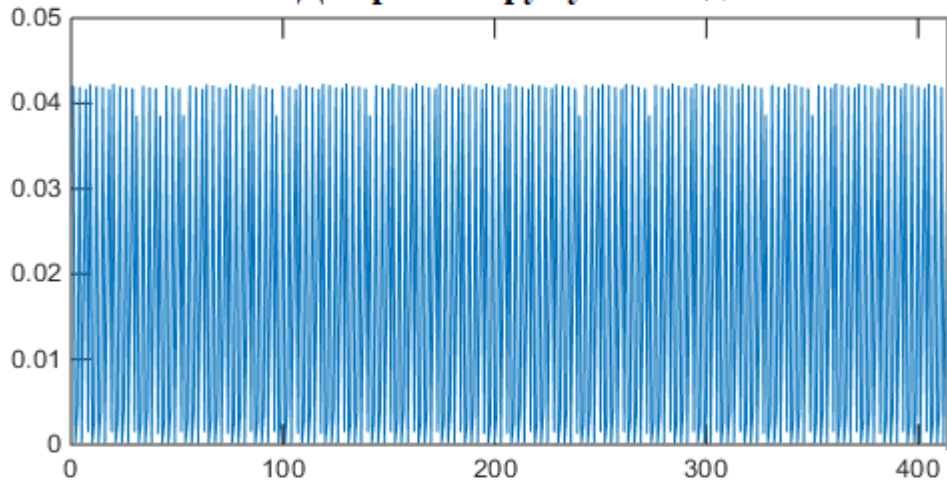
Ємність 110 мкФ

Діаграма струму на вході

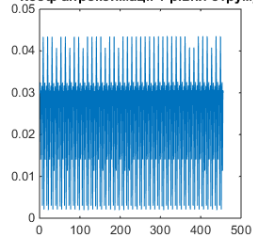


Ємність 130 мкФ

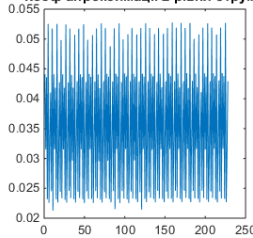
Діаграма струму на вході



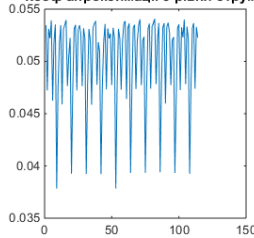
Коеф апроксимації 1 рівня струму



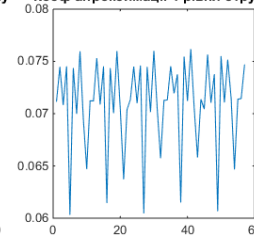
Коеф апроксимації 2 рівня струму



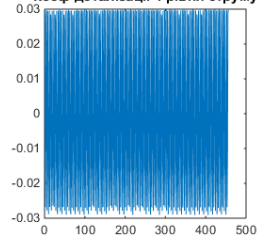
Коеф апроксимації 3 рівня струму



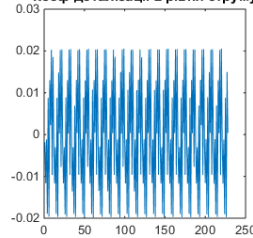
Коеф апроксимації 4 рівня струму



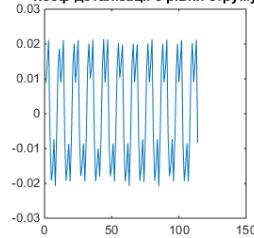
Коеф деталізації 1 рівня струму



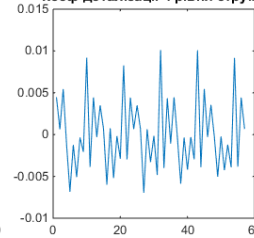
Коеф деталізації 2 рівня струму



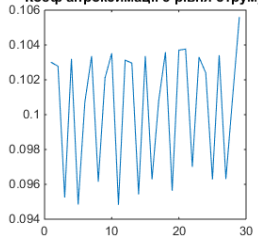
Коеф деталізації 3 рівня струму



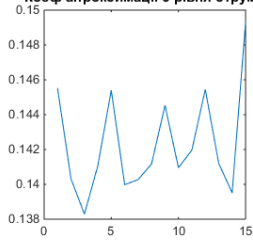
Коеф деталізації 4 рівня струму



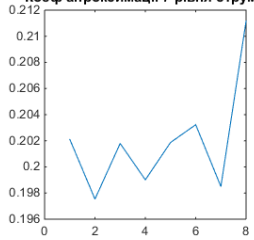
Коеф апроксимації 5 рівня струму



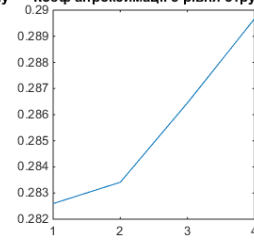
Коеф апроксимації 6 рівня струму



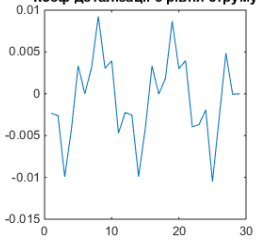
Коеф апроксимації 7 рівня струму



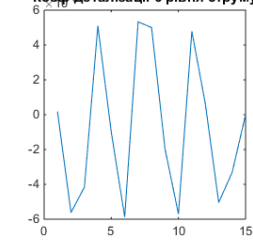
Коеф апроксимації 8 рівня струму



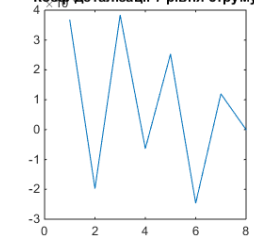
Коеф деталізації 5 рівня струму



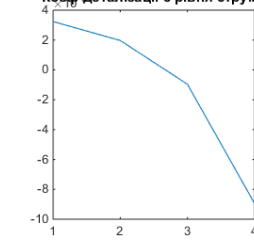
Коеф деталізації 6 рівня струму



Коеф деталізації 7 рівня струму

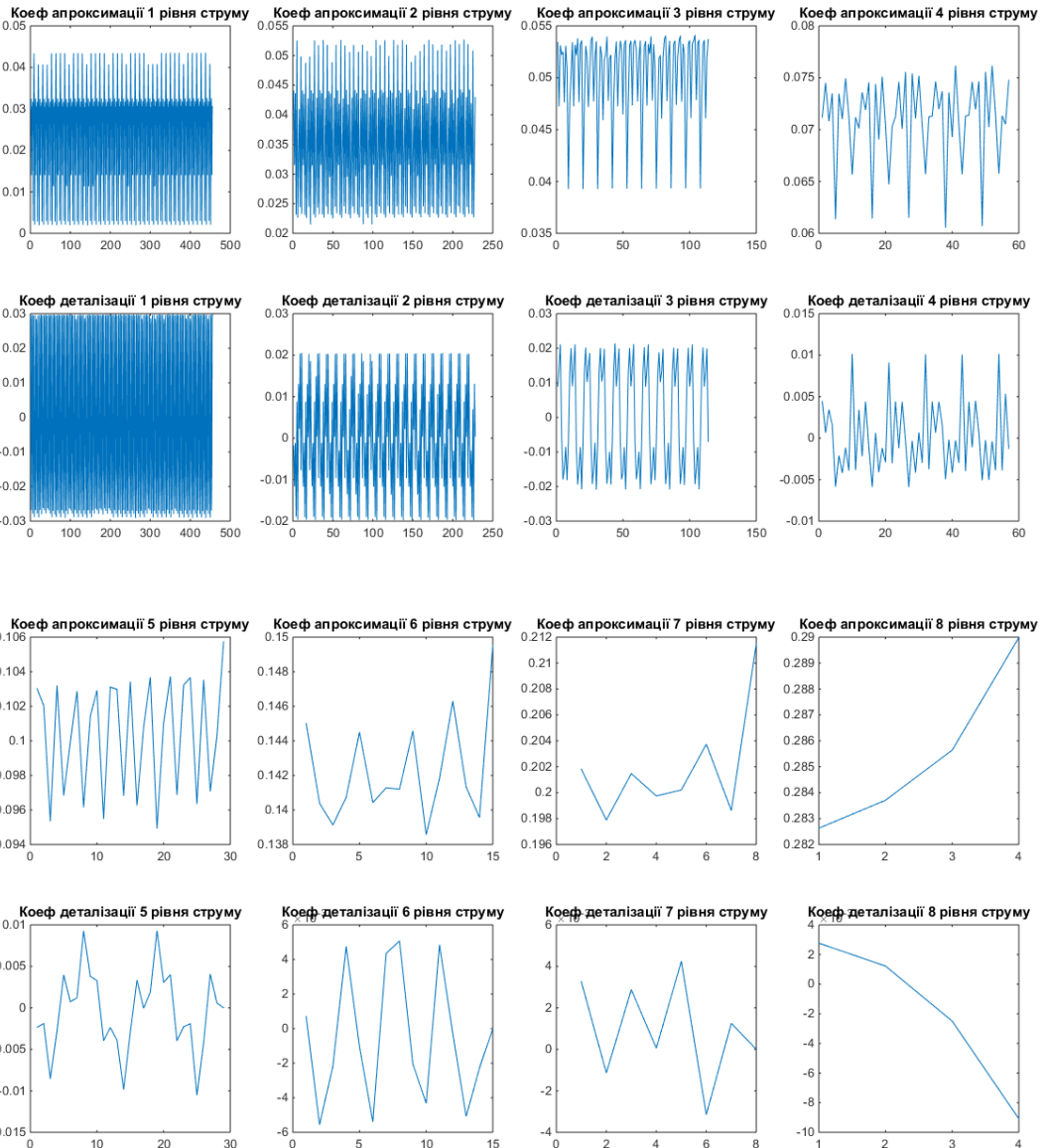
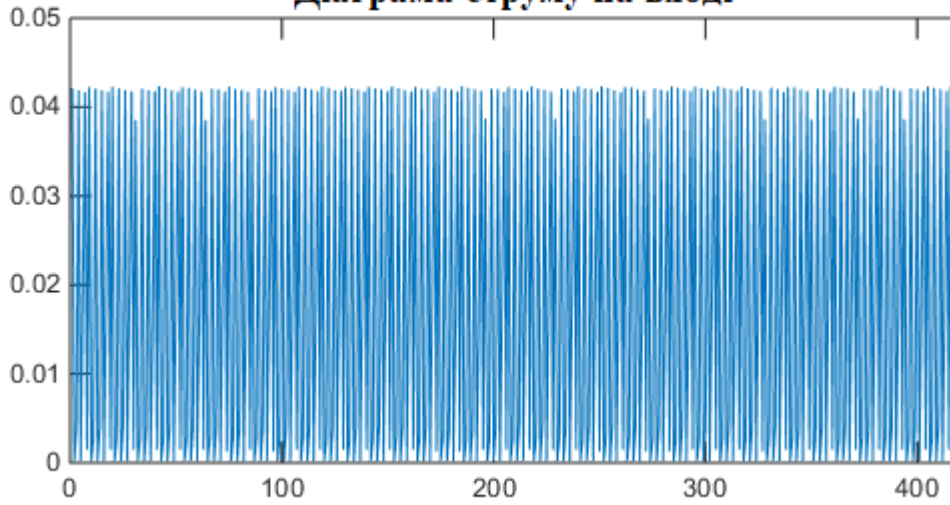


Коеф деталізації 8 рівня струму



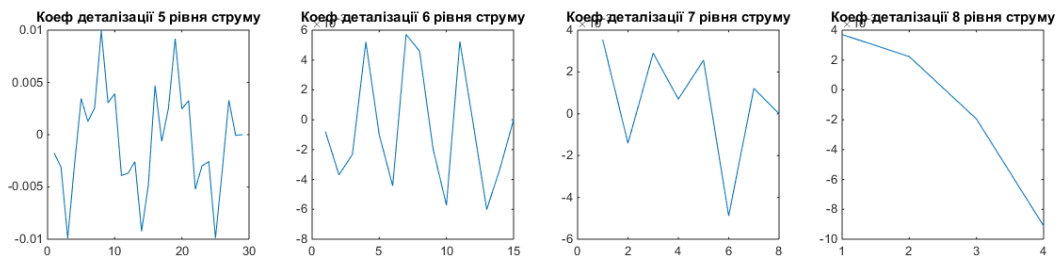
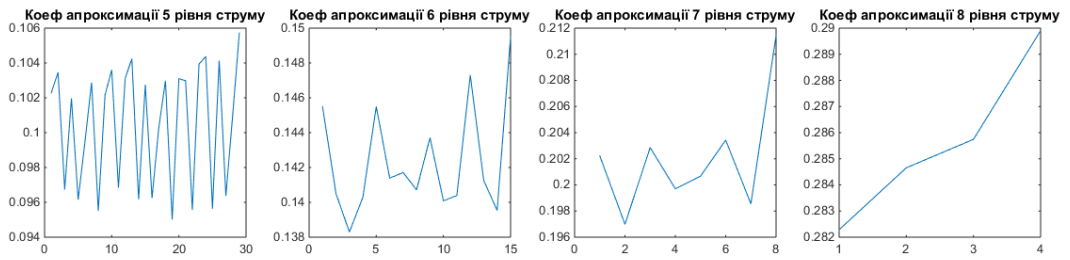
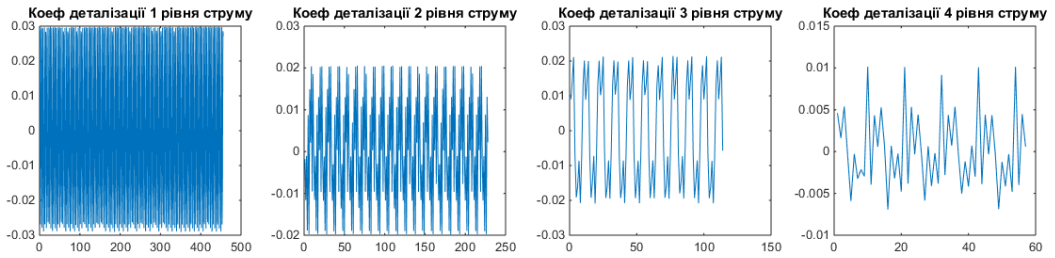
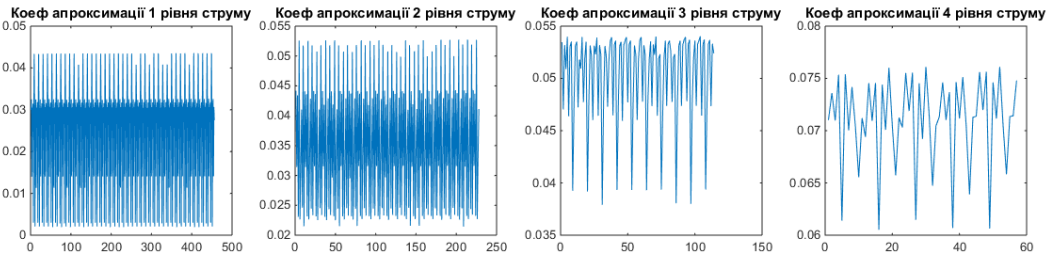
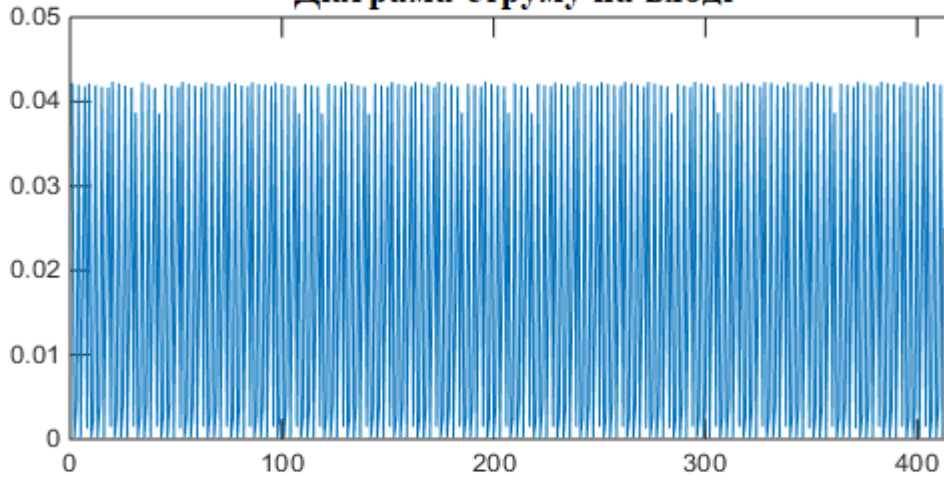
Ємність 150 мкФ

Діаграма струму на вході



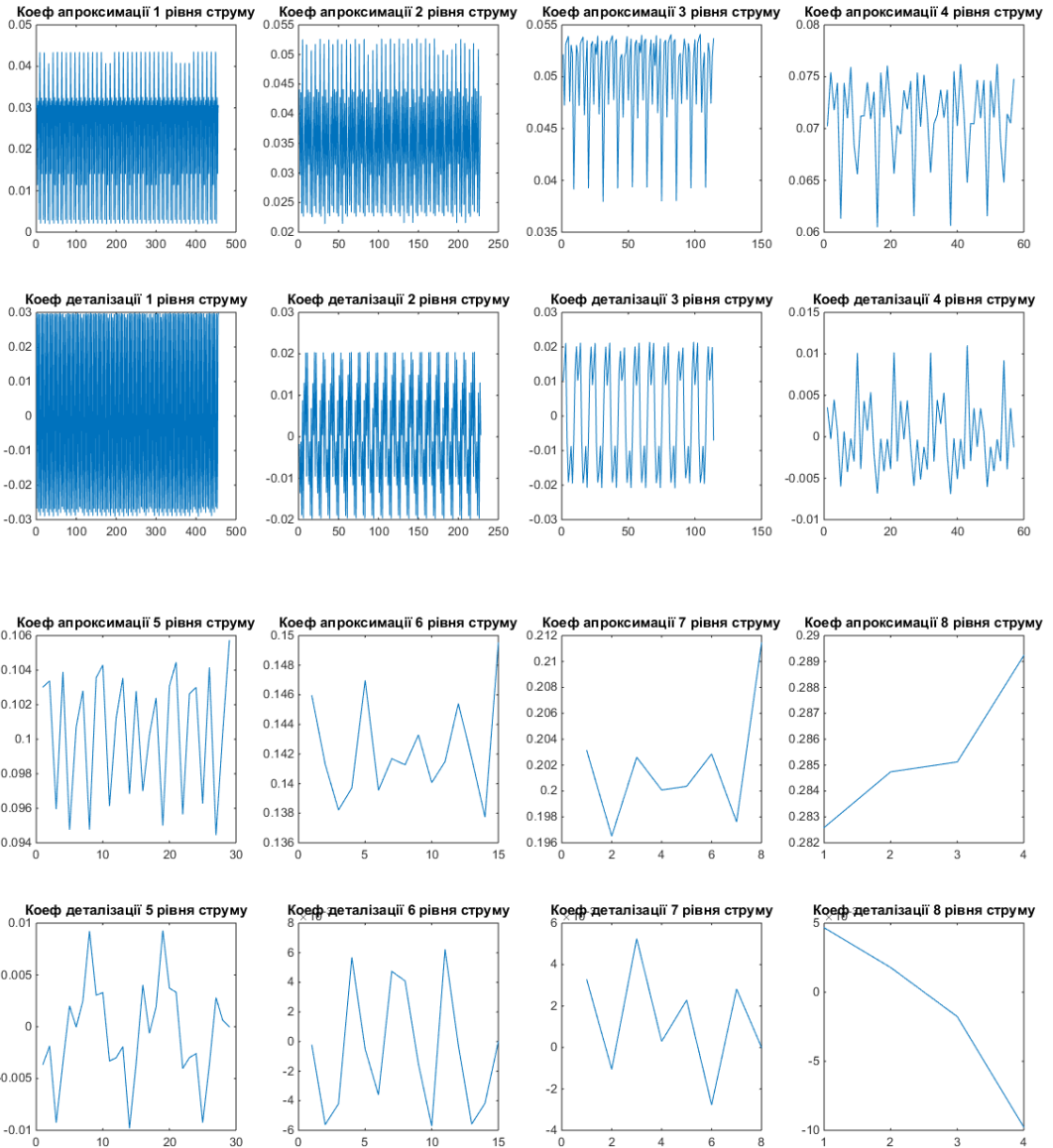
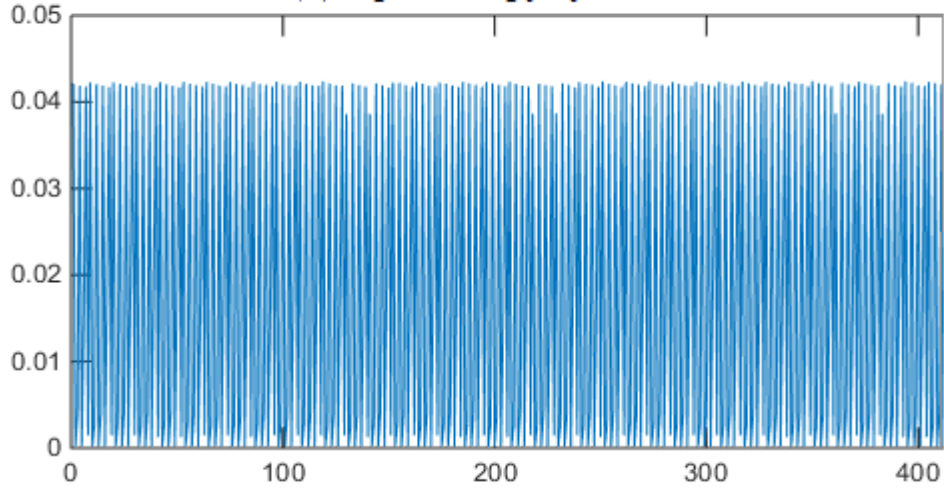
Ємність 170 мкФ

Діаграма струму на вході



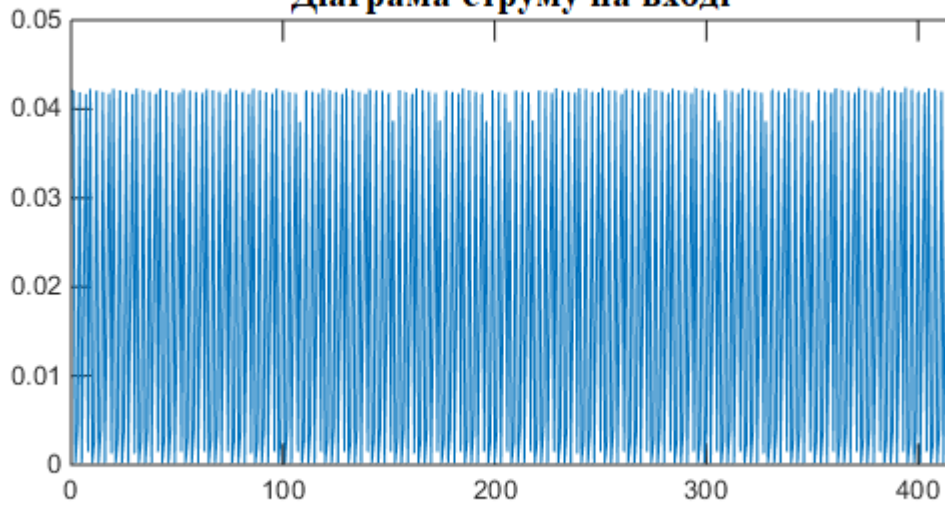
Ємність 190 мкФ

Діаграма струму на вході

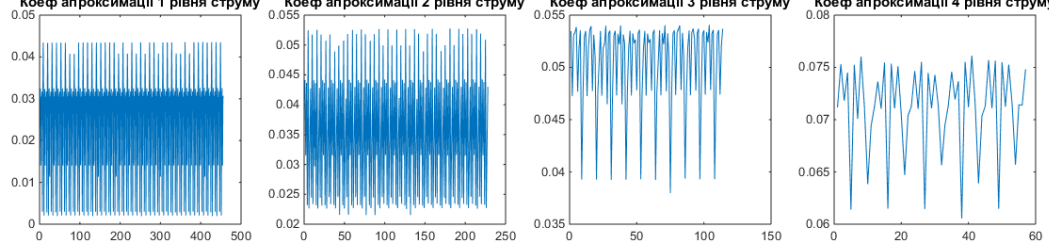


Ємність 210 мкФ

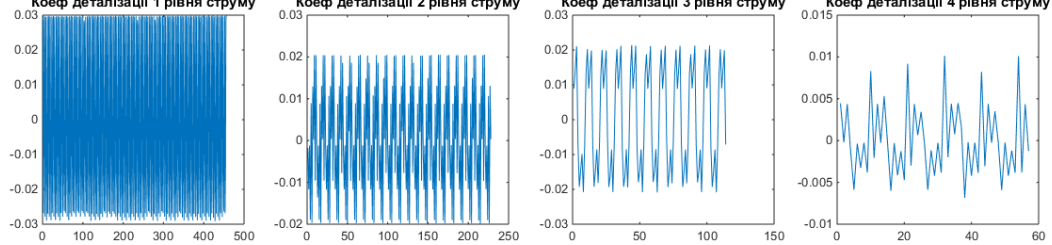
Діаграма струму на вході



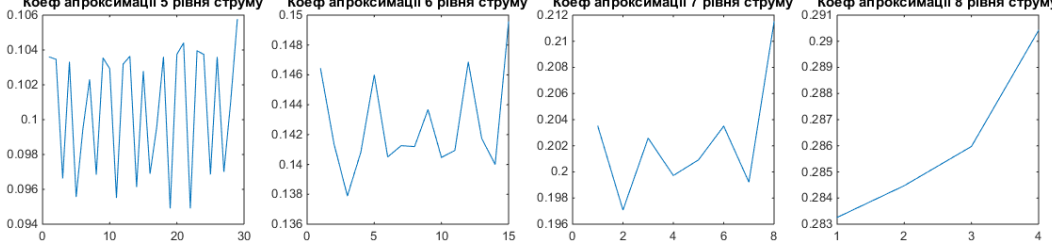
Коеф апроксимації 1 рівня струму Коеф апроксимації 2 рівня струму Коеф апроксимації 3 рівня струму Коеф апроксимації 4 рівня струму



