

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій та радіотехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Перший (Бакалаврський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

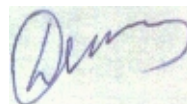
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Пристрій автоматичного регулювання підсилення

КПТР. 2017014.01.09.ПЗ

Виконав: студент 4 курсу, група ТР-17-1



підпис

Д.В. Прокопишин

Ініціали, прізвище

Керівник: канд. техн. наук, доц.



підпис

І.С. Пятін

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.



підпис

Ю.М. Бойко

Ініціали, прізвище

20 травня 2021 р.

Хмельницький, 2021
Хмельницький національний університет

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій та радіотехніки
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТР

Бойко Ю.М.

« 10 » лютого 20 21 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Прокопишину Дмитру Володимировичу

1 Тема роботи: Пристрій автоматичного регулювання підсилення керівник роботи Пятін Ілля Станіславович, к.т.н, доцент.

Затверджено наказом по університету від «05» 02. 2021р. № 11

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 20.05.2021р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Розробити пристрій автоматичного регулювання підсилення з детектором середньоквадратичного значення.

В процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи:

- провести огляд і аналіз існуючих рішень;
- розробити структурну схему пристрою;
- розробити принципову схему пристрою;
- провести необхідні електричні розрахунки;

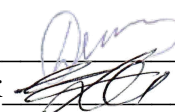
4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):

1) Аналітичний огляд літературних джерел. 2) Аналіз кола автоматичного регулювання підсилення. 3) Моделювання контуру автоматичного регулювання підсилення.

5 Перелік графічного матеріалу. 1) Схема електрична структурна. 2) Схема електрична принципова.

Завдання отримав _____

Науковий керівник _____



КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ. Аналітичний огляд літературних джерел	05.02.21	Вик.
2	Аналіз кола автоматичного регулювання підсилення.	1.04.21	Вик.
3	Моделювання контуру автоматичного регулювання підсилення	30.04.21	Вик.
4	Висновки. Презентаційні матеріали за результатами виконання дипломної роботи.	20.05.2021	Вик.

Студент



Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підпис

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема: Пристрій автоматичного регулювання підсилення.

Мета: Розробка пристрою автоматичного регулювання підсилення.

Дипломник: Прокопишин Д.В.

Керівник: Пятін І.С.

Текстова документація: пояснювальна записка – с., ф. А4.

Графічна документація: креслення та плакати – 2 арк., ф. А2.

Проект присвячений вивченню принципів побудови пристрою автоматичного регулювання підсилення, розробці структурної, принципової схем, виконанні потрібних електричних розрахунків і дослідженні моделі у середовищі Матлаб.

Проект складається з трьох розділів.

В першому розділі розглянуті принципи побудови контуру автоматичного регулювання підсилення, визначенні основних вимог і параметрів пристрою.

У другому розділі проведений вибір і розрахунок структурної схеми пристрою, обрана елементна база, виконані потрібні електричні розрахунки.

У третьому розділі проведено моделювання пристрою автоматичного регулювання підсилення у середовищі Матлаб. Досліджені випадки: зміна розміру кроку оновлення підсилення; зміна довжини вікна усереднення; розгортання сузір'я цифрової модуляції.

Ключові слова: регульований підсилювач, автоматичне регулювання підсилення, регульований атенюатор.

ANNOTATION

Theme: Automatic gain control unit.

Purpose: Development of a device for automatic gain control.

Candidate: Prokopishin D.V.

Supervisor: Pyatin I.S.

Textual documentation: explanatory note – p., f. A4.

Graphic documentation: the drafts and posters – 2 s., f. A2.

The project is devoted to the study of the principles of construction of the device of automatic gain control, development of structural, schematic diagrams, performance of the necessary electrical calculations and research of the model in the Matlab environment.

The project consists of three sections.

The first section discusses the principles of construction of the circuit of automatic gain control, determining the basic requirements and parameters of the device.

In the second section the selection and calculation of the structural scheme of the device is carried out, the element base is chosen, the necessary electric calculations are executed.

In the third section the simulation of the device of automatic gain control in the Matlab environment is carried out. Cases investigated: resizing of amplification update step; change the length of the averaging window; deployment of the digital modulation constellation.

Keywords: adjustable amplifier, automatic gain control, adjustable attenuator.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналітичний огляд літературних джерел.....	8
1.1 Поняття про автоматичне регулювання підсилення.....	8
1.2 Регульовані підсилювачі	11
1.3 Загальні відомості про системи автоматичного регулювання.....	17
1.4 Методи регулювання підсилення	19
1.5 Автоматичне регулювання підсилення.....	24
Висновки до першого розділу.....	32
2 Аналіз кола автоматичного регулювання підсилення.....	33
2.1 Структура пристрою автоматичного регулювання підсилення.....	33
2.2 Типи детекторів контуру АРП.....	35
2.3 Порівняння вихідних сигналів різних детекторів.....	39
2.4 Динаміка контуру автоматичного регулювання.....	43
2.5 Розрахунок системи АРП безперервної дії.....	45
2.6 Розрахунок буферного каскаду.....	45
Висновки до другого розділу.....	49
3 Моделювання контуру автоматичного регулювання підсилення.....	50
3.1 Дослідження АРП у Матлаб.....	50
3.2 Дослідження АРП з логарифмічною петлею.....	60

					КПТР. 2017014.01.09.ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Пристрій автоматичного регулювання підсилення Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Прокопишин							
Перевірив	Пятін І.С.							
Н. контр.	Бойко Ю.М.					ХНУ, гр. ТР-17-1		
Затв.	Бойко Ю.М.							

Висновки до третього розділу.....	64
Висновки.....	65
Перелік джерел посилання.....	66
Перелік елементів.....	67

ВСТУП

У наш час переважно використовуються цифрові системи зв'язку. Аналоговий сигнал у яких дискретизується і квантується з використанням аналого-цифрового перетворювача (АЦП) на проміжній частоті. Автоматичне регулювання підсилення (АРП) використовується для підтримки амплітуди аналогових сигналів на проміжній частоті на відповідному фіксованому рівні для запобігання перевантаження АЦП. Якщо потужність сигналів багато менше рівня перевантаження АЦП, АРП підвищує коефіцієнт підсилення, тим самим зменшуючи шум квантування. Якщо потужність сигналу висока, АРП зменшує коефіцієнт підсилення, щоб уникнути перевантаження АЦП. Час перевантаження і величина шуму квантування АЦП, можуть бути зведені до мінімуму, при цьому АРП буде впливати на роботу АЦП. Точність регулювання коефіцієнта передачі цифрового кола АРП не завжди може задовольнити вимогам для додатків, що працюють в режимі реального часу, а параметри швидкодії цифрової АРП не мають докладного аналізу та узагальнення.

Удосконалення бездротових систем зв'язку іде за напрямками: збільшення швидкості передачі інформації, підвищення надійності та завадостійкості системи, більш ефективного використання частотного ресурсу. У зв'язку з цим широкосмугові системи радіозв'язку практично повністю витіснили інші види систем зв'язку. Широкосмугові сигнали використовують для вирішення широкого кола завдань: кодове розділення каналів, в яких абоненти працюють в загальній смузі частот; придушення шкідливого впливу завад; поділ променів при багатопроменевому поширенні сигналу; забезпечення скритності передачі інформації шляхом зниження спектральної щільності випромінюваної потужності і можливості передачі сигналу на рівні фонового випромінювання.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Поняття про автоматичне регулювання підсилення

Автоматичне регулювання підсилення (АРП) застосовується для розширення динамічного діапазону приймача і підтримці в заданих межах вихідної напруги. При цьому усуваються перевантаження в каскадах при прийомі сильних сигналів і, таким чином, запобігає появі неприпустимих нелінійних спотворень і досягається нормальна робота кінцевих пристроїв приймачів.

Принцип дії системи АРП складається в автоматичній зміні коефіцієнтів підсилення окремих каскадів приймача при зміні рівня сигналу. Система АРП повинна містити регульовані каскади підсилення або подільники напруги і коло регулювання КР (рис. 1.1). Коло регулювання виробляє керуючу напругу, що впливає на регульовані елементи підсилювального тракту. Зазвичай КР містить випрямляч (амплітудний детектор АД) і ФНЧ, а при підвищених вимогах до системи АРП - додатково підсилювач перед АД або після ФНЧ.

Розглянемо основні параметри і характеристики систем АРП.

Ефективність АРП оцінюють двома величинами, вираженими в децибелах: відношенням напруг сигналів на вході приймача:

$$D_{ex} = 20 \lg \frac{U_{ex \max}}{U_{ex \min}} \quad (1.1)$$

і відповідним відношенням напруг сигналів на виході тракту, охопленого регулюванням:

					КПТР. 2017014.01.09.ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Прокопишин			Пристрій автоматичного регулювання підсилення Аналітичний огляд літературних джерел Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Пятін І.С						
Н. контр.		Бойко Ю.М.						
Затв.		Бойко Ю.М						
						ХНУ, гр. ТР-17-1		

$$D_{вих} = 20 \lg \frac{U_{вих \max}}{U_{вих \min}} \ll D_{ex} . \quad (1.2)$$

Напруга $U_{ex \min}$ зазвичай більше напруги, що відповідає номінальній чутливості приймача, а D_{ex} не більш динамічного діапазону амплітуд приймача. Значення D_{ex} і $D_{вих}$ можуть бути визначені за амплітудною характеристикою.

Залежно від способу функціонального взаємозв'язку регульованих каскадів приймача і джерела управляючої напруги, розрізняють три основні системи АРП: системи з зворотним (рис. 1.1, а), прямим (рис. 1.1, б) і змішаним регулюванням.

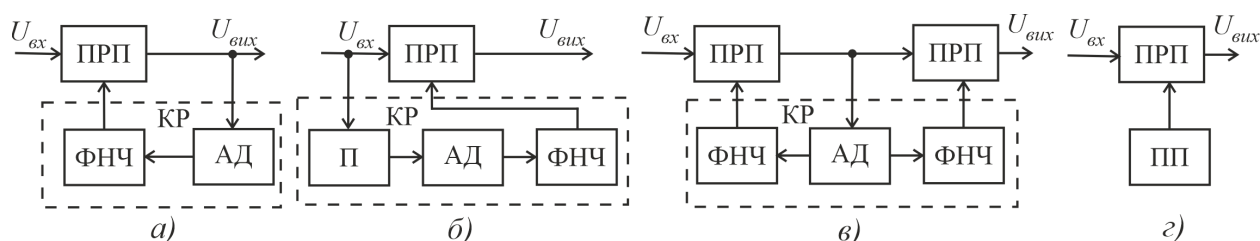


Рисунок 1.1 – Структурні схеми систем АРП:

а – з оберненим регулюванням; б – з прямим регулюванням; в – з змішаним регулюванням; г – програмна АРП (ПРП – підсилювач з регульованим підсиленням; ФНЧ – фільтр нижніх частот; АД – амплітудний детектор; КР – коло регулювання; П – підсилювач; ПП – програмний пристрій)

Мірою ефективності АРП є параметр амплітудної характеристики (АХ) $\lambda_{\text{диф}} = \frac{dD_{ex}}{dD_{вих}} \approx \frac{\Delta D_{ex}}{\Delta D_{вих}}$, де кінцеві прирости виражені в децибелах. Якщо АХ лінійна в межах від $U_{ex \min}$ до $U_{ex \max}$, то $\lambda_{\text{диф}} = \frac{dD_{ex}}{dD_{вих}} = \text{const}$.

Інерційність системи АРП зазвичай оцінюють постійною часу $\tau_{АРП}$ системи АРП. Якщо ФНЧ системи АРП є, як зазвичай, має вигляд одноланкового RC-

фільтру, $\tau_{АРП} = \frac{\tau_{\phi}}{(1 + \mu)}$, де τ_{ϕ} - постійна часу ФНЧ; μ - параметр, що залежить від вхідного сигналу і параметрів системи АРП.

В системі з зворотним регулюванням керуюча напруга визначається рівнем напруги сигналу на виході. Така система АРП є найбільш простою і дозволяє отримати амплітудну характеристику приймача, близьку до ідеальної. В системі АРП з прямим регулюванням керуюча напруга визначається напругою сигналу на вході і, отже, може бути порівняно великою. При зростанні сигналу на вході, настає перерегулювання, тобто при подальшому зростанні напруги сигналу на вході, вихідна напруга зменшується. При такій системі АРП необхідний додатковий підсилювач з достатньо великим коефіцієнтом підсилення. Пряме регулювання можна застосовувати в системі зі змішаним регулюванням (рис. 1.1, в), причому основна роль покладається на зворотне регулювання.

Для програмної АРП (рис. 1.1, г) регулююча напруга створюється програмним пристроєм ПП, що задає певний закон зміни в часі підсилення в тракті приймача. Така АРП використовується, якщо заздалегідь відомий закон зміни рівня сигналу на вході приймача. Прикладом такого регулювання може бути часова АРП (ЧАРП), що здійснюється в радіолокаційних приймачах.

Розрізняють АРП незатримані і затримані. Для незатриманої системи АРП регулюючий вплив проявляється при будь-якому рівні сигналу на вході, що є недоліком. Для затриманої системи АРП регулюючий вплив починає проявлятися, якщо напруга сигналу на вході приймача досягає деякого рівня, що відповідає чутливості приймача. Така АРП застосовується найбільш широко.

Система АРП з шумозаглушенням різко знижує підсилення в тракті приймача, якщо сигнал відсутній.

Ключова система АРП характеризується хорошою ефективністю і завадостійкістю і застосовується для безперервних сигналів, а також при імпульсних сигналах, якщо час приходу чергового імпульсу заздалегідь відома. Сигнал подається па електронний ключ (Кл), а потім на вхід імпульсного

детектора (ІД). ФНЧ виділяє постійну складову продетектованих імпульсів, які після підсилення (або безпосередньо) використовуються як керуюча напруга.

За інерційними властивостями системи АРП поділяють на швидкодіючі і інерційні. Системи АРП приймачів безперервних сигналів є інерційними. Степінь інерційності залежить від очікуваної швидкості зміни рівня сигналу на вході а також від виду і частоти модуляції. Швидкодіюча система АРП (ШАРУ) використовується в приймачах імпульсних сигналів.

Система АРП може бути однопетлевою (рис. 1.1, а-б) і багатопетлевою. Багатопетльові системи дозволяють отримати більш високу швидкодію в системі швидкодіючої АРП, високу стабільність вихідної напруги (рис. 1.1, в), регулювання підсилення в великому динамічному діапазоні інерційної системою і в малому - швидкодіючої (двопетльова система).

1.2 Регульовані підсилювачі

Підсилювачем з регульованим підсиленням (ПРП) називають каскади лінійної частини приймача, охоплені колом регулювання. До складу ПРП можуть входити також каскади з постійним підсиленням і елементи міжкаскадних зв'язків з регульованими коефіцієнтами передачі (регульовані подільники напруги).

Вимоги до регульованих підсилювачів:

1) максимальна глибина регулювання коефіцієнта підсилення повинна бути не менше $D_{ПРП} = D_{вх} - D_{вих}$.

2) нелінійні спотворення сигналу не повинні перевищувати допустимих.

3) зміни АЧХ і ФЧХ, що виникають при регулюванні, не повинні перевищувати допустимих.

4) зміни коефіцієнта шуму ПРП при регулюванні не повинні перевищувати допустимих.

Число регульованих каскадів залежить від необхідної ефективності АРП. Якщо потрібне глибоке регулювання підсилення ($D_{ПРП} > 40$ дБ), застосування

					КПТР.2017014.01.09.ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		11

одного регульованого каскаду не рекомендується. Використання такого каскаду на вході ПРП може привести до погіршення шумових властивостей ПРП. Регулювання підсилення в одному з останніх каскадів також небажана, а іноді і неприпустима, оскільки при великих рівнях сигналу на вході регульованого і попередніх каскадів важко уникнути великих нелінійних спотворень. Тому регулюють підсилення каскадів, сигнали на вході яких порівняно низького рівня і мають селективне навантаження.

Способи регулювання підсилення можна розділити на дві групи:

- 1) регулювання шляхом зміни режиму роботи АЕ за постійним струмом (регулювання «режиму роботи»);
- 2) регулювання шляхом зміни глибини негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) в підсилювальному каскаді.

Регулювання режиму роботи активного елемента здійснюється простіше і використовується на всіх діапазонах частот. Регулювання шляхом зміни глибини НЗЗ здійснюється за допомогою додаткових керованих напівпровідникових приладів, які працюють як елементи зі змінними параметрами або керовані резистори, лінійні для сигналу. Цей спосіб регулювання підсилення дозволяє знизити рівень нелінійних спотворень сигналу. Однак застосування його на високих частотах обмежена внаслідок можливого впливу паразитного позитивного зворотного зв'язку. Іноді регулювання підсилення в одному каскаді здійснюється двома методами. Так, включення керованого резистора в емітерне коло каскаду дозволяє змінювати одночасно струм емітера, що впливає на крутизну прохідної характеристики, і глибину НЗЗ за змінним струмом.

Коефіцієнт підсилення резисторних каскадів регулюють зазвичай зміною крутизни АЕ. Якщо підсилювач виконаний на біполярному транзисторі, то каскад, наступний за регульованим, має бути нерегульованим.

Регульовані каскади на біполярному транзисторі загального застосування характеризуються відносно малою амплітудою вхідних сигналів, при якій в каскаді наступають значні нелінійні спотворення, якщо зниження підсилення досягається шляхом зменшення струму емітера. Тому були розроблені

спеціалізовані транзистори, які характеризуються подовженою регулювальною характеристикою (ПРХ) і призначені для роботи з ПРП. На вхід каскаду з таким транзистором можна подавати сигнали (при зниженні підсиленні на 20...30 дБ) з амплітудою до 150 мВ (при коефіцієнті гармонік близько 5%), що на порядок більше, ніж в ПРП на транзисторах загального застосування.

