

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

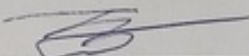
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

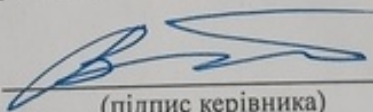
на тему: Удосконалення роботи тональних рейкових кіл за рахунок використання методів цифрової обробки сигналів.

за освітньою програмою «Системи керування рухом поїздів»  
зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»

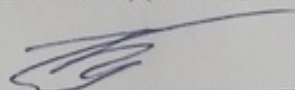
Виконав: студент групи СК2221 (969М)

  
\_\_\_\_\_/ Роман БУХРЕЄВ /  
(підпис студента)

Керівник: доцент кафедри АТ

  
\_\_\_\_\_/ Володимир ПРОФАТИЛОВ /  
(підпис керівника)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент   
\_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Дніпро – 2024 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine  
Ukrainian State University of Science and Technologies**

**Faculty of Computer Technologies and Systems**

**Department of Automation and Telecommunication**

## **Explanatory Note**

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

o

n

a

in the Specialty: 273 Railway transport

t

b

D r

o d

n i

e n

S t

t y

e t

p e

p h

t h

f e

f h

s c

r e

a a

u t

S d

u o

H n

e a

r r

V i

f c

s t

e a

h r

e l

i c

v u

p p

– 2024

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: Комп'ютерні технології та системи  
Кафедра: Автоматика та телекомунікації  
Рівень вищої освіти: магістр  
Освітня програма: Системи керування рухом поїздів  
Спеціальність: 273 Залізничний транспорт

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри АТ  
\_\_\_\_\_ Володимир ГАВРИЛЮК  
(підпис)

Дата \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_  
(ступінь вищої освіти)

студенту Бухреєв Роман Ігорович  
(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення роботи тональних рейкових кіл за рахунок використання методів цифрової обробки сигналів

Керівник роботи: Профатилів Іван Володимирович  
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від « 21 » листопада 2022 р. № 1149 ст

2. Строк подання студентом роботи: 20.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Апаратура тональних рейкових кіл

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина:

Аналіз літературних джерел.

4.2 Основна частина:

Моделювання цифрових смугових фільтрів для приймача ТРК.

Розробка цифрового приймача тональних рейкових кіл на базі цифрового

сигнального процесора.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз літературних джерел		
2	Моделювання цифрових смугових фільтрів для приймача ТРК.		
3	Розробка цифрового приймача тональних рейкових кіл на базі цифрового сигнального процесора.		90%
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри		
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

/ Роман БУХРЕЄВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Володимир ПРОФАТИЛОВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## Реферат

### **Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:**

сторінок, 6 таблиць, 21 рисуноків, 13 джерел літератури.

**Об'єкт проектування:** пристрої тональних рейкових кіл.

**Мета магістерської роботи:** створення приймача для тональних рейкових кіл з застосуванням цифрової обробки сигналів.

**Методи дослідження** – швидке перетворення Фур'є, алгоритми цифрової фільтрації (вікно Кайзера), теорема Найквіста.

**Галузь застосування:** Системи керування рухом поїздів.

У першому розділі розглядаються еволюція розвитку тональних рейкових кіл, їх види, пристрої, а також недоліки аналогової апаратури тональних рейкових кіл. У другому розділі описується створення цифрового смугового фільтру для тональних рейкових кіл. Моделювання проводилось у математичному пакеті MATLAB, завдяки зручності його використання та високій функціональності, а також створення смугового фільтру в програмі тональних рейкових кіл, яке включає в себе розробку структурної та принципової схем цифрового приймача на базі мікроконтролера з вбудованим цифровим сигнальним процесором dsPIC компанії Microchip, опис цифрових даних контролера та інших налаштувань, використаних у цьому пристрою. Також приведений опис безпеки та надійності цифрового приймача тональних рейкових кіл.

**Висновки.** Застосування цифрового приймача тональних рейкових кіл замість аналогового має ряд переваг: універсальність цифрового приймача, що дасть можливість застосовувати всього лише один тип приймача для різних частот; значне зниження потужності споживання; зменшення ваго-габаритних показників; широкий температурний діапазон роботи приймача; надійність роботи у великому діапазоні напруги живлення.

**Ключові слова:** тональні рейкові кола, цифрова обробка сигналу, цифровий фільтр, цифровий сигнальний процесор, dsPIC-мікроконтролер, аналого-цифровий перетворювач, смуговий фільтр, смуговий фільтр.

# Зміст

В  
Р  
Б  
Г  
Д  
Ж  
З  
И  
Й  
К  
Л  
М  
Н  
О  
П  
Р  
С  
Т  
У  
Ф  
Х  
Ц  
Ч  
Ш  
Щ  
Ъ  
Ы  
Ь  
Э  
Ю  
Я

Возділ 2. Моделювання цифрових смугових фільтрів для приймача ТРК 23

Возділ 3. Розробка цифрового приймача тональних рейкових кіл на базі

М1. Структурна та принципова схема цифрового приймача ТРК на базі

Опис мікроконтролера с цифровим сигнальним процесором dsPIC.....46

Висновок.....53

Список використаної літератури.....55

## Вступ

Назва тональних рейкових кіл з'явилася в 90 - му році, хоча рейкові кола з тональними частотами і безконтактної апаратури були розроблені і почали застосовуватися набагато раніше. Так, у системі ЧАБ вони називалися частотними РК, в системах автоблокування з централізованим розміщенням апаратури (ЦАБ) – безстиковими рейковими колами (БРК), а рейкові кола, оптимізовані для низького опору баласта, називали БРК-НОБ. Введення нової термінології пов'язане з розробкою цілого ряду систем АБ, що використовують ТРК як з ізолюючими стиками (ІС), так і без них, і необхідністю об'єднання цих РК в один загальний клас.

Необхідно відзначити, що ТРК і їхня апаратура розвивалися вельми динамічно і зазнали при цьому великі зміни як за принципом побудови та технічної реалізації, так і щодо оптимізації їх характеристик. Ефективність ТРК обумовлена зниженням витрат електроенергії на сигнальний (завдяки зменшенню втрат потужності в рейковій лінії) і тяговий (через можливість виключення ізолюючих стиків і скорочення числа дросель-трансформаторів) струми, зменшенням кількості захисних відмов рейкових кіл, викликаних низьким опором баласту (завдяки зниженню мінімально допустимого опору ізоляції ТРК), обривом рейкових з'єднувачів або пробоем ізолюваного стику (зважаючи на можливість його виключення), сучасною елементною базою. Необхідність доробки системи викликана випадками появи помилкової вільності ТРК внаслідок недостатньої перешкодозахищеності колійних приймачів тональних рейкових кіл. Застосовується як для станційних, так і перегінних ТРК при централізованому розміщенні апаратури – безперервний контроль і обробка інформації про рівень і якість сигналу в РЛ з можливістю прогнозування відмов і визначенням характеру і місця несправності в рейковому колі. Для вирішення цієї задачі необхідні: створення математичної моделі контрольованого ТРК в справному стані і при можливих пошкодженнях, розробка системи діагностики, провідні вимірювання і поточні параметри рейкового кола, що розраховуються, а також що розпізнають.

## Аналіз літературних джерел

### Етапи розвитку тональних рейкових кіл

Рейковим колам тональної частоти, або тональними рейковим колом (ТРК), називають клас рейкових кіл, частота сигнального струму яких (від 125 Гц до 5 кГц) знаходиться в діапазоні тональних частот. Іншою відмінною особливістю ТРК є застосування безконтактної апаратури.

Так, в системі ЦАБ вони називалися частотними РК, в системах автоблокування з централізованим розміщенням апаратури (ЦАБ) – безстиковими рейковими ланцюгами (БРЦ), а рейкові кола, оптимізовані для низького опору баласту, називали БРЦ-НСБ. Введення нової термінології пов'язане з розробкою цілого ряду систем АБ, що використовують ТРК як з ізолюючими стиками (ІС), так і без них, і необхідністю об'єднання цих РК в один загальний клас.

Необхідно відзначити, що ТРК і їх апаратура розвивалися досить динамічно і зазнали при цьому великі зміни як за принципом побудови і технічної реалізації, так і що до оптимізації їх характеристик.

На першому етапі (в системі ЦАБ) це були РК з ізолюючими стиками і відносно низькими частотами (125 – 375 Гц). Це дозволяло використовувати відомі методи синтезу і розрахунку рейкових ланцюгів. Класична побудова РК (харчування на вихідному кінці, а приймальна апаратура – на вхідному) і використання загального сигналу для контролю стану і передачі інформації призвели до необхідності застосування гетеродинного приймача, істотного ускладнення схеми і збільшення обсягу апаратури.

Надалі в ТРК функції передачі інформації між світлофорами і на локомотив були виключені. Крім того, істотно змінилася структура ТРК – в системі ЦАБ вперше були застосовані рейкові кола без ізолюючих стиків з живленням двох суміжних РК від одного генератора. Така структура ТРК привела до істотного спрощення схеми, зменшення обсягу апаратури і числа жил з'єднувального кабелю. Однак відсутність ізолюючих стиків вимагає розробки нових методів для оптимізації параметрів і для розрахунку зони

додаткового шунтування необмежених РК (рейкових кіл, у яких опір РК не обмежується в зоні установки ізолюючих або електричних стиків).

Захист від взаємного впливу РК здійснюється чергуванням частот генераторів і застосуванням на приймальному кінці безпечних фільтрів для поділу цих частот. Для підвищення захищеності від гармонік тягового струму і захисту від впливу РК паралельного шляху застосовується амплітудна модуляція сигнального струму з різною частотою модуляції.

Апаратура таких РК спочатку проектувалася для випадку її розміщення в опалювальних станційних приміщеннях з температурою навколишнього середовища від +5 до +40 °С при автономній тязі і тязі постійного струму (апаратура першого покоління). Потім ця апаратура була вдосконалена для застосування в неопалюваних приміщеннях і в релейних шафах при температурі від -45 до +65 °С (апаратура другого покоління, взаємозамінна з попередньою і застосовується з 1986 року).

Досвід розробки та експлуатації зазначених ТРК, а також необхідність їх використання на ділянках з електричною тягою змінного струму і на ділянках зі зниженим опором баласту привели до подальшого вдосконалення апаратури ТРК. В апаратурі третього покоління, що застосовується при будь-яких видах тяги і на ділянках з нормальним і зниженим опором баласту, були дещо змінені частоти, оптимізовані параметри апаратури, підвищена перешкодо захищеність приймальних пристроїв, істотно скорочено кількість застосовуваної апаратури і її габарити. В системі АБТ ці рейкові ланцюги отримали найменування ТРК3 (рейкові кола третього типу).

Розробка системи АБТ без ізолюючих стиків вимагає вирішення питання чіткої фіксації кордонів. Для цього було створено тональне рейкове коло четвертого типу ТРК4 з малою величиною зони додаткового шунтування.

В даний час ТРК завдяки ряду експлуатаційних, технічних і економічних переваг знаходять все більш широке застосування на залізницях і лініях метрополітенів. У новому будівництві застосовують системи АБ і електричної централізації тільки з тональними рейковими колами.

Використання ТРК дозволило впровадити АБ з централізованим розміщенням апаратури, обладнати автоблокуванням ділянки зі зниженим опором баласту. Перспективними напрямками також є: обладнання тональними рейковими колами ділянок наближення до переїздів, застосування їх для контролю звільнення переїзду без установки ізолюючих стиків, для контролю стану перегону при ПАБ, використання ТРК для організації захисних ділянок в традиційних системах АБ.

Таблиця 1.1 – Різновидність пристроїв ТРК

Властивості	Перше покоління	Друге покоління	Третє покоління (ТРК3)	Четверте покоління (ТРК4)
Деякі особливості	+5...+40	-45...+65	-45...+65	-45...+65
Область застосування	ЦАБ	ЦАБ-М АРС метрополітенів	ЦАБ, АБТс, АБТ, АБТЦ	АБТ
Несущі частоти	425,475	425,475,575,725,775	420,480,580,720,780	4545,5000,5555
Напруга блок живлення	~17,5В	~17,5В	~17,5В~35,5В	~17,5В~35В
Г	ПГМ	ГРЦ	ГП8,9,11	ГРК4(ГЛ4)
У	ПУ1	ПУ1	ГП11,14,15 (ГП3/8,9,11 ГП3/11,14,15)	
Ф	ФП8,9	ФП8, 9ФП	ФПМ8,9,11 ФПМ11,14,15	ФРК4(ФРК4Л)
Пр	УПКЦ4 виду	ПРЦ10 видів для зал доріг і 10 для метро	ПП(ПП1) 10 видів для залізничних доріг і метро	ПРК4 (ПРК4Л) (ПРК4Л1) 6 видів

У дужках вказано вдосконалені модифікації блоків.

Як вже зазначалося, основною відмінною особливістю ТРЦ є

харчування двох суміжних РЦ від одного загального джерела сигнального струму (генератора) і можливість роботи без ізолюючих стиків.

Така побудова ТРЦ скорочує число апаратури, кабелю для сполучення апаратури з рейковою лінією, що використовуються частот сигнального струму і дозволяє просто реалізувати рейкові ланцюги без ізолюючих стиків.

Числа у позначенні типу фільтра і блоку ДП вказують номери несучих частот, на які вони можуть бути налаштовані за допомогою зовнішніх перемичок. Різновиди приймачів визначаються комбінацією несучої та модулюючої частот. Ці дані вказуються у позначенні типу конкретного приймача (перше число - умовний номер несучої частоти, другий - частота модуляції). Наприклад, PRTs8-8 або PRTs8-12 (приймач рейкового кола, налаштований на частоту  $f_8 = 425$  Гц і частоту модуляції 8 або 12 Гц). Крім того, різновиди приймачів визначаються областю застосування (залізничні лінії або лінії метрополітенів). Для ліній метрополітенів випускаються приймачі, чутливість яких в 2 рази нижче. Наприклад, PPM11-8 (подорожній приймач для ліній метрополітенів, налаштований на несучу частоту  $f_{11} = 580$  Гц і частоту модуляції 8 Гц). Наразі відповідно до зазначення ДМСС № 1454 від 12 травня 2000 року апаратура першого і другого поколінь в діючих пристроях замінена на апаратуру третього типу. Всі блоки (крім колійного трансформатора ПТ) конструктивно виконані на платах реле НМШ, НШ і ДСШ і підключаються до монтажу при допомозі відповідних штепсельних розеток.