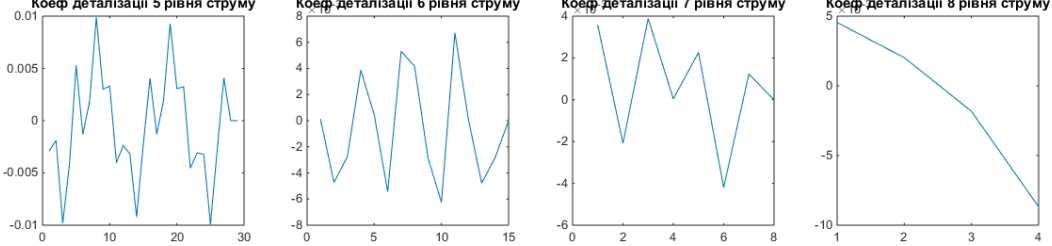
Коеф деталізації 1 рівня струму Коеф деталізації 2 рівня струму Коеф деталізації 3 рівня струму Коеф деталізації 4 рівня струму



Коеф апроксимації 5 рівня струму Коеф апроксимації 6 рівня струму Коеф апроксимації 7 рівня струму Коеф апроксимації 8 рівня струму

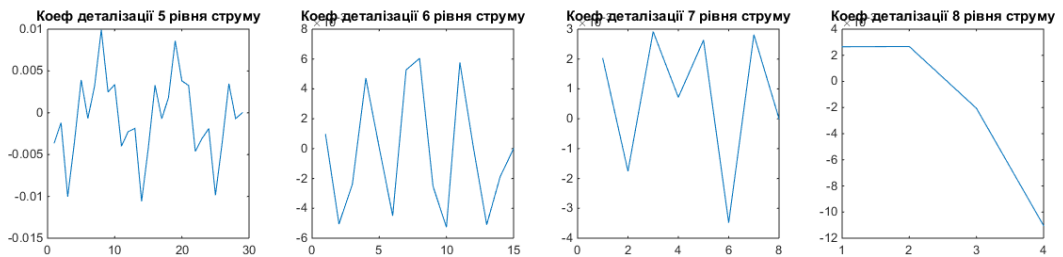
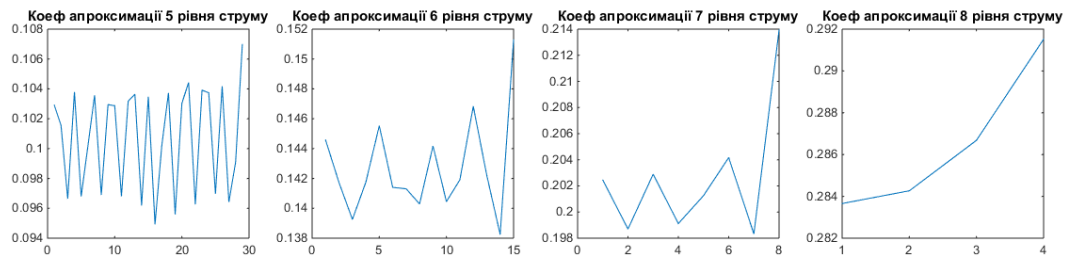
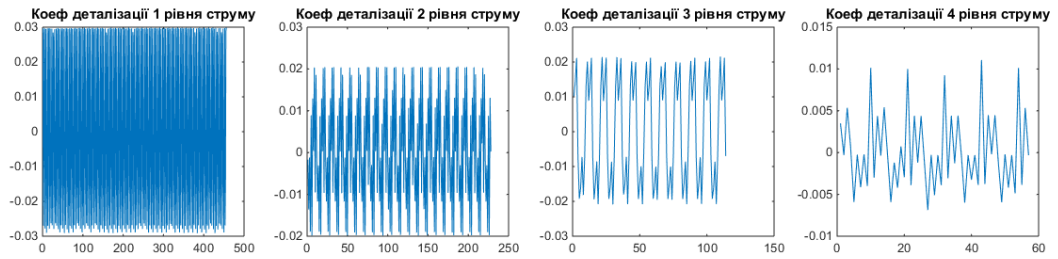
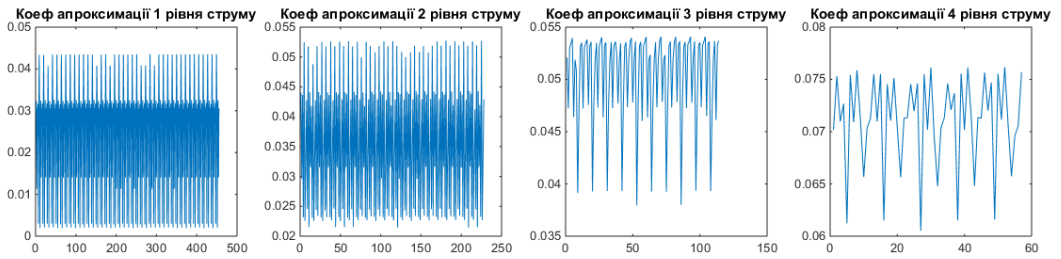
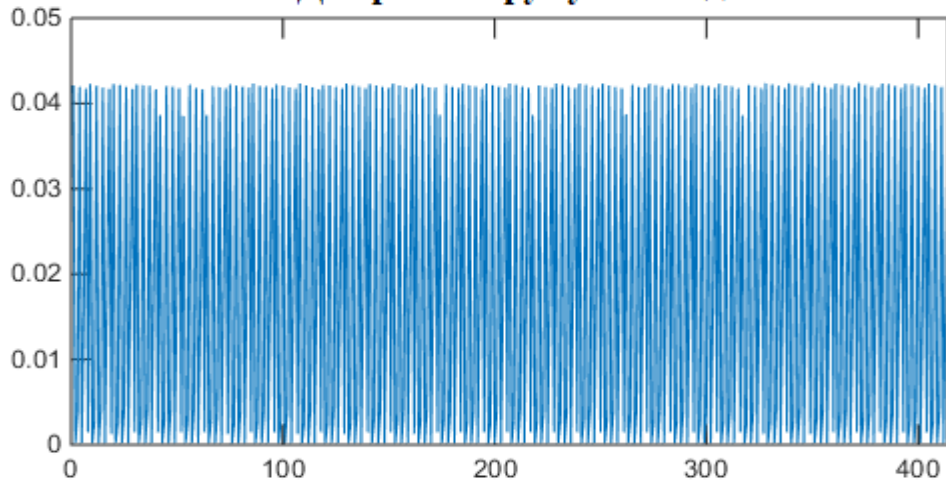


Коеф деталізації 5 рівня струму Коеф деталізації 6 рівня струму Коеф деталізації 7 рівня струму Коеф деталізації 8 рівня струму



Ємність 230 мкФ

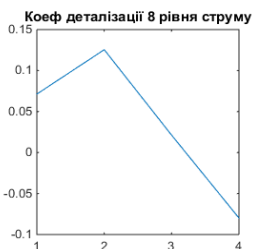
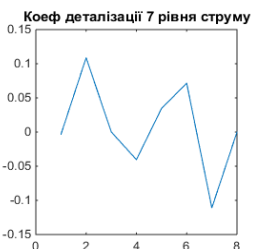
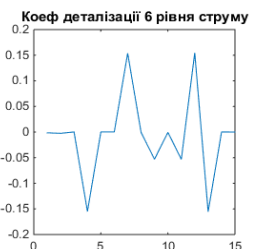
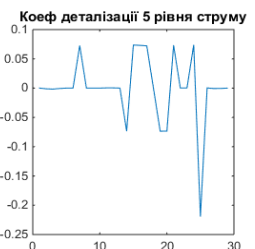
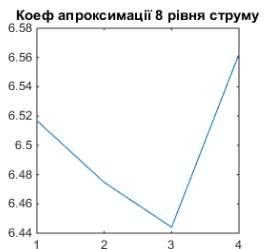
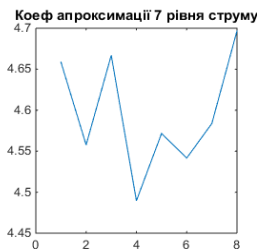
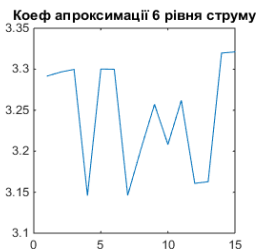
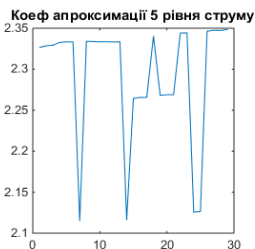
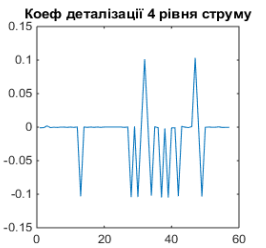
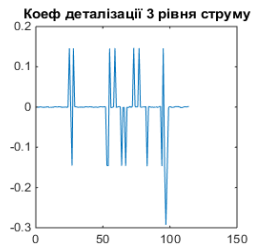
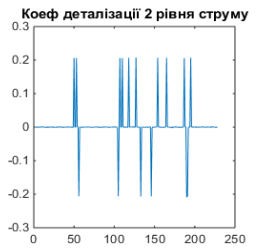
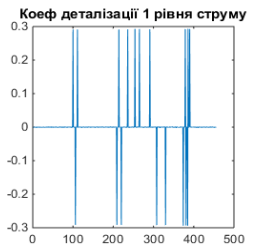
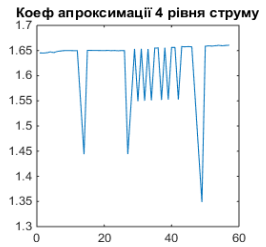
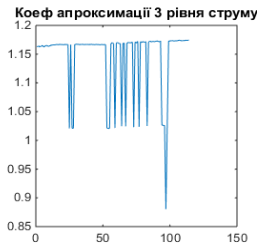
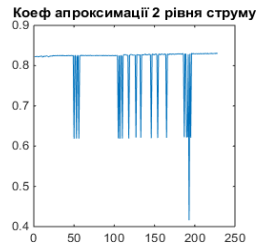
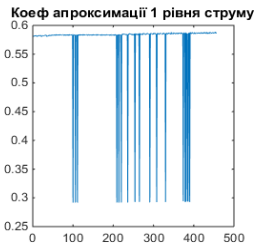
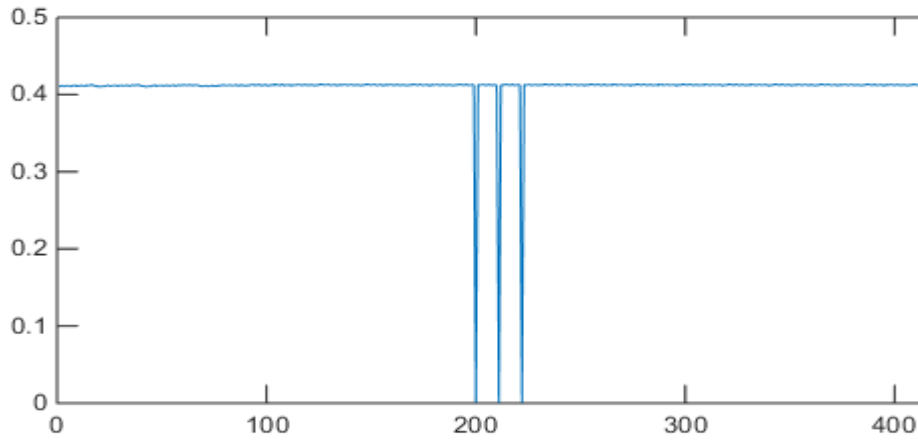
Діаграма струму на вході



Опір навантаження 10 Ом

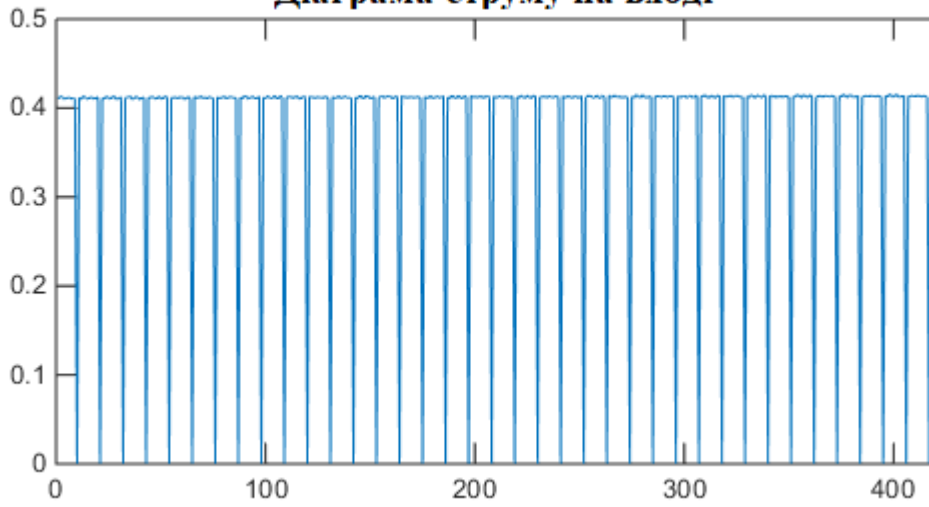
Ємність 0 мкФ

Діаграма струму на вході

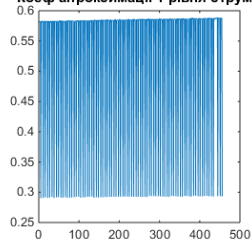


Ємність 20 мкФ

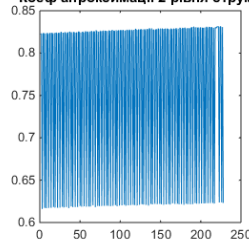
Діаграма струму на вході



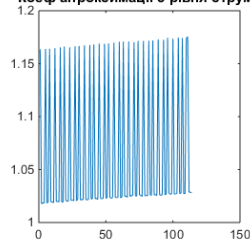
Коеф апроксимації 1 рівня струму



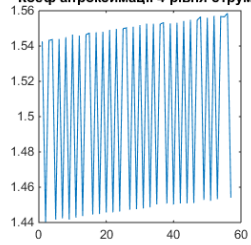
Коеф апроксимації 2 рівня струму



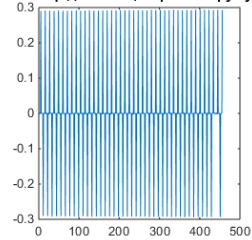
Коеф апроксимації 3 рівня струму



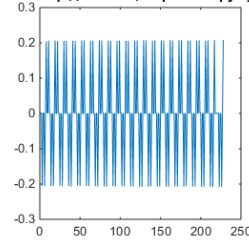
Коеф апроксимації 4 рівня струму



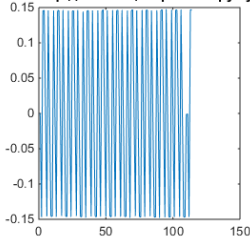
Коеф деталізації 1 рівня струму



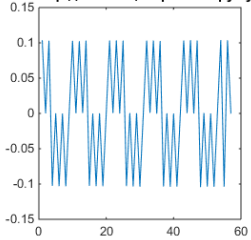
Коеф деталізації 2 рівня струму



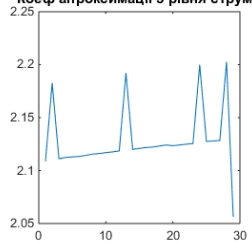
Коеф деталізації 3 рівня струму



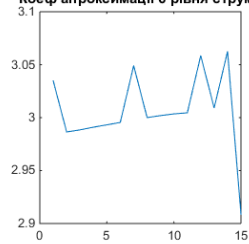
Коеф деталізації 4 рівня струму



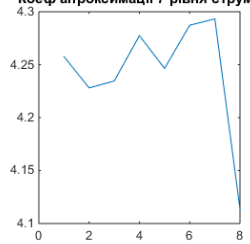
Коеф апроксимації 5 рівня струму



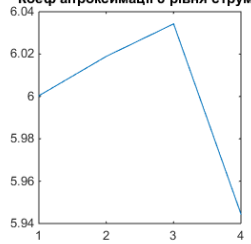
Коеф апроксимації 6 рівня струму



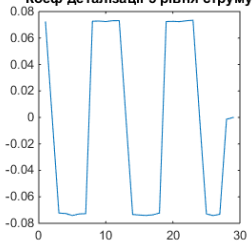
Коеф апроксимації 7 рівня струму



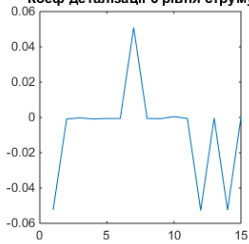
Коеф апроксимації 8 рівня струму



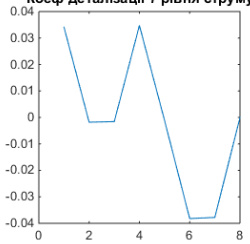
Коеф деталізації 5 рівня струму



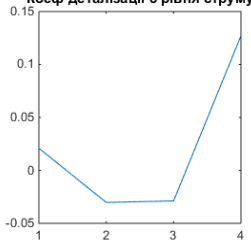
Коеф деталізації 6 рівня струму



Коеф деталізації 7 рівня струму

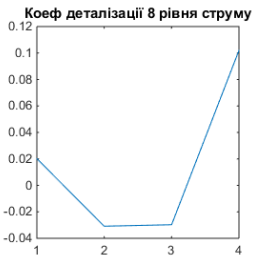
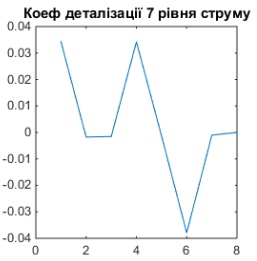
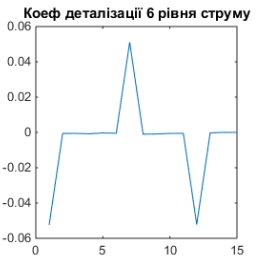
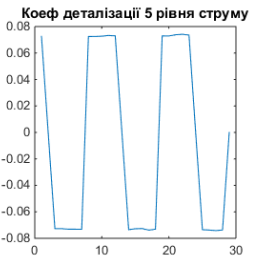
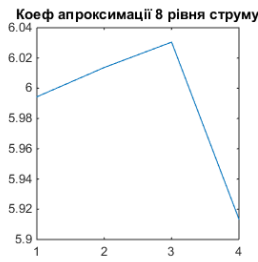
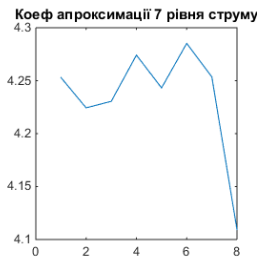
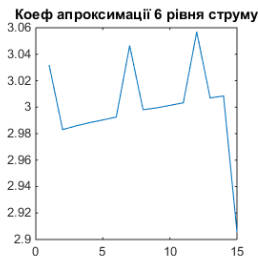
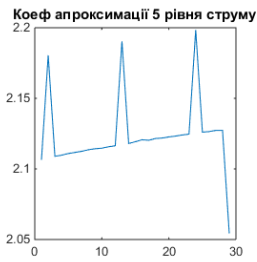
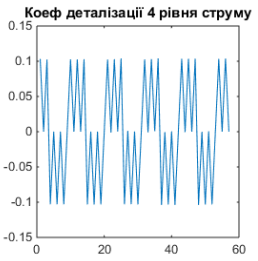
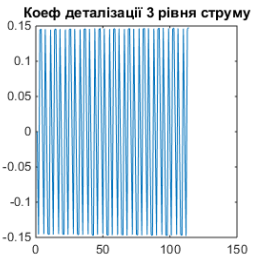
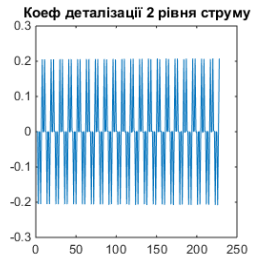
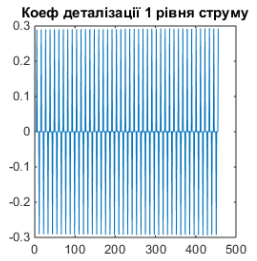
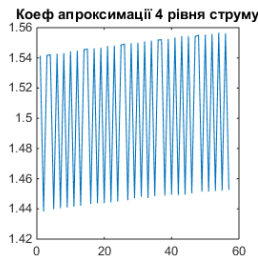
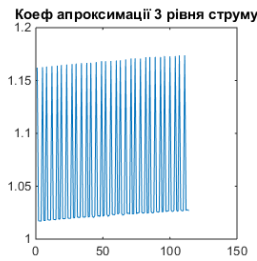
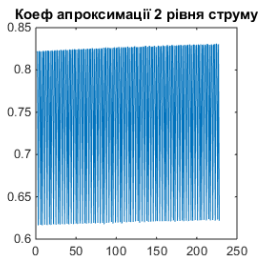
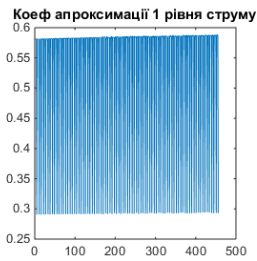
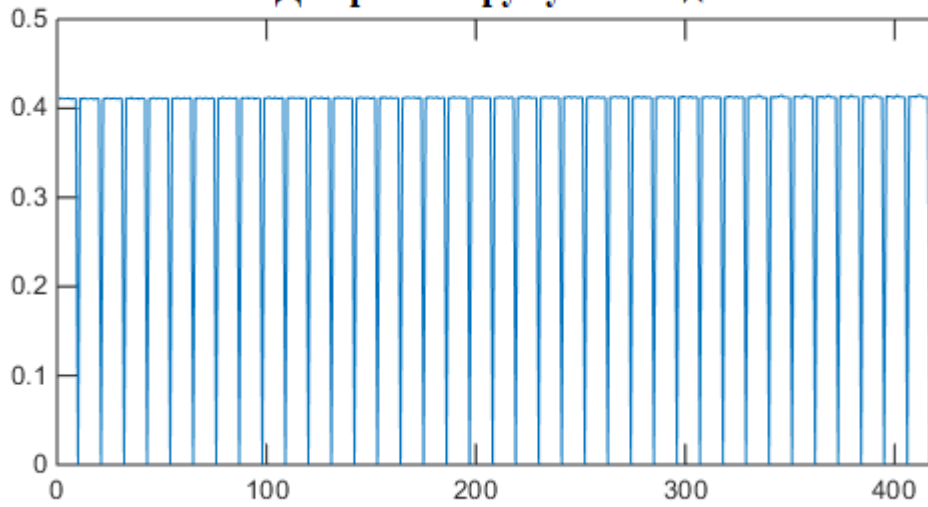