Розглянемо схеми регульованих підсилювачів на транзисторах. Керуюча напруга U_y подається в коло бази через фільтр АРП $R_\phi C_\phi$. В підсилювачі обидва транзистора пов'язані з постійним струмом загальним резистором в колі емітерів. Режим транзисторів встановлюють так, щоб при $U_y = 0$ крутизна їх прохідної характеристики була максимальною. При надходженні негативної напруги U_y зменшуються крутизна характеристики і емітерний струм транзистора VT2. В результаті змінюється напруга на базі транзистора VT1, і його емітерний струм збільшується, а крутизна характеристики зменшується.

Особливістю схем ПРП на біполярних транзисторах з подовженою регулювальною характеристикою є повне включення кола бази до контуру на вході через конденсатор з малою ємністю. Цей конденсатор збільшує опір джерела сигналу і знижує вплив на контур змінної при регулюванні вхідної провідності транзистора.

Каскадний ПРП. Вхідна провідність і вхідна ємність транзистора VT1, включеного за схемою ОЕ і працюючого в режимі короткого замикання на виході, на високих частотах слабо залежать від струму колектора I_{K0} . Транзистор VT2, включений із загальною базою, знаходиться в режимі, близькому до холостого ходу на вході. Його вихідна провідність майже не залежить від I_{K0} .

Для компенсації змін вхідної і вихідної провідностей транзисторів використовують додаткові нелінійні елементи, провідність яких змінюється в протилежному напрямку. В якості такого елемента може застосовуватися напівпровідниковий діод, провідність якого залежить від постійного струму, що протікає через нього, приблизно так само, як вхідна провідність транзистора. У процесі регулювання при зменшенні I_{K0} струм діода збільшується. Оскільки

провідність і ємність відкритого діода зазвичай більше, ніж складові входної провідності транзистора, діод підключають до частини витків котушки зв'язку.

Схеми ПРП на інтегральних мікросхемах. В каскодному підсилювачі для регулювання підсилення служить додатковий транзистор VT3. При подачі негативної керуючої напруги U_y струм цього транзистора зростає, а струм транзистора VT2 і, отже, підсилення каскаду зменшуються.

В ПРП навантаженням емітерного повторювача на транзисторі VT1 є коло колектора транзистора VT2 і входна провідність каскаду на транзисторі VT3, включеного з спільною базою.

На рисунку 1.2 схема ПРП на двозатворному польовому транзисторі.

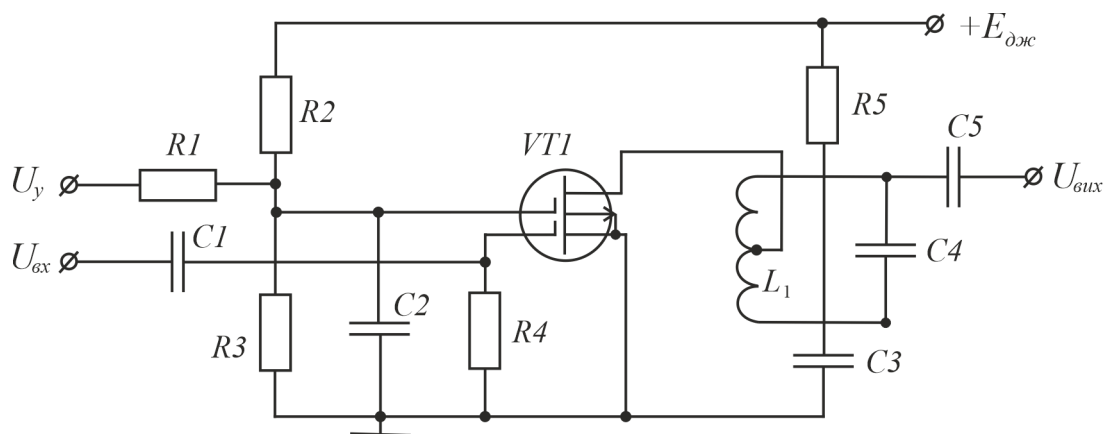


Рисунок 1.2 – Схема каскаду АРП на двозатворному польовому транзисторі

Регулювання підсилення здійснюється шляхом зміни зміщення на затворі і, отже, струму транзистора, причому в двозатворному транзисторі застосовується пряме регулювання. Регулювання підсилення шляхом зміни глибини НЗЗ використовується у деяких схемах, де у якості керованого резистора застосований польовий транзистор (канал стік-витік). Особливість даного режиму управління опором каналу - відсутність постійної напруги на стоці. Опір керованого резистора є лінійним при досить малій амплітуді змінної напруги.

Схема ПРП з комбінованим регулюванням підсилення. При подачі позитивної управляючої напруги U_y зменшується струм колектора I_{K0} і підсилення другого каскаду. Негативна напруга на колекторі VT2 підвищується, а запираюча напруга на діоді зменшується. При деякому значенні управляючої напруги діод відкривається і шунтує контур першого каскаду. Підсилення цього каскаду буде при цьому зменшуватися, а смуга пропускання - розширюватися.

Характеристика регулювання ПРП являє собою залежність коефіцієнта підсилення ПРП від керуючої напруги U_y . Вигляд цієї характеристики визначається числом регульованих і нерегульованих каскадів, охоплених колом регулювання, і способом регулювання підсиленням. У загальному випадку характеристика регулювання (ХР) визначається виразом:

$$K(U_y) = \prod_{i=1}^m K_i \prod_{i=1}^n K_i(U_y). \quad (1.3)$$

де m - число нерегульованих каскадів, n - регульованих каскадів.

Відношення максимального значення коефіцієнта підсилення K_{\max} (при $U_y = 0$) до мінімального U_{\min} (при $U_y = U_{\max}$) називають глибиною регулювання. Необхідна глибина регулювання у дБ визначається виразом:

$$\sigma_n = 20 \lg \frac{K_{\max}}{K_{\min}} \quad D_{\max} - D_{\min}$$

Для визначення ХР і глибини регулювання необхідно знати залежності коефіцієнтів підсилення каскадів від параметрів їх елементів і залежності параметрів активного елемента від керуючої напруги.

Каскади підсилення на БТ характеризуються складними співвідношеннями між коефіцієнтом підсилення, параметрами транзисторів і управляючою напругою U_y , тому ХР не може бути виражена простою аналітичною залежністю.

Для спрощення обчислень при визначенні ХР або глибини регулювання каскадів на БТ нехтують такими факторами, як декомпенсація внутрішнього зворотного зв'язку в процесі регулювання, деяке порушення нейтралізації, зміна підсилення, обумовлене зсувом частоти настройки каскаду. У цьому випадку залежність коефіцієнта підсилення каскаду від струму колектора I_{K0} визначається залежністю активних складових вхідної g_{ex} і вихідної $g_{вих}$ провідностей і модуля комплексної крутизни $|Y_{21}|$ від I_{K0} . При малих струмах колектора ($I_{K0} < 5$ мА) залежність $|Y_{21}|(I_{K0})$ можна представити у вигляді

$$|Y_{21}(q)| = \frac{|Y_{21}|q}{\sqrt{1 + (2\pi f)^2 \tau_{\max}^2 q^2}}, \quad (1.4)$$

где $q = I_{K0} / I_{K0\max}$; f - середня частота смуги пропускання каскада; τ_{\max} - постійна часу кола колектора в початковому режимі; $I_{K0\max}$ - струм колектора в початковому режимі.

Для залежностей $g_{ex}(I_{K0})$ і $g_{вих}(I_{K0})$ можна використовувати наближені співвідношення, оскільки g_{ex} і $g_{вих}$ надають істотно менший вплив на коефіцієнт підсилення, ніж величина $|Y_{21}|$. За умови $f \ll f_S$ можна прийняти $g_{ex} = qg_{ex\max}$, $g_{вих} = qg_{вих\max}$.

Якщо в процесі регулювання підсилення напруга на колекторі не стає меншим 2В, то його зміна мало впливає на $|Y_{21}|$ і g_{ex} .

Коефіцієнт підсилення одноконтурного підсилювача визначається виразом:

$$K_0(q) = \frac{n_1 n_2 |Y_{21}(q)|}{(g_0 + qg_{ex\max})}$$

де g_0 - резонансна провідність контуру; $g_{\text{внmax}}$ - провідність у початковому режимі, що вноситься. Якщо наступний каскад нерегульований, то

$$K_0(q) = \frac{n_1 n_2 |Y_{21}(q)|}{(g_0 + g_{\text{вн0}} + qg_{\text{вн}})}$$

де $g_{\text{вн0}}$ - провідність, що вноситься і не змінюється при регулюванні; $g_{\text{вн}}$ - змінна провідність, що вноситься при $I_{K0} = I_{K0\text{max}}$.

Коефіцієнт підсилення каскаду з системою зв'язаних контурів дорівнює:

$$K_0(q) = n_1 n_2 |Y_{21}(q)|, \quad (1.5)$$

де $A = k_{\text{зв}} \cdot 1 + (d_0 + d_{\text{внmax}})^2 / k_{\text{зв}}^2$; $k_{\text{зв}}$ - коефіцієнт зв'язку між контурами системою зв'язаних контурів.

1.3 Загальні відомості про системи автоматичного регулювання

Основне призначення різних регулювань в процесі експлуатації радіоприймальних пристроїв полягає в забезпеченні найкращих умов прийому очікуваних радіосигналів. Регулювання дозволяють провести первинне налаштування приймача, тобто встановити такі параметри його кіл, при яких здійснюється прийом цих сигналів. Крім того, вони забезпечують збереження якісних показників радіоприймання при різних змінах умов проходження сигналів між передавачем і приймачем, напруг джерел живлення, температури навколишнього середовища, тощо.

Всі види регулювань, що застосовуються в сучасних приймачах, можна розділити на два типи: ручні і автоматичні. В одному і тому ж приймачі можуть

застосовуватися як ручні, так і автоматичні регулювання, своїми властивостями взаємно доповнюючи один одного.

Вибір кількості та типів регулювань при проектуванні радіоприймальних пристроїв залежить від видів селекції радіосигналів, що використовуються в приймачі, від типу і призначення апаратури, що розробляється. Для виділення радіосигналів потрібного передавача в приймачах різного призначення використовується частотна селекція. При цьому в системах радіолокації, радіокерування, телеметрії часто застосовують приймачі з фіксованою настройкою на несучу частоту сигналу. У таких приймачах є тільки елементи ручного підстроювання резонансних частот коливальних систем, які використовуються під час першого налаштування приймачів на заводі-виробнику або при проведенні регламентних робіт в процесі експлуатації. Приймачі систем радіозв'язку або звукового радіомовлення повинні забезпечувати прийом радіосигналів в широкому діапазоні частот. Ця вимога визначає наявність в таких приймачах різних видів ручної і автоматичної настройки резонансних частот коливальних систем, за допомогою яких здійснюється частотна селекція радіосигналів.

Часто буває бажаною різна смуга пропускання. В першу чергу, це залежить від величини відношення рівня корисного сигналу до рівня завад, яка може бути в місці прийому. Якщо це відношення велике, можна розширити смугу пропускання, оскільки при цьому підвищується якість відтворення сигналу. У тих випадках, коли вказане відношення мале, необхідна значно вузья смуга пропускання, оскільки при цьому поліпшуються вибіркові властивості приймача і рівень завад на його виході зменшується; однак, одночасно погіршується якість відтворення сигналу. Компромісне рішення досягається шляхом регулювання смуги пропускання. Зазвичай це регулювання відбувається вручну одночасно або окремо в високочастотних і низькочастотних каскадах приймача.

Однією з різновидів регулювань смуги пропускання низькочастотного тракту є широко застосовуване в мовних приймачах регулювання тембру. Це регулювання дозволяє змінювати форму частотної характеристики

низькочастотного тракту приймача і дозволяє тим самим надати звучанню тембр, відповідний смаку слухачів.

1.4 Методи регулювання підсилення

Для того щоб забезпечити задані чутливість, динамічний діапазон і коефіцієнт нелінійних спотворень, необхідно певним чином розподілити підсилення по каскадах приймача. При розподілі підсилення зазвичай задані: власно напруга шуму кожного каскаду $U_{шn}$, віднесене до його входу; вимоги до коефіцієнта нелінійних спотворень низькочастотного сигналу; рівень шумових складових на виході приймача.

Існує певний взаємозв'язок між коефіцієнтом нелінійних спотворень і шумовими складовими в низькочастотному сигналі. При малих рівнях сигналу особливо важливо не погіршити співвідношення сигнал/шум наступними за ПРЧ каскадами. Зазвичай вважається допустимим вибір коефіцієнта підсилення для ПРЧ з умови

$$K_1 = (5 \div 10)U_{ш2} / U_{ш1}$$

а для наступних каскадів з умови

$$K_n = (2 \div 3)U_{ш(n+1)} / U_{шn}, \quad n = 2, 3, \dots,$$

де індекс n - номер каскаду. При такому розподілі підсилення між каскадами вдається практично повністю реалізувати коефіцієнт шуму вхідного каскаду, не погіршуючи динамічного діапазону.

Рішення завдання розподілу підсилення по каскадах приймача тісно пов'язане із завданням регулювання підсилення, яке дозволяє не тільки підібрати необхідну величину вихідної потужності. Відносно постійний рівень напруги на

вході детектора приймача підтримують регулюванням підсилення, яка може проводитися вручну або автоматично:

- а) зміною коефіцієнта підсилення каскаду шляхом зміни режиму по постійному струму або введенням регульованого негативного зворотного зв'язку;
- б) дія на спеціальні елементи регулювання підсилення (ЕР), введеними безпосередньо в тракт проходження сигналу.

Підсилювальні каскади з регулюванням режиму за постійним струмом прості у виготовленні. На рис. 1.3 наведена схема ручного регулювання підсилення в транзисторних ППЧ шляхом зміни напруги зміщення, що змінює крутизну транзистора.

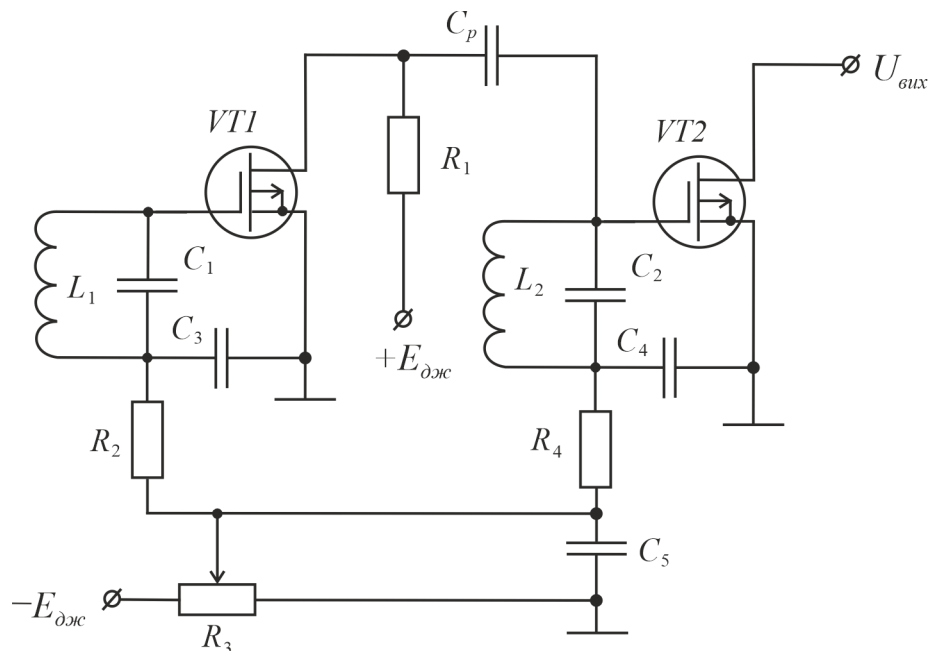


Рисунок 1.3 – Каскад підсилювача з ручним регулюванням

Негативна напруга від живлення діє на потенціометр R_1 . Напруга зсуву $E_c = \alpha E / R_1$, де α - коефіцієнт пропорційності, знімається з движка цього потенціометра. Конденсатори C_3, C_4 замикають контури $L_1 C_1$ і $L_2 C_2$ на колектори транзисторів VT1 VT2 з резисторами R_2, R_3 є фільтрами в колах затворів. Коло колекторного автозміщення не існує через те, що при зміні E_0 вона буде

перешкоджати зміні крутизни ламп, оскільки цей ланцюг створює негативний зворотний зв'язок.

На біполярних транзисторах регульовані підсилювачі з змінним режимом намагаються не застосовувати, оскільки в цьому випадку змінюються всі параметри транзистора, що призводить до зміни частотної характеристики приймача. Часто підсилення в транзисторному каскаді регулюють шляхом зміни коефіцієнта від'ємного зворотного зв'язку. На рис. 1.4 є схема регульованого підсилювача з введенням негативного зворотного зв'язку за струмом змінної частоти в транзисторі $VT1$.