### **Пристрої тональних рейкових кіл**

Принцип побудови тональних рейкових кіл. Тональні рейкові кола знаходять далі ширше застосування на лініях магістрального залізничного транспорту України та країн СНД. Їхніми перевагами є:

- можливість виключення на перегонах ізолюючих стиків, що ізолюють, і укладання суцільно звареної колії від станції до станції;
- зменшення кількості металоємних дросель-трансформаторів на

електрифікованих ділянках;

- можливість виносу апаратури рейкових кіл із перегону на прилеглу станцію;
- універсальність для всіх видів тяги;
- скорочення споживання електроенергії; вища захищеність цього типу рейкових ланцюгів від впливу перешкод тягового струму та ін.

На базі тональних рейкових кіл створено кілька типів автоблокування, які впроваджують на залізницях України та країн СНД, починаючи з 1985 р. В основу побудови тональних рейкових кіл (ТРК) покладено безстикове рейкове коло (БРК), який не має ізолювальних стиків на живильному та приймальному кінцях. За відсутності ізолювальних стиків між суміжними рейковими колами сигнальний струм тонального рейкового кола протікає рейковою лінією від точки підключення живильних пристроїв в обидва боки

На рис 1.1 показано структурну схему тональних рейкових кіл із розміщенням уздовж рейкової гілки живильних і приймальних кінців, у якій від одного джерела сигнального струму (генератора) здійснюється живлення двох суміжних ТРК. Так, сигнальний струм  $I_{1/2рц}$ , що надходить від генератора Г1, розтікається рейковою лінією в обидва боки до колійних приймачів двох суміжних ТРК: струм рейкового кола 1РК ( $I_{1рц}$ ) живить приймач П1, струм рейкового ланцюга 2РК ( $I_{2рц}$ ) живить приймач П2. Аналогічно генератор Г2 живить інші дві суміжні ТРК 3РК і 4РК і т.д. у межах усього перегону. Відповідно до такої побудови здійснюється чергування живильних і приймальних кінців ТРК.

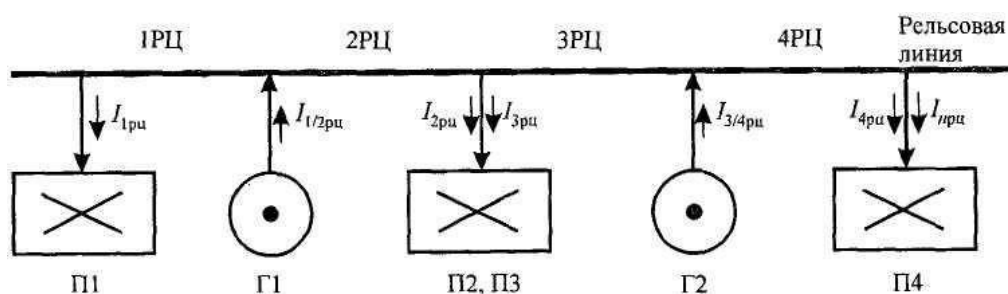


Рис. 1.1. Структурна схема суміжних тональних рейкових кіл с розміщенням вздовж рейкової гілки живильних кінців

У ТРК використано амплітудно-модульований сигнал, форма якого показана на рис. 1.2. Цей тип сигналу дає змогу підвищити захищеність приймальних пристроїв (колійних приймачів) від впливу гармонійних та імпульсних завад тягового струму та інших джерел завад. Як несучу частоту використовують частоти: 420; 480; 580; 720 і 780 Гц, а також 4,5; 5,0 і 5,5 кГц. Як модульовальну частоту використано частоти 8 або 12 Гц. Кожній несучій частоті в діапазоні 420- 780 Гц присвоєно кодове число 8, 9, 11, 14 і 15 за номером найближчої меншої гармоніки тягового струму.

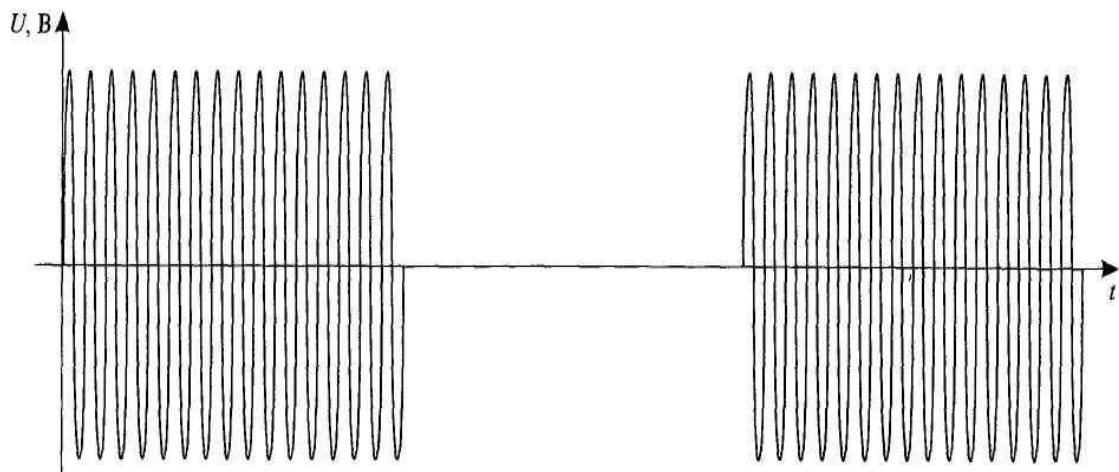


Рис. 1.2. Форма сигналу генератора тонального рейкового кола

Чергуванням на живильних кінцях ТРК уздовж перегону несучих частот і частот модуляції, наприклад у послідовності: 420/8; 480/12; 720/8; 780/12; 420/8; 480/12 тощо, забезпечується надійний захист приймальних пристроїв від впливу струмів суміжних ТРК. У різних системах автоблокування з ТРК застосовують різне число діапазонів і частот під час чергування сигналів.

Однією з основних особливостей ТРК як безстикової РК є те, що її шунтування і зміна кодового сигналу АЛС настає не з моменту вступу на неї поїзда, а під час наближення його до РК на деяку відстань. Колісна пара, що перебуває на цій відстані від точки підключення апаратури рейкового ланцюга, шунтує частину сигнального струму ТРК, що зі свого боку призводить до зниження напруги на вході колійного приймача. Відстань від точки підключення апаратури до рейкової лінії до місця знаходження колісної пари, що викликає знеструмлення колійного реле, увімкненого на виході

коліїного приймача, називається зоною додаткового шунтування  $L_{ш}$ . На рис. 3 показано схему розташування зон додаткового шунтування тонального рейкового ланцюга. Залежно від напрямку руху одна з них називається зоною додаткового шунтування за входом (за наближенням), а друга - зоною додаткового шунтування за виходом (за віддаленням).

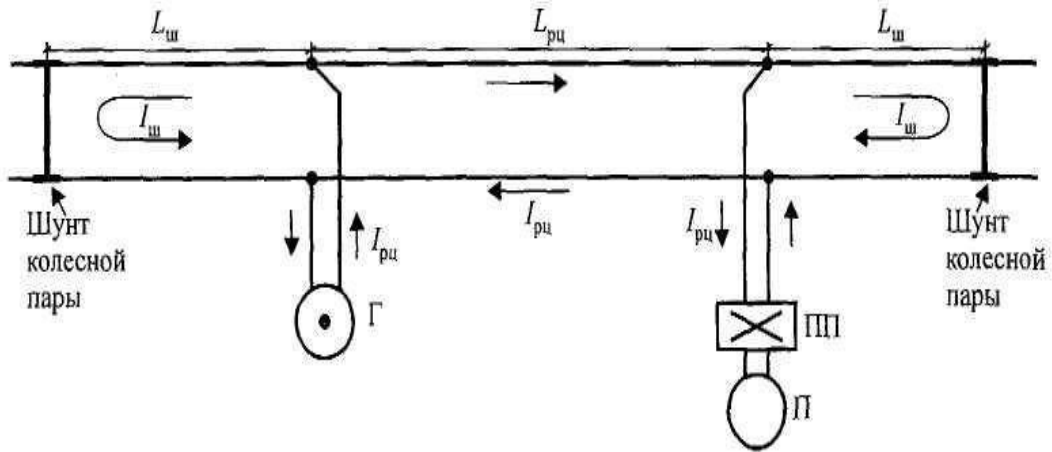


Рис. 1.3. Схема розміщення зон додаткового шунтування ТРК

Довжина зони додаткового шунтування залежить від багатьох чинників: частоти сигнального струму, коефіцієнта перевантаження на вході шляхового приймача, опору ізоляції баласту тощо. Як правило, довжина  $L_{ш}$  становить приблизно 10 % від довжини самого рейкового ланцюга. Довжина зони додаткового шунтування не може бути нульовою або від'ємною, тому що рейкове коло повинно давати зайнятість під час накладання типового нормативного шунта 0,06 Ом у точці підключення апаратури (шунтовий режим), що рівносильне накладенню шунта з нульовим опором (поїзний шунт) на відстані 10-15 м від точки підключення апаратури за частоти сигнального струму ТРК у діапазоні 400-800 Гц. Іноді з метою унеможливити зону додаткового шунтування або обмежити область розтікання сигнального струму АЛС на кордоні ТРК встановлюються ізолювальні стики.

За необхідності на ділянках, обладнаних пристроями ТРК зі скороченою зоною додаткового шунтування, застосовують високочастотні ТРК з несучими частотами в діапазоні 4,5-5,5 кГц. Скорочена зона додаткового шунтування досягається за рахунок більш високого опору рейкової лінії на високих частотах. Ці рейкові ланцюги отримали індекс

ТРК4, а рейкові ланцюги з несучими частотами 420-780 Гц, розроблені раніше ТРК4, мають індекс ТРК3.

До складу основної апаратури тональних рейкових кіл ТРК3 входять: колійний генератор ГПЗ; колійний фільтр ФПМ; колійний приймач ПП1. Зрівнювальний трансформатор УТЗ застосовується в тих випадках, коли напруга на входах колійних приймачів одного рейкового ланцюга відрізняється більш ніж на 20%. Колійний генератор ГПЗ призначений для формування і посилення амплітудно-модульованого сигналу для роботи ТРК. Колійний фільтр ФПМ забезпечує захист вихідних кіл генератора ГПЗ від впливу струмів локомотивної сигналізації, тягового струму й атмосферних перешкод і формує необхідний за умовами роботи рейкового ланцюга зворотний вхідний опір живильного кінця. Фільтр служить також для гальванічного поділу вихідного ланцюга генератора від кабельної лінії та отримання на ньому необхідних напруг при відносно низьких вихідних напругах генератора. Шляховий приймач ПП1 призначений для приймання і дешифрації сигналів ТРК, що надходять із рейкової лінії, і, відповідно до рівня прийнятого сигналу, формування вихідної напруги на шляховому реле. Зрівнювальний трансформатор УТЗ призначений для вирівнювання напруг на вході колійних приймачів, що живляться від одного колійного генератора. Генератор ГПЗ і фільтр ФПМ являють собою конструкцію, зібрану в корпусі реле НШ із використанням його колодки як несучої частини блока.

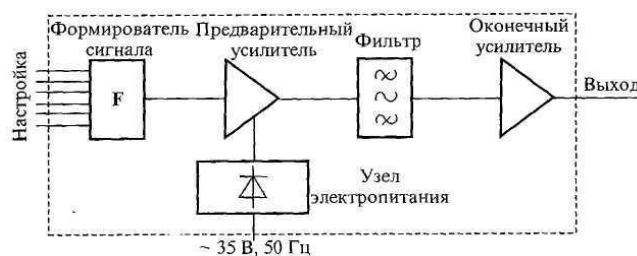


Рис. 1.4. Структурна схема шляхового генератора ГПЗ

Блок шляхового генератора має два різновиди: ГПЗ-8, 9, 11 і ГПЗ-11, 14, 15. Аналогічні різновиди має блок колійного фільтра (ФПМ-8, 9, 11 і ФПМ-11, 14, 15). Номери 8, 9, 11, 14, 15 в позначенні генераторів і фільтрів відповідають несучим частотам 420, 480, 580, 720, 780 Гц. Таким чином,

перший різновид генераторів і фільтрів призначено для формування і передавання сигналів із несучими частотами 420, 480 і 580 Гц, а другий – із частотами 580, 720, 780 Гц.

Трансформатор TV забезпечує гальванічну розв'язку ланцюга регулятора від ланцюга вихідного підсилювача. Крім того, він забезпечує зниження вихідного опору регулятора, що унеможливорює таку небезпечну відмову, як зростання вихідної напруги генератора ГПЗ при різних пошкодженнях у ланцюзі регулятора і зміні вхідного опору вихідного підсилювача. Конденсатор С6 і секціонована вторинна обмотка трансформатора TV вторинна обмотка трансформатора TV дають змогу зробити налаштування в резонанс на несучій частоті, що робить неможливим спотворення форми вихідного сигналу. Налаштування здійснюється відповідно до налаштування генератора несучої частоти за допомогою зовнішніх перемичок. Вихідний підсилювач працює в лінійному режимі і складається з двох каскадів (транзистори VT6-VT9). Наявність 100%-ного негативного зворотного зв'язку робить неможливим зміну вихідної напруги під час зміни коефіцієнтів посилення транзисторів. Вихідний сигнал знімається з виводів 2-52.