Коеф деталізації 8 рівня струму



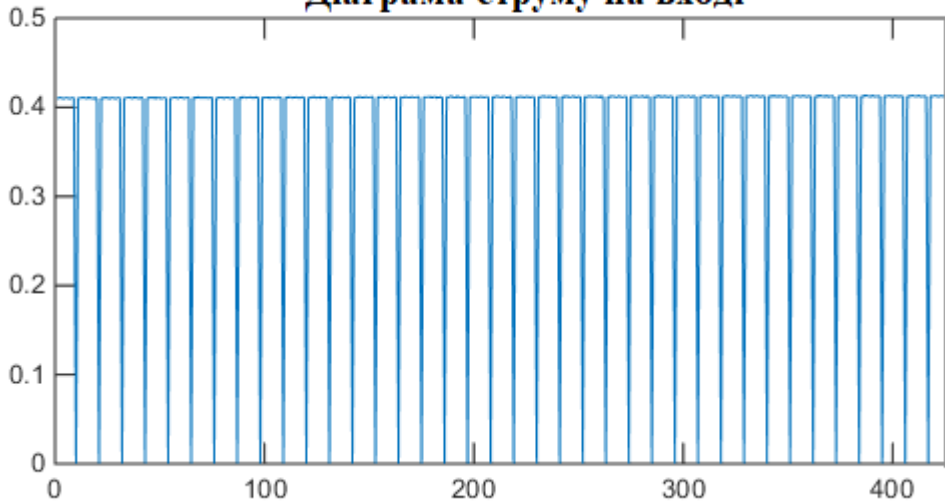
Ємність 50 мкФ

Діаграма струму на вході

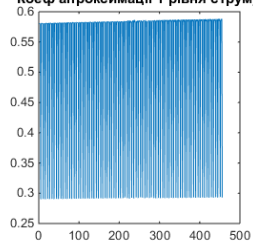


Ємність 100 мкФ

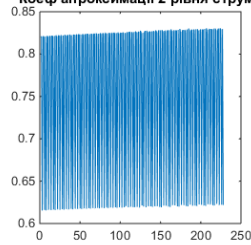
Діаграма струму на вході



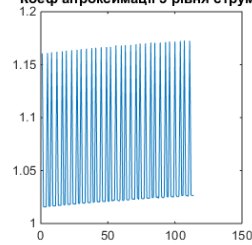
Коеф апроксимації 1 рівня струму



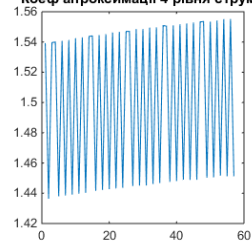
Коеф апроксимації 2 рівня струму



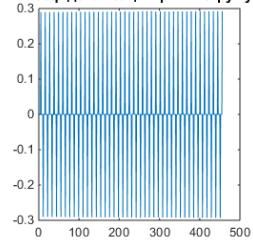
Коеф апроксимації 3 рівня струму



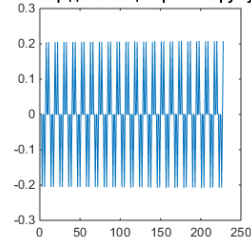
Коеф апроксимації 4 рівня струму



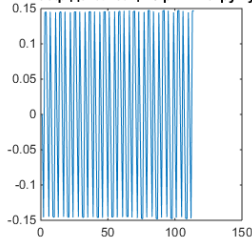
Коеф деталізації 1 рівня струму



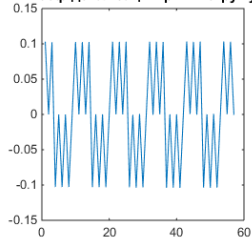
Коеф деталізації 2 рівня струму



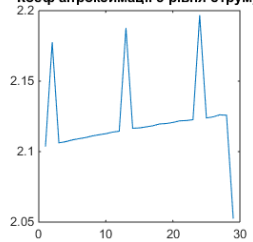
Коеф деталізації 3 рівня струму



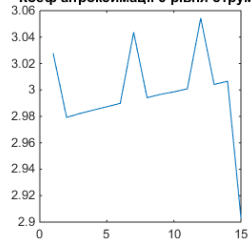
Коеф деталізації 4 рівня струму



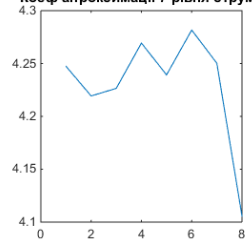
Коеф апроксимації 5 рівня струму



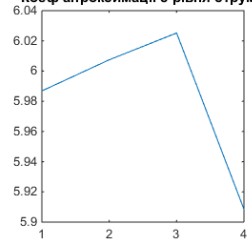
Коеф апроксимації 6 рівня струму



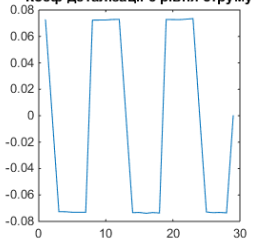
Коеф апроксимації 7 рівня струму



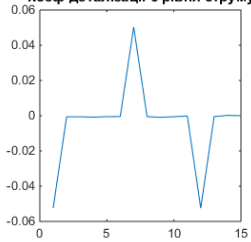
Коеф апроксимації 8 рівня струму



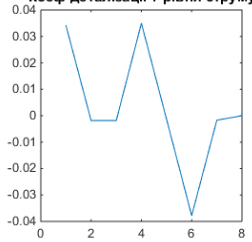
Коеф деталізації 5 рівня струму



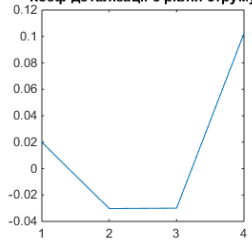
Коеф деталізації 6 рівня струму



Коеф деталізації 7 рівня струму

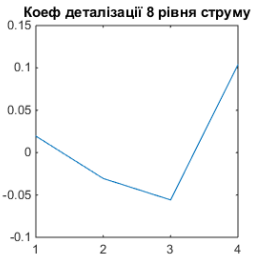
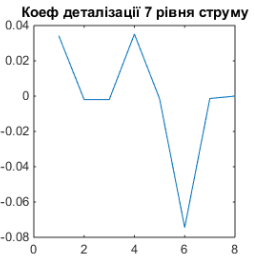
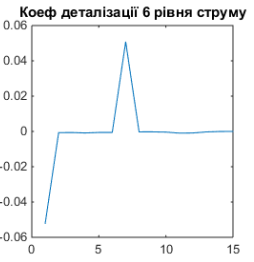
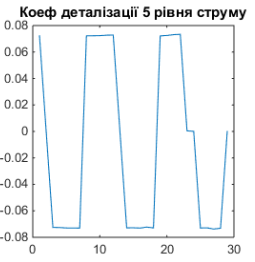
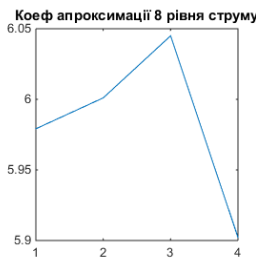
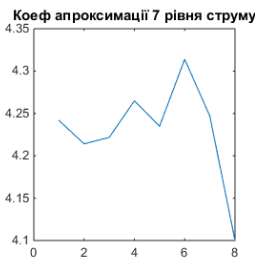
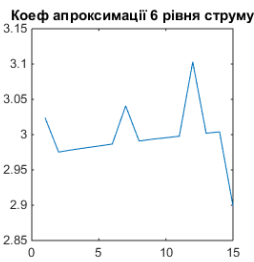
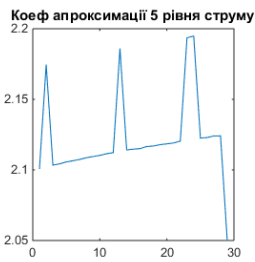
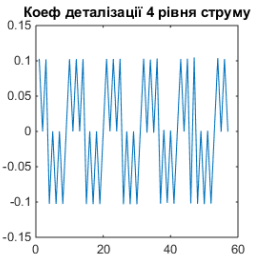
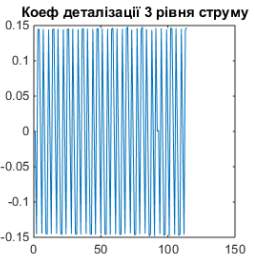
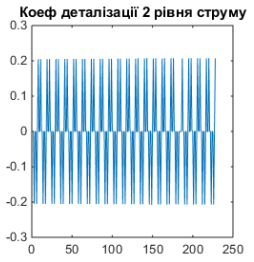
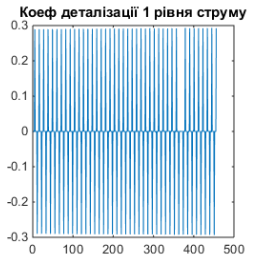
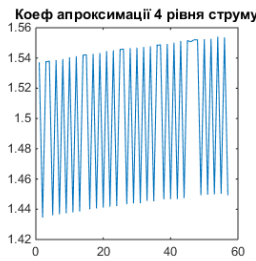
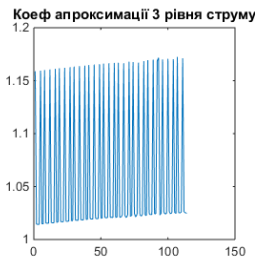
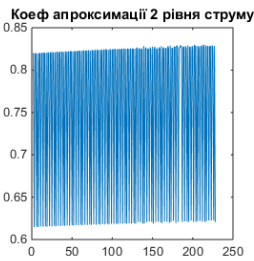
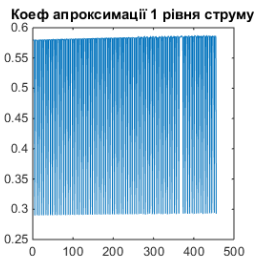
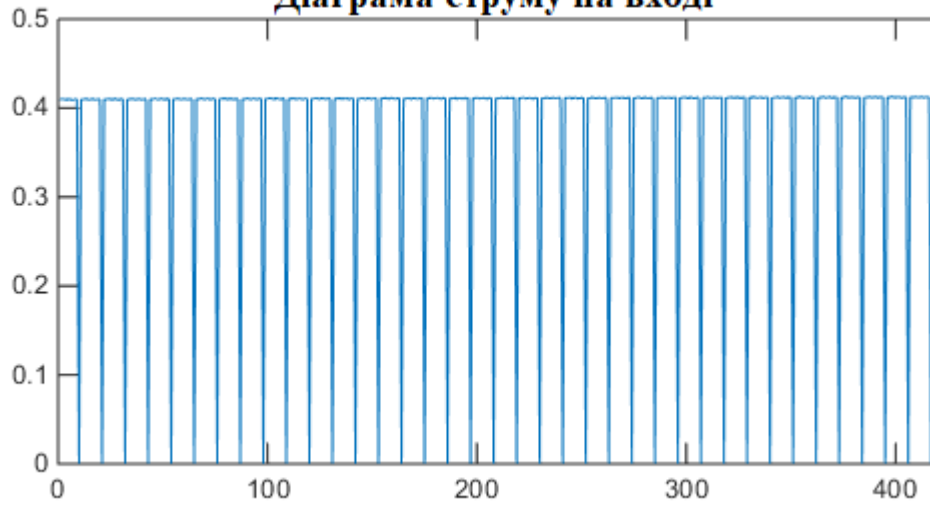


Коеф деталізації 8 рівня струму



Ємність 220 мкФ

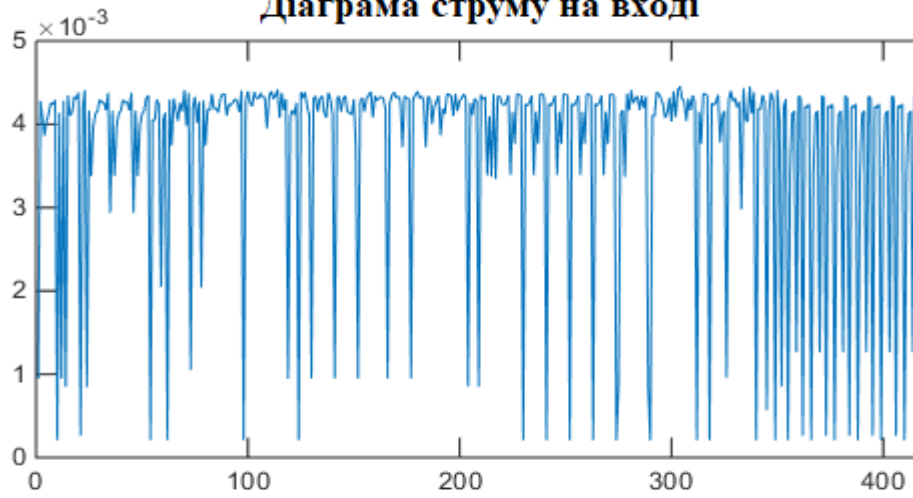
Діаграма струму на вході



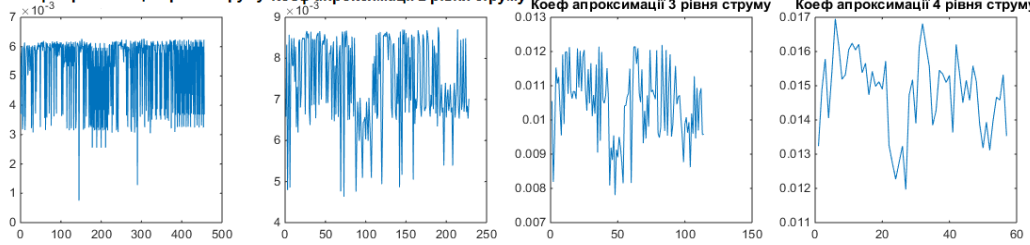
Опір навантаження 1000 М

Ємність 0 мкФ

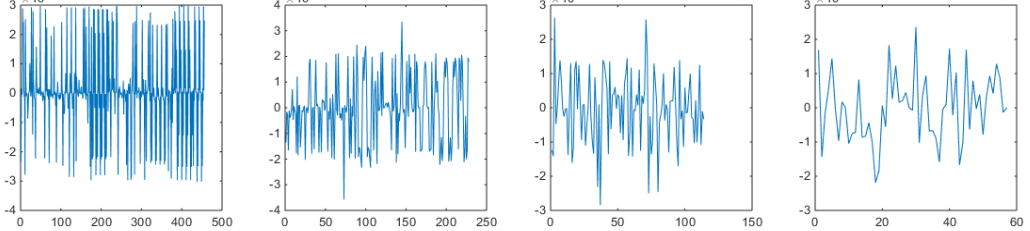
Діаграма струму на вході



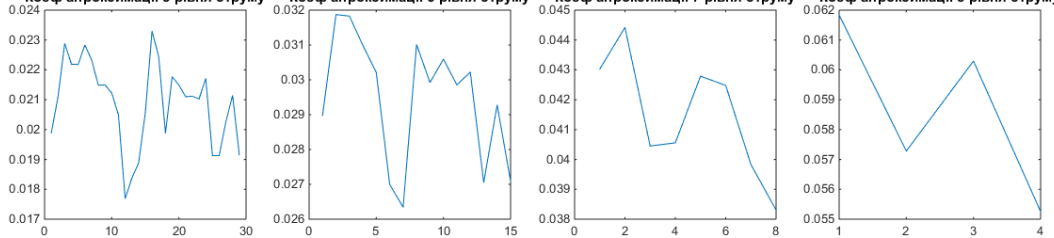
Коеф апроксимації 1 рівня струму Коеф апроксимації 2 рівня струму Коеф апроксимації 3 рівня струму Коеф апроксимації 4 рівня струму



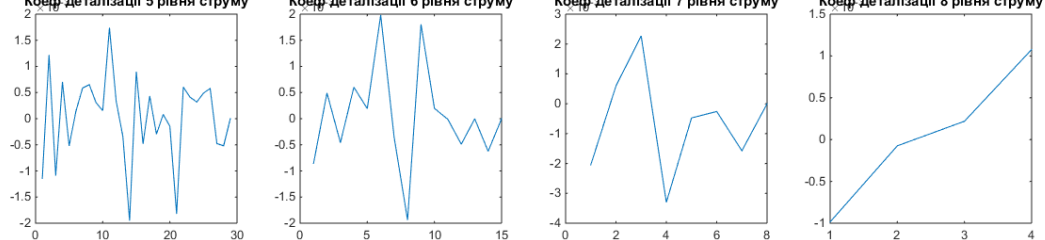
Коеф деталізації 1 рівня струму Коеф деталізації 2 рівня струму Коеф деталізації 3 рівня струму Коеф деталізації 4 рівня струму



Коеф апроксимації 5 рівня струму Коеф апроксимації 6 рівня струму Коеф апроксимації 7 рівня струму Коеф апроксимації 8 рівня струму

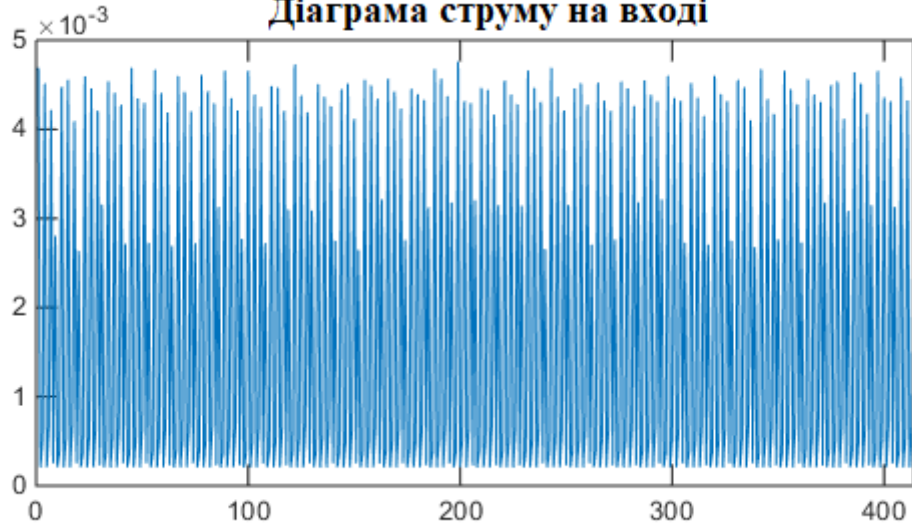


Коеф деталізації 5 рівня струму Коеф деталізації 6 рівня струму Коеф деталізації 7 рівня струму Коеф деталізації 8 рівня струму