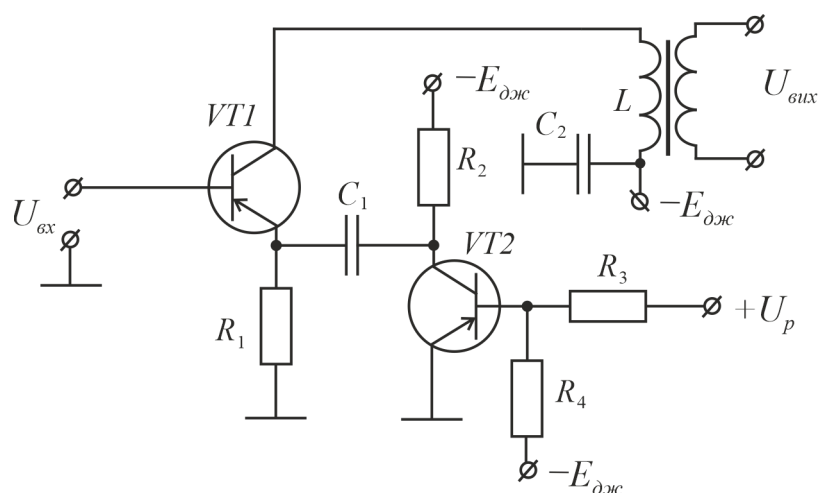


Рисунок 1.4 – Схема регулювання підсилення

При зменшенні коефіцієнта підсилення зростає величина вхідного опору. Тому якщо такий каскад використовувати в багатокаскадному підсилювачі і не вжити спеціальних заходів по розв'язці впливу сусідніх каскадів, підсилення попереднього каскаду буде збільшуватися, знижуючи ефективність регулювання всього підсилювача.

У різних приймачах достатньо широко поширене ручне регулювання підсилення в детекторі. Схема детекторного каскаду з ручним регулятором підсилення наведена на рис. 1.5. Тут навантаженням R детектора є дільник, з рухомого контакту якого знімається напруга сигналу. Використання цієї схеми в мовних приймачах призводить до спотворень сигналу, пов'язаних з

особливостями людського слуху. Людина погано чує звуки низької та високої частоти, але добре розрізняє звуки середньої частоти (2000- 3000) Гц, Можна позбутися такого роду частотних спотворень, якщо при зниженні підсилення одночасно збільшувати відносну інтенсивність низьких і високих звуків. Регулятор з такою корекцією частотної характеристики називають компенсованим. Його схема приведена на рис. 1.6. При пересуванні вниз рухомого контакту потенціометра R_1 , який шунтується вхідною ємністю $C_{вх}$ і опором $R_{вх}$ наступного каскаду, починає позначатися дія ланцюга R_2C_3 , яка послаблює коливання середніх і верхніх звукових частот, в той час як дія конденсатора C_2 піднімає частотну характеристику в області верхніх частот.

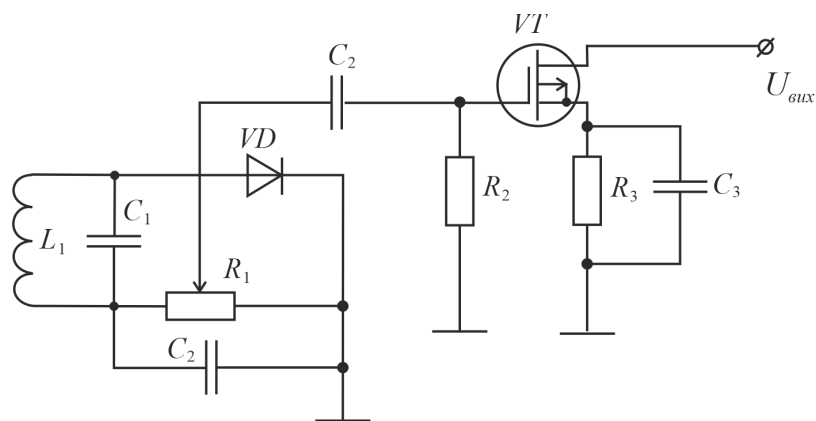


Рисунок 1.5 – Схема каскаду з ручним регулятором підсилення

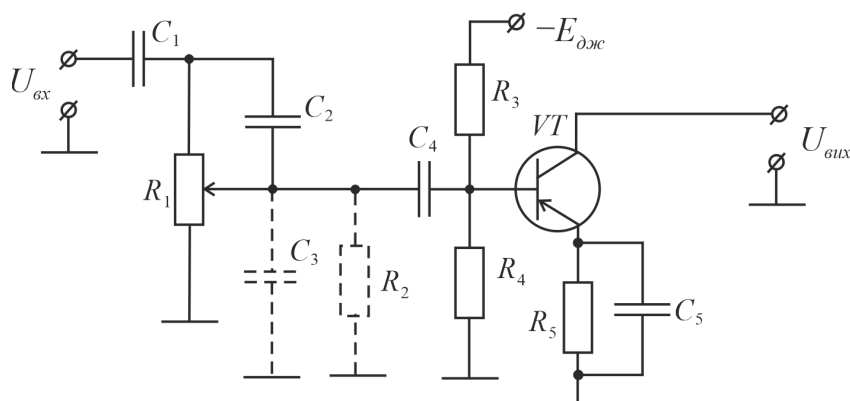


Рисунок 1.6 – Схема компенсованого регулятора

В професійних прийमाках різних регулюючих систем підсилення здійснюють або введенням регульованого негативного зворотного зв'язку, який покращує лінійність підсилювача. Елементи регулювання включають між каскадами підсилення через трансформатори або без них, якщо узгоджувані опори близькі за своєю величиною. Як приклад на рис. 1.7 зображена принципова схема елемента регулювання підсилення, виконаного на варикапах. Варикапи $VD1$, $VD2$ і конденсатори C_1 , C_2 включені за мостовою схемою.

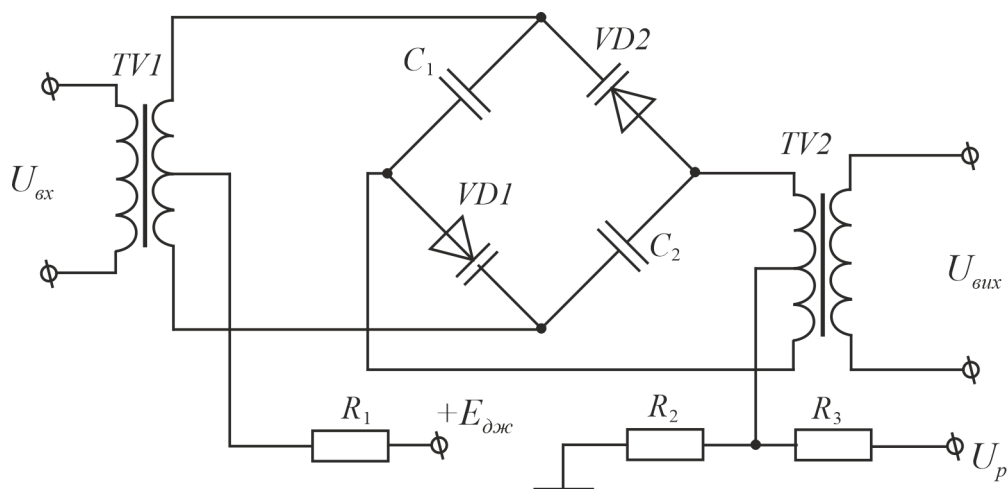


Рисунок 1.7 – Схема регулювання підсилення на варикапах

Напруга $U_{вх}$ подається на одну діагональ моста, $U_{вих}$ знімається з другої діагоналі. Якщо відсутній U_p , то до варикапів докладена значна напруга зміщення E і ємності варикапов $C_{\varnothing 1}, C_{\varnothing 2} \ll C_1 = C_2$. В результаті міст розбалансований, що відповідає максимальній величині коефіцієнта передачі $K_u = U_{вих} / U_{вх}$. При збільшенні напруги U_p початкове зміщення на варикапах компенсується, ємність їх збільшується. При деякому співвідношенні E і U_p міст виявиться практично збалансованим, а коефіцієнт передачі мінімальним. У такій схемі при зміні U_p величина коефіцієнта передачі змінюється на (40-50) дБ і більше.

1.5 Автоматичне регулювання підсилення

Система автоматичного регулювання підсилення (АРП) призначена для забезпечення малих змін рівня сигналу на виході приймача при великих змінах рівня сигналу на його вході. Структурна схема приймача з АРП зі зворотним зв'язком приведена на рис. 1.8.

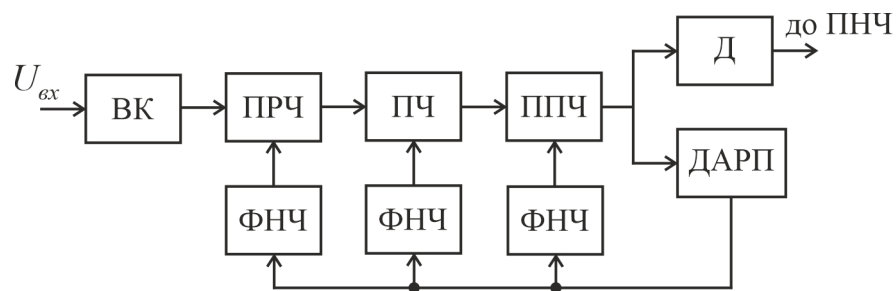


Рисунок 1.8 – Структурна схема АРП з зворотним зв'язком

(ВК – входні кола; ПРЧ – підсилювач радіочастоти; ПЧ – перетворювач частоти; ППЧ – підсилювач проміжної частоти; Д – детектор; ДАРП – детектор АРП)

Діапазон зміни миттєвих значень входних сигналів 60-100 дБ, а для нормального режиму роботи він не має перевищувати 3-8 дБ, бо виникає перевантаження.

За способом дії системи АРП поділяються на три класи: зі зворотним зв'язком, без зворотного зв'язку і комбіновані.

Система АРП без зворотного зв'язку (АРП «вперед»).

Напруга $U_{вих}$ на виході системи АРП можна визначити як добуток напруги на вході системи АРП і коефіцієнта підсилення підсилювача $K(U_p)$, величина якого залежить від регулюючої напруги $U_p = K_\delta U_{вх}$, де K_δ - коефіцієнт передачі детектора АРП за напругою. Таким чином,

$$U_{вих} = K(K_{\partial}U_{вх})U_{вх}$$

Очевидно, рівність $U_{вих} = C$, де C - постійна величина, буде забезпечено тільки в тому випадку, якщо

$$K(K_{\partial}U_{вх}) = C / U_{вх}. \quad (1.6)$$

Практично забезпечити таку залежність не вдається, тому в цій системі АРП зміна напруги на вході приймача може привести до зміни напруги на його виході. Разом з тим недоліком такого способу регулювання є подача значних керуючих напруг на каскади, які включені після детектора авторегулювання і тому працюють при досить великих напругах сигналу. В результаті в цих каскадах виникають підвищені нелінійні спотворення. Крім того, спосіб регулювання, що розглядається, не в змозі захистити від перевантаження каскади, які передують детектору авторегулювання, тому зазвичай поєднують системи АРП із зворотним і без зворотного зв'язку, тобто використовують комбіновану систему АРП. В результаті можливо отримати практично постійну напругу на виході приймача при зміні напруги на його вході в широких межах, правда, за рахунок досить істотного ускладнення схеми і підвищення вимог до її налаштування.

У всіх розглянутих способах авторегулювання передбачалося, що вона діє, починаючи з найслабших сигналів. Таким чином, підсилення приймача знижується не тільки для сильних сигналів, які можуть призвести до перевантаження його каскадів, а й для слабких сигналів, для прийому яких було б необхідно використовувати повне підсилення приймача. Цей недолік можна усунути, використовуючи систему АРП із затримкою. У такій системі регулювання починається лише тоді, коли напруга на вході приймача перевищить деяку початкову величину. Подібний режим роботи АРП можна отримати, якщо подати на анод її детектора деяку негативну напругу, яку називають напругою затримки. В цьому випадку детектор авторегулювання залишається замкненим до

тих пір, поки напруга на вході приймача не досягне згаданого значення. При переході до систем АРП із затримкою підвищується підсилення приймача і збільшується напруга на детекторі.

Для ефективної роботи АРП важлива не тільки значна зміна напруги авторегулювання при невеликій зміні напруги сигналу на вході, а й досить велика кількість регульованих каскадів. З точки зору захисту приймача від перевантаження напругу авторегулювання доцільно подавати в першу чергу на його вхідні каскади. Однак, в високочутливих приймачах, коли наявний внутрішній шум перетворювача частоти і важливо отримати досить велике підсилення в ПРЧ, каскади останнього не піддають регулюванню, забезпечуючи для них лінійний режим роботи. Аналогічне рішення приймається у випадках прийому сигналів при наявності інтенсивних завад від розташованих поблизу передавальних радіостанцій, коли доводиться зважати на небезпеку виникнення інтенсивної перехресної модуляції.

Наявність автоматичного регулювання підсилення ускладнює точну настройку приймача. Дійсно, при точній настройці приймача з АРП на несучу частоту сигналу абсолютна величина напруги авторегулювання буде максимальна, а коефіцієнт підсилення приймача знижується до мінімального. При розстройці приймача відносно несучої частоти сигналу, регулююча напруга зменшується за абсолютною величиною, в результаті чого коефіцієнт підсилення приймача зростає. Тому падіння підсилення приймача, викликане розстройкою коливальних контурів відносно прийнятого сигналу, в значній мірі компенсується дією системи АРП. При значній розстройці приймача відносно сигналу регулююча напруга знижується практично до нуля і підсилення приймача сильно зростає, що призводить до значного збільшення рівня завад на його виході. Ці завади сильно відчутні. Для того, щоб уникнути цього недоліку, були розроблені різні схеми безшумного авторегулювання підсилення. В основі дії цих схем лежить принцип замикання вихідних каскадів приймача при напругах на його вході, що лежать нижче певного порогу. Таким чином, в приймачах з системою АРП особливо

необхідний візуальний індикатор налаштування, який дозволяє швидко і точно налаштувати приймач.

Розглянемо схему АРП із затримкою на електронних лампах, що застосовується в приймачах амплітудно-модульованих радіосигналів. Ліва половина подвійного діода використовується як детектор основного каналу, а права - як детектор системи АРП. Для більш рівномірного шунтування контурів фільтра попереднього підсилювального каскаду сигнал на детектор АРП, який виконаний за схемою паралельного детектора, знімається з 1-го контуру смугового фільтра через конденсатор, а сигнал на детектор основного каналу, який виконаний за схемою послідовного детектора, надходить з другого контуру фільтра. Навантаженням детектора АРП є резистор, а затримка здійснюється шляхом подачі на катод правого діода напруги катодного автозміщення першого каскаду ПНЧ. Якщо амплітуда напруги сигналу на детекторі менше напруги затримки, то струм в колі детектора відсутній і напруга на резисторі, яке надходить через фільтр на сітки регульованих ламп, дорівнює нулю, тобто система АРП не працює. Вона починає діяти коли напруга сигналу перевищить напругу затримки. На рис. 1.9 приведена схема АРП із затримкою. У цій найбільш простій і поширеній в мовних приймачах системі АРП використовується зміна напруги на базі транзистора підсилювального каскаду. Тут діод $VD1$ є одночасно детектором АРП і детектором основного каналу. Між діодом $VD1$ і резистором R_1 фільтруючої ланки АРП включений кремнієвий діод $VD2$. Нехай на вхід приймача з системою АРП надходить сигнал, що описується виразом:

$$u_{\text{вх}} = u_1(t) \sin \omega_0 t, \quad (1.7)$$

який викликає появу сигналу на виході

$$u_{\text{вих}} = u_2(t) \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (1.8)$$

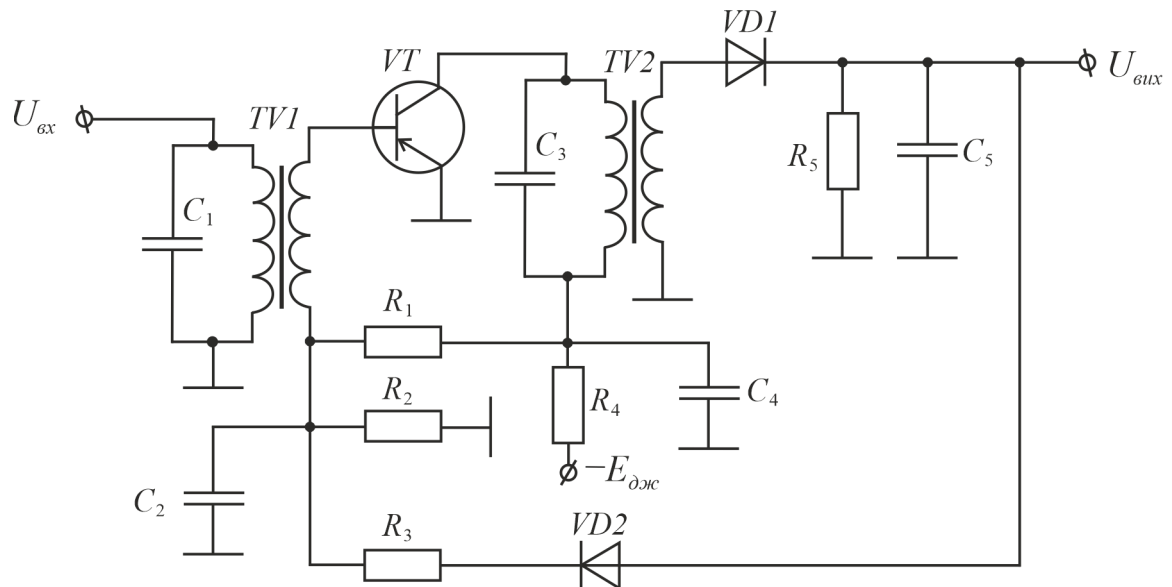


Рисунок 1.9– Схема АРП з затримкою

Для виявлення основних динамічних властивостей системи АРП необхідно, використовуючи характеристики ланок її функціональної схеми, скласти диференційне рівняння, що зв'язує коливання $u_1(t)$ і $u_2(t)$ на вході і виході приймача. На рис. 1.10 зображена функціональна схема приймача, в якому застосована АРП з зворотним зв'язком.