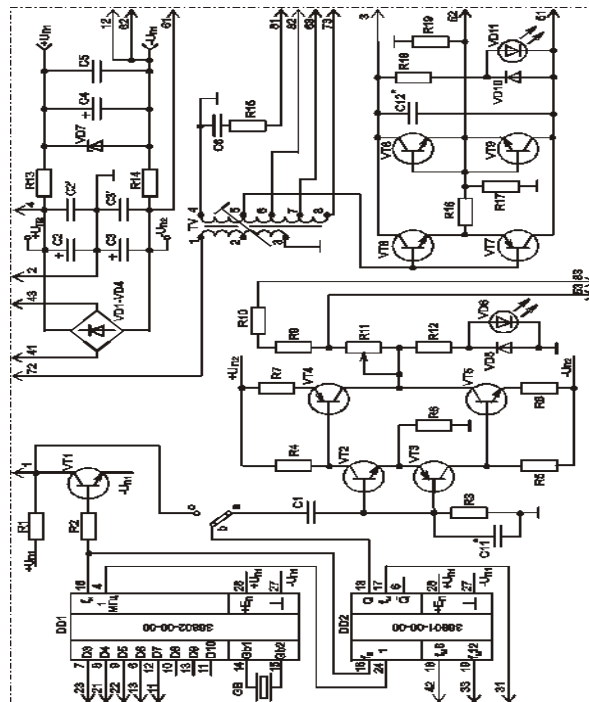


Рис. 2.3. Принципова схема генератора ГПЗ

Рис. 1.5. Принципова схема генератора ГПЗ

Номинальна вихідна потужність підсилювача 20 ВА. За необхідності отримання потужнішого сигналу до виводів 53-83 під'єднують шляховий підсилювач ПУ1. При цьому вихідний підсилювач і трансформатор ТУ відключають (зняттям перемичок 3- 4, 51-61 і 83-72), загальну точку живлення підключають до резисторів регулятора напруги (перемичкою 2-83). Вторинне джерело живлення виробляє двополярну нестабілізовану напругу  $\pm 20$  В і стабілізовану напругу 9В.

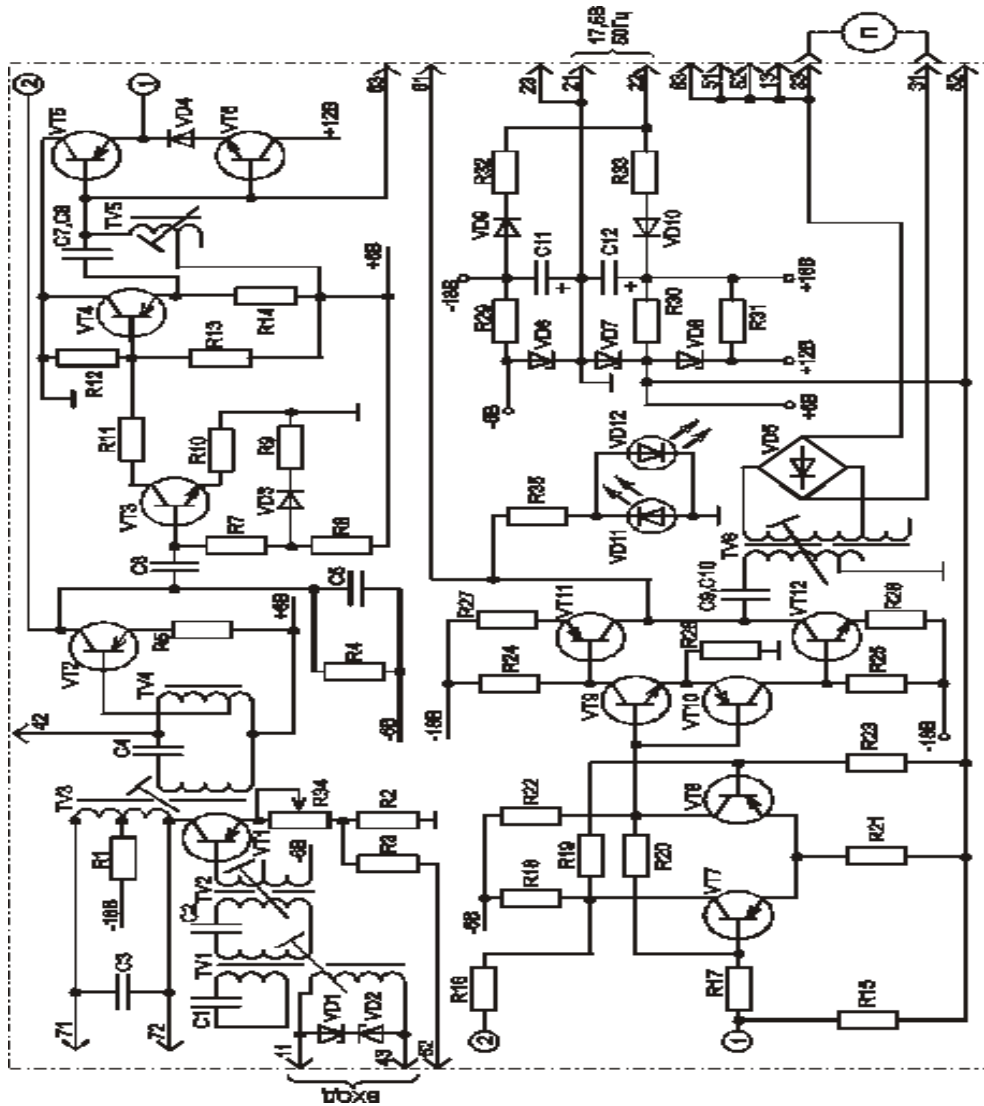


Рис. 2.5. Принципова схема приймачів ПП

Рис. 1.6. Принципова схема приймачів ШП

З метою візуального контролю роботи колійного генератора ГПЗ передбачено світлодіоди VD6 і VD11, які виведені на передню панель. Миготіння світлодіода VD6 свідчить про нормальну роботу задавальних генераторів і попереднього підсилювача. Режим миготіння світлодіода VD6 (8 або 12 Гц) дає змогу за достатнього досвіду візуально визначити

налаштування генератора модульовальних частот. Рівне світіння світлодіода VD11 свідчить про наявність живлення вихідного підсилювача.

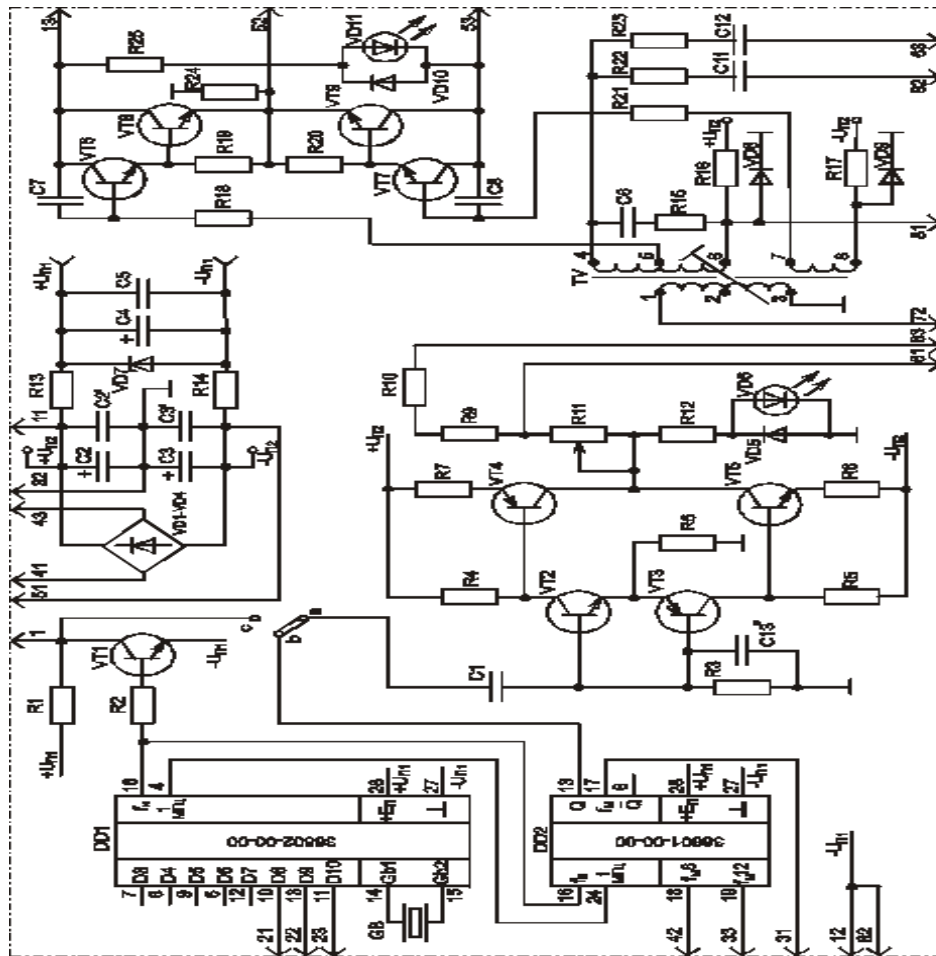


Рис. 1.7. Принципова схема ГШ4

Рис. 2.6. Принципиальная схема генератора ГП4

Схеми генераторів ГП3/8,9,11 і ГП3/11,14,15 ідентичні. Відмінності полягають у параметрах трансформатора VT. Відмінність розглянутого шляхового генератора від передавальних пристроїв другого покоління полягає в наступному: в одному блоці ГП3 об'єднано генератор, підсилювач і шляховий трансформатор, що зменшує обсяг апаратури; генератор видає синусоїдальний вихідний сигнал, що неможлива необхідність установа додаткового фільтра для формування синусоїдальної форми сигналу; застосовано більш стабільні генератори несучої та модулюючої частот; передбачено світлову індикацію стану блоку шляхового генератора. В блоці ГП попередньої модифікації генератор несучих частот було реалізовано на операційному підсилювачі з коливальним LC-контуром у ланцюзі позитивного зворотного зв'язку, генератор модульовальних частот - у вигляді

мультивібратора на операційному підсилювачі з RC-колам, що задають час, у колі негативного зворотного зв'язку, а маніпулятор на транзисторному ключі.  
[3]

Амплітудний обмежувач введено в схему шляхового приймача для надійнішої селекції частот модуляції 8 і 12 Гц. Він реалізований на транзисторі VT3, у ввімкненому за схемою зі спільним емітером. Резистор R10 забезпечує глибокий негативний зворотний зв'язок.

Перший буферний каскад (VT4) забезпечує узгодження вхідного опору першого фільтра модульовальної частоти з параметрами амплітудного обмежувача.

Перший фільтр частоти, що модулює, реалізовано у вигляді LC-контур (C7, C8, TV5). Добротність контуру дорівнює приблизно шести. Включення фільтра з такою добротністю перед пороговим пристроєм у поєднанні з наявністю амплітудного обмежувача істотно поліпшило селекцію модулюючої частоти і підвищило захищеність приймача від гармонік тягового струму. Від гармонік тягового струму. Під час впливу на вхід колійного приймача сигналу з частотою модуляції сусіднього каналу напруга постійного струму на виході ПП не перевищує 0,1 В. Допустимий рівень гармонійної перешкоди у приймачів ПП у 8 разів більший, ніж у приймачів ПРЦ. Другий буферний каскад (транзистори VT5 і VT6, увімкнені за схемою зі спільним колектором) також забезпечує узгодження функціональних вузлів. Пороговий елемент реалізовано у вигляді симетричного тригера (VT7, VT8) з коефіцієнтом повернення близьким до 1. Коефіцієнт повернення приймача штучно занижений до 0,95 за рахунок слабкого позитивного зворотного зв'язку між транзисторами VT7 і VT2 через резистор R16. У разі необхідності коефіцієнт повернення приймача може бути зменшений. Для цього виводи блока 62-21 з'єднують через фронтний контакт шляхового реле. У цьому разі при збудженому стані шляхового реле в ланцюзі регулювання чутливості приймача паралельно резистору R2 під'єднано резистор R3. Після знеструмлення колійного реле (у разі шунтування РЦ поїздом) резистор R3 відключається. Це призводить до зміни порога

спрацьовування приймача - у разі вільної РК чутливість приймача зберігається в заданих межах, а після знеструмлення колійного реле дещо загрублюється, тобто для збудження реле знадобиться більша напруга на вході приймача. Вихідний підсилювач призначений для живлення шляхового реле являє собою двокаскадний двотактний підсилювач із двополярним живленням. Перший каскад (VT9 і VT10) працює в лінійному режимі, другий (VT11 і VT12) - у ключовому режимі. Другий фільтр частоти модуляції (C9, C10, TV6) забезпечує гальванічну розв'язку ланцюгів живлення підсилювача від ланцюга реле і робить збудження шляхового реле в разі пошкоджень, що призводять до потрапляння в ланцюг живлення підсилювача змінного струму промислової частоти або його другої гармоніки. Випрямляч (VD5) забезпечує живлення шляхового реле постійним струмом. Вторинне джерело живлення отримує змінну напругу 17,5В (через зовнішні виводи блока 21-22). Воно містить у собі два однополуперіодні випрямлячі (VD9, C11, R32 і VD10, C12, R33), що виробляють двополярну постійну напругу  $\pm 18$  В; джерело двополярної стабілізованої напруги  $\pm 6$  В (VD6, VD7, R29, R30); джерело стабілізованої напруги  $\pm 12$  В (VD8, R31). Номінальне значення чутливості блоків ПП (величина діючого значення напруги вхідного амплітудно - модульованого сигналу з номінальними частотами, за яких колійне реле на виході приймача притягує свій якір) становить 0,35 В. Вихідна напруга приймача ПП за вільної та справної ТРК і найгіршому поєднанні дестабілізуючих чинників - не менше 4,2 В; у разі зайнятої - не більше 0,1 В. Потужність, споживана приймачем, не перевищує 5 В. Світлодіоди VD11 і VD12 забезпечують світлову індикацію стану приймача. Почергове миготіння світлодіодів із частотою модуляції вказує на наявність на вході приймача сигналу і справність усіх трактів до другого фільтра модуляції. Рівне світіння одного діода і гасання іншого свідчать про зайнятість РЦ або про пошкодження приймача. У приймачі ПП передбачено захист від помилкового встановлення приймача іншого типу. При загальному зовнішньому виводі 31 вихід для під'єднання шляхового реле організовується на виводах 33, 13, 83, 52 або 51 для приймачів із несучими частотами 420, 480, 580, 720 або 780 Гц

відповідно. Виводи 23-61 слугують для під'єднання (за потреби) додаткового колійного реле з метою організації контролю помилкового замикання фронтних контактів основного колійного реле. Різні варіанти шляхових приймачів ПП для конкретних комбінацій несучої та модулюючої частот (ПП8-8, ПП8-12 тощо) визначаються типами трансформаторів TV1-TV6, ємностями конденсаторів С1-С4 і відсутністю або наявністю конденсаторів С8 і С10. У метрополітені застосовується приймач типу ППМ, схема якого ідентична схемі ПП, але чутливість встановлюється рівною 0,7 В і використовуються інші виводи трансформатора TV2. У 2001 році розпочато випуск колійних приймачів типу ПП1, у яких вдосконалено схему вторинного джерела живлення.