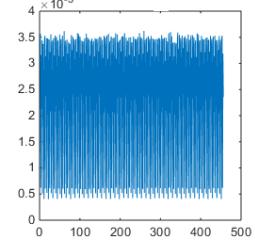


Ємність 20 мкФ

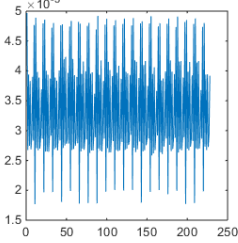
Діаграма струму на вході



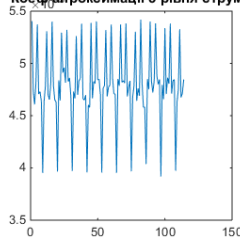
Коеф апроксимації 1 рівня струму



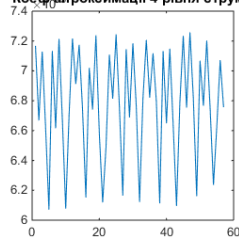
Коеф апроксимації 2 рівня струму



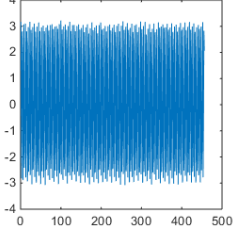
Коеф апроксимації 3 рівня струму



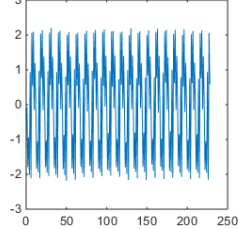
Коеф апроксимації 4 рівня струму



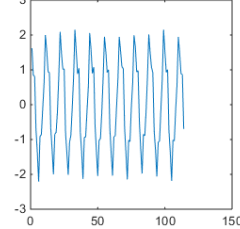
Коеф деталізації 1 рівня струму



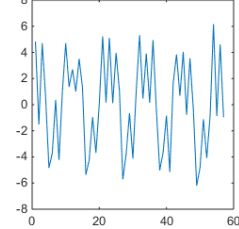
Коеф деталізації 2 рівня струму



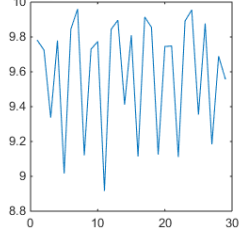
Коеф деталізації 3 рівня струму



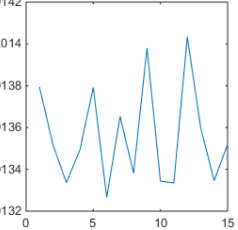
Коеф деталізації 4 рівня струму



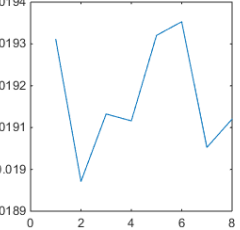
Коеф апроксимації 5 рівня струму



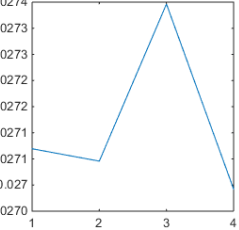
Коеф апроксимації 6 рівня струму



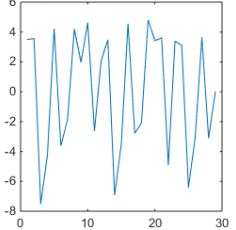
Коеф апроксимації 7 рівня струму



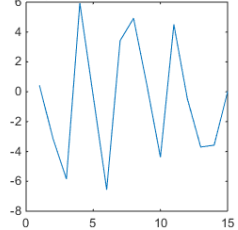
Коеф апроксимації 8 рівня струму



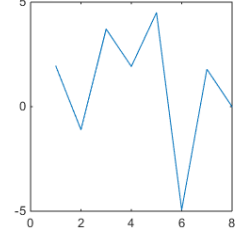
Коеф деталізації 5 рівня струму



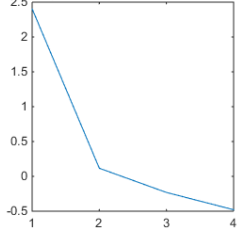
Коеф деталізації 6 рівня струму



Коеф деталізації 7 рівня струму

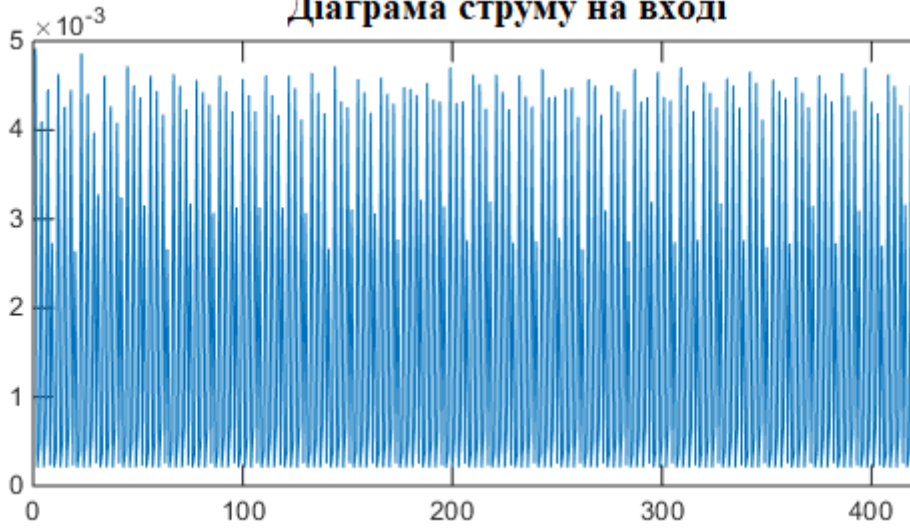


Коеф деталізації 8 рівня струму

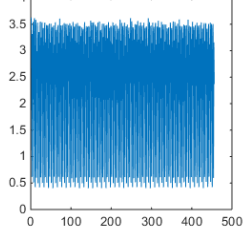


Ємність 50 мкФ

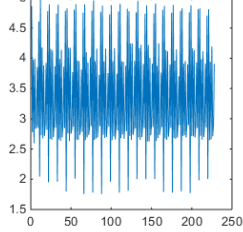
Діаграма струму на вході



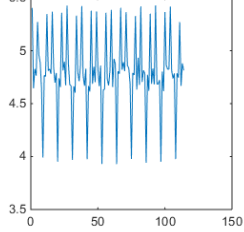
Коеф. апроксимації 1 рівня струму



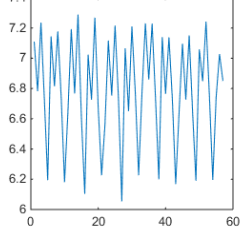
Коеф. апроксимації 2 рівня струму



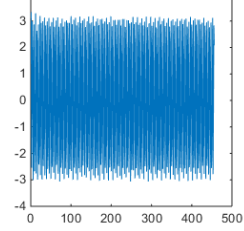
Коеф. апроксимації 3 рівня струму



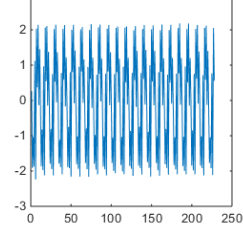
Коеф. апроксимації 4 рівня струму



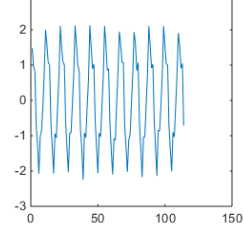
Коеф. деталізації 1 рівня струму



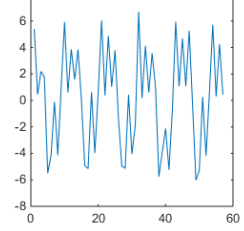
Коеф. деталізації 2 рівня струму



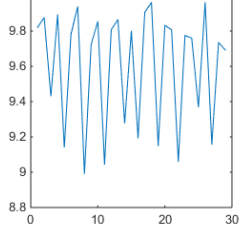
Коеф. деталізації 3 рівня струму



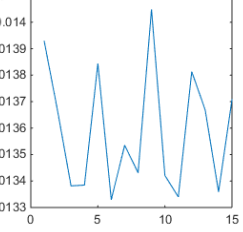
Коеф. деталізації 4 рівня струму



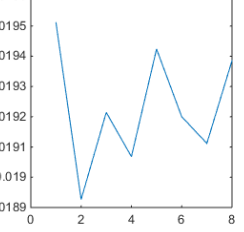
Коеф. апроксимації 5 рівня струму



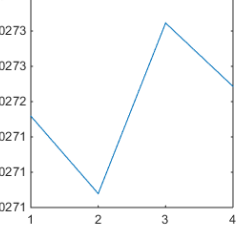
Коеф. апроксимації 6 рівня струму



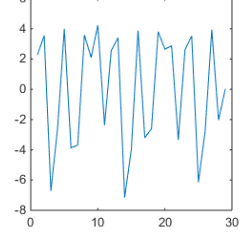
Коеф. апроксимації 7 рівня струму



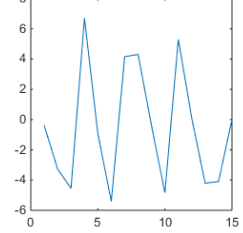
Коеф. апроксимації 8 рівня струму



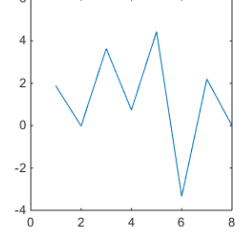
Коеф. деталізації 5 рівня струму



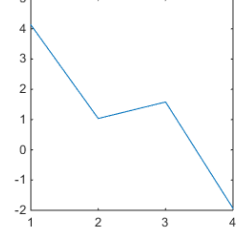
Коеф. деталізації 6 рівня струму



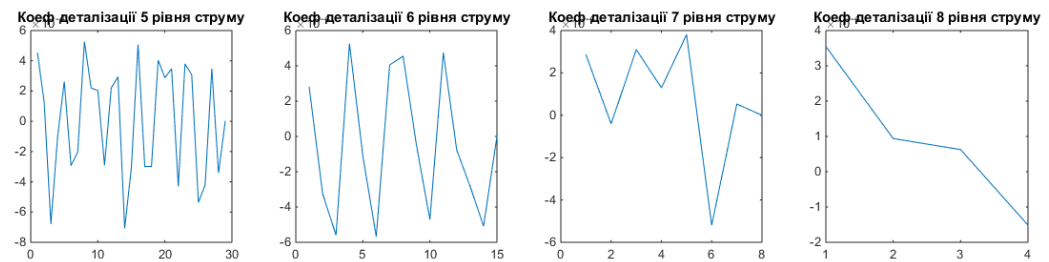
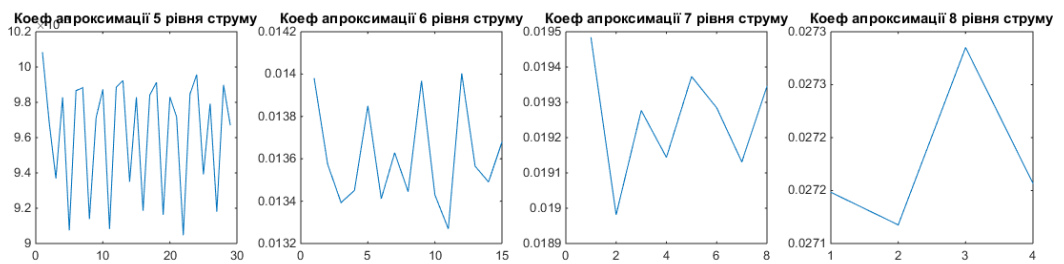
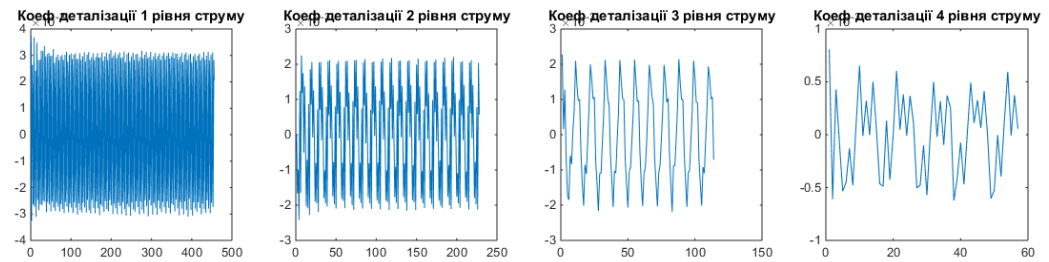
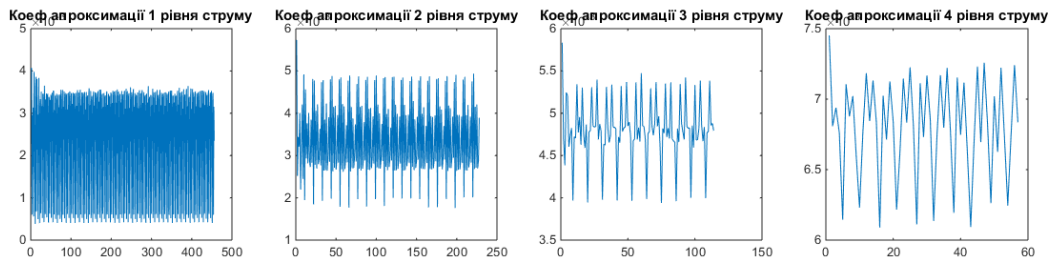
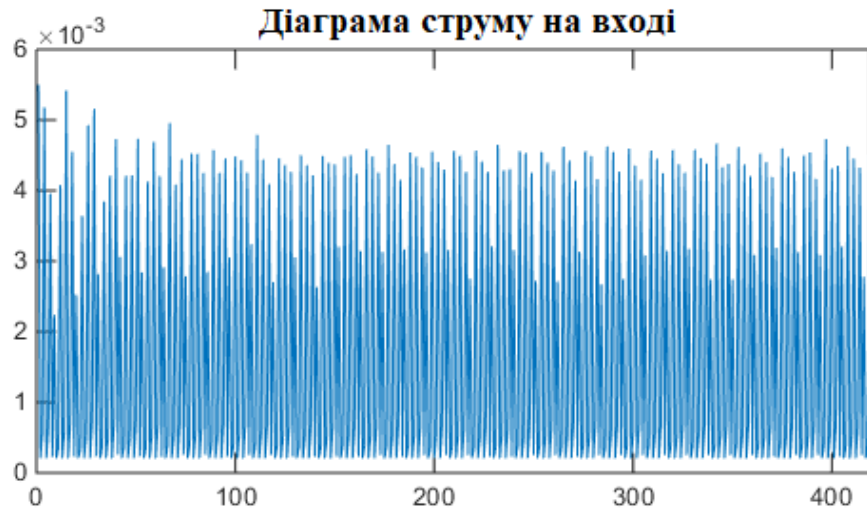
Коеф. деталізації 7 рівня струму



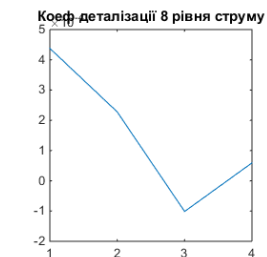
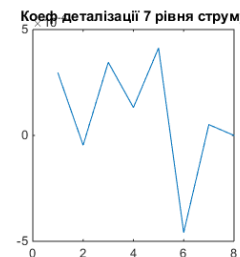
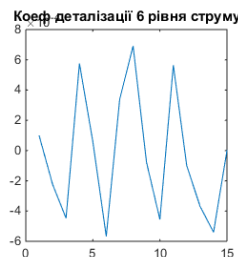
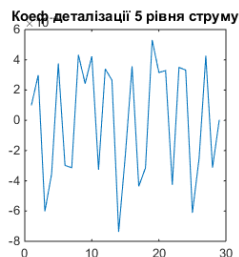
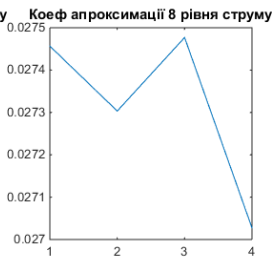
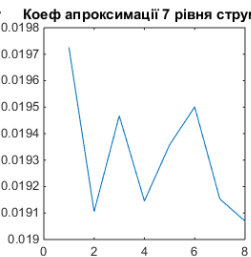
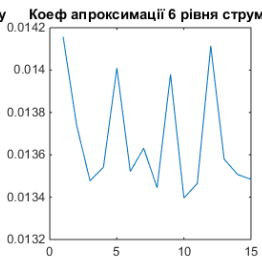
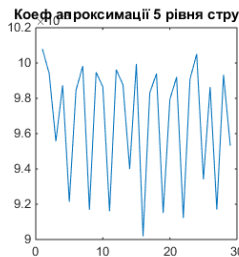
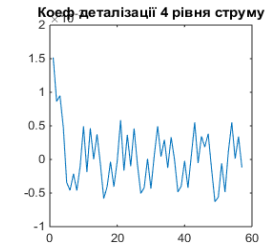
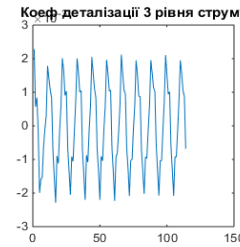
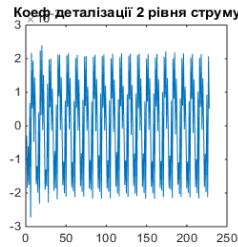
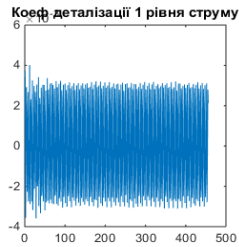
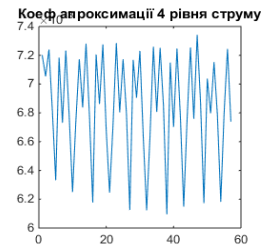
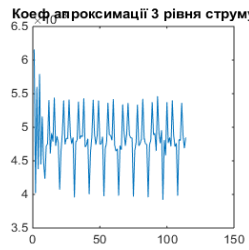
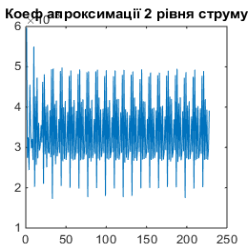
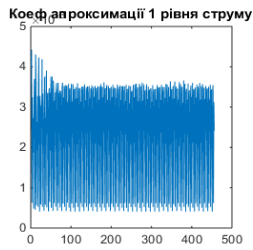
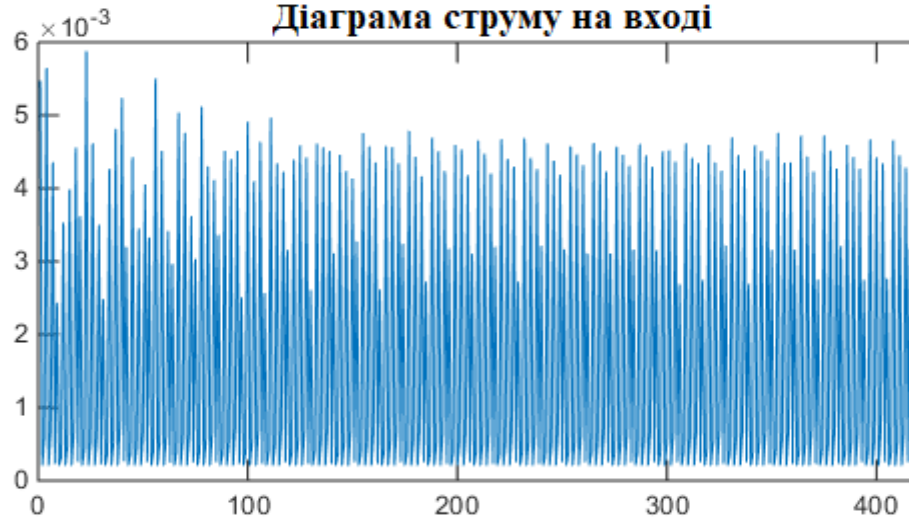
Коеф. деталізації 8 рівня струму



Ємність 100 мкФ



Ємність 220 мкФ



```

%-----Обработка входящих значений-----
filter=200;          % установка сколько первых значений должны удалить
p=1;
while p<=filter
    Power_IN(1)=[];
    p=p+1;
end
i=1;
while i<=filter
    I_in(1)=[];
    i=i+1;
end
%-----Полученные параметры схемы после фильтрации-----
swPi=Power_IN;
swIi=I_in;
%-----Входная мощность-----
[сpi,1]=wavedec(swPi,8,'haar');
сapi1=appcoef(сpi,1,'haar',1);
сapi2=appcoef(сpi,1,'haar',2);
сapi3=appcoef(сpi,1,'haar',3);
сapi4=appcoef(сpi,1,'haar',4);
сapi5=appcoef(сpi,1,'haar',5);
сapi6=appcoef(сpi,1,'haar',6);
сapi7=appcoef(сpi,1,'haar',7);
сapi8=appcoef(сpi,1,'haar',8);
[сdpi1,сdpi2,сdpi3,сdpi4,сdpi5,сdpi6,сdpi7,сdpi8 ] = detcoef(сpi,1,[1 2 3 4 5 6 7 8]);
%-----Входной ток-----
[сii,k]=wavedec(swIi,8,'haar');
сaii1=appcoef(сii,k,'haar',1);
сaii2=appcoef(сii,k,'haar',2);
сaii3=appcoef(сii,k,'haar',3);
сaii4=appcoef(сii,k,'haar',4);
сaii5=appcoef(сii,k,'haar',5);
сaii6=appcoef(сii,k,'haar',6);
сaii7=appcoef(сii,k,'haar',7);
сaii8=appcoef(сii,k,'haar',8);
[сdii1,сdii2,сdii3,сdii4,сdii5,сdii6, сdii7, сdii8] = detcoef(сii,k,[1 2 3 4 5 6 7 8]);
%-----Отрисовка графиков-----
figure;
subplot(211); plot(swIi); title('Діаграма струму на вході');
subplot(212); plot(swPi); title('Діаграма миттєвої потужності на вході');

```

```
figure;  
subplot(241); plot(caii1); title('Коеф апроксимації 1 рівня струму');  
subplot(242); plot(caii2); title('Коеф апроксимації 2 рівня струму');  
subplot(243); plot(caii3); title('Коеф апроксимації 3 рівня струму');  
subplot(244); plot(caii4); title('Коеф апроксимації 4 рівня струму');  
subplot(245); plot(cdii1); title('Коеф деталізації 1 рівня струму');  
subplot(246); plot(cdii2); title('Коеф деталізації 2 рівня струму');  
subplot(247); plot(cdii3); title('Коеф деталізації 3 рівня струму');  
subplot(248); plot(cdii4); title('Коеф деталізації 4 рівня струму');
```

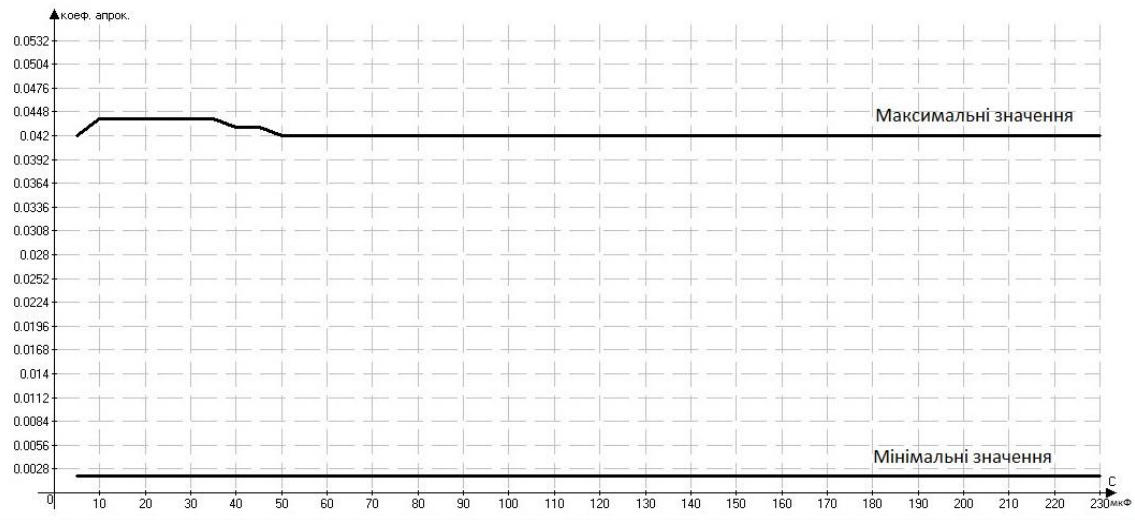
```
figure;  
subplot(241); plot(caii5); title('Коеф апроксимації 5 рівня струму');  
subplot(242); plot(caii6); title('Коеф апроксимації 6 рівня струму');  
subplot(243); plot(caii7); title('Коеф апроксимації 7 рівня струму');  
subplot(244); plot(caii8); title('Коеф апроксимації 8 рівня струму');  
subplot(245); plot(cdii5); title('Коеф деталізації 5 рівня струму');  
subplot(246); plot(cdii6); title('Коеф деталізації 6 рівня струму');  
subplot(247); plot(cdii7); title('Коеф деталізації 7 рівня струму');  
subplot(248); plot(cdii8); title('Коеф деталізації 8 рівня струму');
```

```
figure;  
subplot(241); plot(capi1); title('Коеф апроксимації 1 рівня МП');  
subplot(242); plot(capi2); title('Коеф апроксимації 2 рівня МП');  
subplot(243); plot(capi3); title('Коеф апроксимації 3 рівня МП');  
subplot(244); plot(capi4); title('Коеф апроксимації 4 рівня МП');  
subplot(245); plot(cdpi1); title('Коеф деталізації 1 рівня МП');  
subplot(246); plot(cdpi2); title('Коеф деталізації 2 рівня МП');  
subplot(247); plot(cdpi3); title('Коеф деталізації 3 рівня МП');  
subplot(248); plot(cdpi4); title('Коеф деталізації 4 рівня МП');
```

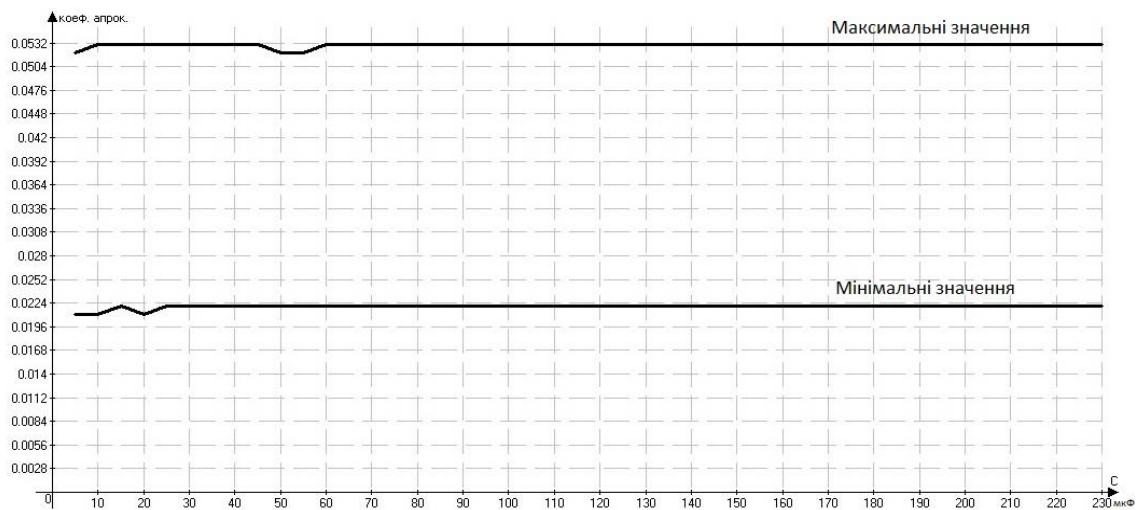
```
figure;  
subplot(241); plot(capi5); title('Коеф апроксимації 5 рівня МП');  
subplot(242); plot(capi6); title('Коеф апроксимації 6 рівня МП');  
subplot(243); plot(capi7); title('Коеф апроксимації 7 рівня МП');  
subplot(244); plot(capi8); title('Коеф апроксимації 8 рівня МП');  
subplot(245); plot(cdpi5); title('Коеф деталізації 5 рівня МП');  
subplot(246); plot(cdpi6); title('Коеф деталізації 6 рівня МП');  
subplot(247); plot(cdpi7); title('Коеф деталізації 7 рівня МП');  
subplot(248); plot(cdpi8); title('Коеф деталізації 8 рівня МП');
```