У цій схемі підсилювальні каскади в тракці приймача представлені ланкою з коефіцієнтом підсилення $K(U_p)$, що залежать від регулюючої напруги U_p , яке з'являється при роботі АРП на виході ФНЧ.

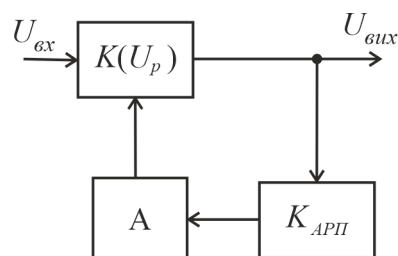


Рисунок 1.10 – Схема АРП з зворотним зв'язком
(A - лінійний оператор, який описує процеси в ФНЧ)

Регулювальна характеристика приймача $K = K(U_p)$ (рис. 1.11) має нелінійний характер, який визначається нелінійною залежністю коефіцієнтів передачі регульованих каскадів у схемі приймача від величини регулюючої напруги.

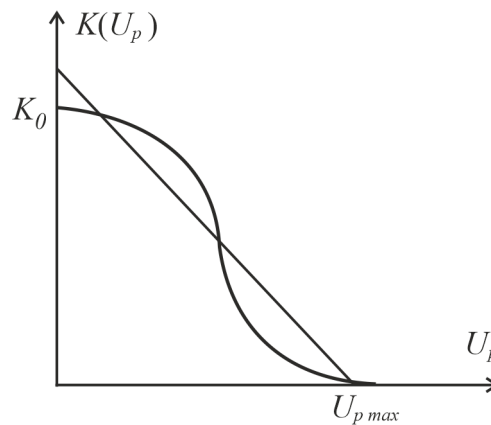


Рисунок 1.11 – Регулювальна характеристика приймача з АПР

При аналізі процесів в системі АРП функцію $K = K(U_p)$ апроксимують лінійною залежністю, тобто вважають, що

$$K = K_0 - \alpha U_p, \quad (1.9)$$

де $\alpha = \operatorname{tg} \varphi = K_0 / U_{p \max}$ - кутовий коефіцієнт характеристики регулювання.

Слід зазначити, що лінійна апроксимація залежності $K(U_p)$ дозволяє істотно спростити подальший аналіз, хоча і призводить до деякого завищення результатів розрахунку спотворень обвідної за рахунок завищення величини α при великих U_p .

Припустимо, що смуга пропускання приймача достатньо велика і амплітуда вихідного сигналу стежить за змінами коефіцієнта підсилення, які обумовлені регулюючою напругою U_p , без запізнення. Тоді, якщо амплітуда обвідної

вихідного сигналу менше напруги затримки, регулююча напруга $U_p = 0$ і коефіцієнт підсилення K буде максимальним і рівним K_0 , тобто:

$$u_2(t) = K_0 u_1(t); \quad (1.10)$$

При амплітуді вхідного сигналу $U_{1\min}$ амплітуда вихідної напруги стає рівною E_3 і $K_0 = E_3 / U_{1\min}$.

При $u_1(t) > U_{1\min}$ для обвідної сигналу на виході приймача можна записати

$$u_2(t) = K(U_p) u_1(t); \quad u_2(t) > E_3, \quad (1.11)$$

причому зміна U_p буде визначатися рівнянням виду

$$A[U_p] = K_{APП}[u_2(t) - E_3], \quad (1.12)$$

де A - лінійний диференціальний оператор, який описує процеси в ФНЧ (рис. 10.23). Процеси в системі АРП описуються наступною системою рівнянь:

$$\begin{aligned} u_2(t) &= K_0 u_1(t), & \text{якщо } u_2(t) < E_3 \\ u_2(t) &= K(U_p) u_1(t), & \text{якщо } u_2(t) > E_3 \\ A[U_p] &= K_{APП}[u_2(t) - E_3], & \text{якщо } u_2(t) > E_3 \end{aligned} \quad (1.13)$$

Аналіз цієї нелінійної системи для довільного виду оператора A і довільної залежності $K(U_p)$ проаналізувати не вдається. У тих випадках, коли використовується залежність (10.25), а в якості ФНЧ застосована інтегруюча RC-ланка, тобто $A = RC \frac{d}{dt} + 1$, система (10.29) спрощується:

$$u_2(t) = K_0 u_1(t), \quad u_2(t) < E_3$$

$$RC \frac{du_2}{dt} + (1 + Ku_1 - RC \frac{du_1}{dt} / u_1) u_2 = K_0 u_1 + Ku_1 E_3, \quad u_2(t) > E_3, \quad (1.14)$$

де $K = \alpha K_{АРП}$. Навіть цю простішу систему рівнянь вирішити вдається тільки для деяких окремих випадків зміни обвідної сигналу на вході приймача. Розглянемо спочатку найпростіший випадок.

Припустимо, що в момент $t = 0$ на вхід приймача подається сигнал, амплітуда якого $u_1(t) = U_1 = \text{const} > U_{1\text{min}}$. Тоді відповідно до (10.30) поведінка системи АРП буде описуватися неоднорідним лінійним диференціальним рівнянням з постійними коефіцієнтами:

$$RC \frac{du_2}{dt} + (1 + KU_1) u_2 = K_0 U_1 + KU_1 E_3, \quad u_2 > E_3. \quad (1.15)$$

Прийmemo, що в початковий момент напруга на конденсаторі фільтра дорівнює нулю, тобто при $t = 0$ $U_p = 0$, тому $u_2(0) = K_0 U_1$.

За такою початковою умовою роз'язок рівняння (10.31) матиме вигляд:

$$u_2(t) = U_1 \frac{K_0 + KE_3}{1 + KU_1} + K_0 - \frac{K_0 + KE_3}{1 + KU_1} e^{-t/\tau_{АРП}}. \quad (1.16)$$

$$\text{де } \tau_{АРП} = \frac{RC}{1 + KU_1} \quad (10.33)$$

- еквівалентна постійна часу системи авторегулювання підсилення. Величина $\tau_{АРП}$ менше, ніж постійна часу RC -фільтра. Це зменшення залежить від амплітуди U_1 вхідного сигналу.

Статична характеристика АРП без затримки визначається співвідношенням

$$U_2 = \frac{K_0 U_1}{1 + K U_1} \quad (1.17)$$

Чим вище напруга затримки, тим при даному збільшенні вхідного сигналу менше U_p і тим більше усталена вихідна напруга. При необмеженому збільшенні амплітуди вхідного сигналу напруга на виході приймача з системою АРП прагне при наявності затримки до величини $\lim_{U_1 \rightarrow} U_2 = E_3 + K_0 / K$

Висновки до першого розділу

Автоматичне регулювання підсилення використовується для підтримки в заданих межах вихідної напруги. Принцип дії системи АРП складається в автоматичній зміні коефіцієнтів підсилення окремих каскадів приймача при зміні рівня сигналу. Система АРП містить регульовані каскади підсилення або подільники напруги і коло регулювання. Розглянуто поняття про автоматичне регулювання підсилення, регульовані підсилювачі, загальні відомості про системи автоматичного регулювання, методи регулювання підсилення. За інерційними властивостями системи АРП поділяють на швидкодіючі і інерційні. Система АРП може бути однопетлевою і багатопетлевою. В системі з зворотним регулюванням керуюча напруга визначається рівнем напруги сигналу на виході. Така система АРП є найбільш простою і дозволяє отримати амплітудну характеристику приймача, близьку до ідеальної. Підсилювачем з регульованим підсиленням називають каскади лінійної частини приймача, охоплені колом регулювання.

2 АНАЛІЗ КОЛА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПІДСИЛЕННЯ

2.1 Структура пристрою автоматичного регулювання підсилення

Розглянемо ефективність роботи підсилювачів з регульованим підсиленням (ПРП) в додатках з автоматичним регулюванням підсилення (АРП). На рис. 2.1 представлена загальна блок-схема контуру АРП.

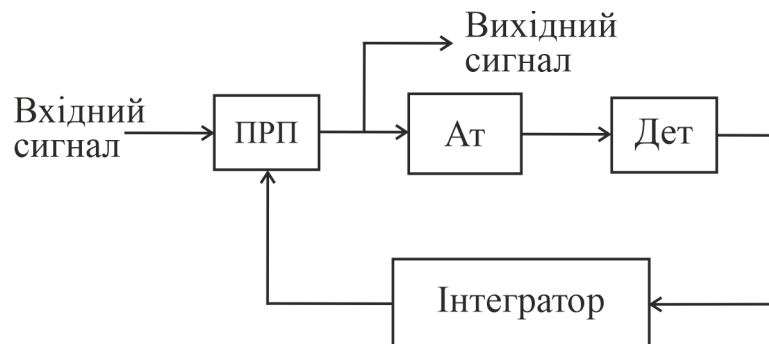


Рисунок 2.1 – Блок схема автоматичного регулювання відсилення (ПРП – підсилювач з регульованим підсиленням; Ат – атенюатор; Дет – детектор)

Вхідний сигнал проходить через ПРП для стабілізації вихідного сигналу. Вихід детектора порівнюється з заданою напругою для отримання сигналу помилки, який потім інтегрується для отримання напруги управління підсиленням. Це застосовується до керуючого входу ПРП. Атенюатор, показаний між ПРП і детектором, використовується для вирівнювання максимального вихідного рівня ПРП з максимальним вхідним рівнем детектора.

					КПТР. 2017014.01.09.ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Пристрій автоматичного регулювання підсилення Аналіз кола автоматичного регулювання підсилення Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Прокопишин							
Перевірив	Пятін І.С							
Н. контр.	Бойко Ю.М.							
Затв.	Бойко Ю.М							
						ХНУ, гр. ТР-17-1		

Розглянемо декілька ключових питань, включаючи типи ПРП, динаміку контуру, типи детекторів, робочий рівень ПРП і робочий рівень детектора. Розглянемо типи підсилювачів з регульованим підсиленням. Сьогодні використовуються два основні класи ПРП. Перший - це так званий ІПРП (вхідний ПРП), який можна розглядати як пасивний регульований атенюатор, за яким підключається підсилювач з фіксованим підсиленням. Другий тип - це вихідний ПРП (ОПРП), який по суті еквівалентний підсилювачу з фіксованим підсиленням, за яким підключається пасивний атенюатор.

ІПРП є кращим вибором для системи АРП приймачів, оскільки доступний вихідний рівень сигналу при низькому спотворенні відносно не залежить від налаштування підсилення. Це спричинить бажані якості для системи АРП, самою метою яких є підтримка постійного вихідного сигналу при зміні амплітуди вхідного сигналу. ОПРП зазвичай погано підходить для додатків АРП через його обмежену здатність обробляти вихідний сигнал при низьких налаштуваннях підсилення. Коли один ІПРП використовується в ситуації, коли ПРП встановлює мінімальний рівень шуму системи, вихідна SNR практично не залежить від вхідного сигналу; він не поліпшується, як це часто вважають за краще. Іноді бажано включити послідовно два ПРП, щоб поліпшити цю поведінку або просто отримати більший діапазон регулювання підсилення. Для цього потрібна належна координація входів регулювання підсилення двох пристроїв. Якщо регулюванням підсилення тільки ПРП другого каскаду маніпулювати в режимі слабкого сигналу, рівень сигналу підсилювача ПРП першого каскаду збільшується зі збільшенням вхідного рівня, тому вихідна SNR поліпшується зі збільшенням вхідного сигналу. Передавати регулювання підсилення з другого каскаду на перший каскад необхідно тільки тоді, коли неминуче перевантаження підсилювача першого каскаду. В якості альтернативи, два входи управління підсиленням можуть просто управлятися паралельно, і в цьому випадку вихідне відношення сигнал/шум (виражене в дБ) поліпшується на половину швидкості збільшення вхідного рівня (також вираженого в дБ). У випадках, коли використовувані ПРП мають

залишкову пульсацію в своїх функціях управління підсиленням, додаткова перевага цього підходу може бути отримано, якщо два вхідних сигнали регулювання підсилення навмисно зміщені на половину періоду пульсації. Це може забезпечити значне зменшення пульсацій. Одна з переваг використання ІПРП в контурі АРП полягає в тому, що напруга управління підсиленням ПРП має точне логарифмічне відношення до рівня вхідного сигналу, коли контур знаходиться в рівновазі. Це означає, що напруга управління підсиленням також може використовуватися в якості відмінного індикатора рівня сигналу на вході приймача (RSSI).

Розглянемо динаміку контура. Час відгуку - важливе питання при проектуванні АРП. Зазвичай існує компроміс між тим, щоб контур реагував на небажані коливання вхідного рівня так швидко, як хотілося б, і небажаною зміною амплітудної модуляції сигналу. Крім того, великі і різкі зміни вхідного рівня можуть привести до неприйнятної поведінки відновлення. Якщо контур реагує дуже швидко, це призведе до небажаної модуляції підсилення, що виникає через зусилля контуру по стабілізації вихідного рівня сигналу, що містить допустиму амплітудну модуляцію. Це називається «накачуванням підсилення». В контексті цифрової модуляції наявність помітного накачування підсилення може привести до значних помилок модуляції і, можливо, навіть до помітного повторного зростання спектра в крайніх випадках. Допустиме значення накачування підсилення зазвичай становить лише досить невелику частину 1 дБ.

2.2 Типи детекторів контуру АРП

Одним із зручних аспектів контуру АРП є те, що детектор не обов'язково повинен мати дуже широкий динамічний діапазон, в якому він підпорядковується деякому певному закону. Це пов'язано з тим, що детектор працює на постійному середньому рівні, коли контур АРП знаходиться в рівновазі; таким чином, детектор повинен тільки точно працювати з діапазоном рівнів, пов'язаним з

модульованим сигналом. Однак, як згадувалося раніше, закон відгуку детектора (лінійний, логарифмічний, квадратичний, тощо) може відігравати значну роль у визначенні динамічного відгуку контуру при великих різких змінах рівня сигналу. Можливо, що більш важливо, закон відгуку детектора впливає на залежність рівня рівноваги контуру від форми вхідного сигналу або пік-фактора. Тут будуть розглянуті чотири типи детекторів: детектор обвідної; прямокутний детектор; детектор справжніх середньоквадратичних значень; і логарифмічний детектор.

Розглянемо детектор обвідної (випрямляч). Вихідна напруга детектора обвідної пропорційна величині миттєвої вхідної радіочастотної напруги. Припускаючи, що на його виході застосовується достатня фільтрація нижніх частот для усунення радіочастотних пульсацій, цей детектор видає напругу, пропорційну амплітуді обвідної високочастотного сигналу.

Припускаючи, що смуга пропускання контуру зроблена досить малою, щоб уникнути значного накачування підсилення, ефект контуру, що використовує детектор обвідної, полягає в стабілізації середнього значення випрямленої напруги сигналу. Таким чином, результуюча потужність залежить від форми обвідної високочастотного сигналу. Контур, що діє на сигнал з постійною обвідною, такий як GSM, буде виробляти середню вихідну потужність, яка відрізняється від такої для сигналу з великою амплітудною модуляцією, такою як CDMA або 64QAM.

Вихідний сигнал детектора обвідної не може стати негативним незалежно від того, наскільки слабкий вхідний сигнал, але може досягати екстремально позитивних значень у відповідь на дуже сильні сигнали. Починаючи з того, що контур АРП знаходиться в рівновазі, раптове велике збільшення вхідної амплітуди викликає дуже велике початкове збільшення вихідного сигналу детектора, що дуже швидко призводить контур в сторону більш низького підсилення. З іншого боку, різке зниження рівня вхідного сигналу (незалежно від того, на скільки дБ) не може знизити вихідний сигнал детектора нижче нуля, і кращий відгук контуру - це поворот у бік рівноваги з досить низькою швидкістю, поки вихідний сигнал детектора не почне знижуватися. Змінюється на значну

частину опорної напруги, після чого відновлення має тенденцію до експоненційного спаду. В області обмеженої швидкості наростання коефіцієнт підсилення тракту сигналу змінюється з постійним числом дБ в секунду.

Поведінка такої петлі для великого кроку вхідного рівня (зверніть увагу, що криві для всіх чотирьох типів детекторів накладені на цей графік). Ці результати були отримані через кроки амплітуди для різних детекторів. з моделювання, в якому ПРП має репрезентативні межі діапазону підсилення і максимального вихідного рівня. Детектори, створені для цих симуляцій, не мають особливих обмежень на тій підставі, що в більшості практичних ситуацій розробник масштабує схему так, щоб детектор не обмежував раніше, ніж це зробить ПРП.

Розглянемо квадратичний детектор. Цей тип детектора має миттєвий вихід, який пропорційний квадрату миттєвого вхідного значення високочастотної напруги, що еквівалентно твердженням, що його вихід пропорційний вхідної потужності. Така поведінка при включенні в контур АРП з розумною пропускнуою здатністю робить рівномірну середню вихідну потужність контуру незалежною від форми вхідного сигналу. Як і у випадку з детектором огибаючої, вихідний сигнал ніколи не може стати негативним. Однак реакція на різке збільшення вхідної амплітуди може бути ще більшою, оскільки квадратична характеристика детектора перебільшує ефект збільшення вхідної амплітуди. Степінь, у якій це відбувається, залежить від рівня обмеження ПРП або детектора, в залежності від того, що з'являється на більш низькому рівні.

Розглянемо детектор середньоквадратичного значення напруги (True-RMS).

Цей детектор складається з квадратичного детектора, за яким підключений фільтр нижніх частот, далі іде функція витягування квадратного кореня.