Таблиця 1.2 - Налаштування ГШ4

Частота несуча модульованої частоти, Гц		Перемички			
		ГНС	ГМС	Налаштування в резонанс	Підключення вихідного каскаду
4545	8	12-21	62-42	81-63	83-72
	12		62-33		
5000	8	12-22	62-42	81-82	
	12		62-33		
5555	8	12-23	62-42	-	
	12		62-33		

Схема колійного генератора попередньої модифікації (ГРК4) істотно відрізняється від розглянутої. Так, у ГРК4 поділ частоти кварцового резонатора (100 кГц) для отримання несучої частоти кварцового резонатора (100 кГц) для отримання несучої частоти здійснювали тригери; генератор модулюючої частоти було реалізовано у вигляді мультівібратора на базі операційного підсилювача; функції модулятора виконував J-K тригер. Підрегулювання частоти в генераторах ГП3 і ГП4 не потрібне, оскільки задавальний кварцовий резонатор GB має досить високу стабільність.

### **1.3. Недоліки аналогового приймача ТРК**

ГШЗ, ГШ4 має такі недоліки – це великий розмір, неоднозначна величина налаштування ємнісних елементів, обмежена гнучкість, вимога коректного живлення для праці, велика вага у порівнянні з цифровими аналогами, повержені впливу зовнішніх шумів, це низька завадостійкість, більш кількість відказів на відмінну від цифрових.

## 2. Моделювання цифрових смугових фільтрів для приймача ТРК

### 2.1. Загальна інформація про фільтри

Фільтр - це динамічна система, що має певні динамічні властивості. Фільтрація - це таке перетворення сигналу, яке зберігає його корисні особливості, а небажані - пригнічуються.

Фільтри вирішують такі завдання:

- 1) пригнічують шуми;
- 2) усувають спотворення сигналу, що виникає за недосконалості каналу передавання або похибки вимірювання;
- 3) розділяють різні сигнали, присутні в каналі зв'язку, змішані для його максимального використання;
- 4) вони здійснюють розкладання сигналів на частотні складові;
- 5) здійснюють сигнальну демодуляцію;
- 6) здійснюють дискретизацію аналогового сигналу;
- 7) обмежують частотні смуги, які займають сигнали.

Фільтрацію можна представити у формі процесу зміни в сигналі спектра частот у потрібному напрямку. Цей процес посилює або послаблює частотні складові, пригнічує або виділяє їх. На практиці фільтрація процесів базується на такому принциповому припущенні: спектри корисного сигналу і сигналу перешкоди не перекриваються. Фільтр виділяє смугу частот, які пропускають або підсилюють сигнал, називають смугою пропускання, а також смугу частот, що пригнічують або послаблюють сигнал, називається смугою затримки. Ті частоти, які лежать на межі цих смуг, називаються граничними частотами. Фільтри, що широко застосовуються під час обробки даних і сигналів, називаються базовими. До них належать фільтри нижніх частот, верхніх частот, смугові фільтри та загороджувальні.

Також виділяють аналогові та цифрові фільтри. До аналогових фільтрів належать фільтри, що обробляють аналоговий (безперервний) сигнал - напругу,

звук, механічний рух. Застосування аналогових фільтрів відбувається в електроніці. Вони здійснюють антиелайзингову обробку зображення, що виводиться, вибірку радіостанцій у радіоприймачах, поділ звукового сигналу на басы, тощо.

Аналогові фільтри існують у формі механічних пристроїв, що здійснюють фільтрацію механічних вібрацій або акустичних хвиль, а також у формі пасивних RLC-кіл або кристальних фільтрів, які використовують для вузькосмугової фільтрації сигналів. В останніх механічна акустична хвиля за допомогою перетворювача перетворюється на електричний сигнал на виході використовуваного кристала.

Цифрові фільтри на відміну від аналогових обробляють не безперервний сигнал, а дискретизований (цифровий). Цифрові фільтри представлені у формі програмного та апаратного забезпечення обчислювальних машин. Їх використовують для спектрального аналізу, оброблення зображень, відео, мови і з

в Перший вид фільтра - фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою, імпульсна характеристика якого обмежена часовим відрізком, по закінченню якого імпульс стає рівним нулю. Передавальна функція такого фільтра - константа.

БІХ-фільтри мають нескінченну імпульсну характеристику, мають зворотний зв'язок, оскільки частина його виходів використовується як входи. Передавальна функція БІХ-фільтрів має дробово-раціональний вигляд. На відміну від КІХ-фільтрів, БІХ-фільтри обробляють і аналоговий сигнал.

о Як уже згадувалося вище, цифрові фільтри реалізовано у вигляді апаратних фільтрів - елементів інтегральних схем, програмованих логічних інтегральних схем і у вигляді програмних фільтрів - програм, що виконуються процесором ЕВМ. Програмні фільтри легше реалізувати, ніж апаратні, і їх реалізація коштує набагато дешевше. Апаратні фільтри мають більшу швидкість роботи.

в Розглянемо переваги цифрових і недоліки аналогових фільтрів.

і **Недоліки аналогових фільтрів:**

ф

і

- Нестабільність і складність налаштування параметрів.
- Неможливість прибрати зміщення фаз.

Неможливість реалізувати фазолінійний фільтр.

- Старіння механічних компонентів.

Значний вплив зовнішнього середовища на параметри фільтра.

### **Переваги цифрових фільтрів:**

- Налаштування цифрових фільтрів здійснюється програмним забезпеченням. За допомогою програмного забезпечення (ПЗ) фільтри легко інтегрувати та тестувати.

- Реалізація цифрових фільтрів здійснюється за допомогою простих арифметичних операцій (додавання, віднімання, множення та зсув).

- На роботу фільтрів не впливає зовнішнє середовище, такі як температура чи вологості.

- Оптимальне поєднання характеристик і вартості.

- Цифрові фільтри позбавлені таких проблем, як фізичне старіння механічних компонентів (ПЗ можна встановити на сучасніший комп'ютер), і виробничі відхилення характеристик від заводських.

Таблиця 2.1 - Порівняння типів фільтрів

<b>Аналогові фільтри</b>	<b>Цифрові фільтри</b>
Менша потужність і більше пропуску	Висока точність
Нелінійна фаза	Лінійна фаза (КІХ-фільтри)
Дрейф характеристик і за похибки елементів	Відсутність дрейфу характеристик, і за похибки елементів
Складно реалізувати звичайні фільтри	Гнучкість, можливість звичної фільтрації
Складно модулювати або проектувати	Простота моделювання і розробки
Вимога високих частот для захисту спектрів	Розрахунок повинен бути раніше ніж зроблена наступна виборка. Це обмежує швидкість роботи в момент часу.
Не потрібна процесорна підтримка	Потрібен процесор

Таким чином, у кожного типу фільтрів є свої мінуси і недоліки. Використання цифрових чи аналогових фільтрів залежить від мети їхнього використання: у низці випадків аналогові фільтри, завдяки своїм перевагам, задовольняють вимоги користувачів, в інших же доречно застосувати цифрові. Вибір завжди залишається за споживачем або фахівцем.

Цифрова фільтрація є одним із найпотужніших інструментальних засобів ЦОС. Окрім очевидних переваг усунення помилок у фільтрі, пов'язаних із флуктуаціями параметрів пасивних компонентів у часі та за температурою, дрейфом ОУ (в активних фільтрах) тощо, цифрові фільтри здатні задовольняти такі технічні вимоги за своїми параметрами, яких, у найкращому разі, було б надзвичайно важко або навіть неможливо досягти в аналоговому виконанні. Крім того, характеристики цифрового фільтра можуть бути легко змінені програмно. Тому вони широко використовуються в телекомунікаціях, у додатках адаптивної фільтрації, таких як придушення луни в модемах, придушення шуму та розпізнавання мови.

Процес проектування цифрових фільтрів складається з тих самих етапів, що й процес проектування аналогових фільтрів. Спочатку формулюються вимоги до бажаних характеристик фільтра, за якими потім розраховуються параметри фільтра. Амплітудна і фазова характеристики формуються аналогічно аналоговим фільтрам. Ключова відмінність між аналоговим і цифровим фільтрами полягає в тому, що, замість обчислення величин опорів, ємностей та індуктивностей для аналогового фільтра, розраховуються значення коефіцієнтів для цифрового фільтра. Іншими словами, у цифровому фільтрі числа замінюють фізичні опори і ємності аналогового фільтра. Ці числа є коефіцієнтами фільтра, вони постійно перебувають у пам'яті і використовуються для обробки (фільтрації) дискретних даних, що надходять від АЦП. Цифровий фільтр, що працює в реальному масштабі часу, оперує з дискретними в часі і даними на протилежному безперервному сигналу, що обробляється аналоговим фільтром. При цьому черговий відлік, що відповідає відгуку фільтра, формується після закінчення кожного періоду дискретизації.

БІХ-фільтри – це фільтри із нескінченною імпульсною характеристикою є цифровими фільтрами, вихідний сигнал яких визначається додаванням зваженої суми минулих вихідних значень і зваженої суми минулих і поточних значень вхідного сигналу. Позначаючи вхідні значення за  $x$ , а вихідні за  $y$ , різницеве рівняння загального виду, що характеризує БІХ-фільтр, має такий вигляд

$$a_0 y[i] = -a_1 y[i-1] - a_2 y[i-2] - \dots - a_{N_y-1} y[i-(N_y-1)] + b_0 x[i] + b_1 x[i-1] + b_2 x[i-2] + \dots + b_{N_x-1} x[i-(N_x-1)]$$

де  $N_x$  - число коефіцієнтів вперед ( $b[k]$ ), а  $N_y$  - число коефіцієнтів назад ( $a[j]$ ). Вихідна вибірка з індексом поточної вибірки  $i$  являє собою суму зважених поточних і минулих вхідних сигналів ( $x[i]$  і  $x[i-k]$ , де  $k \geq 0$ ), а також зважених минулих вихідних сигналів, ( $y[i-j]$  при  $j \geq 0$ ). Зазвичай значення  $N_x$  дорівнює  $N_y$ , і цю величину називають порядком фільтра.

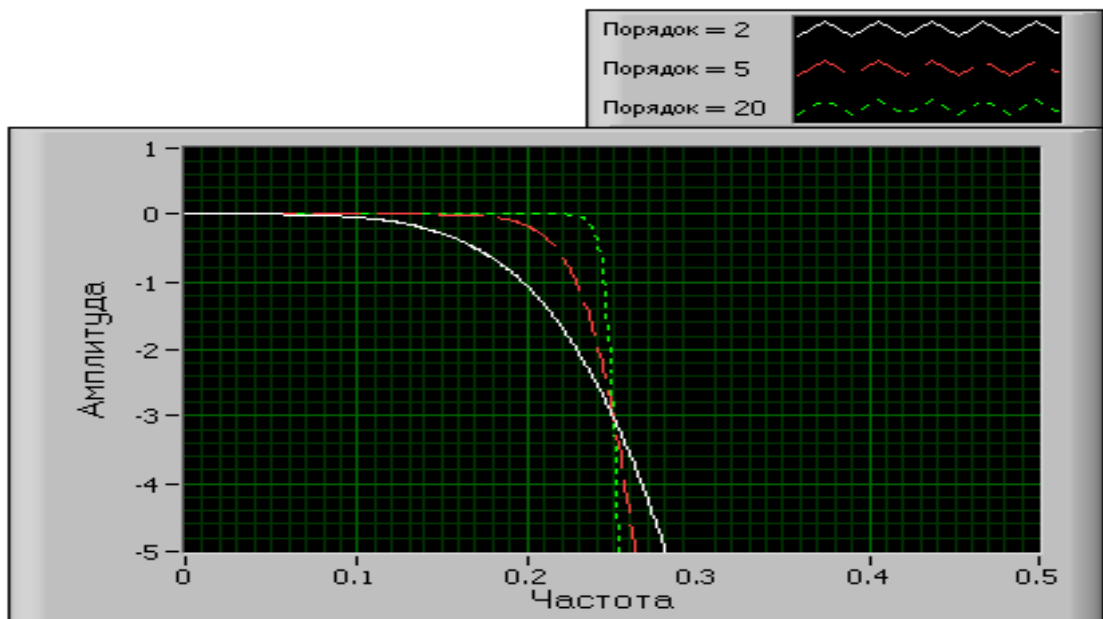


Рис. 2.1. Частотна характеристика фільтра Баттерворта

Фільтр Баттерворта не має хвилястості ні в області пропускання, ні в області режекції. Завдяки відсутності хвилястості, його називають максимально

плоским фільтром. Його частотна характеристика вирізняється згладженим відгуком на всіх частотах.