Опір навантаження 100 Ом. Коефіцієнти апроксимації

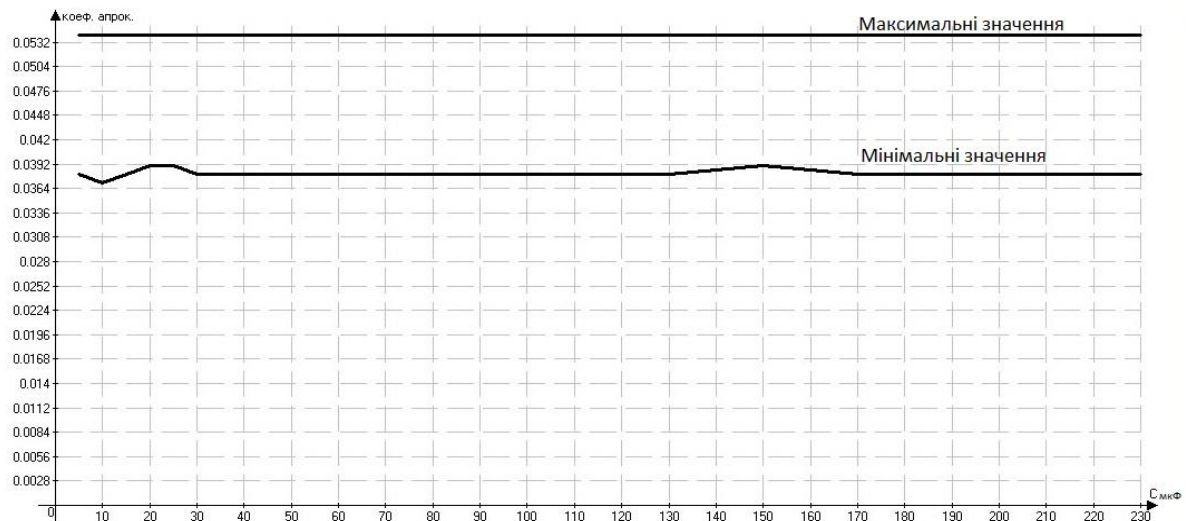
1 рівень розкладання



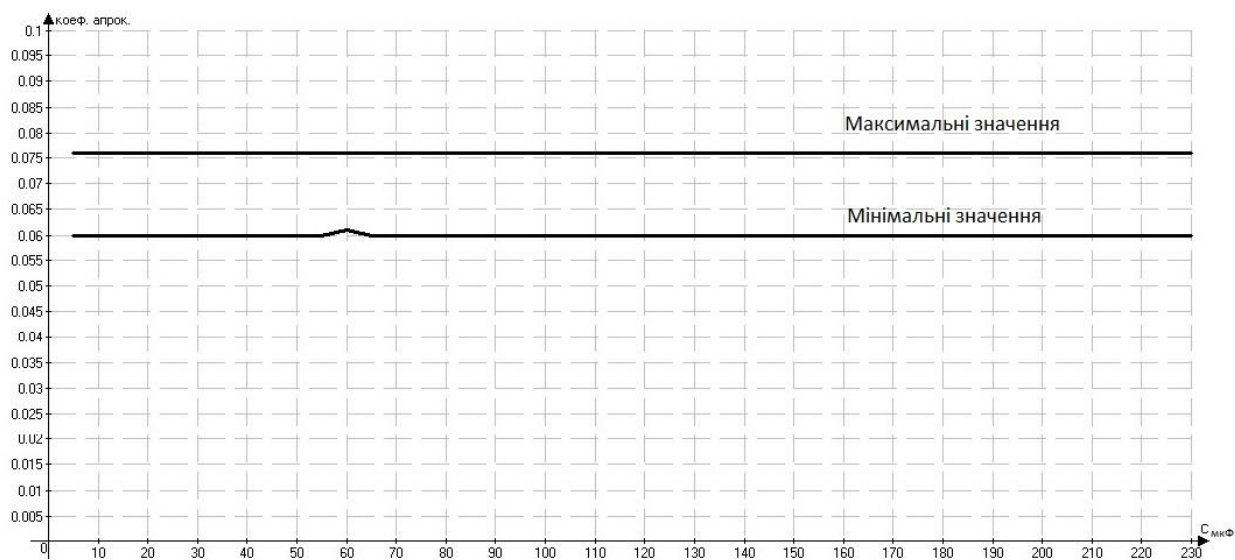
2 рівень розкладання



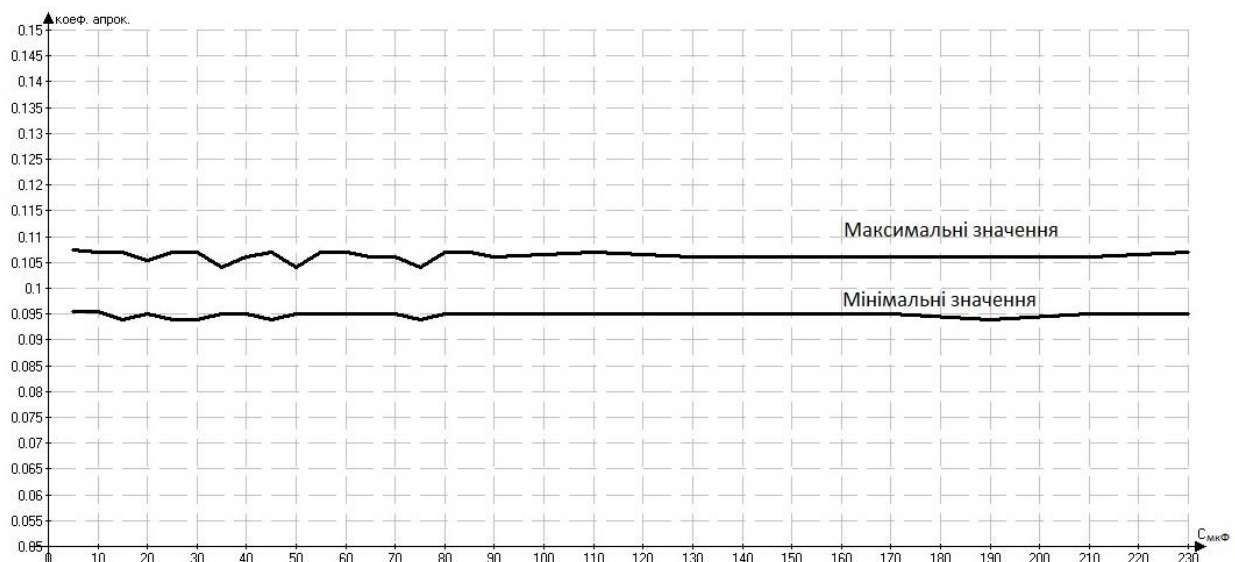
3 рівень розкладання



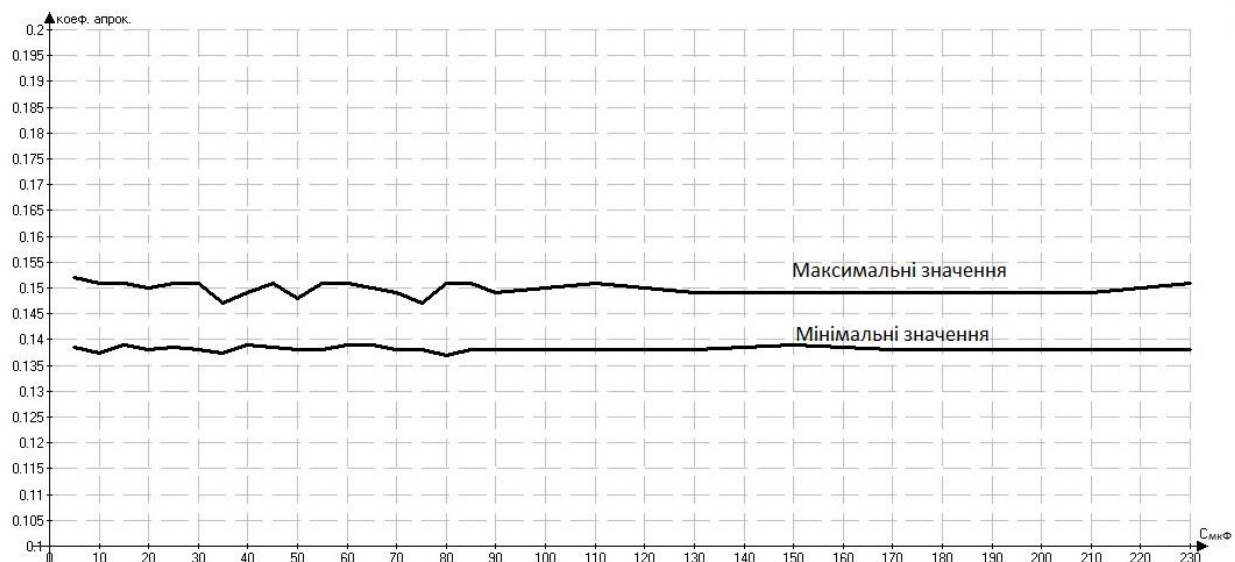
4 рівень розкладання



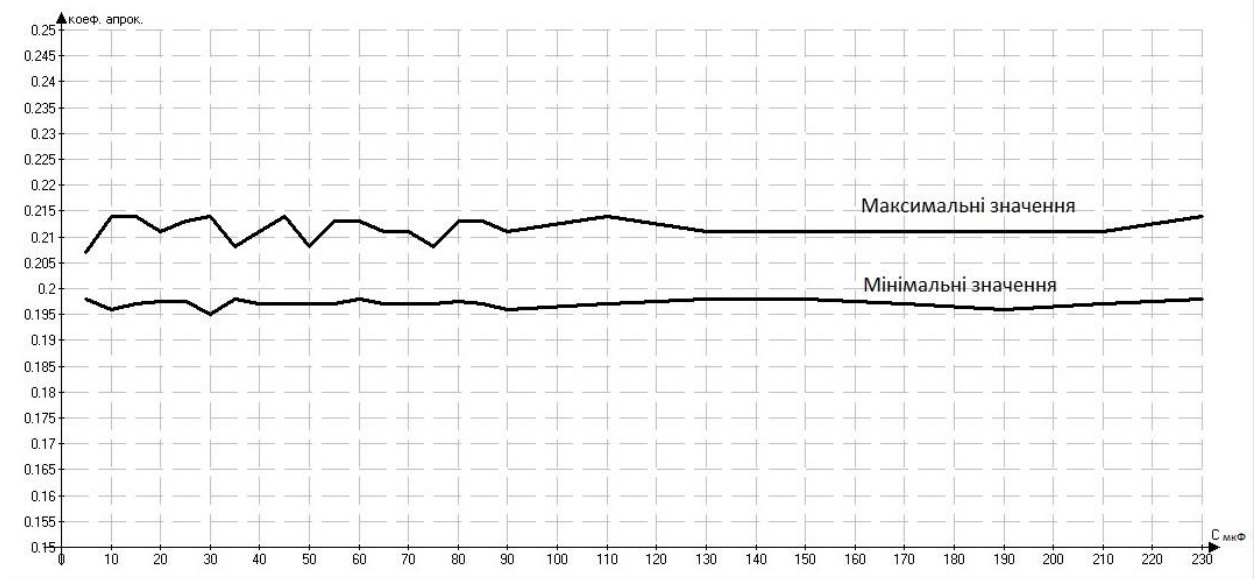
5 рівень розкладання



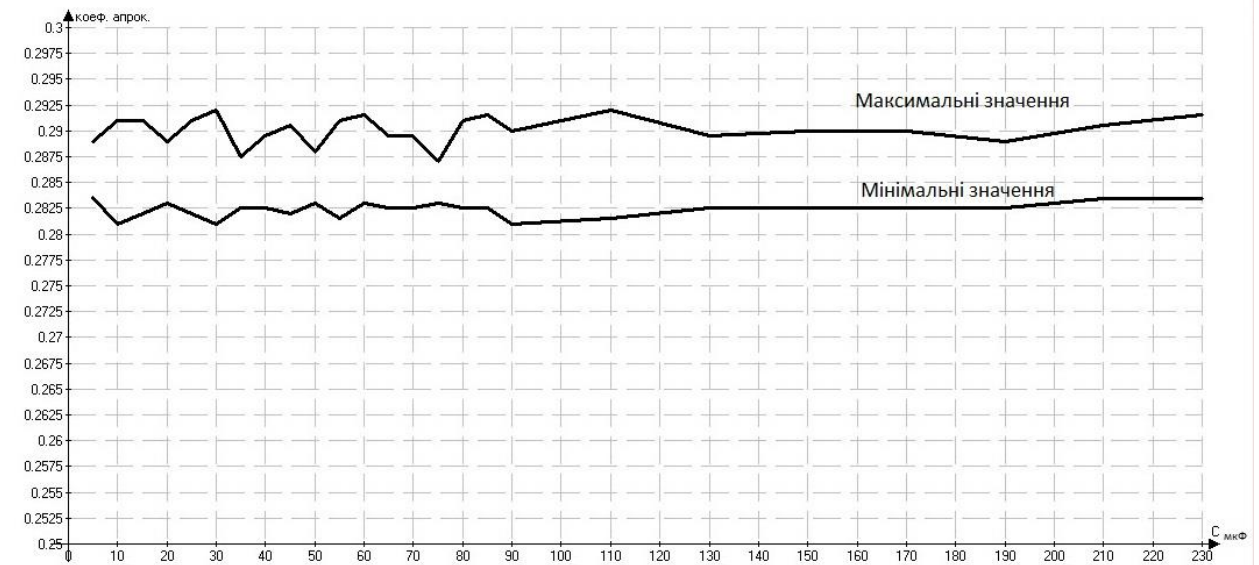
6 рівень розкладання



7 рівень розкладання

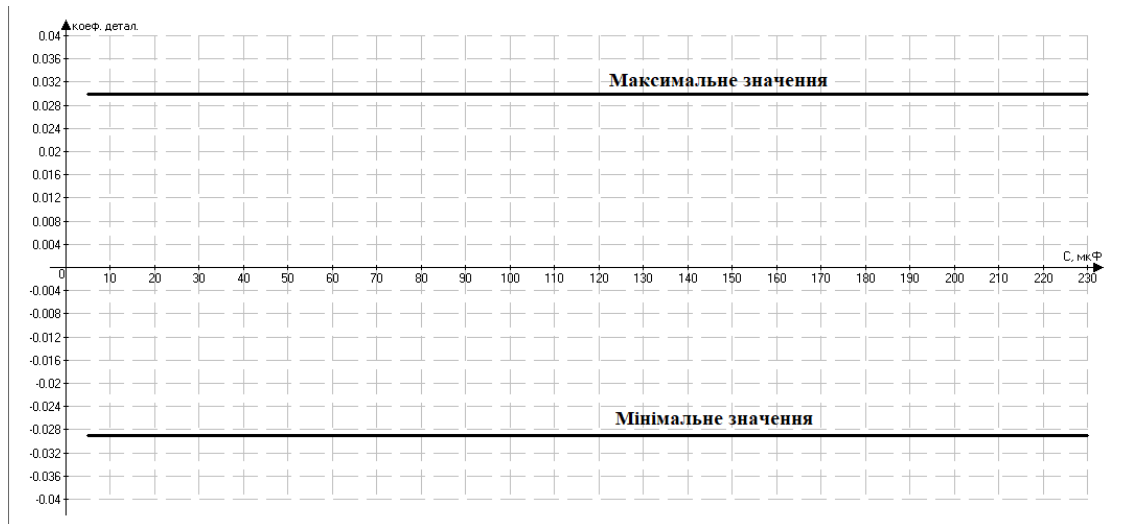


8 рівень розкладання

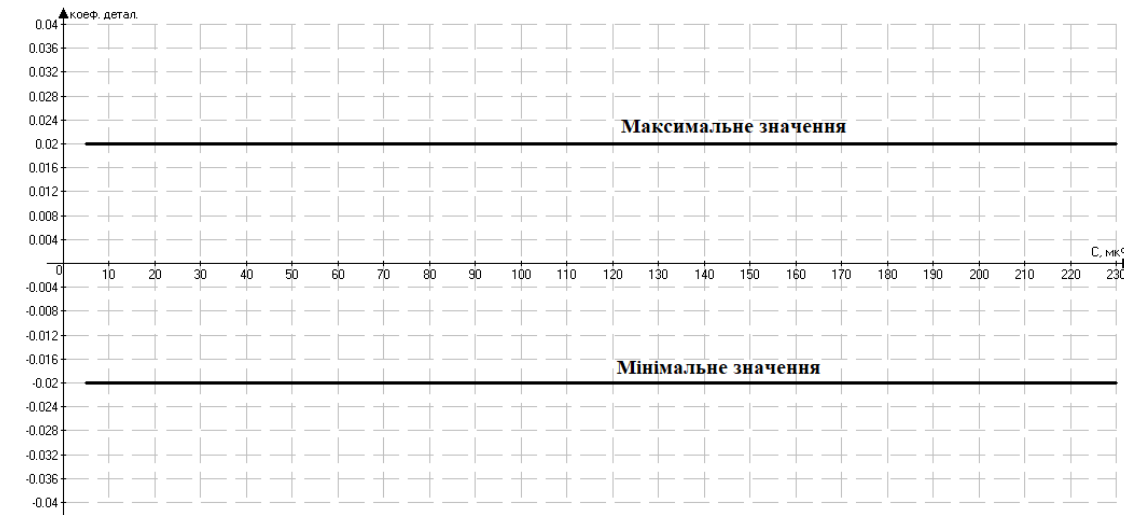


Коефіцієнти деталізації

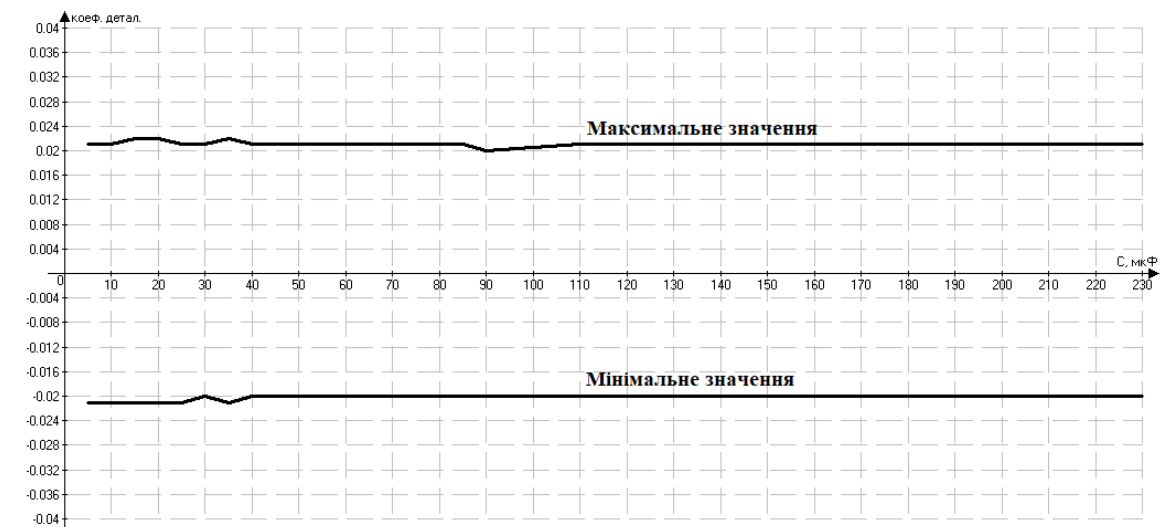
1 рівень розкладання



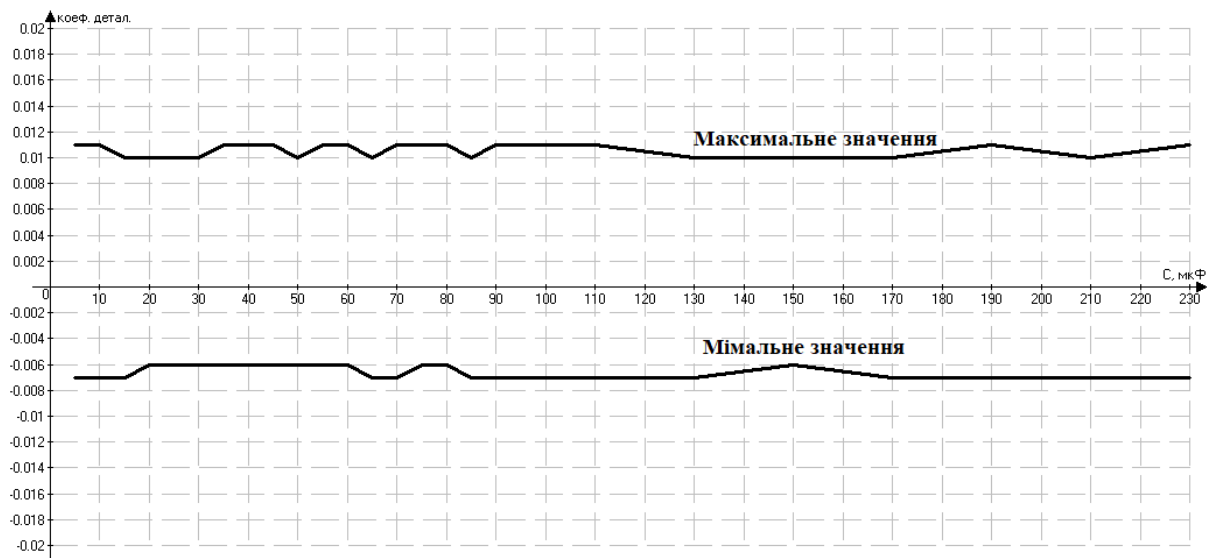
2 рівень розкладання



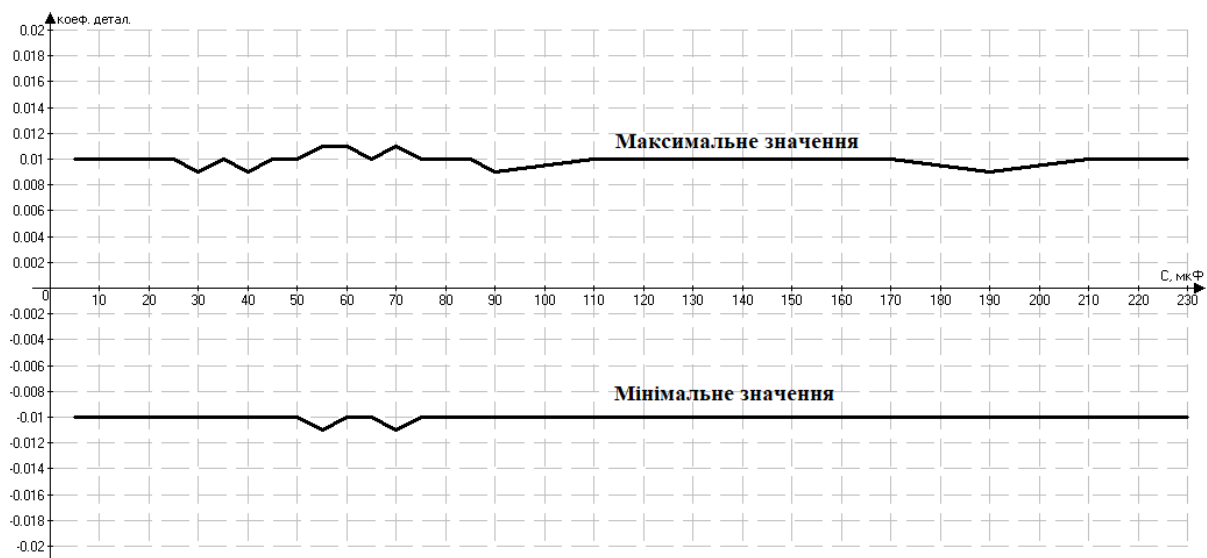
3 рівень розкладання



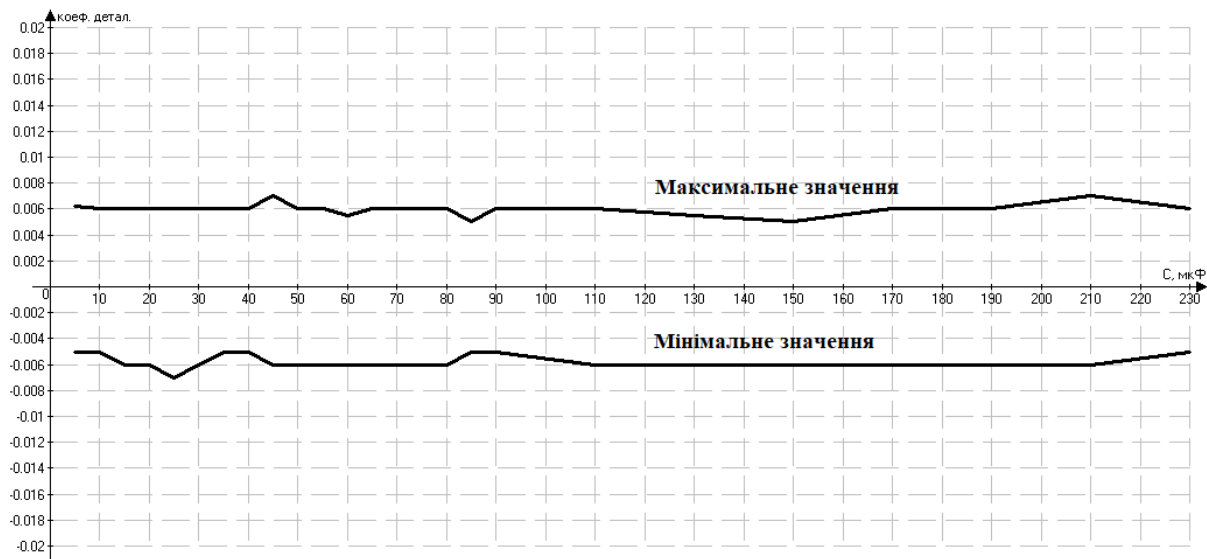
4 рівень розкладання



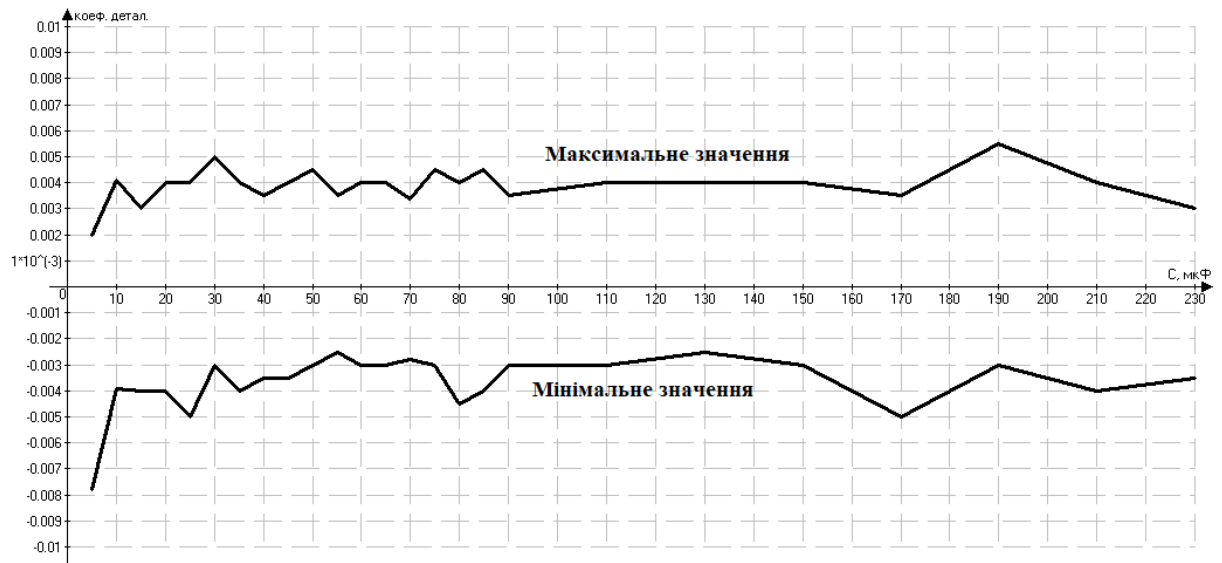
5 рівень розкладання



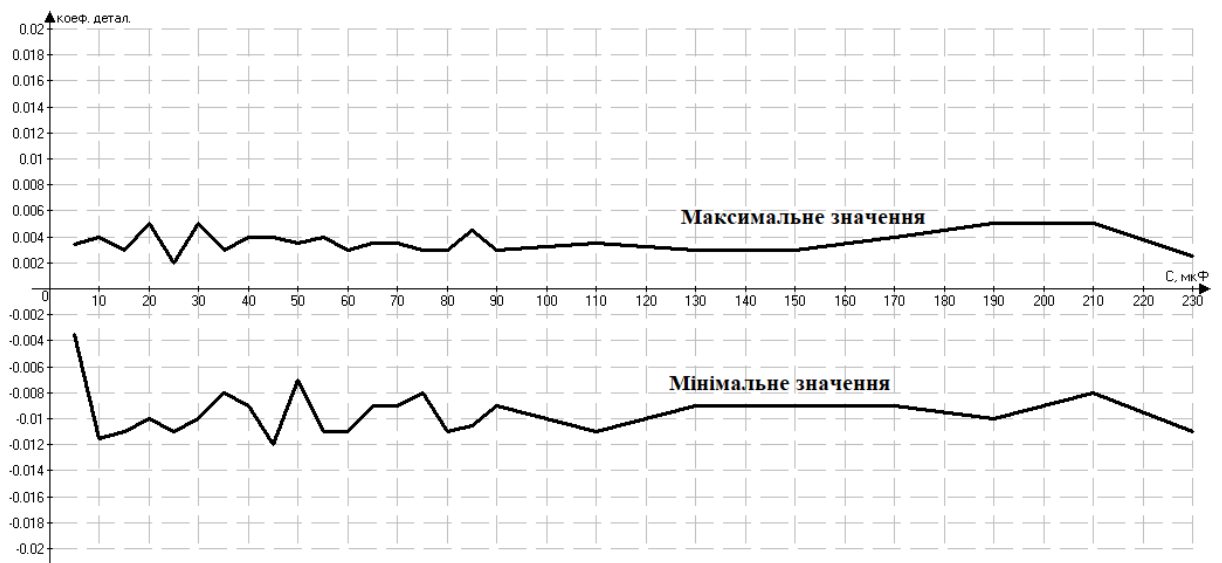
6 рівень розкладання



7 рівень розкладання



8 рівень розкладання



Коефіцієнти апроксимації. Опір навантаження 10 Ом

1 рівень розкладання



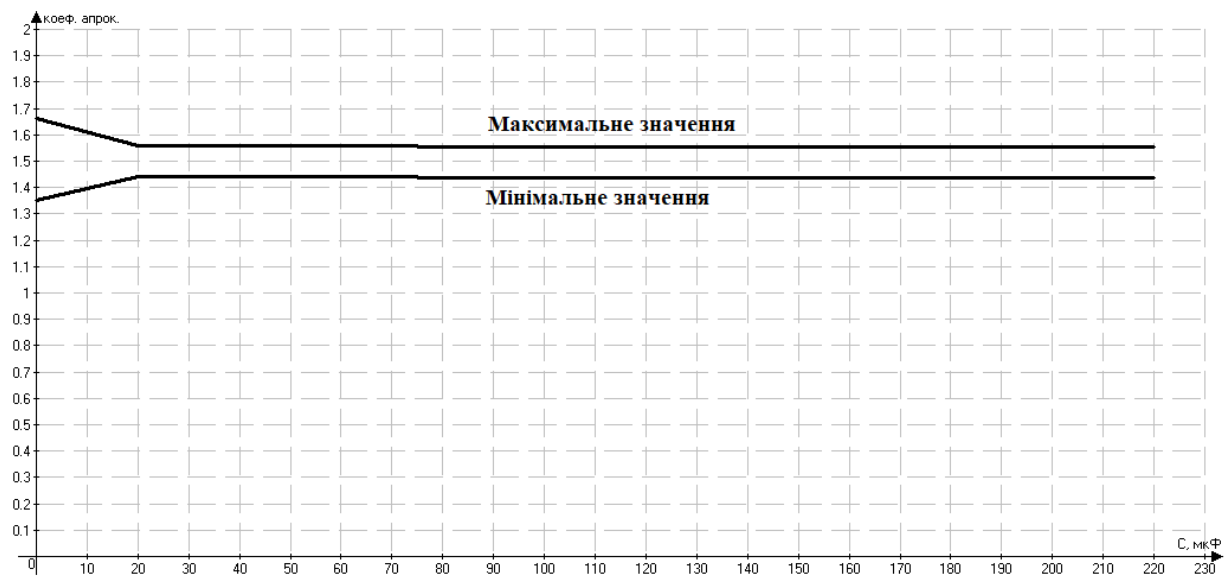
2 рівень розкладання



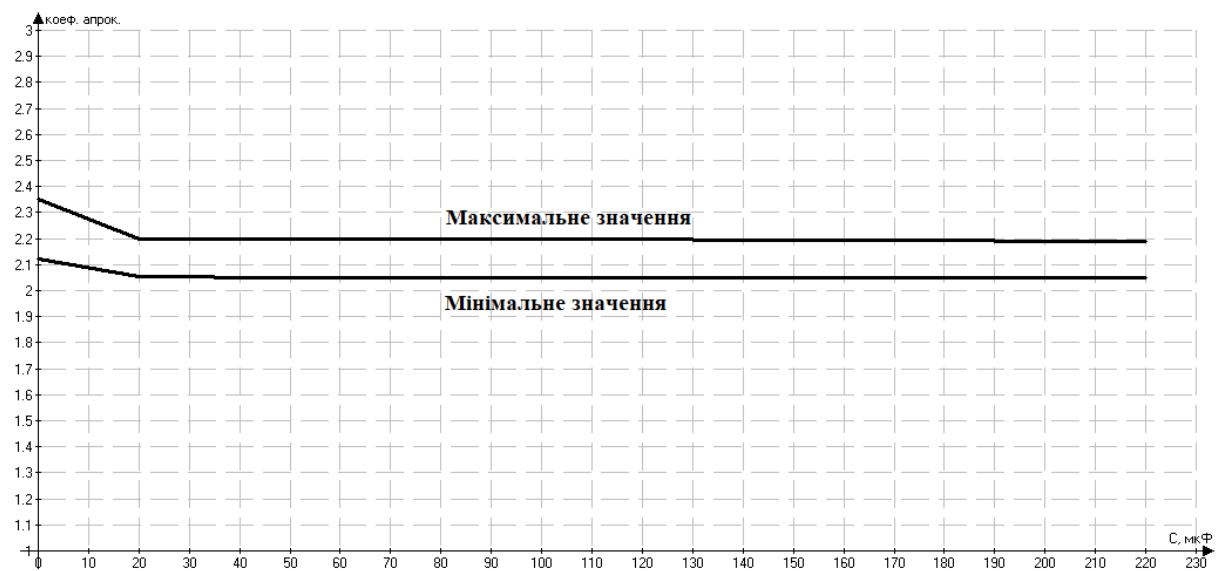
3 рівень розкладання



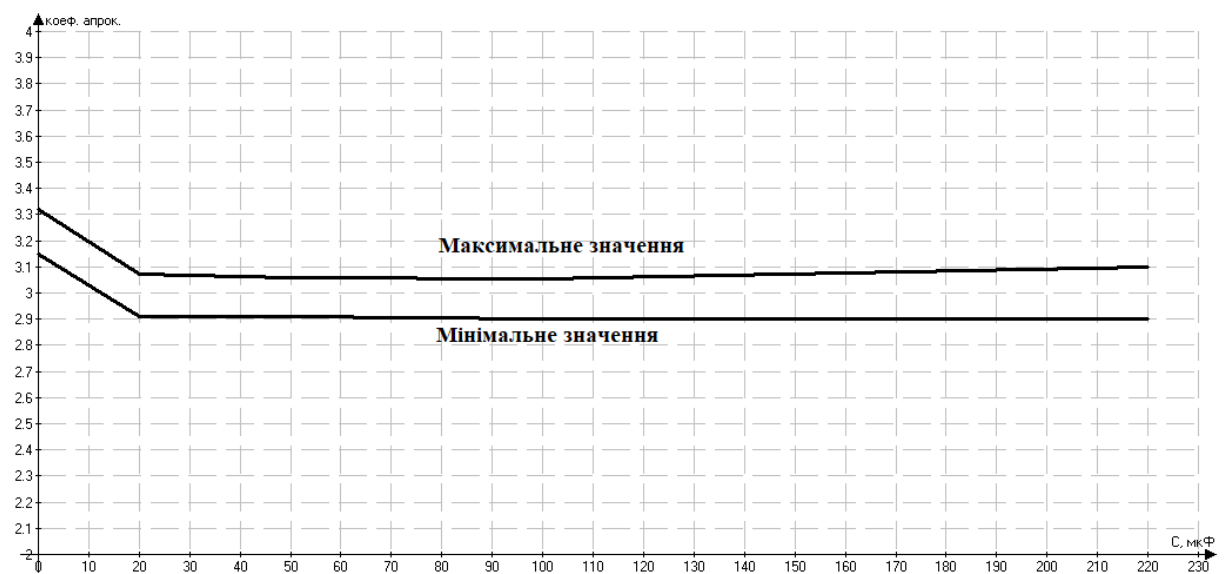
4 рівень розкладання



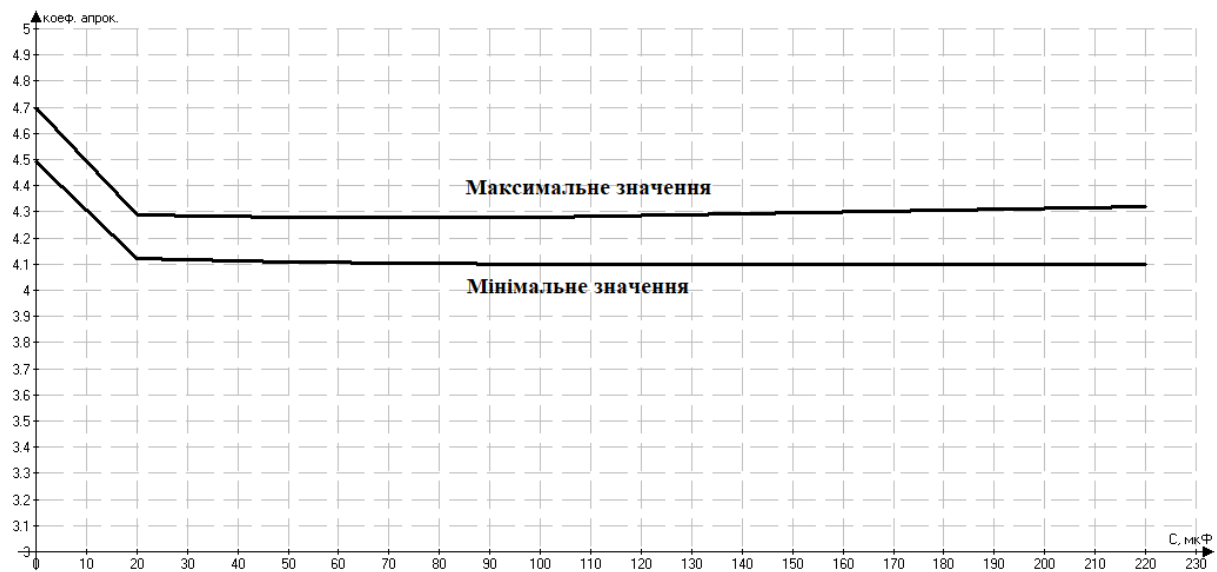
5 рівень розкладання



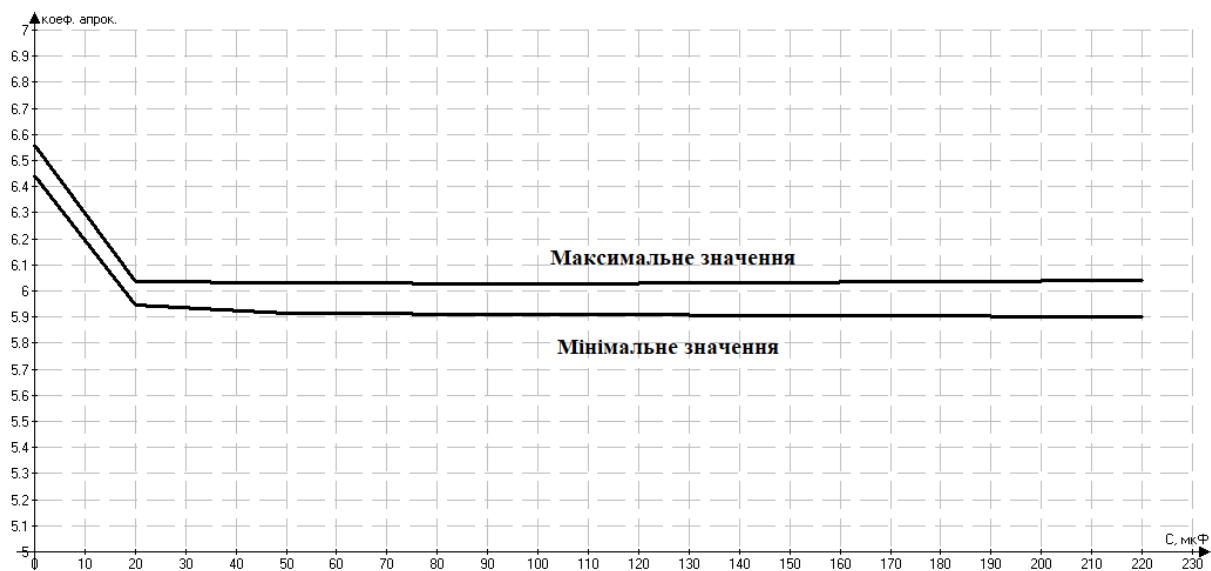
6 рівень розкладання



7 рівень розкладання



8 рівень розкладання



Коефіцієнт деталізації

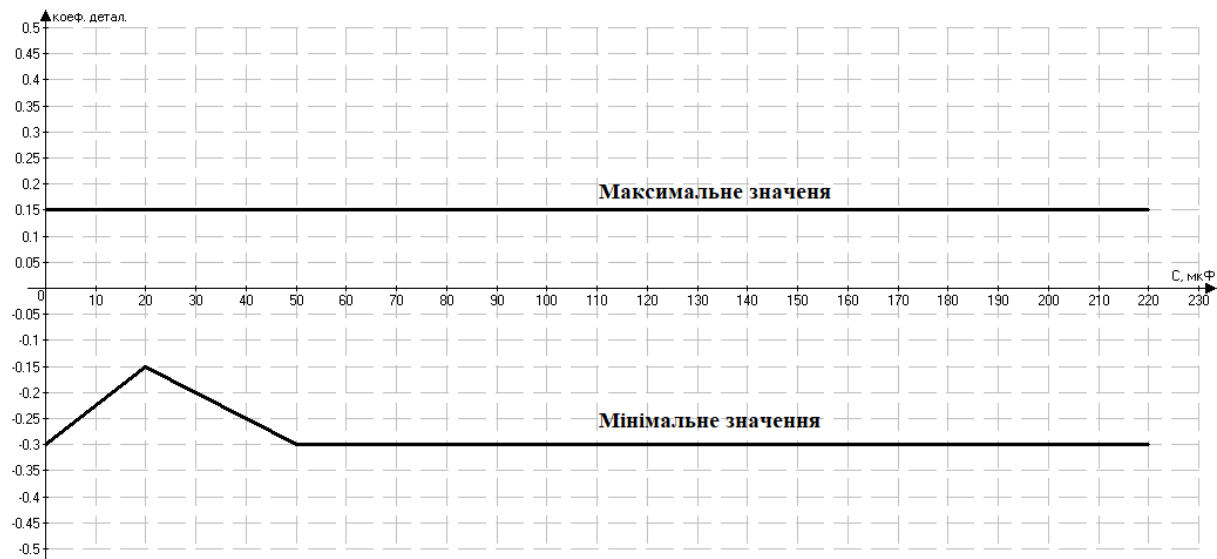
1 рівень розкладання



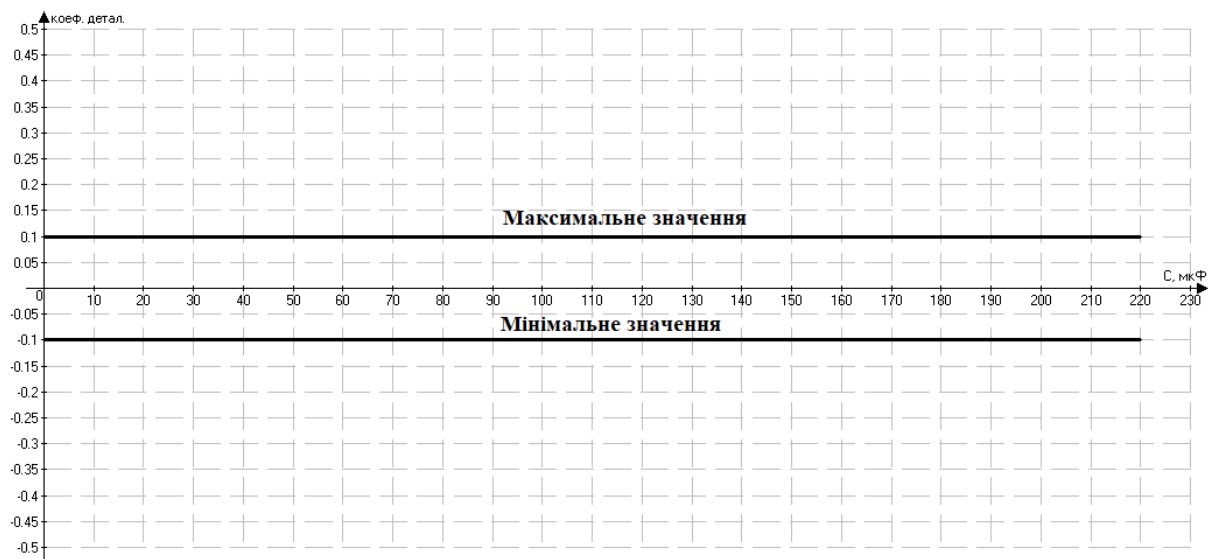
2 рівень розкладання



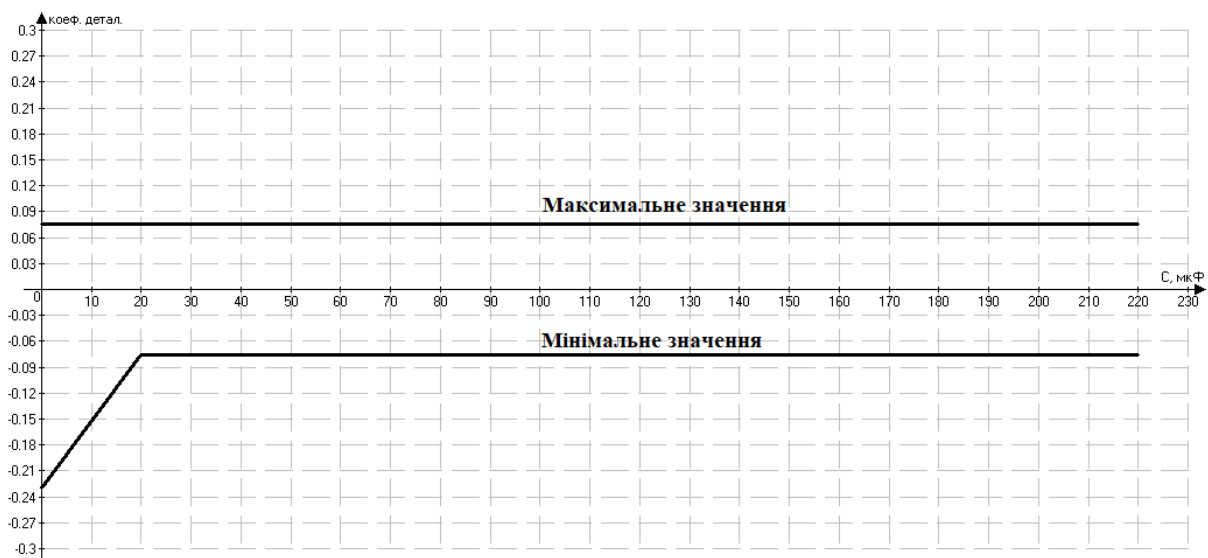
3 рівень розкладання



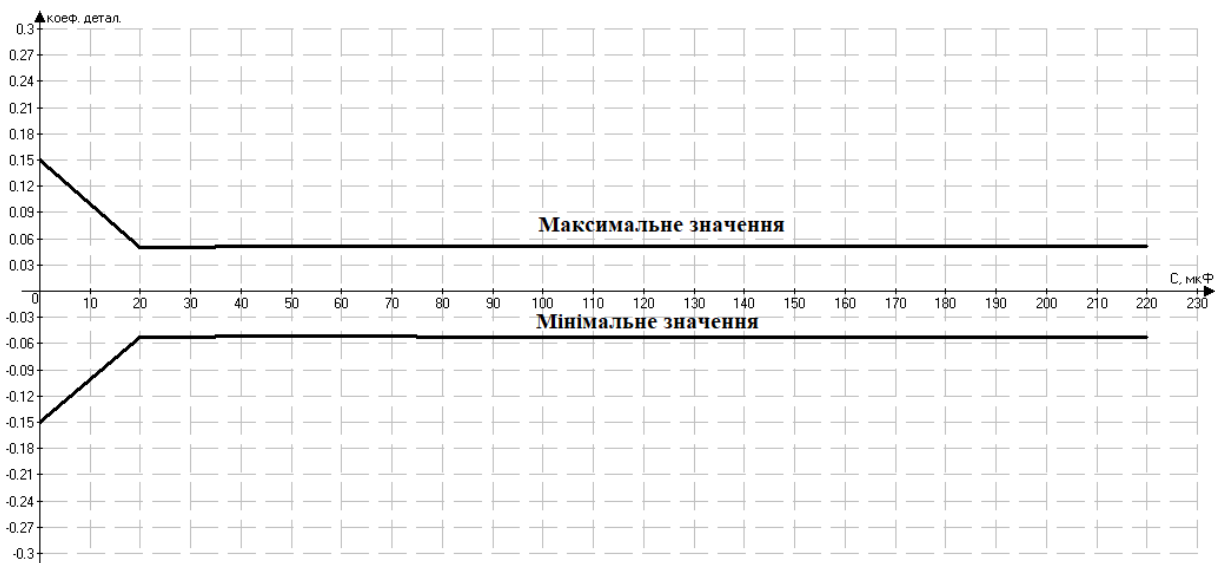
4 рівень розкладання



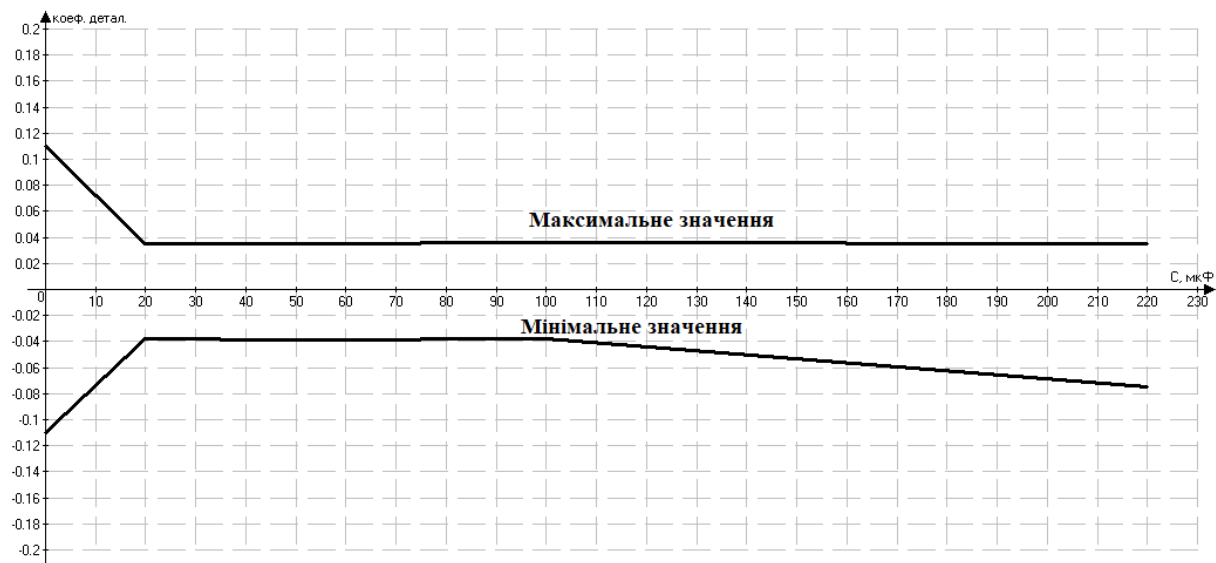
5 рівень розкладання



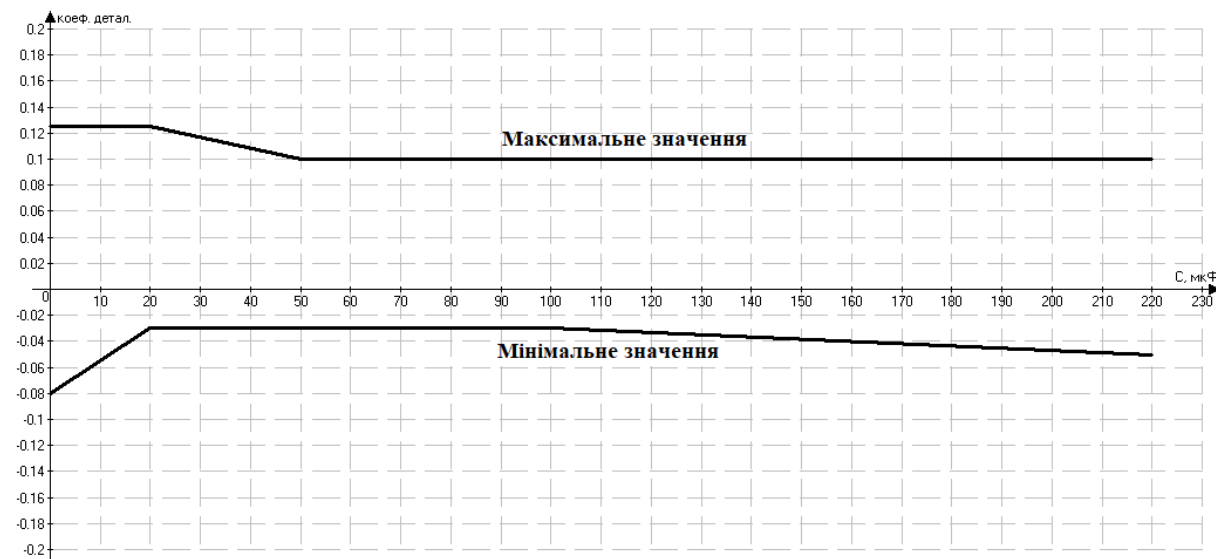
6 рівень розкладання



7 рівень розкладання

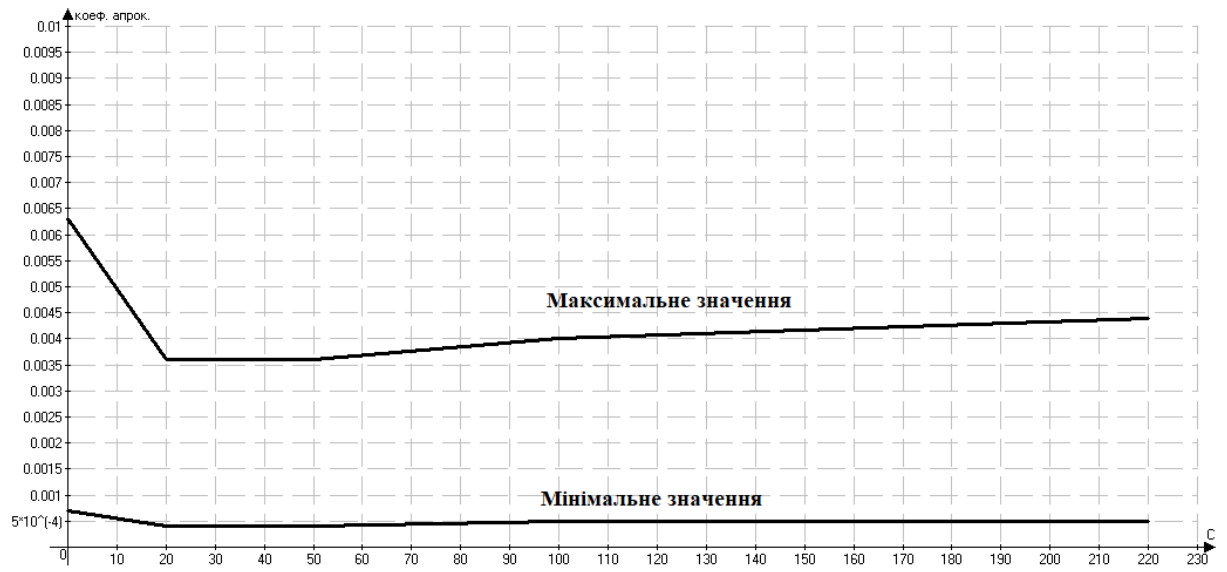


8 рівень розкладання

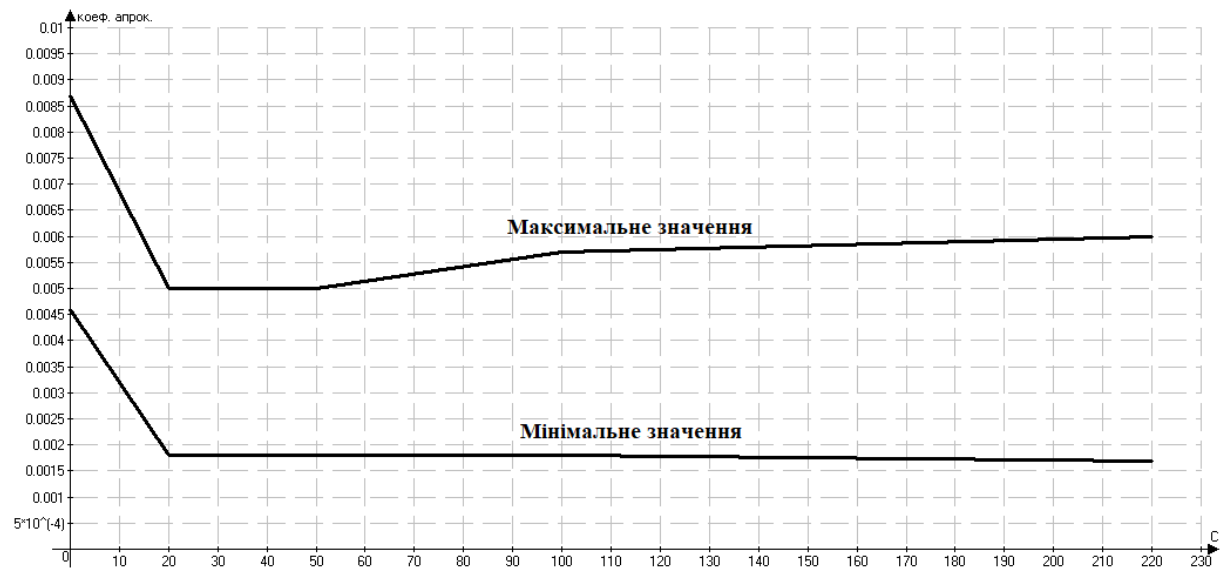


Опір навантаження 1000 Ом. Коefіцієнт апроксимації

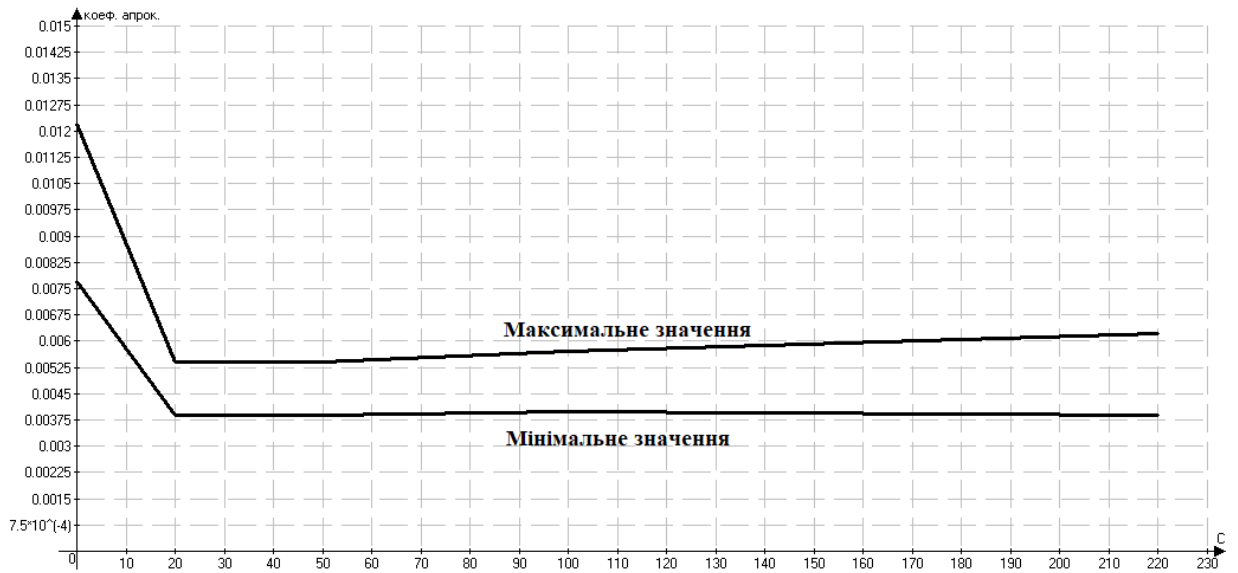
1 рівень розкладання



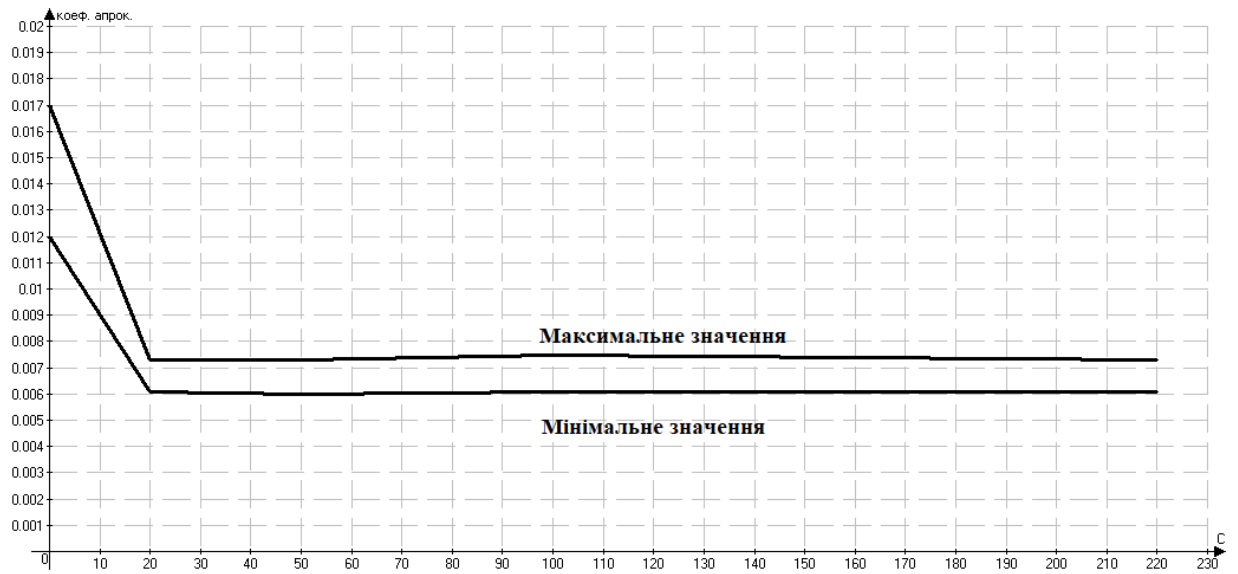
2 рівень розкладання



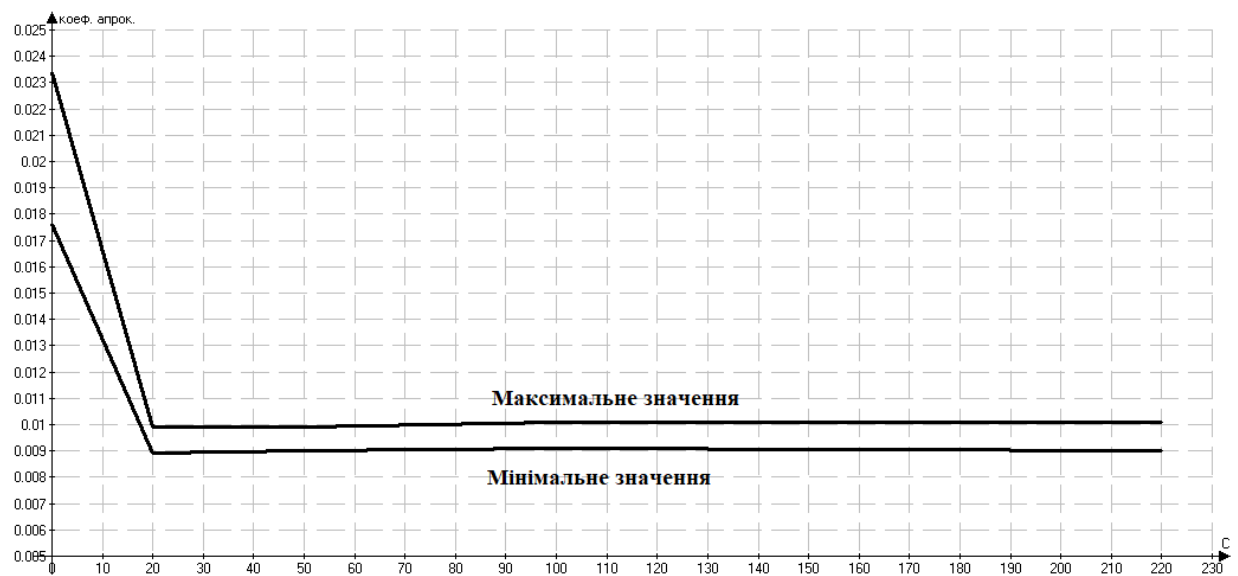
3 рівень розкладання



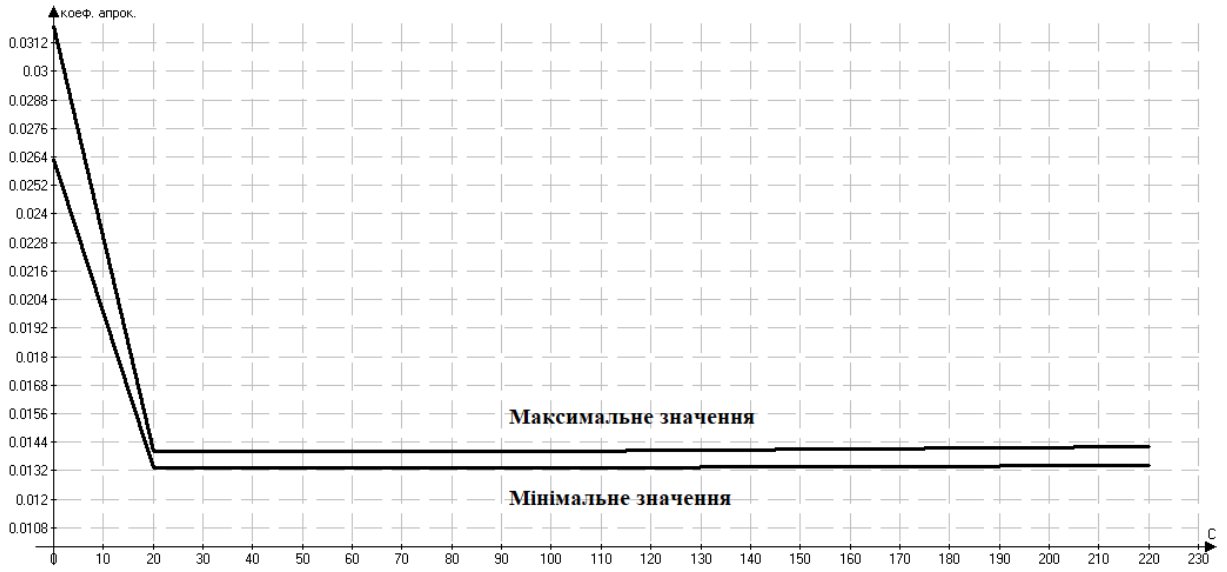
4 рівень розкладання



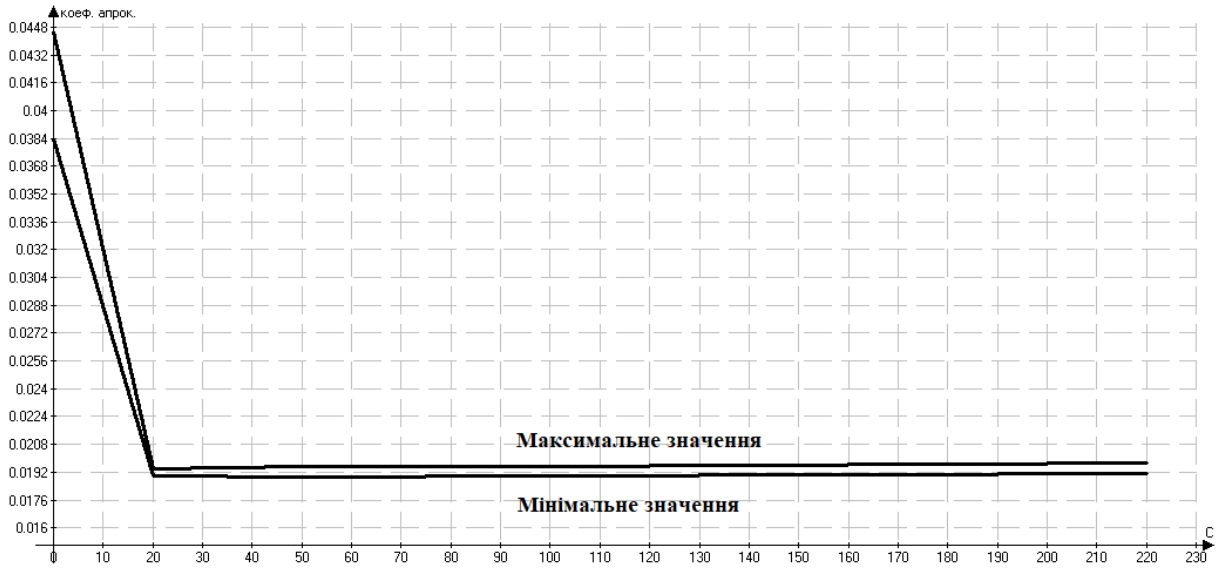
5 рівень розкладання



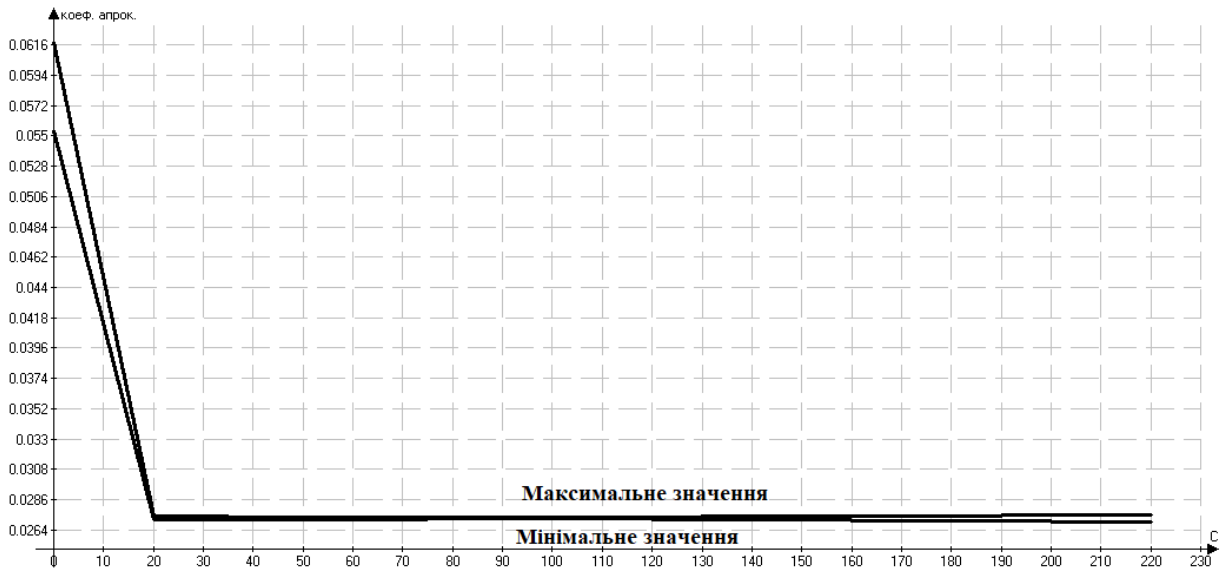
6 рівень розкладання



7 рівень розкладання

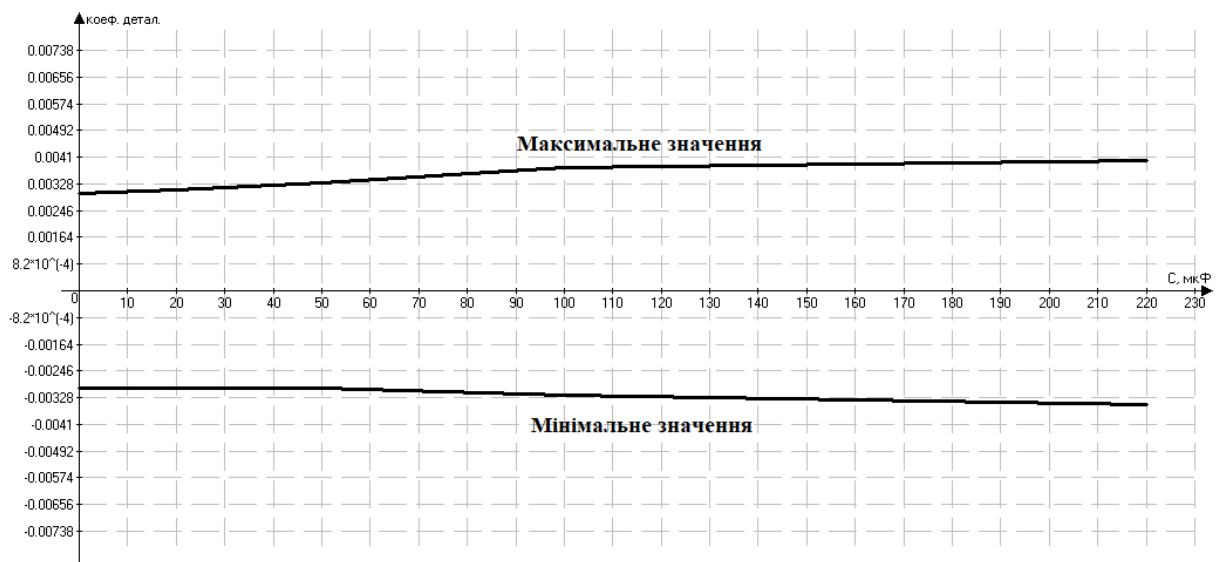


8 рівень розкладання

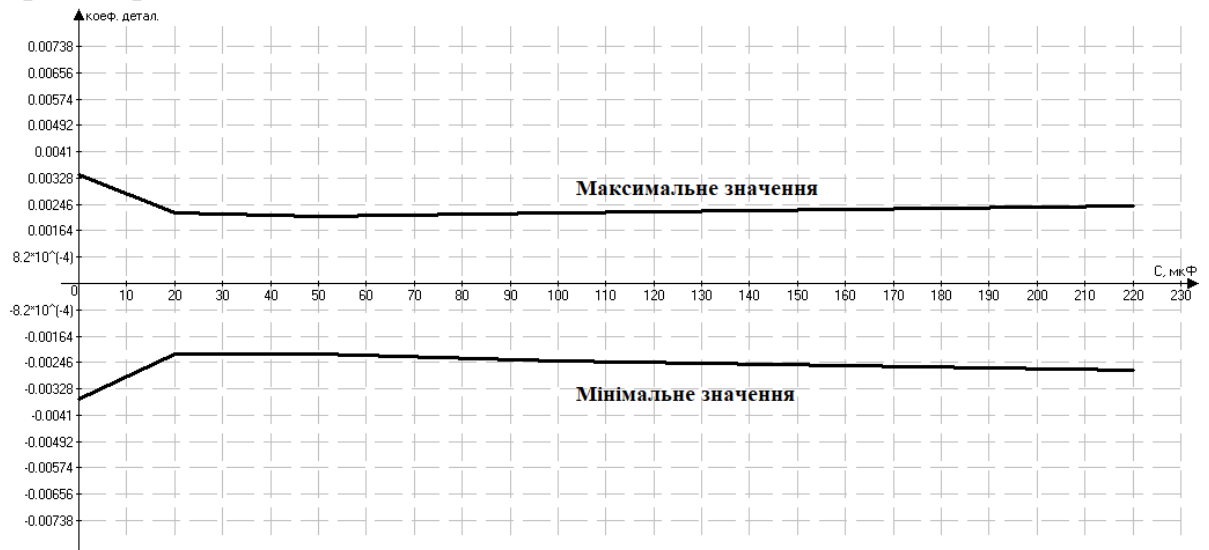


Коефіцієнт деталізації

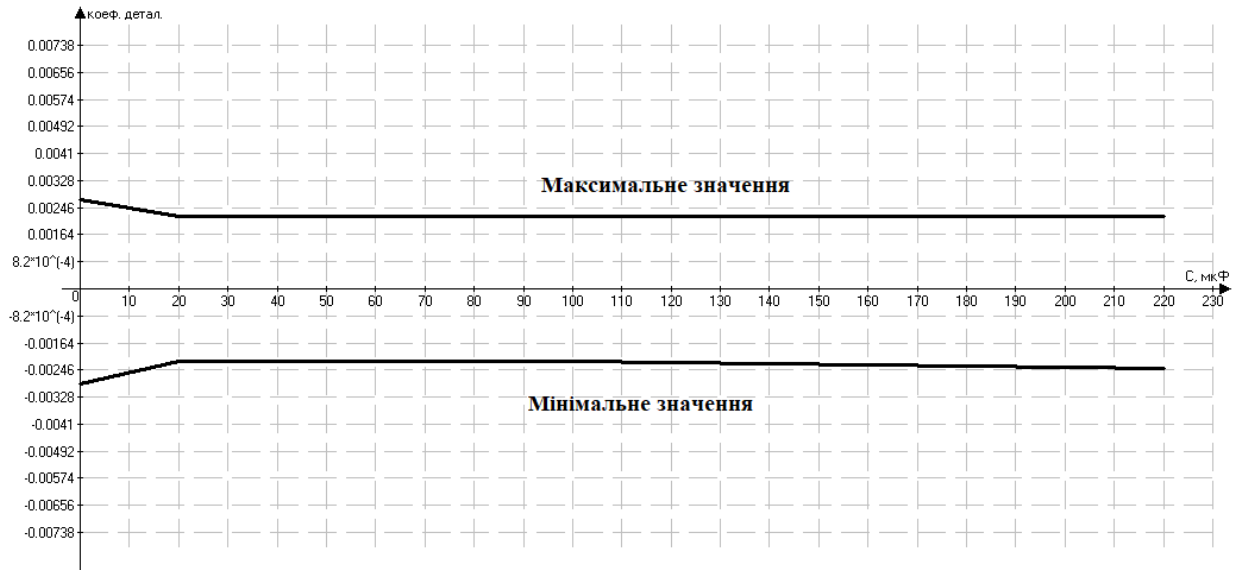
1 рівень розкладання



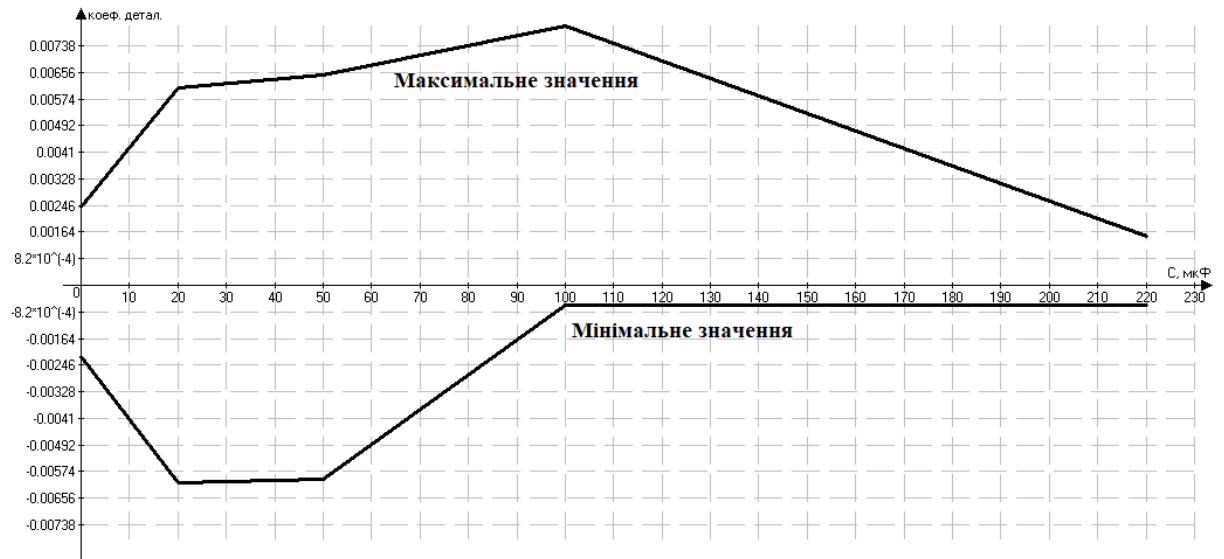
2 рівень розкладання



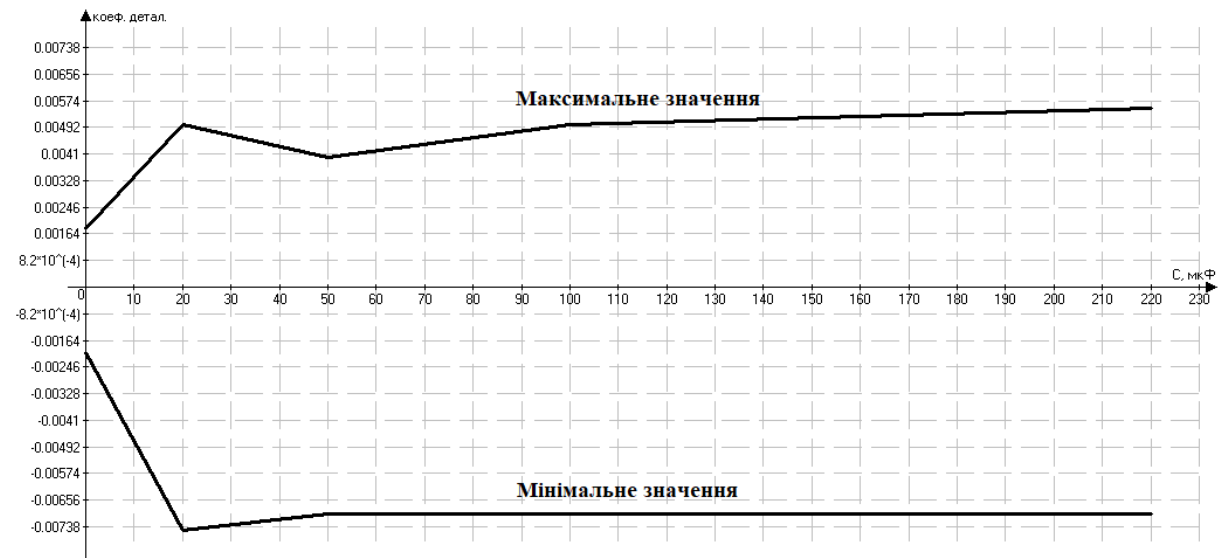
3 рівень розкладання



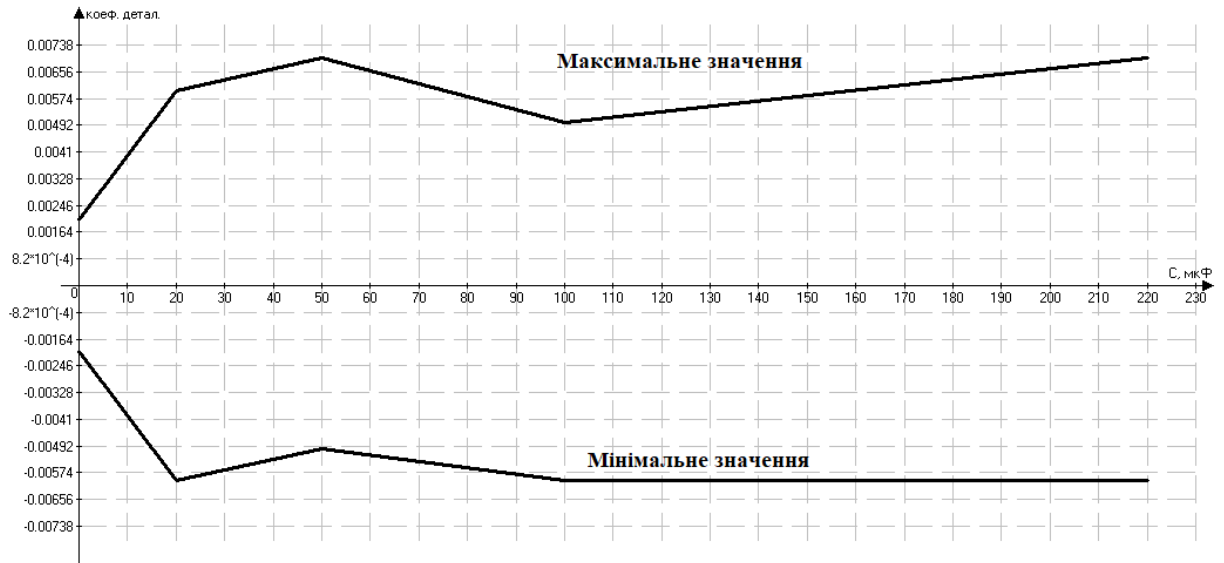
4 рівень розкладання



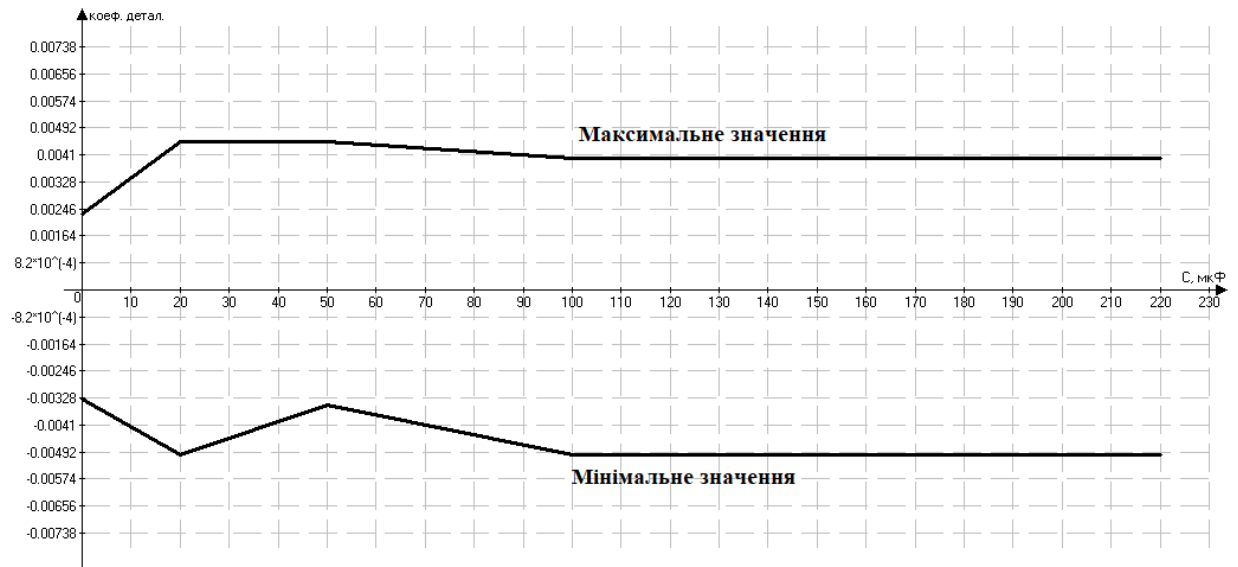
5 рівень розкладання



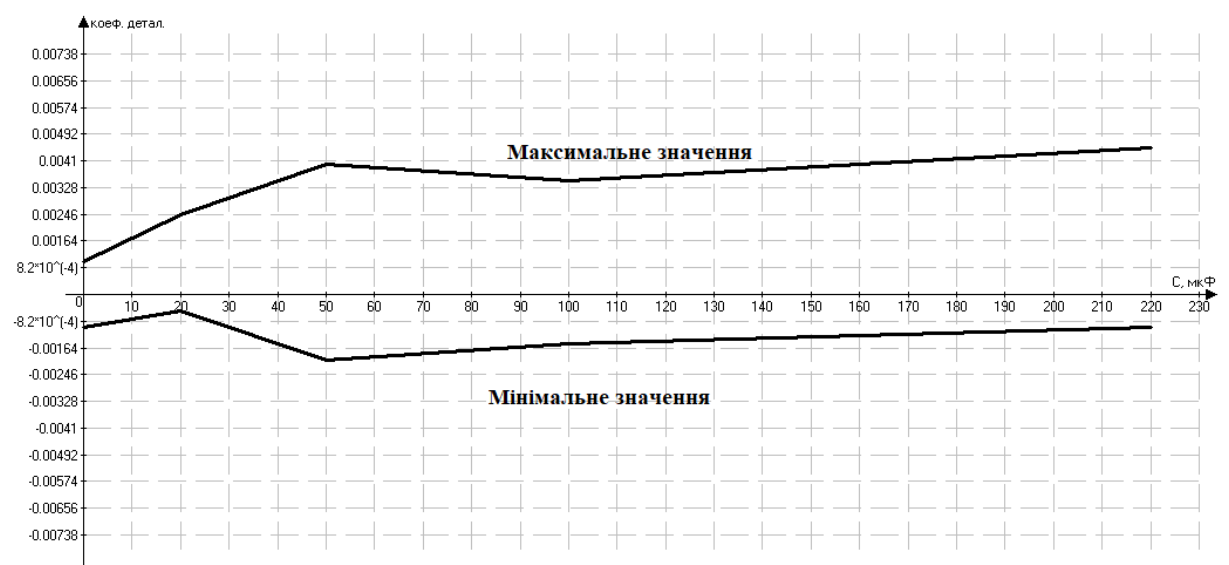
6 рівень розкладання