Рисунок 2.2 – Структурна схема квадратичного демодулятора

Вхідний сигнал $s(t)$ визначається виразом:

$$s(t) = U_m (1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_0 t.$$

Сигнал на виході пристрою піднесення до квадрата:

$$s^2(t) = U_m^2 (1 + M \cos \Omega t)^2 \cos^2 \omega_0 t = \frac{U_m^2}{2} (1 + M \cos \Omega t)^2 + \frac{U_m^2}{2} (1 + M \cos \Omega t)^2 \cos 2\omega_0 t.$$

Сигнал на виході ФНЧ визначається виразом:

$$s_{\text{нч}}(t) = \frac{U_m^2}{2} (1 + M \cos \Omega t)^2.$$

Сигнал на виході пристрою визначення квадратного кореня:

$$y(t) = \frac{U_m}{\sqrt{2}} (1 + M \cos \Omega t),$$

описує огинаючу амплітудно-модульованого сигналу.

Фільтр нижніх частот виконує операцію знаходження середньоквадратичного значення (RMS), і він повинен мати достатньо велику постійну часу для згладжування вихідних змін детектора піднесення до квадрату, які в іншому випадку виникли б в результаті модуляції сигналу. Через наявність елемента піднесення до квадратного кореня в цьому детекторі середній вихідний сигнал пропорційний напрузі, а не потужності, тому реакція контуру на невеликі різкі зниження або збільшення рівня сигналу повинна бути по суті такою ж, як у детектора обвідної, за умови, що доданий полюс фільтра в детекторі RMS

правильно скомпенсований в іншому місці контуру. Той факт, що доданий полюс розташований в області шляху проходження сигналу, який є квадратичним, вказує на можливість того, що відгук з великим кроком буде відрізнятися від такого у простого детектора обвідної, що дійсно можна побачити на малюнку. Зверніть увагу, що середньоквадратичний детектор має трохи повільніше відновлення після великого стрибка амплітуди вниз, ніж стандартний детектор обвідної, але трохи більш швидке відновлення (і невеликий викид) після стрибка вхідної амплітуди. Як і квадратичний детектор, детектор істинного середньоквадратичного значення зробить точку рівноваги контуру АРП незалежною від форми сигналу радіочастоти.

Розглянемо логарифмічний детектор. Цей тип детектора видає вихідний сигнал, пропорційний логарифму вхідної радіочастотної напруги. Оскільки ця поведінка є додатковою до поведінки ПРП з лінійним по дБ в контурі, результуюча динаміка контуру є динамікою лінійної системи, припускаючи, що колювання рівня сигналу під час перехідних процесів залишаються в межах діапазону вимірювання логарифмічного детектора. Відповідно до цих припущень, реакція контуру АРП на різкі великі зміни вхідного рівня не буде обмежена швидкістю наростання і часто буде швидше відновлюватися після зменшення амплітуди. Як і у випадку з детектором огинаючої, точка рівноваги контуру АРП, з логарифмічним детектором, буде залежати від форми вхідного РЧ-сигналу.

2.3 Порівняння вихідних сигналів різних детекторів

Контури АРП були спроектовані таким чином, щоб швидкості відгуку при слабкому сигналі були ідентичними. Результати показують, що перехідна характеристика петлі на великий крок помітно залежить від типу детектора. З одного боку, логарифмічний детектор дає найбільш швидку реакцію на різке зменшення вхідного рівня, оскільки логарифмічна крива має дуже крутий нахил для низьких вхідних сигналів, що збільшує відгук контуру. Однак логарифмічний

детектор має пологу крутизну для високих вхідних рівнів, що призводить до зниження швидкості реакції на раптове підвищення рівня сигналу. З іншого боку, невеликий нахил квадратичного детектора близько нульового вхідного рівня дає йому дуже мляву реакцію на велике зменшення вхідної амплітуди. І навпаки, квадратичний детектор перебільшує відгук на великі сигнали, даючи найшвидший відгук на зростаючі сигнали. Детектори обвідної і середньоквадратичного значення, маючи проміжні характеристики, дають проміжні швидкості спрацьовування.

Розглянемо робочий рівень детектора. В ідеалі робочий рівень детектора повинен бути встановлений якомога вищим, щоб мінімізувати помилку через залишкові зміщення постійного струму. Однак часто переважають інші міркування. Для сигналів з амплітудною модуляцією пікове значення на вході детектора, коли контур знаходиться в рівновазі, не повинно бути вище, ніж те, що підтримує детектор, тому середнє значення повинно бути нижче. Навіть для сигналів з постійною обвідною середній рівень повинен бути розумно нижче максимального, щоб було місце для підвищення рівня детектора при збільшенні вхідного рівня системи; в іншому випадку може бути невеликий сигнал помилки або його відсутність, щоб повернути контур до рівноваги. Зверніть увагу, що, як правило, буде нерівна кількість місця для виходу детектора, щоб гойдатися вгору або вниз від проектного рівноважного рівня, що призведе до різниці видимих швидкостей атаки і загасання контуру.

Розглянемо приклад конструкції робочого контуру АРП. Застосуємо до практичного проектування. Припущення і цілі проекту наступні:

- Модуляція сигналу: W-CDMA (15 користувачів);
- символна швидкість 3,84 Мсимвол/с;
- проміжна частота: 380 МГц;
- підсилювач з регульованим підсиленням: AD8367;
- детектор: AD8361 (справжнє середньоквадратичне значення, для незалежності від форми сигналу)
- джерело живлення: 5 В постійного струму.

Виходячи з цього, будуть встановлені розумні обмеження для рівнів, щоб максимізувати коефіцієнт потужності сусіднього каналу (ACPR) і смугу пропускання контуру АРП (щоб уникнути надмірного накачування підсилення).

Вимірювання AD8367 показали, що найкращий ACPR на 380 МГц досягається при рівні вихідного сигналу близько 112 мВ середньоквадратичного значення, що дає близько -12 дБмВт на 200 Ом.

Розглянемо робочий рівень детектора. Відношення пікової потужності до середньої потужності для вибраного тону становить близько 18 дБ. При роботі від джерела живлення 5 В максимальний вихідний рівень AD8361 становить близько 4,8 В (з таблиці AD8361). Передбачається, що квадратор в детекторі переходить в обмеження на тому ж вхідному рівні, який призводить до максимального виходу для CW сигналу. Таким чином, припускаючи, що піки модульованого сигналу не повинні призводити до обмеження квадрата детектора, коли контур знаходиться в рівновазі, середній вихідний рівень детектора повинен бути таким, щоб він був принаймні на 18 дБ нижче 4,8 В; $4,8 \times 10^{-18} / 20 = 604$ мВ. Оскільки коефіцієнт перетворення детектора становить $7,5 \text{ В} / V_{\text{срkv}}$, Рівень рівноваги контуру на вході детектора повинен бути $604 \text{ мВ} / 7,5 = 80 \text{ мВ}_{\text{срkv}}$.

Цей рівень може бути отриманий з бажаного вихідного рівня ПРП шляхом додавання послідовного резистора на 90 Ом, який в поєднанні з вхідним опором 225 Ом AD8361 формує ділянку напруги, який дозволяє досягти бажаного результату. Зверніть увагу, що це навантажує вихід ПРП 315 Ом, що означає, що найменший опір додаткового паралельного навантаження на ПРП буде 547 Ом, щоб задовольнити його проектний мінімальний опір навантаження 200 Ом. Однак в цьому випадку більше половини вихідної потужності ПРП буде надходити на детектор. Це можна виправити, подавши на вихід ПРП резистора 90 Ом емітерний повторювач, збільшивши вхідний імпеданс всього детектора на бета транзистора, використовуваного в повторювачі. Це вивільнило б майже всі можливості вихідного струму ПРП для використання корисним навантаженням.

Розглянемо оцінку цільової смуги пропускання контуру АРП. Тут необхідно зробити висновок на основі емпіричного вимірювання, щоб встановити максимальну смугу пропускання контуру, яка дозволить уникнути неприпустимого накачування підсилення. Для цілей цього прикладу конструкції передбачається, що припустима зміна підсилення до 0,5 дБ (розмах). Оцінка бажаної смуги пропускання контуру буде зроблена шляхом пропускання сигналу W-CDMA через аналізатор спектру з дуже широкою смугою пропускання, нульовою смугою огляду і лінійним детектором, і спостереження того, яка ширина смуги відеосигналу призводить до зміни вихідного сигналу 0,5 дБ (розмах). В результаті виходить 200 Гц, що означає, що первісна конструкція контуру АРП буде мати смугу пропускання 200 Гц. Результати моделювання та вимірювань будуть використані, щоб побачити, як працює цей вибір.

Розглянемо фільтр детектора RMS. Фільтр «середнього значення» детектора RMS складається з внутрішнього опору фільтра в поєднанні з зовнішньої шунтуючої ємністю. Ефективне значення опору фільтра змінюється в залежності від рівня збудження, від приблизно 2000 Ом при дуже низькому рівні збудження до приблизно 500 Ом при максимальному рівні збудження. У цьому прикладі буде використовуватися значення 1,8 кОм, яке було визначено емпірично для встановленого раніше робочого рівня. Загалом, AD8361 слід взяти в лабораторію з джерелом сигналу W-CDMA, щоб визначити відповідну ємність конденсатора фільтра. Однак попереднє вимір смуги пропускання контуру підказує, що дозволяє зробити розумну оцінку необхідного значення. Ширина смуги контуру 200 Гц привела до зміни вихідного сигналу детектора на 0,5 дБ (~6%). Так вийшло, що це приблизно максимальна величина зміни рівня фільтра середньоквадратичного значення, яка як і раніше дає хорошу середньоквадратичну помилку. Таким чином, смугу пропускання цього фільтра просто зробимо рівною 200 Гц, для чого буде потрібно конденсатор фільтра приблизно 0,44 мкФ проти опору фільтра 1,8 кОм.

2.4 Динаміка контуру автоматичного регулювання

Буде розроблена петля першого порядку з пропускною здатністю слабкого сигналу 200 Гц. Зверніть увагу, що фільтр детектора середньоквадратичного значення вже вносить вклад в один полюс на частоті 200 Гц, тому частина контуру, що залишилася явно повинна це враховувати. Це буде досягнуто шляхом вибору R_{comp} для створення нуля на частоті 200 Гц в поєднанні з C_{integ} (див. Додаток А). Швидкість відгуку всіх інших елементів в циклі настільки вище, ніж у бажаного циклу, що всі інші полюси можна безпечно ігнорувати. Розроблена смуга пропускання контуру буде застосовуватися тільки для невеликих відхилень від зрівноваженого рівня контуру АРП. Великі перехідні процеси будуть вести себе по-різному через нелінійний характеру контуру, і моделювання та / або макетування будуть використовуватися для дослідження поведінки сильного сигналу. Наступні пункти на порядку денному - визначення інкрементного підсилення ПРП і детектора з точки зору динаміки контуру. Для ПРП це означає крутизну залежності V_{out} від керуючої напруги, а не ВЧ-підсилення.

Розглянемо ПРП підсилення. V_{in} і V_{out} представлятимуть середньоквадратичні значення високочастотного входу і виходу ПРП, відповідно, а V_g представлятиме напругу управління підсиленням. З аналізу даних про характеристики AD8367 в таблиці даних для 240 МГц, в поєднанні з невеликою екстраполяцією і округленням, встановлено, що підсилення 0 дБ відбувається при керуючій напрузі 0,1 В і крутизні керуючого сигналу 50 дБ/В. Шляхом формулювання і подальшого диференціювання V_{out} по відношенню до V_g при зрівноваженому виході 112 мВ середньоквадратичного значення крутизна збільшення оцінюється як $0,6447 V_{rms} / V$.

Нахил детектора. Номінальне підсилення перетворення AD8361 становить 7,5 одиниць. Однак на вході детектора доданий резистор 90 Ом; це призводить до зменшення ефективного підсилення детектора до 5,357, що є значенням, яке буде використовуватися в петлевому аналізі.

Запобігання надмірної затримки відновлення. Якщо контур залишається встановленим з дуже низьким (або нульовим) рівнем вхідного сигналу протягом деякого часу, вихідна напруга інтегратора буде продовжувати рости, поки не досягне насичення операційного підсилювача, оскільки контур намагається знайти більше виграшу. Коли сильний сигнал раптово надходить на вхід системи, потрібно дочекатися, поки вихід інтегратора не повернеться до 1 В, перш ніж контур зможе почати зниження підсилення. Щоб зменшити цю «затримку перевантаження», між інтегратором та входом управління ПРП вставлений атенюатор 4,3: 1, так що позитивна межа (майже 5 В) на виході інтегратора дорівнює максимальному ефективному входу управління (1 В) до ПРП.

Розрахунок значень компонентів. У контурі отримано чисте підсилення (без урахування інтегратора на даний момент) 0,644 (нахил збільшення ПРП) * 5,357 (ефективний нахил детектора) / 4,3 (для VАРП-атенюатора) = 0,803. Для смуги пропускання 200 Гц коефіцієнт підсилення контуру повинен дорівнювати одиниці на цій частоті. Якщо інша частина контуру має коефіцієнт підсилення 0,803, інтегратор повинен мати коефіцієнт підсилення $1,0 / 0,803 = 1,245$, що вимагає, щоб реактивний опір C_{integ} на частоті 200 Гц було в 1,245 разів більше значення R_{in} . Математично $1 / (2 \pi \cdot 200 \cdot C_{integ}) = 1,245 \cdot R_{in}$; $R_{in} \cdot C_{integ} = 639,2$ мкс.

Тепер слід зазначити ще одне обмеження, яке полягає в тому, що AD8361 не може давати дуже великий струм, а може споживати ще менше. Тому для R_{in} вибрано 50 кОм, щоб мінімізувати загальне навантаження на виході AD8361, що призводить до значення 12,78 нФ для C_{integ} . Нарешті, щоб компенсувати полюс 200 Гц в середньоквадратичному детекторі, R_{comp} вибрано рівним 62,3 кОм, щоб забезпечити нульове значення контуру при 200 Гц за допомогою C_{integ} . На виході AD8361 також додано зниження 10 кОм, щоб поліпшити його ефективну знижувальну здатність.

Прототип схеми був побудований у відповідності зі схемою в Додатку А. На малюнках 3 і 4 показана реакція контуру прототипу на малі і великі (30 дБ) скачки вхідної напруги відповідно. На рис. 5 показані результати вимірювання

накачування підсилення , отримані шляхом захоплення сигналу на вході регулювання підсилення ПРП за допомогою осцилографа і масштабування в дБ.

2.5 Розрахунок системи АРП безперервної дії

Початкові дані: границі максимального і мінімального значень напруги, границі коливань вхідного сигналу. Під час побудови структурної схеми приймального пристрою обирають один з наявних способів регулювання коефіцієнта підсилення. Послідовність розрахунку:

1. Обирають кількість каскадів регулювання, якщо один окремий каскад забезпечує глибину регулювання підсилення від 15 до 25 дБ.

2. Обирають границі зміни електричного струму на колектора $I_{\kappa 0 \min}$ і $I_{\kappa 0 \max}$, маючи на увазі, що краще забезпечувати зміну $I_{\kappa 0}$ в достатньо широких межах від мінімального значення до максимального. Струм $I_{\kappa 0 \max}$ має значення 3 ... 5 мА. $I_{\kappa 0 \min}$ має значення 0,25 ... 0,3 мА.

3. Задають значення коефіцієнтам q_{\min} .

4. Далі визначають найбільшу і найменшу величину загального коефіцієнту підсилення.

5. Глибина забезпечення регульованого підсилення визначається виразом:

$$\sigma = 20 \lg \frac{K_{\min}}{K_{\max}} .$$

2.6 Розрахунок буферного каскаду

Буферний каскад будують за схемою з спільним колектором (емітер ний повторювач) і призначенням його є узгодження виходу джерела сигналу з

низькоомними частинами схеми автоматичного регулювання підсилення. Характерною особливістю роботи буферного каскаду є ємнісний характер навантаження. Зв'язок з джерелом сигналу і навантаженням - безпосередній. Емітерний повторювач охоплений 100%-им послідовним негативним зворотним зв'язком (НЗЗ). Наявність 100%-го НЗЗ передбачає, що в емітерному повторювачі вихідний сигнал і сигнал зворотного зв'язку рівні за значенням. Схема з спільним колектором не змінює фазу вхідного сигналу

Принципова схема каскаду наведена рис. 2.2. Резистор R_1 в колекторному колі транзистора потрібний для обмеження максимального значення струму через транзистор в момент заряду C_n , і знижує ймовірність самозбудження транзистора.

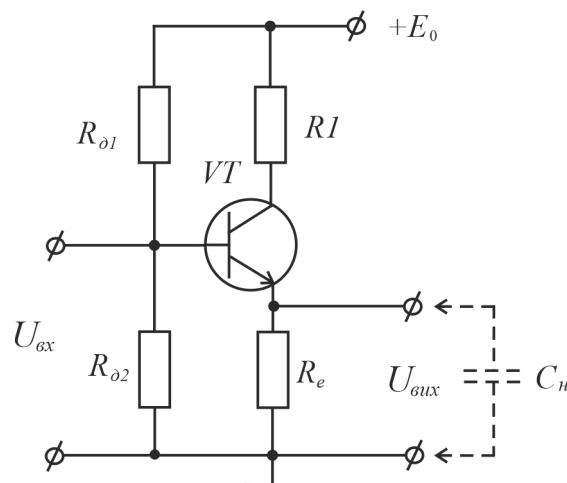


Рисунок 2.2 – Схема емітерного повторювача

Вихідні дані для розрахунку:

опір джерела сигналу $R_r = 4,7$ кОм;

ємність навантаження $C_n = 0,015$ мкФ;

напруга живлення $E_0 = +5$.

Для вибору транзистора визначимо максимальний струм заряду C_n за виразом:

$$I_{c\max} = \frac{\Delta U C_H}{t_{\text{фр}}} = 24 \text{ мА.}$$

Вибираємо транзистор КТ316А, який вже застосований в підсилювачі-обмежувачі і має значення $I_{c\max} = 30 \text{ мА}$.