Область, де вихідний сигнал фільтра дорівнює 0 (або дуже близький до 0), є смугою пропускання фільтра. Область, де вихідний сигнал переходить до негативних значень, є смугою режекції фільтра. Область між смугою пропускання і режекції, де вихідний сигнал плавно змінюється від 0 до негативних значень, є перехідною областю. Перевага фільтра Баттерворта полягає в плавній, монотонно спадаючій частотній характеристиці в перехідній області. Як видно з малюнка n, що вищий порядок фільтра, то крутіша перехідна область.

KIX-фільтри - це один із двох основних цифрових фільтрів, які не створюють зворотного зв'язку і забезпечують обмежений відгук. Він має відгук фільтра кінцевої тривалості і встановлюється в нуль за кінцевий час. KIX-фільтри спроектовані так, щоб бути лінійними, що означає, що вони затримують відгук, але не змінюють фазу. Вони краще підходять для багатошвидкісних додатків, які допускають проріджування, інтерполяцію або і те, і інше. При виконанні обох типів завдань KIX фільтри дають змогу опустити деякі обчислення, тим самим забезпечуючи більш високу ефективність обчислень.

Вони прості в реалізації і мають бажані числові властивості. Завдяки цій властивості KIX-фільтри в їх дуже широко використовують у фільтрах DSP. Одним з основних застосувань KIX-фільтрів є перетворювач Гільберта. Використовуються різні KIX-фільтри: симетричні коефіцієнти парного порядку, симетричні коефіцієнти непарного порядку, антисиметричні коефіцієнти парного порядку та антисиметричні коефіцієнти непарного порядку.

## **2.2 Моделювання цифрових смугових фільтрів**

Смуговим фільтром називається частотно-вибірковий пристрій, який пропускає сигнали певних частот і затримує сигнали інших частот. Фільтри нижніх і верхніх частот пропускають відповідно тільки низькі або тільки високі частоти. Смугові фільтри пропускають, а ежекторні фільтри, навпаки, не пропускають тільки сигнали певного діапазону (смуги) частот.

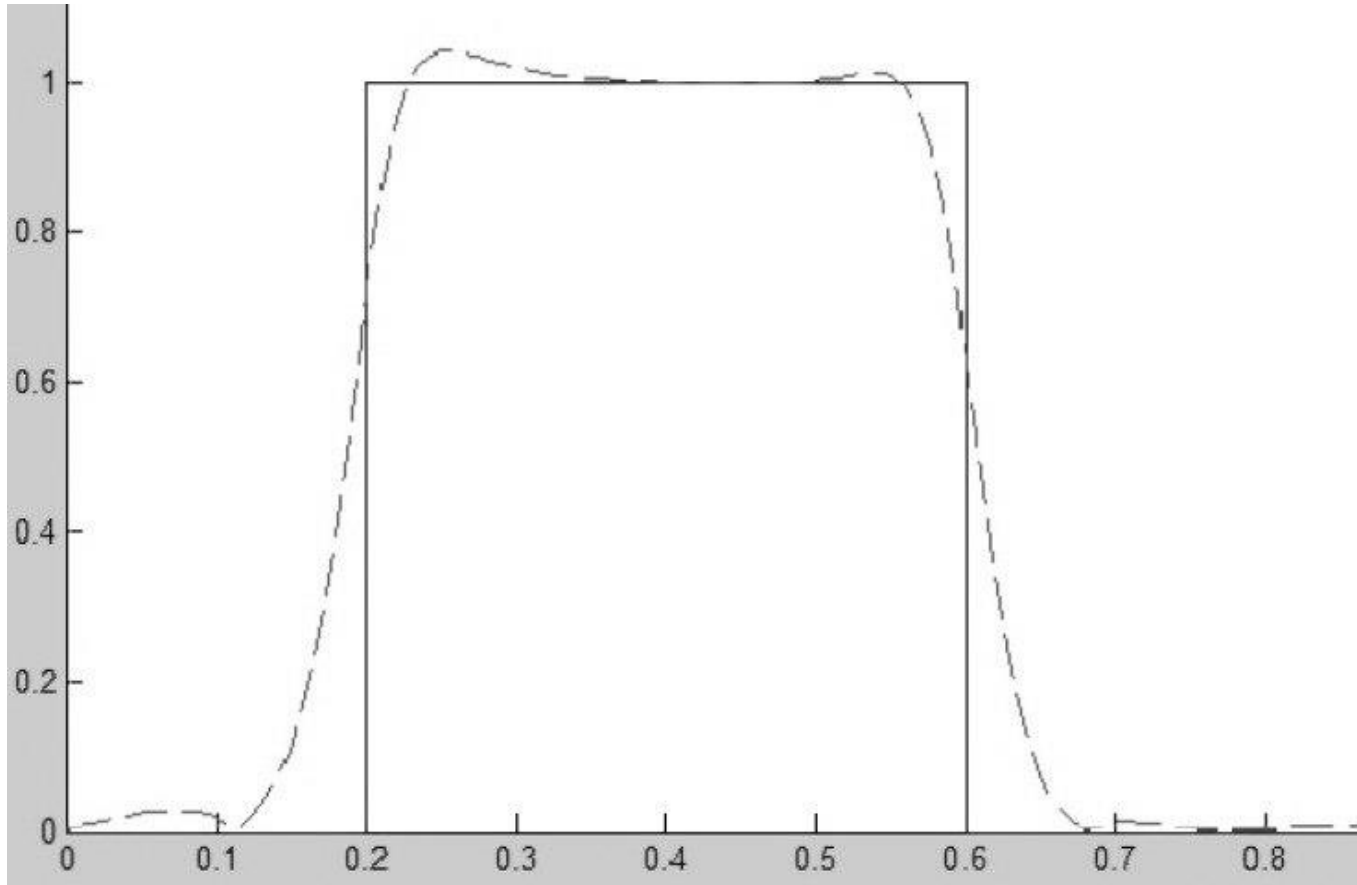


Рис.2.2. Амплітудно-частотна характеристика смугового фільтру

- між значенням  $F=0,2$  та  $0,6$  знаходиться полоса пропускання фільтру;
- на значенні  $F=0,3$  закінчується резонансна частота фільтру;
- нижня частота пропускання дорівнює  $F=0,2$ ;
- верхня частота пропускання дорівнює  $F=0,6$ ;

смуговий фільтр складається з смугового фільтру який знаходиться в діапазоні  $0,1 \dots 0,7$  значень;

- на діапазоні значень  $0,2 - 0,6$  знаходиться ідеальна АЧХ;
- також смугові фільтри складаються;

максимальне придушення в смузі пропускання;

мінімальне придушення смузі пропускання.



normalization – налаштування (прапор), керуючий нормою АЧХ: scale – нормування виконується; noscale-нормування не виконується; b-вектор – це вектор коефіцієнтів передаточної функції;

win-вектор - стовбець за налаштування вікна Хеммінга.

За допомогою функції: Win=window{@winname ,N}

де N-довжина вікна;@-символ показника на функцію;@winname-указник на абстрактну функцію ,задає вікно; на її місце становиться суттєва функція в програмі MATLAB ,яку можна вивести по команді: helpwindow.

Таблиця 2.3 - Основні позначення та функції розрахунку фільтрів

Функція	Позначення
win=rectwin(N)	Вікно Прямокутне
win=triang(N)	Вікно Трикутне
win=bartlet(N)	Вікно Барлета
win=hann(N)	Вікно Хенда
win=hamming(N)	Вікно Хемінга
win=hanning (N)	Вікно Хенінга
win=blackman(N)	Вікно Блекмана
win=blackmanharris(N)	Вікно Блекмана-Хериса
win=keiser (N beta)	Вікно Кайзера

За допомогою вікна: Hwin=sigwin .window(input,...)

де, sigwin-тип об'єкта; window - абстрактна функція; input - налаштування функції window; Hwin-ім'я об'єкта sigwin

Скориставшись програмою MATLAB змодельємо АЧХ фільтр Вікно Кайзера:

10 кГц;

f

m=[0.1.0]

d2=0.01;d1=0.05; ripple=[d2 d1 d2];

[

{R ws(1) ws(2) beta ftype}

b  
ans= [0.3000] [0.5000] [3.3953] 'DC-0'

e

б

Г Змодельовавши смуговий фільтр, ми отримаємо амплітудно-частотну  
ф характеристику яка представлена на рис 2.3.

й

р

е

л

т

=

к

а

ф

т

с

у

р

kaiser(R+

0

r

d

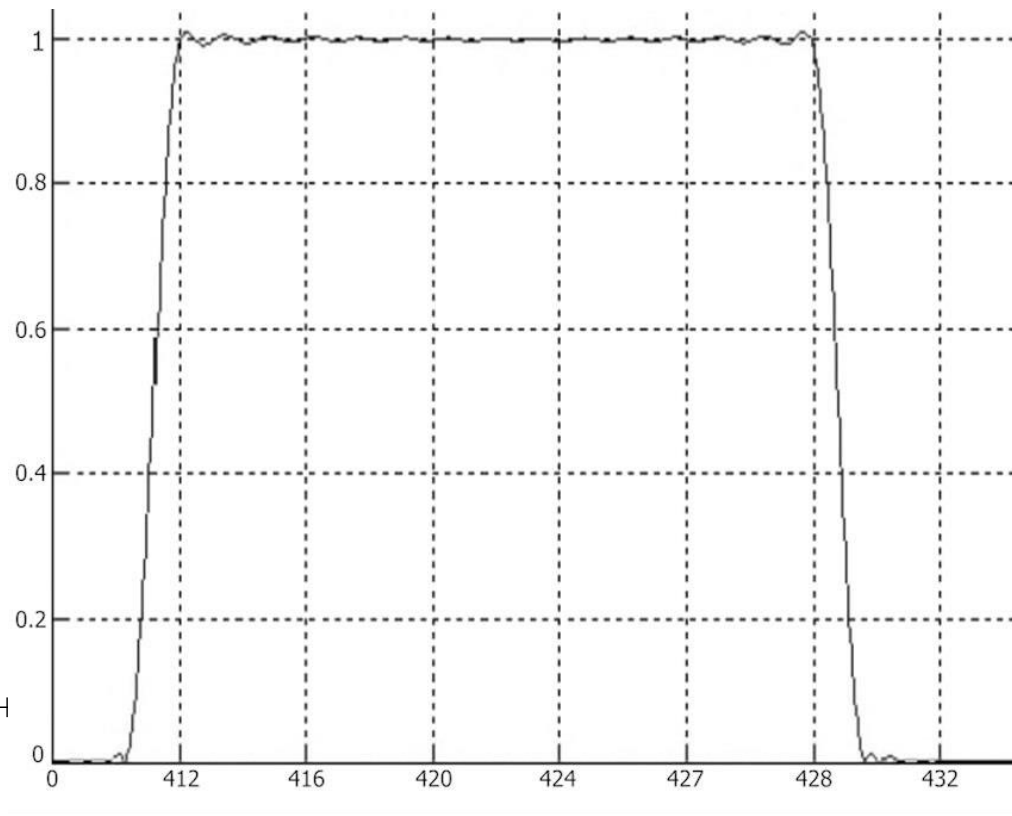


Рис. 2.3. АЧХ смуговий фільтр (вікно Кайзера)

(

р Отриману в результаті моделювання АЧХ показано на рис. 2.3. Треба  
зауважити, що порядок фільтра оцінюється наближено. Іноді корисно його

р

р

l

F

змінити в той чи інший бік для досягнення заданих вимог до АЧХ промодельованого фільтра.

### 2.3. Програмне створення смугового цифрового фільтра

Проектування фільтра в програмі FilterLab. Вкладка Специфікація фільтра дозволяє користувачеві вказати тип апроксимації, селективність та коефіцієнт підсилення. Виберіть будь-яку апроксимацію, селективність для апроксимації загальний коефіцієнт підсилення фільтра. Максимально допустимий коефіцієнт підсилення становить 10 В/В. Після визначення апроксимації, селективності та коефіцієнта підсилення апроксимації, селективності та коефіцієнта підсилення натисніть кнопку ОК або вкладку.

Параметри фільтра:

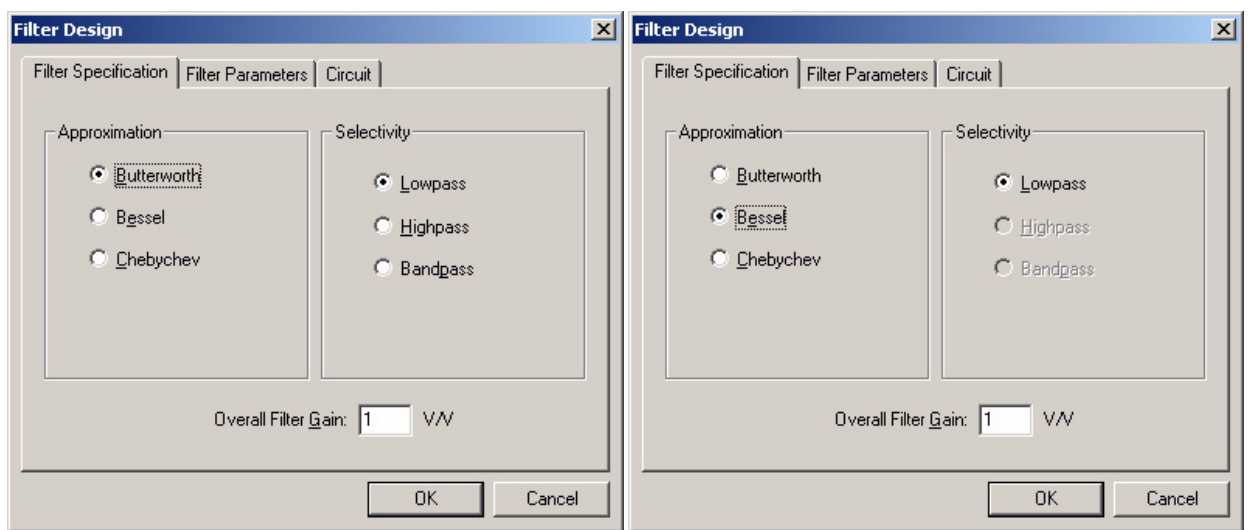


Рис. 2.4. Вікно вибору типу фільтра

На рисунку 2.5 показано розташування смуги пропускання і смуги зупинки верхніх і нижніх частот. Для всіх селективностей  $a_{pass}$  і  $a_{stop}$  представляють ослаблення смуги пропускання. Для низькочастотної селективності (рис.2.5),  $f_{pass}$  верхня і  $f_{pass}$  нижня представляють смугу пропускання верхню і нижню частоти, а  $f_{stop}$  верхня і  $f_{stop}$  нижня - верхню і

нижню частоти смуги зупинки. Верхню і нижню частоти смуги пропускання, а  $f_{stop}$  верхня і  $f_{stop}$  нижня - верхню і нижню частоти.