7 рівень розкладання



8 рівень розкладання



Increasing demands for performance and improving performance results in more demanding operating conditions for many engineering systems. This mode of operation increases the risk of a system failure, which is characterized by critical and unpredictable changes in the dynamics. In general, the feedback control algorithm, which is designed to control minor deviations that may occur in normal operation, can not take into account the abnormal behavior that can be triggered by a malfunction of the components. In this case, the system may be completely out of place. Most power electronic devices, as a rule, operate in conditions of sharp change of speed, frequent stops and launches, constant overload. Electric circuits are constantly exposed to high voltages and currents. Although commonly used security devices, such as diesel circuits, switching devices are physically small and sensitive to temperature fluctuations. Even small electrical interferences can lead to an increase in thermal characteristics, which will lead to rapid destruction.

In many cases, occasional crashes may be permissible, but in the case of expensive high-energy systems, multi-converter integrated automation systems and security systems that are critical to requirements, an indication of unusual performance is mandatory, which can lead to a sudden system failure.

Therefore, knowledge and information about the behavior of faults in power electronic circuits are important for improving the design of the system, protection and fault-tolerant control. Unfortunately, the monitoring of the status of power systems received little attention. The value of the constant component in current and voltage was used as the main factor for the detection of malfunctions. Then a knowledge-based system was used to analyze the results.

The data that is used to identify the state of the converter can be timed diagrams of currents and voltages taken at the control points of the circuit, because their shape can undergo significant changes when changing the modes of operation of the converter or the emergence of emergency situations. There are various methods for processing such diagnostic data, in particular using spectral transformations. The type of spectral transformation used is largely determined by the shape of the diagrams. For time dependencies containing areas of constant values and areas of fluctuations, it is

advisable to use window spectral transformations such as window Fourier transform or wavelet transform.

If for this purpose use wavelet transformation, there is a problem of determining the set of spectral coefficients, on which it is expedient to carry out further identification of the state of the converter. The full spectrum obtained when applying a wavelet transform contains $(n \cdot m_j)$ coefficients, where m is the number of wavelets in the transformation basis, and n is determined depending on the number of discrete values of the investigated function $K = mn$; j is the level of decomposition, $j = (0 \dots n-1)$. With the increase of the time interval at which the function will be considered, the number of wavelet coefficients required for the study also increases. And as a result, the time for performing the identification of the state of the converter increases, which is extremely undesirable. That is why the task of determining the optimal criteria for the accuracy and duration of the identification of the values of m and n , as well as determining the set of spectral coefficients that will be used to identify the current state of the converter, that is, the choice of spectrum format, will be carried out.

Thus, the purpose of the study is to improve the classification method by spectral coefficients by determining the optimal number of wavelets in the basis and the levels of decomposition from the position of minimizing time and computing costs and maximizing the accuracy of the identification.

There are a large number of different semiconductor energy converters. All of them have different circuit solutions and algorithms, work under different conditions, have a different set of basic components, differently manifest themselves in the process, have various jump-like changes in currents and stresses on elements during transients.

The work and state of different converters varies in different ways in the environment in which one or another converter functions. The following factors, such as the ambient temperature, humidity, the frequency at which the converter works, operating currents and voltages, operating mode, the way of connecting the elements, etc., have an important influence on the reliability of the system and its durability.

Semiconductor transducers, as objects of diagnostics, are rather complex, since they have both active and passive elements that can fail, which will cause the state of emergency of the converter. Those already existing diagnostic methods allow you to predict the state of the transducers and predict the emergence of an emergency situation. But, unfortunately, they are focused on applying in schemes to the second order. If the order of the scheme increases, then it requires the use of additional procedures and assumptions. Taking into account the nonlinear and parametric nature of the elements of the transducers leads to an increase in the complexity of the corresponding mathematical models that are described and on the basis of which the diagnosis is carried out. Therefore, it is necessary to develop such methods of diagnostics, which would not depend on the order of the scheme, the degree of its complexity, the presence of nonlinear elements and were suitable for use in different types of converters.

To diagnose the semiconductor converter, it is necessary to analyze the processes in the transducer on the basis of diagnostic indicators and identify its state. Processes in the transducers are described by time dependencies of their currents and voltages, therefore it is expedient to use these dependencies as diagnostic indicators.