При роботі на ємнісне навантаження повторювач затягує задній фронт імпульсу. Для усунення цього постійний струм емітера повинен задовольняти умові $I_e = I_{c\max}$.

Однак, оскільки в нашій схемі тривалість заднього фронту імпульсу не впливає на роботу інтегратора, то струм спокою можна знизити, задавшись

$$t_{\text{фр}} = (0,3 \dots 0,5)t_i.$$

тоді:

$$I_e = \frac{\Delta U C_H}{(0,3 \dots 0,5) t_i} = 6,5 \text{ мА}$$

Опір резистора R2 визначимо з рівняння:

$$I_{\bar{o}} R_2 + U_{\bar{o}e} + I_e R_2 = E_0 ;$$

Оскільки $I_e = I_{\bar{o}} (1 + h_{21})$, то

$$R_2 = \frac{E_0 - U_{\bar{o}e} - \frac{I_e}{1 + h_{21}} R_r}{I_e} = 1,29 \text{ кОм}$$

Вибираємо $R_2 = 1,3 \text{ кОм}$ (для зменшення номенклатури номіналів,).

Значенням опору резистора R_1 задаємо в межах 10...50 Ом, приймаємо $R_1 = 27$ Ом. Блокувальна ємність C_1 вибирається з умови:

$$C_1 \frac{100 \dots 200}{t_{\phi p} R} = 2,2 \text{ мкФ}$$

Вхідний опір повторювача визначається виразом:

$$R_{вх} \approx h_{21} R_n = 43,2 \text{ кОм.}$$

$$\text{Вхідна ємність: } C_{вх} \approx \frac{C_n}{h_{21}} = 417 \text{ пФ.}$$

$$\text{Вихідний опір: } R_{вих} \approx r_e + \frac{R_r}{1 + h_{21}} = \frac{\varphi_r}{I_e} + \frac{R_r}{1 + h_{21}} = 134 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт передачі повторювача при достатно великому значенні опору навантаження ($R_2 = 1,2$ кОм) наближається до одиниці.

Вихідні рівні напруги буферного каскаду в режимі сильного сигналу визначимо наступним чином.

При високому рівні вхідного сигналу ($U_{вх} = +10$ В) по резистору R_r протікає тільки базовий струм транзистора буферного каскаду. Тоді рівняння для ділянки кола запишеться у вигляді:

$$E_0 = I_b R_2 + U_{be} + I_e R_2,$$

де $I_e R_2 = U_{вих1}$ - вихідний опір високого рівня.

$$I_b = \frac{I_e}{1 + h_{21}} \text{ - струм бази.}$$

Звідси знаходимо:

$$U_{вих} = E_0 - U_0 - \frac{I_e R_2}{h_{21} + 1} = 8,45 \text{ В}$$

При низькому рівні вхідного сигналу ($U_{вх} = +2 \text{ В}$) по резистору R_2 протікає повний струм підсилювача ($I_0 = 1,7 \text{ мА}$) і базовим струмом транзистора буферного каскаду можна знехтувати. Звідси:

$$U_{вих0} \approx U_{вх0} - U_{ке} = 1,3 \text{ В.}$$

Коефіцієнт передачі буферного каскаду, таким чином, складе:

$$K = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{вх}} = \frac{U_{вих1} - U_{вих0}}{U_{вх1} - U_{вх0}} = 0,89.$$

Висновки до другого розділу

Були обговорені численні аспекти конструкції АРП, і був розроблений детальний приклад практичної конструкції. Були підкреслені практичні міркування і труднощі, що зустрілися на цьому шляху, на відміну від повторення рівнянь проектування контурів. Нарешті, була побудована робоча схема і представлені результати вимірювань. Виконані електричні розрахунки.

3 МОДЕЛЮВАННЯ КОНТУРУ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПІДСИЛЕННЯ

3.1 Дослідження АРП у Матлаб

Спочатку створюється контур автоматичного регулювання підсилення (АРП), який адаптивно регулює своє підсилення для досягнення постійного рівня сигналу на виході.

Задаються наступні параметри:

AdaptationStepSize - розмір кроку для оновлень підсилення. Розмір кроку для оновлень підсилення. Збільшення розміру кроку дозволяє АРП швидше реагувати на зміни рівня вхідного сигналу, але збільшує зміну рівня вихідного сигналу після досягнення сталого режиму роботи.

DesiredOutputPower - цільовий рівень вихідної потужності.

Потужність вимірюється у Ват на 1 Ом.





AveragingLength - Довжина вікна усереднення

Довжина вікна усереднення в вибірках. Для отримання додаткової інформації про те, як довжина усереднення впливає на дисперсію вихідного сигналу АРП в сталому режимі і на швидкість виконання.

MaxPowerGain - максимальне підсилення потужності

Максимальний приріст потужності в децибелах. Велике регулювання підсилення може викликати обмеження, коли потужність невеликого вхідного сигналу раптово збільшується.

Використовуйте цю властивість, щоб уникнути великих коректувань

					КПТР. 2017014.01.09.ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Прокопишин			Пристрій автоматичного регулювання підсилення Моделювання контуру автоматичного регулювання підсилення Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Пятін І.С						
Н. контр.		Бойко Ю.М.			ХНУ, гр. ТР-17-1			
Затв.		Бойко Ю.М						

підсилення , обмежуючи підсилення , яке АРП застосовує до вхідного сигналу.

$y = agc(x)$ адаптивно регулює підсилення вхідного сигналу для досягнення рівня опорного сигналу на виході. AGC використовує детектор квадратичного закону для визначення рівня вихідного сигналу.

$[Y, powerlevel] = agc(x)$ повертає рівень потужності, оцінку рівня потужності вхідного сигналу. Ви можете використовувати рівень потужності в якості виходу детектора енергії.

Застосуйте різні значення усереднення АРП до сигналів з модуляцією QAM. Порівняйте дисперсію і графік сигналів після застосування АРП.

Створіть три об'єкти системи AGC із середньою довжиною вікна, що дорівнює 10, 100 і 1000 вибірок відповідно.

Генеруйте модульований сигнал 16-QAM і сформуєте імпульс за допомогою фільтра з характеристикою вигляду піднесеного косинусу і отримайте графіки, як показано на рис. 3.1.

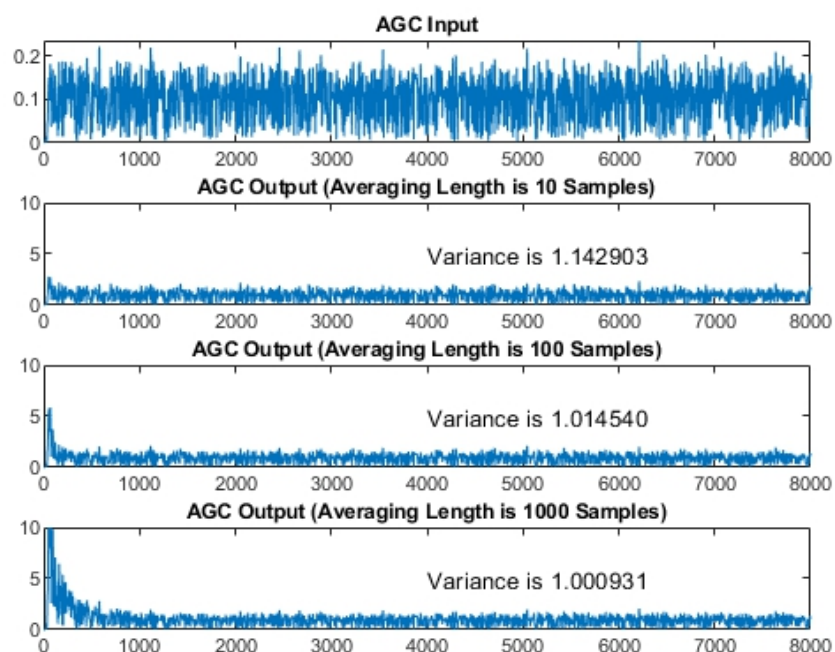


Рисунок 3.1 – Дисперсія на виході контуру АРП

Застосуйте AGC до даних з окремими виходами для кожного об'єкта AGC.

У міру збільшення довжини усереднення дисперсія на виході АРП зменшується, як показано на рис. 3.1.

Застосовуйте різні рівні максимального підсилення АРП до сигналів з QPSK-модуляцією. Порівняйте графік сигналів після застосування АРП.

Створіть три об'єкти системи AGC з максимальними значеннями підсилення, встановленими на 10, 20 і 30 дБ відповідно.

Генерація даних з модуляцією QPSK. Пропустіть дані через фільтр формування імпульсу з характеристикою піднесеного косинусу і канал AWGN.

Застосуємо АРП до даних, отримуючи окремі виходи для кожного об'єкта АРП. Побудуємо вхідний сигнал і сигнал з регулюванням АРП з різними максимальними рівнями підсилення. Порівняємо результати для умов в цьому прикладі (рис. 3.2). Налаштування максимального підсилення 10 дБ занадто мале, і вихід АРП не досягає бажаного рівня вихідного сигналу, що може привести до втрати даних через зменшення динамічного діапазону сигналу. Налаштування максимального підсилення 20 дБ є оптимальним, і вихід АРП досягає бажаного рівня без втрати сигналу через насичення. Налаштування максимального підсилення 30 дБ занадто велике, і вихід АРП перевищує бажаний рівень сигналу, що може привести до насичення сигналу і втрати даних на початку прийнятих пакетів. Між пакетами вхідний сигнал містить тільки шум.

Як показано на графіках (рис. 3.2), пакетні передачі мають тривалі періоди, коли дані не приймаються. Тривалі періоди відсутності даних призводять до збільшення АРП до максимального значення підсилення. Якщо пакет приходить, коли підсилення АРП занадто велике, вихідна потужність перевищує бажаний рівень сигналу до тих пір, поки АРП не зможе відреагувати на зміну рівня вхідної потужності і зменшити своє підсилення.

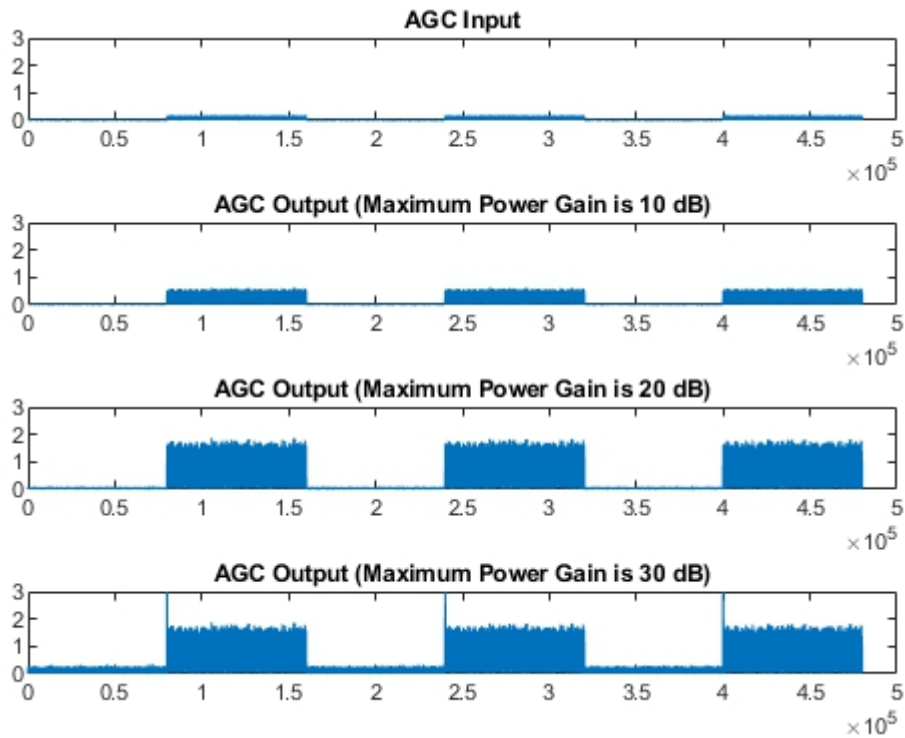


Рисунок 3.2 – Застосування різних рівнів максимального підсилення АРП

Показати розрахунковий вихідний сигнал від АРП

Побудуємо сигнал і оцінку рівня потужності. Порівняємо результати. Оцінка рівня потужності може служити детектором потужності, точно вказує, коли прибув прийнятий пакет.

Створимо системний об'єкт АРП з максимальним значенням підсилення, встановленим на 20 дБ. Задамо генерацію даних з модуляцією QPSK. Пропустимо дані через фільтр формування імпульсу з характеристикою вигляду піднесеного косинусу і канал AWGN.

Застосуємо АРП до даних з окремими виходами для кожного об'єкта АРП.

Побудуємо графік вхідного сигналу і оцінки рівня потужності прийнятого сигналу, як показано на рис. 3.3. Порівняємо результати. Прийом пакетованих даних з тривалими періодами, коли дані не приймаються, призводить до зменшення виявленої оцінки рівня потужності майже до нуля. При виявленні вхідного сигналу оцінка рівня вихідної потужності p^2 служить детектором потужності, точно вказує, коли прибув прийнятий пакет.

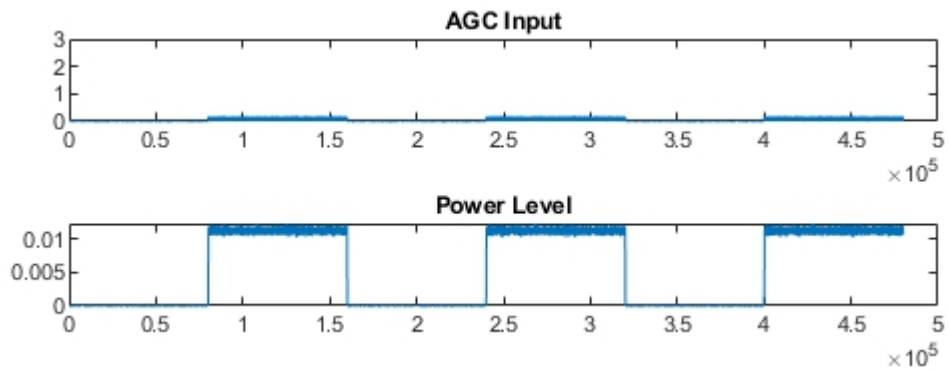


Рисунок 3.3 – Графіки вхідного сигналу АРП і оцінка рівня потужності прийнятого сигналу

Дослідження змінного розміру кроку АРП. Застосуємо різні розміри кроку АРП до сигналів з QPSK-модуляцією. Порівняємо сигнали після застосування АРП. Для цього створимо три об'єкти системи АРП з розміром кроку $1e-1$, $1e-3$ і $1e-4$ відповідно. Генерація даних з модуляцією QPSK- і фільтром формуванням імпульсу з характеристикою вигляду піднесеного косинуса.

Застосуємо АРП до даних, отримуючи окремі виходи для кожного об'єкта АРП. Побудуємо вхідний і вихідний сигнали після різних розмірів кроку АРП, як показано на рисунку 3.4.

Якщо розмір кроку встановлений на $1e-1$, викид вихідного сигналу АРП очевидний. Вихідний сигнал сходиться дуже швидко (рис. 3.4).

Якщо розмір кроку встановлений на $1e-3$, викид вихідного сигналу АРП зникає. Вихідний сигнал поступово сходиться.

Якщо розмір кроку встановлений на $1e-4$, вихідному сигналу АРП потрібно в 2-3 рази більше часу для сходження, ніж при розмірі кроку $1e-3$ (рис. 3.4).

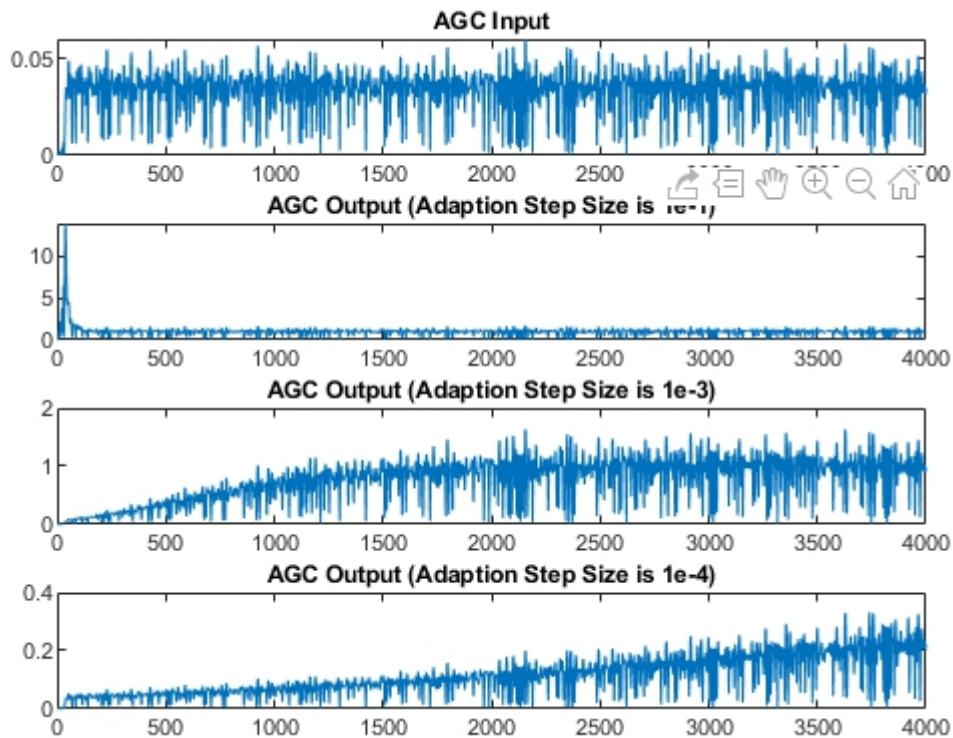


Рисунок 3.4 – Графіки вихідного сигналу при змінному кроці АРП

Дослідження адаптивного регулювання амплітуди сигналу за допомогою автоматичного регулювання підсилення.