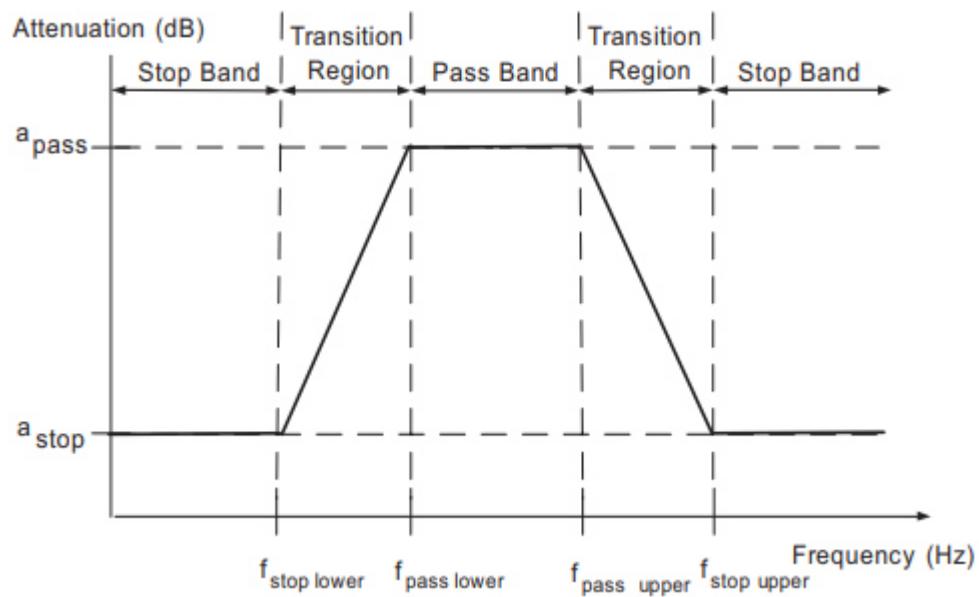


Рис. 2.5. Визначення параметрів для смугової селективності

Опція Примусовий порядок фільтрації дозволяє користувачеві вказати порядок фільтрації або доручити програмі програму обчислити порядок фільтрації на основі даних діалогового вікна. Щоб примусово встановити порядок фільтрації, встановіть прапорець. Примусовий порядок фільтрації. Коли прапорець встановлено, користувач вказує Ослаблення смуги пропускання і частоти смуги пропускання. Після цього FilterLab 2.0 обчислює загасання смуги пропускання і частоти смуги зупинки на основі порядку. Якщо прапорець не встановлено, користувач вказує загасання і всі частоти значення. FilterLab 2.0 обчислює порядок на основі значень загасання і частоти значень ослаблення і частоти.

Загасання в смузі пропускання - це зміна величини частот у смузі пропускання смуги. Затухання смуги пропускання для кожної селективності (низькочастотна, високочастотна, смугова). Показано на рис 2.6. Допустимий діапазон становить від -0,01 дБ до -3 дБ. Якщо значення на вкладці «Параметри фільтра» буде введено значення, що виходить за межі цього діапазону, з'явиться повідомлення про помилку, показане на рис 2.7.

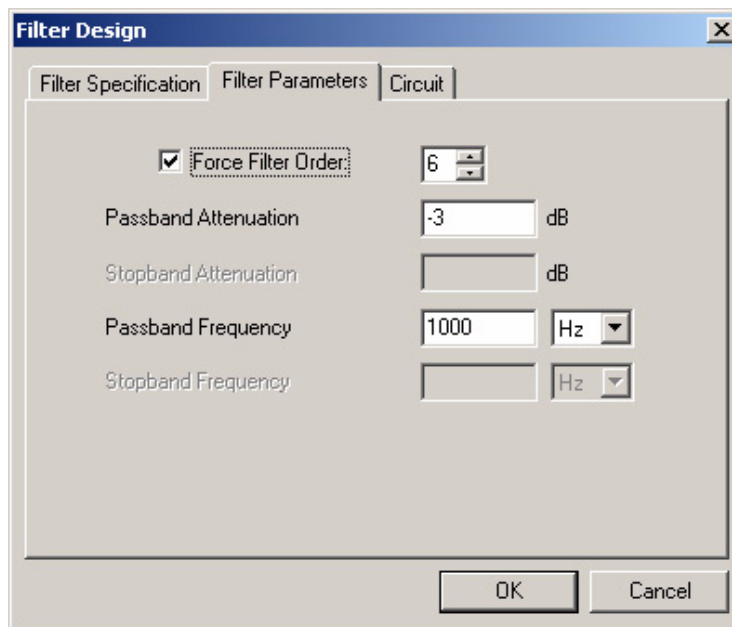


Рис. 2.6. Параметри фільтрації з обраним порядком примусового фільтрування



Рис. 2.7. Повідомлення про помилку допустимий діапазон -0.01 до 3дБ

Згасання в смузі зупинки - це мінімальне зменшення величини частот в смузі стоп відносно смуги пропускання. Затухання стоп-смуги для кожної селективності показано на рис. 2.4, 2.5 і 2.6. Допустимий діапазон становить від -10 дБ до -100 дБ. Якщо на вкладці Параметри фільтра введено значення, що виходить за межі цього діапазону, з'явиться повідомлення про помилку показане на рис. 2.8.



Рис. 2.8. Повідомлення про помилку ,допустимий діапазон -10 до -100дБ

Частота смуги пропускання є початковою точкою смуги пропускання, як показано нарис. 2.4, 2.5 і 2.6. Допустимий діапазон - від 0,1 Гц до 1 000 000 Гц. Якщо значення на вкладці «Параметри фільтра» буде введено значення, що виходить за межі цього діапазону, з'явиться повідомлення про помилку, показане нарис. 2.9.

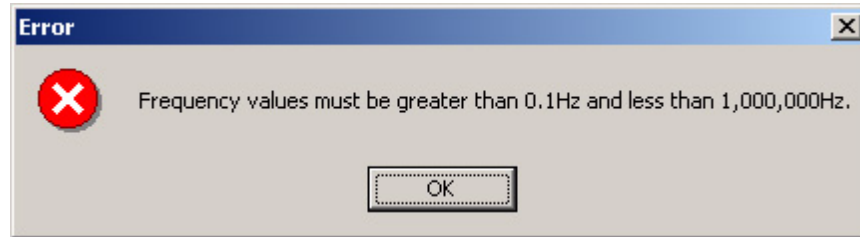


Рис. 2.9. Повідомлення про помилку, допустимий діапазон 0,1Гц до 1000000Гц

Частота смуги пропускання повинна бути нижчою за частоту смуги зупинки для фільтрів низьких частот фільтрів низьких частот. Якщо на вкладці Параметри фільтра введено значення, що перевищує значення «BandFrequency», з'явиться повідомлення про помилку, показане на рисунку 2.10:

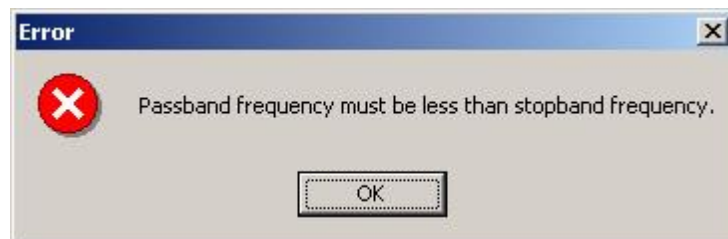


Рис. 2.10. Повідомлення про помилку, частота більша за смугу пропускання

Частота смуги пропускання повинна бути більшою за частоту смуги зупинки для селективності високих частот. Якщо на вкладці Параметри фільтра введено значення менше ніж частота смуги зупинки, з'явиться повідомлення про помилку, показане на рис. 2.11.

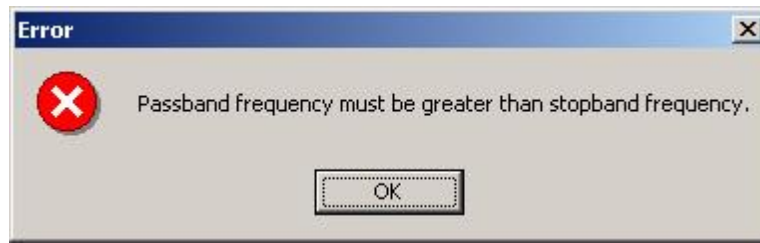


Рис. 2.11. Повідомлення про помилку ,частота пропускання нижча за частоту смуги зупинки

Нижня частота смуги пропускання повинна бути нижчою за верхню частоту смуги пропускання і обох частот стоп-смуги для селективності смуги пропускання. Якщо на вкладці Параметри фільтра введено значення на вкладці Параметри фільтра значення, яке перевищує частоту стоп-смуги або верхню частоту смуги пропускання, з'явиться повідомлення про помилку. Верхня частота смуги пропускання, з'явиться повідомлення про помилку, показане на рис. 2.10 і 2.11.

Після запуску проекту ми отримуємо параметри необхідного смугового фільтра та програмний код на мові Сі, який можна використовувати в програмному забезпеченні мікроконтролерів dsPIC компанії Microchip:

частота нижнього краю смуги зупинки (Гц).

-min. згасання стоп-смуги (дБ). Перевірка умов:  $f \leq f_S$ ,  $A_S \leq A$ .

. Нижній перехідний діапазон:

Перевірка умов:  $f_{SL} < f < f_{PL}$ ,  $A_P < A < A_S$ .

. Смуга пропускання:

$f_{PL}$  \* - частота смуги нижніх частот (Гц);

- частота смуги верхніх частот (Гц);

смуга пропускання нижніх частот -3 дБ;

- смуга пропускання верхніх частот -3 дБ;

- максимальний коефіцієнт підсилення смуги пропускання (дБ);

- згасання (відносно НМ) (дБ);

- пульсація смуги пропускання / макс. затухання (дБ).

Перевірка умов:  $f_{PL} \leq f \leq f_{PU}$ ,  $0 \leq A \leq AP$ .

Верхня перехідна смуга:

Перевірка умов:  $f_{PU} < f < f_{SU}$ ,  $AP < A < AS$ .

Верхня обмежувальна стрічка:

- частота верхнього краю смуги зупинки (Гц);

. згасання стоп-смуги (дБ).

Перевірка умов:  $f_{SU} \leq f$ ,  $AS \leq A$ .

Параметр посилення у FilterLab 2.0 (G) відповідає посиленню середньої смуги (для простоти реалізації):

$f_0$  = частота середньої смуги =  $(f_{PL}f_{PU})^{1/2}$ ;

; Бессель, Баттерворт і Чебишев (n = 2, 6);

; Чебишев (n = 4, 8)

Обмеження, які FilterLab 2.0 накладає на ці параметри смуги пропускання, такі:

$0,1 \text{ Гц} \leq f_{SL} < f_{PL} < f_{PU} < f_{SU} \leq 1,0 \text{ МГц}$ ;

$1,2210 \leq f_{PU}/f_{PL} \leq 5,8284$ ;

$0,01 \text{ дБ} \leq AP \leq 3,0 \text{ дБ}$ ;

$10 \text{ дБ} \leq AS \leq 100 \text{ дБ}$ ;

$1 \text{ В/В} \leq G \leq 10 \text{ В/В}$ , (від 0 дБ до 20 дБ).



Випрямляч(В) створює на виході напругу позитивної полярності ,яка причепує негативну на півхвилю ,тому що ,обраний аналоговий цифровий перетворювач (АЦП) робить тільки в одній полярності в діапазоні від 0 до 5В.АЦП належить до комплектації dsPIC30F1010 , переробляє аналоговий сигнал в 10 розрядний цифровий код і наступне перероблення сигналу чиниться в цифровому виді завдяки ЦСП ,який виконується смуговий цифровий фільтр. Мікроконтролер (МК) вирішує становище рейкового кола на основі отриманої інформації і виконує команду через схему контролю (СК) та підсилювач потужності на вмикання або вимикання колійних реле (К). Для покращення надійності приймача ТРК дані обробляються в двох каналах в той же час с контролем каналів один одним. ПП покращує сигнал до потрібного рівня для роботи реле К(12В).

Схема синхронізації (СС) дає частоту і швидкість dsPIC30F1010. Для покращення надійності канали використовують схему синхронізації. Блок налаштування містить в собі ,набор механічних ключів, який вказує вид колійного приймача. Положення ключів для різних видів приймача представленні в табл.3.1. Блок індикації (БІ) приймаються для зображення виду колійного приймача.

На рис 3.2 зображена принципова схема приймача ТРК на базі ЦСП. Сигнал приходять з рейкового кола крізь трансформатор ТР1 на смуговий фільтр . Трансформатор ТР1 забезпечує гальванічну розв'язку від колійного приймача ТРК ,а цим забезпечує погодження опорів з релейним кінцем ТРК. Стабілітрони VD1 і VD2 зберігають первину обмотку трансформатора від перенавантаження напруги на рівні 5,6В.Полосовий фільтр виділяє якісний сигнал. Коли опція повинна бути добре точна використовуються в смугових фільтрах позитивний зворотній зв'язок .В цьому етапі приймаємо смуговий фільтр з паралельним зворотнім зв'язком .Опір R2 дає доступ встановлювати потрібну величину коефіцієнта посилення в смузі пропускання .