The gradual or sudden change in the parameters of the power supply, load, item values causes a change in the shape of currents and voltages on the various elements of the converters. In addition, it should be noted that the emergence of emergencies leads to a much more significant change in form than the gradual change of parameters. In order to prevent the occurrence of emergencies due to the gradual failure of elements, it is necessary to detect these changes and compare the values of currents and voltages at the current interval with the reference values and monitor the dynamics of the development of changes in the process of the converter.

In the case of a large number of measured values of currents and voltages at the current interval, it is expedient to perform the conversion of the received time dependencies in order to reduce the number of parameters that will be compared. This is possible when transitioning from time to frequency or frequency-time domain using spectral wavelet transform, which allows to select low-frequency and high-frequency

components of signals and to analyze each of these components separately. Thus, the task of developing methods for the diagnosis of semiconductor transducers using frequency-time representations of currents and voltages does not depend on the order of the circuit and the type of the converter, and is aimed at identifying the gradual failure of the elements, is relevant.

All possible states of a semiconductor converter can be divided into two classes - able-bodied and non-working states. Inactive states, in turn, can be broken down into smaller subclasses of different states, differing in types of defects.

In this case defects are unacceptable quantitative changes of parameters or change of structural connections in the converter. And as a consequence of the defect of the corresponding element or section of the electric circuit of the semiconductor converter is their refusal to work.

When diagnosing faults in the operation of the converters in frequency, there is a problem of classification or timeliness of error detection. Since the vast majority of modern devices have a block structure, sometimes we can only access the inputs and outputs of certain blocks, which makes it difficult to diagnose job crashes.

To simplify the diagnosis of various problems in the operation of the converters, it is necessary to have a clear classification of these converters, as well as problems that may arise.

One of the most important aspects is the optimization of the error detection algorithm in the work. As well as fast and reliable solution to such problems, which greatly reduces the risk of failure of the converter or the whole system, which includes this converter.

The wavelet analysis opens up a wide range of possibilities for diagnosing the work of different systems, because it allows you to conduct a very detailed analysis of diagrams and the classification of certain problems.