Промодулюємо і підсилюємо сигнал QPSK. Встановимо амплітуду сигналу приблизно на 1 вольт за допомогою АРП. Побудуємо вихідний сигнал.

Створимо сигнал з модуляцією QPSK за допомогою об'єкта QPSK System.

Виконаємо ослаблення модульованого сигналу.

Створимо системний об'єкт AGC і пропустимо через нього сигнал, що передається. АРП регулює потужність сигналу приблизно до 1 Вт.

Побудуємо сигнальні сузір'я переданого і прийнятого сигналів після того, як АРП досягне встановленого стану, як показано на рис. 3.5.

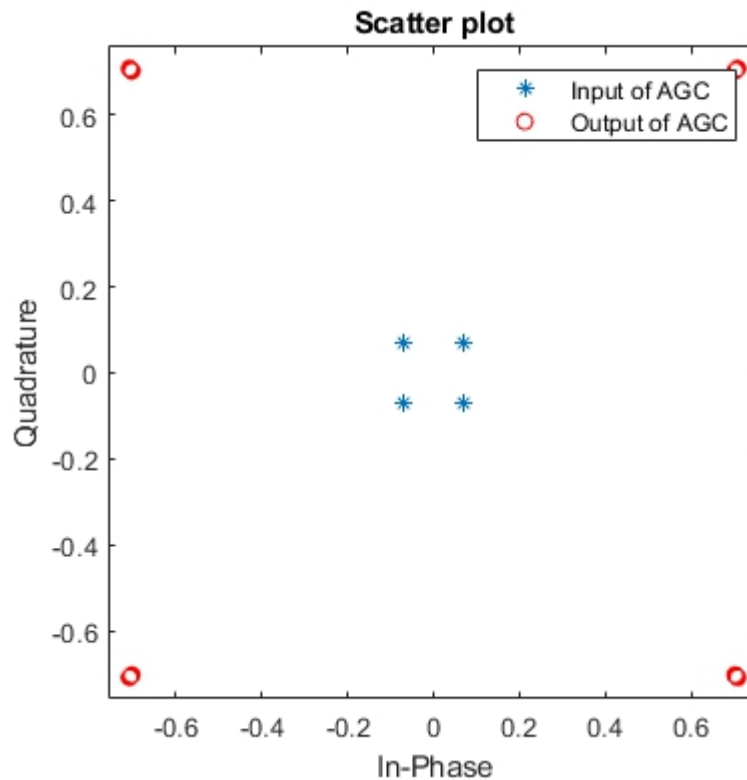


Рисунок 3.5 – Сузір'я сигналу QPSK

Виміряємо і порівняємо потужність переданого і прийнятого сигналів після того, як АРП перейде в стійкий стан. Потужність сигналу, що передається в 100 разів більше потужності прийнятого сигналу.

Дослідимо графік впливу розміру кроку на продуктивність системи АРП.

Створимо два об'єкти АРП, щоб відрегулювати рівень сигналу, використовуючи два різні розміри кроку з однаковими періодами поновлення.

Згенеруємо сигнал 8-PSK з потужністю 10 Вт.

Створимо пару узгоджених фільтрів з характеристикою вигляду піднесеного косинусу з їх набором властивостей Gain, щоб вони мали одиничну вихідну потужність.

Відфільтруємо модульований сигнал за допомогою фільтра передачі з характеристикою вигляду піднесеного косинусу.

Створимо два системних об'єкти АРП для регулювання рівня сигналу. Встановіть розмір кроку 0,01 і 0,1 відповідно.

Застосуємо АРП до модульованого сигналу, захоплюючи окремі виходи для кожного об'єкта АРП. Відфільтруємо вихідні сигнали АРП за допомогою приймального фільтра з характеристикою вигляду піднесеного косинусу.

Побудуємо графік потужності відфільтрованих відповідей АРП з урахуванням затримки в 10 символів через пару фільтрів передачі-приймання, що показано на рисунку 3.6.

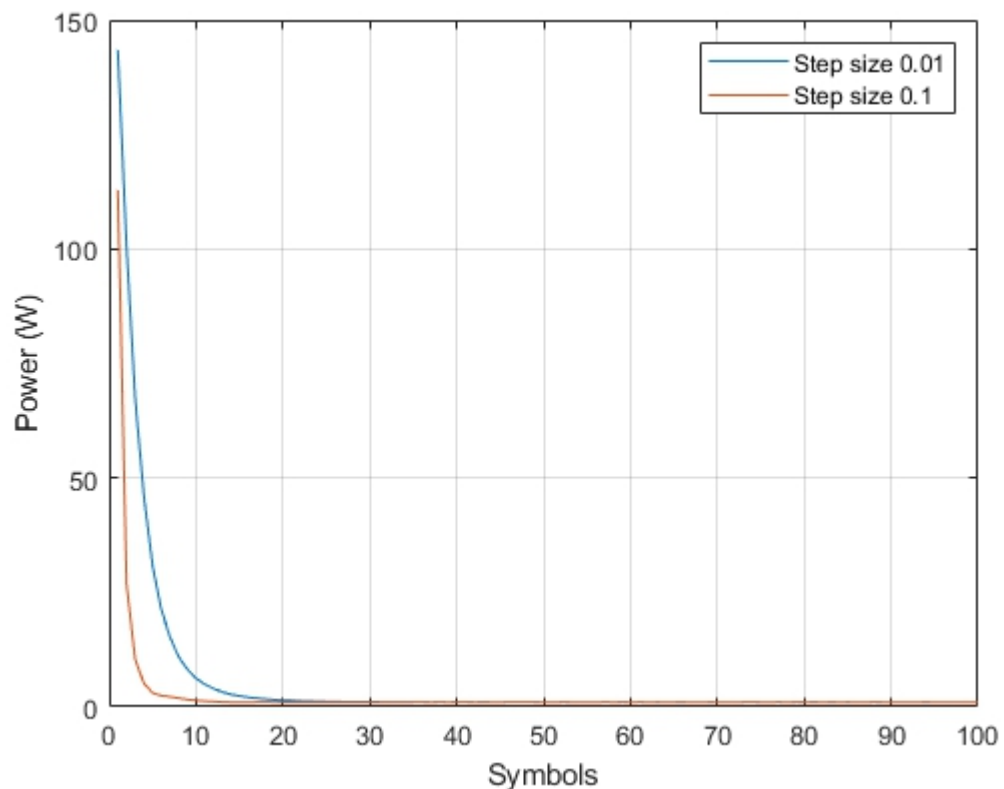


Рисунок 3.6 – Графік впливу розміру кроку на продуктивність системи АРП

Сигнал з великим розміром кроку швидше сходиться до цільового рівня потужності АРП 1 Вт.

Побудуємо графік потужності сигналів АРП з фільтрацією в сталому режимі, включаючи тільки останні 100 символів. Більший розмір кроку АРП призводить до менш точної корекції підсилення. Великі значення кроку АРП призводять до більш швидкої збіжності за рахунок менш точного регулювання підсилення, як показано на рисунку 3.7.

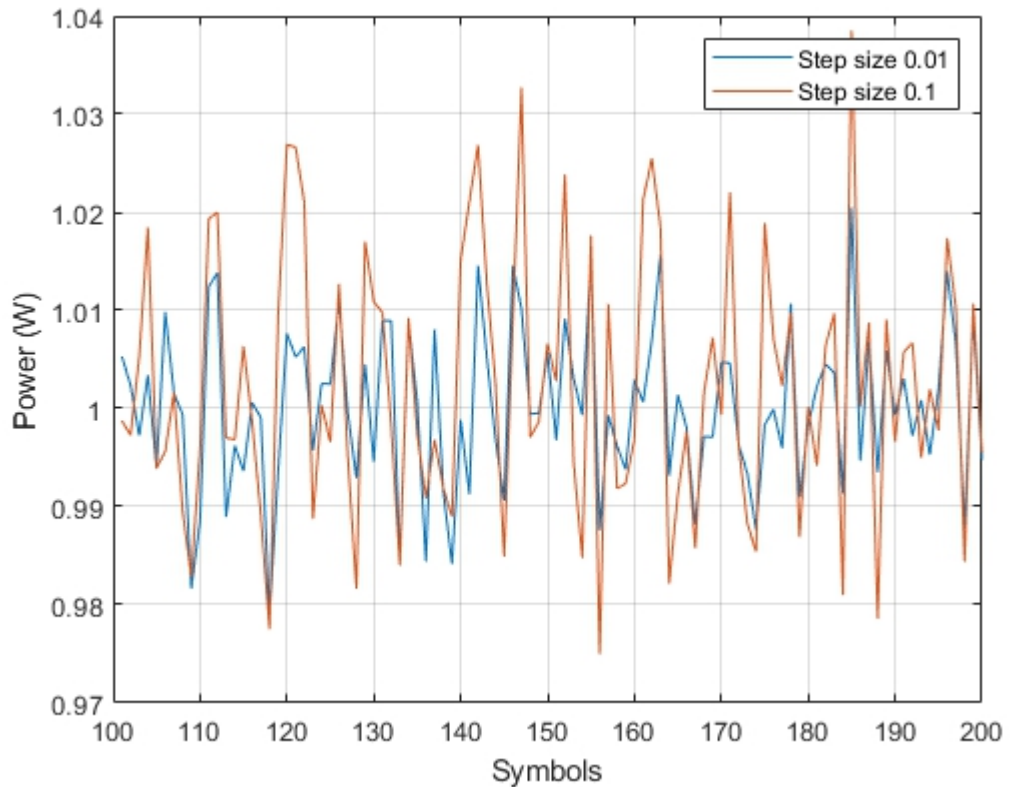


Рисунок 3.7 – Графік потужності сигналів АРП з фільтрацією

Продемонструємо вплив максимального підсилення АРП на пакетні дані. Передамо ослаблені пакетні дані QPSK на два АРП з різними максимальними коефіцієнтами підсилення. Побудуємо результати.

Створимо два 200-символьних пакета даних QSPK. Передамо пакети в фреймах, що складаються з 1200 символів.

Послабимо імпульсний сигнал, що передається на 20 дБ і нанесемо на графік його потужність, як показано на рисунку 3.8.

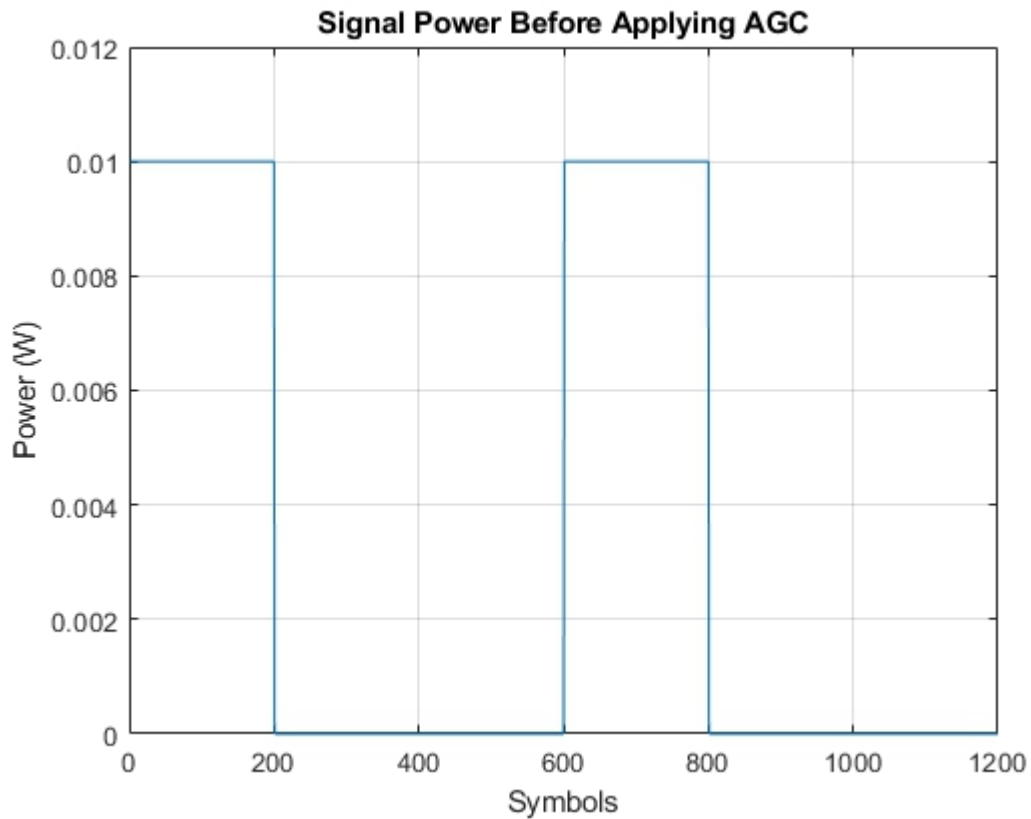


Рисунок 3.8 – Вплив максимального підсилення АРП на пакетні дані

Створимо два АРП з максимальним підсиленням потужності 30 дБ і 24 дБ відповідно. Застосуємо АРП до ослабленого сигналу, захоплюючи окремі виходи для кожного об'єкта АРП. Розрахуємо вихідну потужність для кожного випадку.

Побудуємо графік вихідної потужності, зображений на рис. 3.9. Спочатку для другого пакету потужність вихідного сигналу agc1 занадто висока, тому що АРС застосовує максимальне підсилення протягом періоду, коли дані не передавалися. Відповідна потужність вихідного сигналу agc2 (2,5 Вт) перевищує цільовий рівень потужності в 1 Вт, що значно менше потужності вихідного сигналу agc1 (10 Вт). Час збіжності для agc2 коротше, ніж час збіжності для agc1, тому що вхідний сигнал для agc2 застосовує менше максимальне підсилення, ніж agc1.

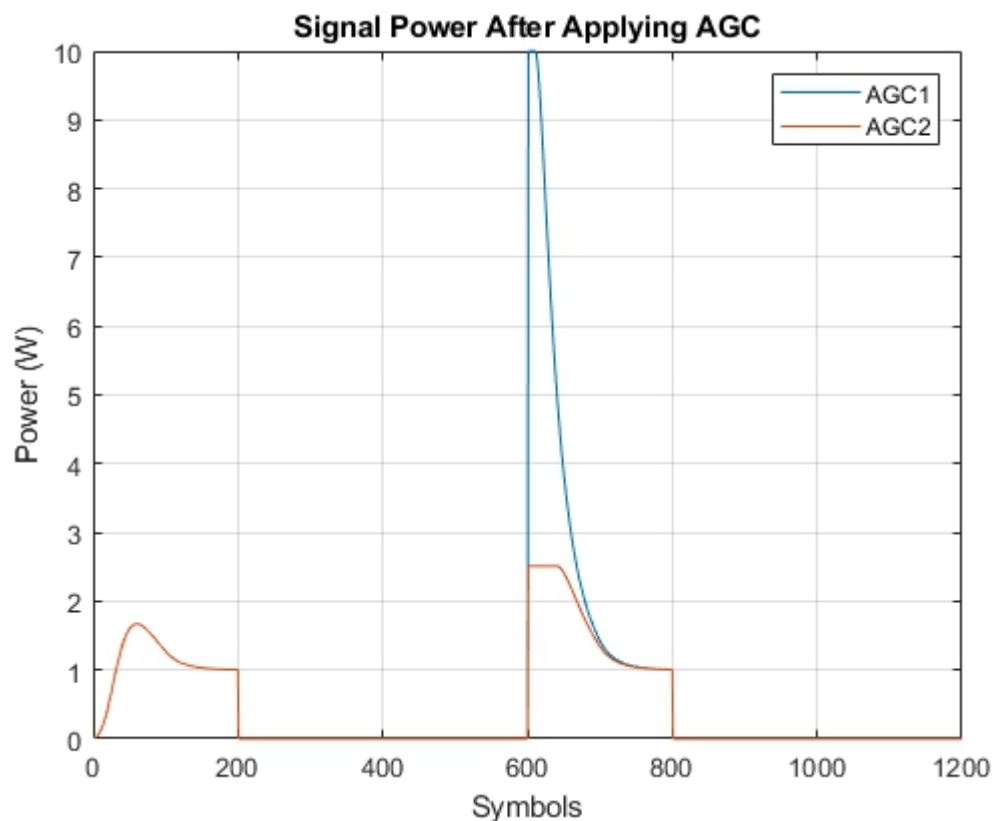


Рисунок 3.9 – Графік вихідної потужності контуру АРП

Дослідження системи АРП з логарифмічною петлею. Реалізація АРП використовує логарифмічний контур зворотного зв'язку.

3.2 Дослідження АРП з логарифмічною петлею

Як показано на рис. 3.10 алгоритму АРП з логарифмічною петлею, вихідний сигнал є добутком вхідного сигналу і експоненти петлевого підсилення. Сигнал помилки - це різниця між опорним рівнем і добутком логарифма вихідного сигналу детектора і експоненти петлевого підсилення. Після множення на розмір кроку АРП передає сигнал помилки інтегратора.