Таблиця 3.1 – Налаштування цифрового приймача

Стан ключів				Т
				и п  п р и й м а ч а
				8  Г ц  ( 4 2 0  Г ц
				1 2  Г

				Ц ( 4 2 0 Г Ц
				8 Г Ц ( 4 8 0 Г Ц
				1 2 Г Ц (

				4 8 0 Г Ц
				8 Г Ц ( 5 8 0 Г Ц
				1 2 Г Ц ( 5 8 0

				Г ц
				8 Г ц  ( 7 2 0 Г ц
				1 2 Г ц  ( 7 2 0 Г ц

				8 Г Ц  ( 7 8 0  Г Ц
				1 2  Г Ц  ( 7 8 0  Г Ц
				8

				Г Ц  ( 4 5 4 5  Г Ц
				1 2  Г Ц  ( 4 5 4 5  Г Ц
				8  Г

				Ц ( 5 0 0 0 Г Ц
				1 2 Г Ц ( 5 0 0 0 Г Ц
				8 Г Ц

				( 5 5 5 5 Г Ц
				1 2 Г Ц ( 5 5 5 5 Г Ц

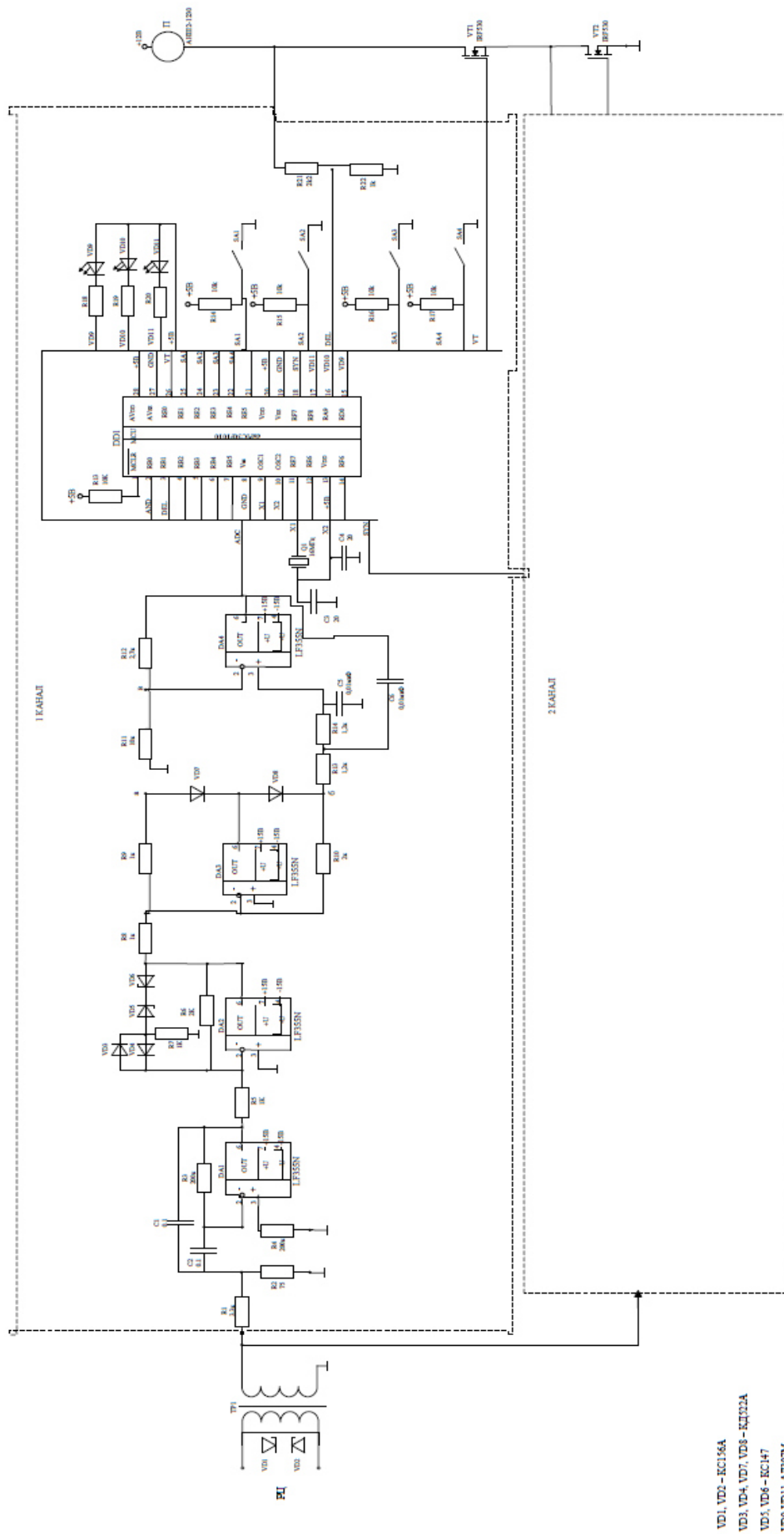


Рис. 3.2. Принципова схема приймача ТРК на базі ЦСП



схеми ,через яку струм протікає через стабілітрон і резистор R7 на землю а не в точку узагальнення струмів (інвертуючий вхід ОП).

Резистор R7 окремий від інвертуючого входу ОП на шляху контактів вмикаючими діодами VD5 і VD 6 . Резистор обираємо добре малим для того щоб струм який протікає на витоку стабілітрона замикався на землю а не через діоди VD5 і VD 6, завдяки цьому падінні напруги на резистор R7 виключне проходженням струму витоку, не буде перебільшувати напругу відкриття діодів підсилувача зросте .

Звичайне значення R7 буде в границях от 100Ом-1кОм. В якості діодів проходить на остаточний випрямляч завдяки якого сигнал на виході буде рівній абсолютній величині без втрати напруги, яка виникає при зсуві випрямленого діода в рівному напрямку. Даний випрямляч можливо використовувати для покращення сигналів змінного струму в мілівольтному діапазоні.

Вплив зниження напруги на діодах в провідному положенні зменшується в N разів, тому що вони знаходяться на колі зворотного зв'язку підсилувача DA3.

Перейдемо до роботи цієї схеми . Нехай ,  $R8=R9=R10=R11=R12R$ .

На вході стане більше позитивна напруга  $U_{вх}$ , на виході підсилувача напрямі, а VD8 - в зворотному.

Напруга в точці **в** схеми тоді буде рівною -  $U_{вх}$ . Через те що неінвертуючий вхід DA4 підключений крізь резистор до інвертуючого входу підсилувача з  $K_{DA3}=-1$ . Напруга  $U_{вих}$  при цьому рівна  $U_{вх}$ . Якщо  $U_{вх}$  буде негативною і збільшиться по абсолютній величині, то напруга на вході DA3 стане позитивною і викличе зсув VD7 у зворотному напрямі, а VD8 - в прямому. Підсилувач DA4 буде неінвертуючим підсилувачем, через те що його інвертуючий вхід підключений крізь R9 і R11 до потенційно заземленого

інвертуючого входу підсилювача DA3. Коефіцієнт посилення DA4 тепер обчислимо за формулою

Через те що опір мають однаковий ,тоді  $K_{DA4}=1,5$ . Коефіцієнт посилення інвертуючого підсилювача DA3 в такому випадку більше не буде одиниці, через те що струм протікає не тільки через R8 а також протікає і через

Взагалі якщо мати, при негативному  $U_{вх} DA3$  можна ,бачити як суматор з двома входами і як інвертуючий підсилювач. Напруга в точці б буде рівною в точці б, через те що  $U_d$  підсилювача DA4 взагалі дорівнює нулю. При і R11 і дві третини - крізь R10.

Напруга в точці б буде  $2/3U_{вх}$ . Через те що точки в і б будуть з однаковим потенціалом, то можна перевірити , що при всіх однакових резисторах, розрахуємо по формулі:

$$10/R8=2/3 \text{ або } 0,66 \quad (3.8)$$

Загальний коефіцієнт посилення є тоді:

3

В такому випадку і за однакових резисторах  $K_{заг}$  посилення в схемі дорівнює одиниці. Якщо  $R8=R9=R11=R$  і  $R10=R12=2R$ , то значення коефіцієнта в схемі буде дорівнювати два.

В схемі використовується фільтр Бесселя його налаштування використовуються завдяки пасивних елементів R11, R12, R13, R14, C5, C6. Для обчислення оберемо частоту зрізу  $F_c$  яка дорівнює 10кГц і коефіцієнт фільтру буде 0,1251 і  $k_2 = 0,268$ . І для R11 та C5, C6 оберемо звичайні значення 10кОм та 0,01мкФ. Обчислимо значення R12, R13, R14 за формулами:

$$F_c)=1,2кОм \quad (3.10)$$

$$k_2=2,7кОм \quad (3.11)$$

Наступне сигнал потрапляє на аналогово-цифровий перетворювач АЦП, який квантує сигнал по амплітуді і симплексує за часом.

Після перетворення сигнал надходить на цифровий сигнальний процесор, що здійснює фільтрацію сигналу. Наступним моментом мікроконтролер обробляє та порівнює даний сигнал. Схема контролю виконує даний контроль вірності функціонування приймача. Приймач працює для контролю стану рейкового кола.

### **Опис мікроконтролера з цифровим сигнальним процесором dsPIC**

Контролер dsPIC містить у собі потужний цифровий процесор(MAC) , що лежать в основі багатьох алгоритмів обробки сигналів. Отримати користь із застосування ЦПС можуть тільки деякі команди. Вести користь із застосування ЦПС можуть тільки деякі команди, що виконуються з обмеженнями щодо джерел оброблюваних ними даних, однак ці обмеження мінімальні і дозволяють модулю зчитати два операнди, виконати над ними MAC-команду і зберегти їх назад у пам'яті - і все це, зазвичай за один цикл.

Для досягнення такої пропускної здатності розробники ввели до складу dsPIC спеціальні апаратні засоби:

блок множення 17-розрядних дробових/цілих чисел;

40-ступінчаста схема циклічного зсуву, яка за одну коду може виконувати зсув на 16 розрядів вліво і праворуч;

два модулі формування адреси.

При належному використанні, ці підсистеми значно скорочують час обробки складних алгоритмів. Структурна схема блока ЦПС показана на рис.

### **Уявлення цифрових даних контролера dsPIC**

Контролер dsPIC може оперувати знаковими даними в дійсному або цілочисельному поданні. Для подання знакових цілих чисел застосовується стандартний додатковий код, у якому найстарший розряд відводиться під знак, а всі інші розряди зберігають ступінь двійки , N-розрядне ціле число в додатковому коді може представляти значення в діапазоні від  $-2^{N-1}$  до  $2^{N-1}-1$ .

Таким чином, 16-розрядне ціле число в додатковому коді може приймати будь-яке значення від -32 768 (0x8000) включно до 32 767 (0x7FFF) включно, а 32-розрядне число охоплює діапазон від -2 147 483 648 (0x80000000) до 2 147 483

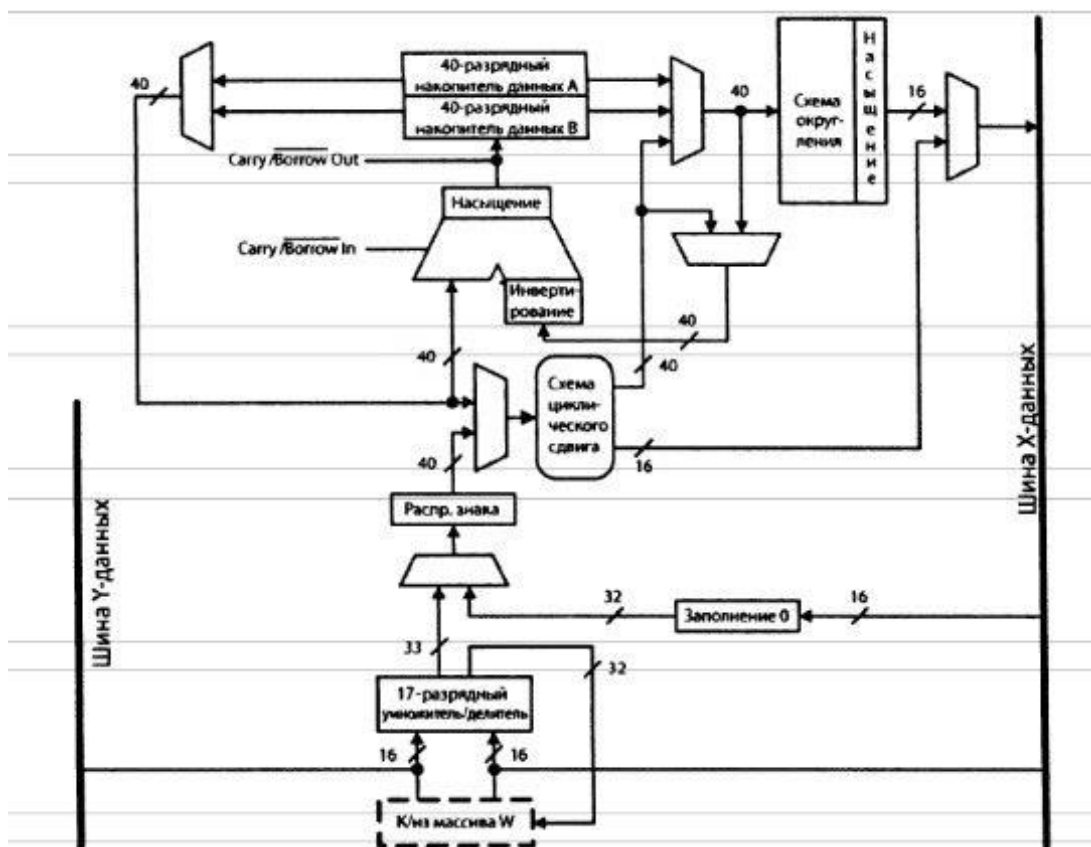


Рис. 3.3. Структурна схема блока ЦПС контролера dsPIC

Працюючи з цілочисельними даними в додатковому коді важливо переконатися, що знаковий розряд обробляється коректно при виконанні операцій додавання або віднімання над числами різної розрядності, інакше можуть виникати помилки. Наприклад, якщо необхідно скласти восьмирозрядне значення у додатковому коді (0xFC) з 10-розрядним значенням 20 (0x0014) без поширення знакового розряду у восьмирозрядному значенні, то в результаті буде отримано  $0x00FC + 0x0014 = 0x0110$  або десяткове 272, що далеко від очікуваного 16 (0x0010). Однак, якщо до додавання поширити знак11 у восьмирозрядному значенні, то буде отримано результат  $0xFFFC + 0x0014 = 0x10010$  (або 0x0010, якщо зберегти 16-розрядне представлення з втратою старшого розряду результату). Отже, для додавання в додатковому коді двох значень різної розрядності необхідно передусім поширити знак числа з