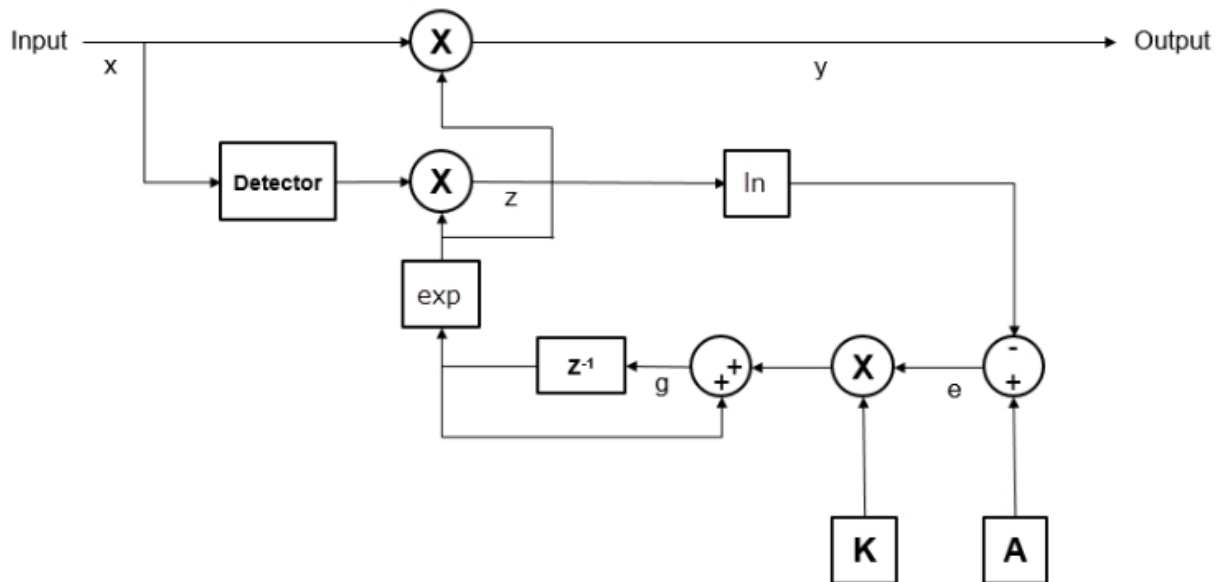


Рисунок 3.10 – Алгоритм АРП з логарифмічною петлею

АРП з логарифмічною петлею добре працює для різних типів сигналів, включаючи амплітудну модуляцію. Детектор АРП застосовується до вхідного сигналу, що покращує час збіжності, але збільшує зміну потужності сигналу на вході детектора. Для систем з плаваючою комою допустимі великі коливання сигналу на вході детектора. Математично алгоритм описується виразами:

$$y(n) = x(n) e^{g(n-1)};$$

$$z(n) = D(x(n)) e^{2g(n-1)};$$

$$e(n) = A - \ln(z(n));$$

$$g(n) = g(n-1) + K e(n),$$

де: x - вхідний сигнал;

y - вихідний сигнал;

g - підсилення в межах контуру;

$D(\bullet)$ - функція, що реалізовує ретектор

z - вихідний сигнал детектора;

A - опорне значення сигналу;

e - сигнал помилки

K - величина кроку.

Розглянемо детектор АРП. Вихідний сигнал детектора АРП, z , обчислюється як сигнал на виході квадратичного детектора, заданий виразом:

$$z(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=mN}^{(m+1)N-1} |y(n)|^2,$$

де N - період оновлення. Детектор з квадратичним законом видає вихідний сигнал, пропорційний квадрату вхідного сигналу y .

Розглянемо критерії продуктивності АРП. Збільшення розміру кроку зменшує час спрацьовування обмежувача і час загасання, але також збільшує накачування підсилення. Час спрацьовування обмежувача - час, необхідний АРП для реакції на збільшення вхідних амплітуди. Час загасання - час, необхідний АРП для реакції на зменшення вхідної амплітуди. Накачування підсилення - зміна значення підсилення під час стаціонарної роботи.

Якщо використовувати АРП з сигналами QAM більш високого порядку, може знадобитися зменшити підсилення під час роботи в усталеному режимі. Перевірте діаграму сузір'я на виході АРП під час роботи в усталеному режимі. Є можливість збільшити довжину усереднення, щоб уникнути частого регулювання підсилення. Збільшення довжини усереднення знижує швидкість виконання.

Форма ХР регульованого каскаду з спільним емітером сильно залежить від опору в колі емітера. Вона змінюється від лінійної при великих опорах (більше 400 Ом) до експоненційної при малих. Цей опір в великій мірі визначає і чутливість регулювання підсилення. Високу чутливість регулювання (характерну для каскадів з малим опором у колі емітера) при високій стабільності ХР можна

отримати для регульованих каскадів на основі диференціальної пари транзисторів. Каскадний підсилювач має ХР, аналогічну ХР транзисторного каскаду з спільним емітером.

Характеристики регулювання каскадів на польових транзисторах в загальному випадку залежать не тільки від типу транзистора, а і від схеми каскаду, а також від внутрішнього опору джерела сигналу і навантаження. Зокрема, за певних умов ХР може бути практично лінійною при роботі транзистора як в робочій, так і в омичній області стокових характеристик. Коефіцієнт підсилення регульованого каскаду визначається виразом:

$$K = \frac{SR_n}{(1 + R_{дж}/R_{ex})(1 + R_n/R_i)}$$

де S - крутизна прохідної характеристики; R_n - опір навантаження; R_{ex} - вхідний опір каскаду; $R_{дж}$ - опір джерела сигналу; R_i - внутрішній опір транзистора. Якщо $R_n \ll R_i$ і $R_{дж} \ll R_{ex}$, коефіцієнт підсилення змінюється за тим же законом, що і крутизна. У робочій області для транзистора з збідненням каналу

$$S = \frac{2I_{c0}}{U_{відс}} \frac{U_{зв}}{U_{відс}} - 1$$

де I_{c0} - струм стоку при $U_{зи} = 0$; $U_{відс}$ - напруга відсічки; $U_{зв}$ - напруга затвор-витік.

У процесі регулювання підсилення змінюються і інші показники каскадів, що, як правило, небажано. При зменшенні I_{k0} зсувається частота настройки каскаду в сторону високих частот, що обумовлено зміною вхідної і вихідної ємності транзистора. Для наближеної оцінки можна прийняти, що ці ємності

пропорційні I_{k0} . Якщо задана допустима відносна зміна частоти настройки $\frac{\Delta f}{f_0}$, то в підсилювачі з одиночними контурами ці зміни повинні бути малими.

Висновки до третього розділу

Досліджена робота контуру автоматичного регулювання підсилення у Матлаб. Збільшення розміру кроку оновлення підсилення дозволяє АРП швидше реагувати на зміни рівня вхідного сигналу, але збільшує зміну рівня вихідного сигналу після досягнення сталого режиму роботи.

У міру збільшення довжини вікна усереднення, дисперсія на виході АРП зменшується. При передачі інформації у пакетах даних, тривалі періоди відсутності сигналу призводять до збільшення АРП до максимального значення підсилення і зменшення рівня виявленої оцінки потужності майже до нуля. Якщо пакет приходить, коли підсилення АРП занадто велике, вихідна потужність перевищує бажаний рівень сигналу до тих пір, поки АРП не зможе відреагувати на зміну рівня вхідної потужності і зменшити своє підсилення.

Застосування контура АРП у цифрових системах зв'язку на вході приймача, дозволяє розгорнути сузір'я до потрібного рівня і підвищити якість відтворення сигналу. Збільшення розміру кроку оновлення підсилення зменшує час спрацьовування обмежувача і час загасання, але також збільшує накачування підсилення. Час спрацьовування обмежувача - час, необхідний АРП для реакції на збільшення амплітуди вхідного сигналу. Час загасання - час, необхідний АРП для реакції на зменшення амплітуди вхідного сигналу. Накачування підсилення - зміна значення підсилення під час стаціонарної роботи. Є можливість збільшити довжину усереднення, щоб уникнути регулювання підсилення. Збільшення довжини усереднення знижує швидкість спрацьовування контуру АРП.

ВИСНОВКИ

1. Застосування автоматичного регулювання підсилення дозволяє знизити флуктуації потужності сигналу на виході радіоприймача і підвищити динамічний діапазон сигналів. Однією з причин зміни амплітуди сигналу на вході радіоприймального пристрою є завмирання. Розрізняють швидкі і повільні завмирання сигналу. Причиною швидких завмирань служить прихід в точку прийому двох хвиль, одноразово або дворазово відбитих від іоносфери. Завмирання сигналу також викликаються розсіюванням радіохвиль на неоднорідностях іоносфери. Крім інтерференційних завмирань сигналу мають місце поляризаційні завмирання. Причиною поляризаційних завмирань є поворот площини поляризації хвилі при її поширенні в напрямку силових ліній магнітного поля Землі.

2. Для виявлення повільних завмирань необхідно вести спостереження протягом 40-60 хвилин. Причиною цих завмирань є зміна поглинання радіохвиль в іоносфері.

3. Ефективність системи АРП оцінюється здатністю звести до мінімуму зміну рівня сигналу на виході, забезпечивши при цьому мінімальні спотворення. Підтримуючи стабільним середній рівень, бажано, щоб АРП була нечутлива до деяких видів завад, наприклад, до імпульсних

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки щодо організації, проведення та підготовки звіту з переддипломної практики для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»/ уклад.: Підченко С.К., Огнєвий О.В., Таранчук А.А., Мішан В.В. / за заг. ред. С.К. Підченко. – Хмельницький: ХНУ, 2021. – 29с.

2. Радиоприемные устройства. Под общей редакцией В.И. Сифорова. Учебник для вузов. М.: «Сов. радио», 1972. – 563 с.

3. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств /М.К. Белкин, В.Т. Белинский, Ю.Л. Мазор, Р.М. Терещук. – 2-е изд. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 472 с.

4. Шинкарук О.М. Приймання та оброблення сигналів: навч. посібник / О.М. Шинкарук, В.І. Правда, Ю.М. Бойко. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – 365 с.

5. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник : навч. посібник / за ред. Ю.Л. Мазора, Є.А. Мачуського, В. І. Правди.– К. : Вища школа, 1999. – 838 с.

6. Бирюков С.А. Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1996. – 192 с.

7. Терещук Р.М. и др. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справ. радиолюбителя /Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1987.- 800с.

8. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1979.- 368с.

9. Интегральные микросхемы: Справочник /Б.В. Тарабрин, Л.Ф. Лунин, Ю.Н. Смирнов и др.; Под ред. Б.В. Тарабрина. – М.: Радио и связь, 1983. – 528с.

10. Вальпа О.Д. Разработка устройств на основе цифровых сигнальных процессоров фирмы Analog Devices с использованием Visual DSP++. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 270 с.

					КПТР.2017014.01.09.ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		66

Позначення	Найменування		Кількість	Примітка
<u>Конденсатори</u>				
C1, C3, C9	К10-42, 70 пФ 50В, E24, ±20%	ОЖО.460.116 ТУ	3	
C2	К10-42, 39 пФ 50В, E24, ±20%	ОЖО.460.116 ТУ	1	
C4	К10-42, 510 пФ 50В, E24, ±20%	ОЖО.460.116 ТУ	1	
C5	К10-42, 100 пФ 50В, E24, ±20%	ОЖО.460.116 ТУ	1	
C8	К10-42, 0,1 мкФ 50В, E24, ±20%	ОЖО.460.116 ТУ	1	
C6-C7	К50-40, 2000 мкФ 16В, E24, ±20%	ОЖО.460.116 ТУ	2	
C10,C11-C13	К50-40, 4700 пФ 16В, E24, ±20%	ОЖО.460.116 ТУ	4	
<u>Мікросхеми</u>				
DA1	AD8606		1	
DA2	AD8367		1	
DA3	AD820		1	
DA4	AD8361		1	
<u>Резистори</u>				
R1	МЛТ-0,125; 1 МОм; E24; ±10%	ОЖО.461.513 ТУ	1	
R2, R13	МЛТ-0,125; 430 Ом; E24; ±1%	ОЖО.461.513 ТУ	2	
R3, R14	МЛТ-0,125; 10 кОм; E6; ±20%	ОЖО.461.513 ТУ	2	
R4, R15	МЛТ-0,125; 1 кОм; E24; ±10%	ОЖО.461.513 ТУ	2	
R5	МЛТ-0,125; 15 кОм; E24; ±10%	ОЖО.461.513 ТУ	1	
R6	МЛТ-0,125; 33 кОм; E24; ±10%	ОЖО.461.513 ТУ	1	
R7, R8, R12	МЛТ-0,125; 200 Ом; E24; ±10%	ОЖО.461.513 ТУ	3	
R9	МЛТ-0,125; 390 Ом; E24; ±10%	ОЖО.461.513 ТУ	1	
R10	МЛТ-0,125; 3 кОм; E24; ±10%	ОЖО.461.513 ТУ	1	

КПТР.2017014.01.09 ПЕЗ				
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата
Розробив	Прокопишин Д.			
Перевірив	Пятін І.С.			
Н. контр.	Бойко Ю.М.			
Затв.	Бойко Ю.М.			
Пристрій автоматичного регулювання підсилення			Літера	Аркуш
Перелік елементів			ХНУ, гр.ТР-17-1	

Відгук на кваліфікаційну роботу виконану за темою
«Пристрій автоматичного регулювання підсилення»
студента гр. ТР-17-1 Прокопишина Д.В.

Автоматичне регулювання підсилення (АРП) використовується для підтримки амплітуди аналогових сигналів на відповідному фіксованому рівні для запобігання перевантаження АЦП. Телекомунікаційні системи сьогодні дуже розповсюджені. Тому розробка нових вузлів цифрових приймачів, які покращують якість приймання сигналу є актуальною задачею.

У кваліфікаційному проєкті студента Прокопишина Д.В. розглядаються основи побудови контурів автоматичного регулювання підсилення, проводиться розробка структурної та принципової схем пристрою з використанням сучасної елементної бази, розрахунок основних вузлів пристрою. Проєкт складається з трьох розділів.

В першому розділі розглянуті принципи побудови контуру автоматичного регулювання підсилення, визначенні основні вимоги і параметри пристрою.

У другому розділі проведений вибір і розрахунок структурної схеми пристрою, обрана елементна база, виконані потрібні електричні розрахунки.

У третьому розділі проведено моделювання пристрою автоматичного регулювання підсилення у середовищі Матлаб. Досліджені випадки: зміна розміру кроку оновлення підсилення; зміна довжини вікна усереднення; розгортання сузір'я цифрової модуляції.

В цілому під час роботи над кваліфікаційним проєктом студент Прокопишин Д.В. проявив себе як грамотний спеціаліст в галузі телекомунікацій, показав вміння та навички і набуті компетентності в розрахунках, в дослідженні контура автоматичного регулювання підсилення.

Кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних телекомунікацій, а студент Прокопишин Д.В. заслуговує оцінки «добре».

Доцент кафедри телекомунікацій та радіотехніки



Пятін І.С.

Рецензія

опонента на бакалаврську кваліфікаційну роботу виконану за темою:

«Пристрій автоматичного регулювання підсилення»

студента гр. ТР-17-1 Прокопишина Д.В.

В кваліфікаційному проєкті студента Прокопишина Д.В. розглядаються питання, присвячені вивченню принципів побудови пристрою автоматичного регулювання підсилення, розробці структурної, принципової схем, виконанні потрібних електричних розрахунків і дослідженні моделі у середовищі Матлаб. Проєкт складається з трьох розділів.

В першому розділі розглянуті принципи побудови контуру автоматичного регулювання підсилення, визначенні основні вимоги і параметри пристрою.

У другому розділі проведений вибір і розрахунок структурної схеми пристрою, обрана елементна база, виконані потрібні електричні розрахунки.

У третьому розділі проведено моделювання пристрою автоматичного регулювання підсилення у середовищі Матлаб. Досліджені випадки: зміна розміру кроку оновлення підсилення; зміна довжини вікна усереднення; розгортання сузір'я цифрової модуляції.

В процесі проєктування пристрою автоматичного регулювання підсилення виконано наступні етапи:

- Аналіз принципів побудови пристроїв автоматичного регулювання підсилення і вибір елементної бази;
- розробка і розрахунок структурної схеми пристрою;
- моделювання пристрою автоматичного регулювання підсилення у середовищі Матлаб.

В цілому, кваліфікаційний проєкт розробки пристрою автоматичного регулювання підсилення виконано на високому технічному рівні, має актуальність, а студент Прокопишин Д.В. заслуговує оцінки «добре».

Опонент: к.т.н., доцент кафедри ТМІТ



В.В. Мішан

Ім'я користувача:
Kafedra telekom_radiotechniki

ID перевірки:
1008297025

Дата перевірки:
14.06.2021 22:05:14 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
14.06.2021 22:06:03 EEST

ID користувача:
100005656

Назва документа: Прокопишин Д.В. _ TP-17-1

Кількість сторінок: 65 Кількість слів: 12512 Кількість символів: 91668 Розмір файлу: 2.83 MB ID файлу: 1008365334

3.27% Схожість

Найбільша схожість: 0.51% з Інтернет-джерелом (<https://uadoc.zavantag.com/text/4396/index-13.html>)

3.27% Джерела з Інтернету

267

Сторінка 67

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

Завідувачу кафедри телекомунікацій
та радіотехніки
д.т.н., професору Бойку Ю.М.
здобувача вищої освіти
Прокопишина Д.В.
ФПКТС, гр. ТР-17-1


ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25 травня 2021 р.
дата


підпис

РІШЕННЯ КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА РАДІОТЕХНІКИ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Пристрій автоматичного регулювання підсилення

Автор: Прокопишин Дмитро Володимирович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: к.т.н., доцент Пятін Ілля Станіславович

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	-
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	-
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	-
5	Інше:	-

Підтвердження: Виявленні запозичення не є плагіатом так як розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), складають 3,27% та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«07» червня 2021 р.

Науковий керівник



Пятін І.С.

Завідувач кафедру ТР



Бойко Ю.М.