коротшим поданням до досягнення ним довжини числа з коротшим поданням. Хоча цілочисельні дані швидкі в обробці, вони часто призводять до переповнення під час множення. Як наслідок, у додаток доводиться включати додатковий програмний код для перевірки на переповнення та врахування його в обчисленнях, щоб уникнути появи помилок у результатах. Множення  $M$ -розрядного цілого числа на  $N$ -розрядне ціле число дає в результаті  $(M+N)$ -розрядне значення. Зрозуміло, що для переповнення блоку множення навіть з великою розрядністю, багато множень не буде потрібно. Один зі способів уникнути переповнення - застосувати арифметику дійсних чисел, у якій усі значення обмежуються діапазоном від  $-1$  до  $+1$ . У цьому разі результати множення гарантовано залишаються в постійному діапазоні. Оскільки цей підхід досить простий, ЦКС dsPIC можна конфігурувати для виконання арифметичних операцій зі знаковими дійсними числами, використовуючи формат QN. У цьому форматі дані представляються дробовим числом. Під час поширення знака значення в додатковому коді знаковий розряд повторюється доти, доки не буде досягнуто бажаної довжини подання. Наприклад, якщо необхідно поширити знак восьмирозрядного значення для одержання 16 розрядів, то копія знакового розряду (старший розряд) вісім разів повторюється зліва цього числа. Поширення знака восьмирозрядного значення  $0x7C$  розрядного значення  $0x7C$  дає значення  $0xFFC$ , а поширення знака восьмирозрядного значення  $0x7F$  - значення  $0x007F$ . у додатковому коді, де найстарший розряд відведено під знак, а крапка (десятькова, якщо використовується десяткова система числення) міститься, як припускається, одразу ж після знакового розряду. Символ «N» у позначенні «QN» позначає повне число розрядів у числі. Так запис Q16 відповідає 16-розрядним значенням, а Q32 - 32-розрядним.

Таким чином, числа Q16 можуть  $-1$  до  $0,999969482421875$ , тоді як числа Q32 - значення від  $-1$  до  $(1 - 4,66 \times 10^{-10})$ , тобто по суті, - від  $-1$  до  $1$  для всіх практичних цілей. Як і у випадку з цілими числами в додатковому коді, додавання або віднімання при використанні дійсних чисел QN вимагає, щоб перед виконанням операції дані були розширені. Однак у цьому випадку

розширення являє собою заповнення нулями праворуч від молодшого розряду мантиси числа з коротшим поданням, а не поширення знака, як у випадку цілочисельної арифметики. Наприклад, щоб скласти число Q8 із числом Q16, спочатку додають вісім нулів праворуч від значення 08, щоб сформувати відповідне значення Q16. Множення дійсного числа M.N на дійсне число R.S дає в результаті (M+R).(N+S). Коли перемножуються два значення формату 1.15, результатом буде число формату 2.30. Це аналогічно ситуації з множенням десяткового дійсного числа з N знаками після десяткової крапки на друге десяткове дробове число з 5 знаками після десяткової крапки, коли в результаті буде отримано JV+S знаків праворуч від десяткової крапки. Однак під час перемноження дійсних чисел у множнику і множнику попередньо поширюють знак (тобто перед старшим розрядом від'ємних значень додається «1», а додатних значень – «0»), а результат зміщується вліво на один розряд для коректного врахування знака і вирівнювання розрядів тиримері.

### **3.3. Безвідмовність та безпека роботи цифрового приймача ТРК**

Безвідмовність пристроїв стиснення є притаманно забезпечувати в момент часу безвідмовне та безпечне керування рухом поїздів в даних режимах і вимогах приміняться, технічного виконання і ремонту.

Оскільки, надійність систем залізничної автоматики як складний параметр складається з безвідмовності, безпеки, довговічності, ремонтно-придатності і зберігання. Згідно до ОСТ 32.17-92 «Безпека залізничної автоматики і телемеханіки. Терміни та толкування» відрізняються два види непрацюючого (необмежуваного) положення стиску: зберігаюче і небезпечне.

Зберігаюче положення - непрацююче положення системи, при якому значення всіх налаштувань, що описує її можливість робити задаючі функції з безпекою руху поїздів, задовольняють вимогам нормативно-технічної і конструкторської документації.

Ризикове положення - непрацююче положення системи, при якому значення однієї властивості, описує її можливість робити задані функції з

збереженням безпеки руху поїздів, не відповідає критеріям нормативно-технічної і конструкторської документації.

Підходячи до даних термінами відрізняють також безпечні і небезпечні відмови. Безпечну відмову це момент, що підлягає в заваді працездатності положення системи при безпечного зберігаючого положення. Ризикова відмова, що відповідає в заваді працююче і зберігаючих положень.

Для того щоб розв'язати питання, що за відмова в системі є ризиковою, створюються вимоги небезпечної відмови – причини або багатьох причин ризикового положення системи, є в нормативно-технічної документації. Ця вимога використовується при доведенні безпеки на всіх сферах її життєвого циклу при проектуванні, іспитів, експлуатації та ремонті.

Небезпечна відмова систем залізничної автоматики може призвести до появи аварії або аварії потягу, але в багатьох випадків цього не трапляється, того що виникнення аварії пов'язано також з існуючою в момент часу поїзної обставини і з діями людини-оператора (машиніст, черговий по станції, поїзний диспетчер, електромеханік СЦБ та інші працівники залізниці).

Безпечність програмного забезпечення - це притаманність оберігати якість, надійність, безпеки і недопустимість в період часу за даних вимог експлуатації та технічного обслуговування .

Щільність помилок програмного забезпечення є в границях від 0,25 до 10 на 1000 команд . Тобто, в новій системі, яка має 500 000 команд, треба очікувати від 125 до 5000 помилок.

Помилки програмного забезпечення можна розділити на програмні, алгоритмічні та системні.

Програмні помилки викликаються некоректним записом команд на мові програмування та помилками при демонстрації. Їх кількість залежить від навиків, програмістів, їх опит, рівня автоматизації програмування, поглиблення і якості тестування. С перших етапів створення, програмні помилки виникають одну третину від загальної кількості помилок, але ці помилки порівняно легко визначаються.

Алгоритмічні помилки трапляються через некоректну постановку задачі або через невірне формулювання алгоритму її вирішення і трапляються вони важче, ніж програмні. Звичайні такі помилки: неповний облік задоволення рішення або періодів зміни; перебільшення взятих ресурсів; невірна оцінка часу створення відокремлених програмних модулів тощо.

Найскладніше виявляються системні недоліки, які зв'язані з невірною взаємодією комплектів програм між собою і зовнішніми об'єктами.

В життєвому циклі програмного забезпечення беруть до уваги шість етапів: аналіз критерії до системи, визначення специфікацій, створення, програмування, тестування, експлуатації і супровід. Найчастіше кількість помилок дозволяється при створенні (60%) і програмуванні (40%). Од же і при тестуванні і при супроводі можуть бути додані інші невірності. Справність однієї програмної, алгоритмічної або системної невірності вимагає виправлення в середньому відповідно 6, 14 і 25 команд. З проходження часу життєвого періоду програмного забезпечення ресурсні витрати на корегування невірності зростають, а відсотки правильного корегування зменшується.

Програмні та апаратні відмови бувають багато загального, од же багато в чому істотно відрізняються. Загальне між ними: невиконання об'єктом вимагаємих функцій; години до відмови і година виправлення відмов мають випадковий характер; статистичні оцінки показників пристроїв та програмної надійності є мають бути однакові за своєю назвою: середнє напрацювання на програмну відмову, щільність програмних відмов тощо

Разом відмови програмні істотно відрізняються від відмов в пристроях:

- відмова пристроїв залежить або від проходження деякого часу, або від об'єму зробленої роботи, а несправна програмна - від імовірності виходу програми на її шлях, що містить помилку;
- виправлення помилки відмова може повторитися при майбутньому експлуатації пристрою виправлення програмної невірності в майбутньому не повторюється;

- аналізувати та давати оцінку в майбутньому виникнення багатьох відмов в роботі пристроїв можливо, а давати оцінку в майбутньому виникнення окремих програмних відмов складно або звісно неможливо;

- ділити програмні відмови на випадкові і по мірі поступу за аналогією відмовам в роботі пристроях не має сенсу.

Іспити програм на безвідмовність та іспити виготовлення на безвідмовність їх програмного забезпечення - обов'язкові рівні при перевірці безвідмовності систем. Іспити на безвідмовність програм проводять завдяки спеціальних програм (тестування) і потрібних стендів. Наступне перевіряється безвідмовність виробів при загальній праці програми та виготовлення. При цьому тестування потребує до 50-60% всіх витрат справи на програмування .

У надійних системах частіше всього використовують два варіанти програмування з контролем співпадіння результатів або працювали для таких систем самоперевірочні програми.

## Висновки

У даній дипломній роботі було розроблено цифровий приймач тональних рейкових кіл з застосуванням методів цифрової обробки сигналів. В базу проектування ТРК було взято безстикове рейкове коло (БРК), що при собі немає ізолюючих стиків на живлячому і приймальному кінцях. У ТРК застосований амплітудно-модульований сигнал, який дає можливість покращити збереженість приймальних пристроїв (колійних приймачів) від завади гармонічних і імпульсних бар'єрів тягового струму та інших джерел бар'єрів. Приймачі роблять з амплітудно-маніпульованими сигналами з несучими частотами 420, 480, 580, 720, 780 Гц (ППЗС); 4545, 5000, 5555 Гц (ПП4С) і частотами модуляції 8 або 12 Гц.

Для моделювання цифрового смугового фільтру на 8 і 12 Гц використовували ряд різних програм, наприклад, математичний пакет Matlab, та додатком до пакету Matlab програму Simulink за допомогою якої змодельовали фільтр, а також проектування смугового фільтру в програмі FiltrLab витягли його характеристики та зобразили графіки спектральної щільності потужності.

Цифрові системи дають можливість застосовувати інтегральні мікросхеми цифрової логіки, за допомогою того що збільшується їх безвідмовність, зменшуються габаритні розміри пристроїв і їх коштовність. Дуже краще перетворювати вхідний аналоговий сигнал в цифрове значення, яке в майбутньому можна зібрати за допомогою мікропроцесора.

Зараз у багатьох становищах аналогові фільтри замінюються цифровими. Праця цифрових фільтрів виробляють, в основному програмним методами, тому вони являються дуже гнучкішими в використанні в порівнянні з аналоговими.

Для творення цифрового приймача ТРК був обраний PIC-мікроконтролер з вбудованим ЦСП dsPIC30F1010. Родина пристроїв dsPIC виготовлені з метою для високошвидкісного виконання операцій з щільними математичними розрахунками і оснащені спеціалізованими апаратними

елементами, що керують щільними за момент часу процесами з мінімальним напруженнями на ядро процесора.

Дане виготовлення цифрового приймача тональних рейкових кіл на базі мікроконтролера dsPIC30F1010 є вельми пріоритетними, тому що у наш час застосовуються все більше і більше цифрові системи, починаючи від аналогових радіоелементів, завершуючи радіозв'язком, залізничної автоматики та іншим, витісняючи різні старі аналогові системи. Даний приймач має такі переваги, як унікальність, тобто дає можливість виконувати всього лише один тип приймача для різних частот (модуючих і несучих), має меншу масу і габарити. Застосування такого приймача дає можливість зменшити енергоспоживання. Приймач виготовлений для застосуванням на тональних рейкових колах, які у справжній час є надійнішими і мають свої унікальності, які мають в собі більш позитивну користь, ніж рейкові кола з ізолюваними стиками. За відсутності ізолюючих стиків зберігається надійна електрична безвідмовність ланцюга повернувши тяговий струм, зменшується кількість дросель-трансформаторів і знижуються втрати енергоспоживання на тягу поїздів. ТРК мають умови електромагнітної сумісності як з використовуваним, так і з актуальними електрорухомим складом, як в Україні, так і за кордоном.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сайт StudFiles / Тональні рейкові кола [Електронний ресурс] - Режим

д

Байт МегаНавчалка / Етапи розвитку тональних рейкових кіл [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://megaobuchalka.ru/5/36057.html>.

т 3. Федоров, Н.Е. Сучасні системи автоблокування з тональними рейковими колами [Текст]: навчальний посібник / Н.Е. Федоров. - Самара: САМГАПС, 2004. – 132 с.

с

Ожиганов А.А Порівняння аналогових і цифрових фільтрів [Електронний

р

Сайт Хабр / Симетричні НЧ-ВЧ фільтри [Електронний ресурс] - Режим

д

е

е

е

е

н 11. Дьяконов В. П. MATLAB R2007/2008/2009 для радіоінженерів. - М.:

МК Пресс, 2010. - 976 с.

р 12. Солоніна, А.І. Цифрова обробка сигналів. Моделювання в MATLAB /

А.І. Солоніна, С.М. Арбузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 816 с.

н 13. Хадлстон К. Проектування інтелектуальних датчиків за допомогою

ф

ф

і

ф

н

р

р

ф

е

н

б