

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання курсової та розрахунково-графічної робіт з дисциплін:
«Електронні системи», «Інформаційно-вимірювальні та обчислювальні
системи» та «Інформаційно-вимірювальні системи»
(для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей)**

УДК 621.38-027.45](072)

М 54

Методичні вказівки до виконання курсової та розрахунково-графічної робіт з дисциплін : «Електронні системи», «Інформаційно-вимірювальні та обчислювальні системи» та «Інформаційно-вимірювальні системи» (для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей) [Електронний ресурс] / уклад. О.В. Вовна, Г.А. Лактіонова. – Покровськ : ДонНТУ, 2021. – 55 с.

У методичних вказівках наведено завдання до курсової та розрахунково-графічної робіт «Визначення і забезпечення основних параметрів електронної системи», а також методичні вказівки до її виконання.

Укладачі: Вовна О.В. – професор, д.т.н., зав. каф. електронної техніки;
Лактіонова Г.А. – асистент каф. електронної техніки.

Рецензент Колларов О.Ю. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри електричної інженерії.

Відповідальний за випуск: Вовна О.В. – завідувач кафедри електронної техніки, д.т.н., професор.

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 2 від 28.09.2021 р.

Розглянуто на засіданні кафедри електронної техніки,
протокол № 3 від 23.09.2021 р.

©ДонНТУ, 2021 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ЗАВДАННЯ ДО РОБОТИ ТА ОПИС СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ.....	5
1.1. Текст завдання.....	5
1.2. Опис системи контролю.....	5
2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	14
3. ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	20
4. ОЦІНЮВАННЯ РОБОТИ.....	20
5. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ.....	21
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	44
ДОДАТОК А.....	45

ВСТУП

У зв'язку з активним розвитком інформаційних технологій та метрології все більше застосування знаходять інформаційно-вимірювальні системи, які складаються з вимірювальних, обчислювальних, допоміжних технічних засобів для отримання та обробки інформації з метою надання її в необхідному вигляді споживачеві.

Метою даної роботи є закріплення теоретичного матеріалу та розвиток навиків його практичного використання.

Тема роботи – «Визначення і забезпечення основних параметрів електронної системи».

Перед виконанням кожного завдання необхідно детальне вивчення лекційного матеріалу, рекомендованої літератури та методичних вказівок до цих завдань. Ці методичні вказівки містять матеріали курсової роботи.

Варіанти завдань визначаються двома останніми цифрами залікової книжки студента: остання цифра номеру варіанту повинна співпадати із останньою цифрою залікової книжки, номери варіантів від 1 до 10 призначаються у разі парних передостанніх цифр залікової книжки, номери варіантів від 11 до 20 призначаються у разі непарних передостанніх цифр залікової книжки. Перелік варіантів завдань наведено у таблиці завдань у Додатку А.

Робота оформляється відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015. Графіки повинні бути виконані за допомогою графічних пакетів прикладних програм із вказівкою на осях координат, величин, що відкладаються, та одиниць їх вимірювання у системі СІ. Всі рисунки повинні бути пронумеровано та озаглавлено.

Виконання роботи повинно супроводжуватися необхідними поясненнями, а текст – обов'язковими посиланнями на рисунки та перелік використаної літератури.

Перетворення, пов'язані із виводами аналітичних залежностей, повинні виконуватися у загальному вигляді, цифрові значення підставляються у кінцеві формули.

1 ЗАВДАННЯ ДО РОБОТИ ТА ОПИС СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

1.1 Текст завдання

Систему контролю задано структурною схемою та алгоритмом функціонування. Структурна система контролю складається із двох підсистем: підсистеми збору та підсистеми виводу даних. Відомі характеристики структурних елементів та вхідних сигналів. Необхідно обґрунтувати вибір параметрів системи, якщо відносна похибка передачі аналогових сигналів не повинна перевищувати $\delta_{\Sigma}, \%$. Кожна із підсистем має 16-розрядну мікропроцесорну підсистему управління процесами збору, накопичення, передачі та виводу даних. Структурні елементи МПС вибору не підлягають. Варіанти початкових даних наведено у табл. 1 [Додаток А].

1.2 Опис системи контролю

Структурна схема підсистеми контролю. Підсистема контролю має дві процесорні підсистеми: підсистему збору (рис. 1.1) та підсистему виводу даних (рис. 1.2).

Підсистема збору даних має у своєму складі:

- чотири вимірювальні канали, вихідні сигнали – x_1, x_2, x_3, x_4 ;
- нормуючий підсилювач – НП у кожному із каналів;
- мультиплексор аналогових сигналів – МАС із адресним управлінням;
- аналого-цифровий перетворювач – АЦП;
- мікропроцесорну підсистему управління процесами збору, накопичення та передачі даних (МПС-УС), яка містить: мікропроцесор – МП; постійно-запам'ятовуючий пристрій – ПЗП; буферні регістри – БР₁, БР₂, БР₃; оперативно-запам'ятовуючий пристрій – ОЗП; таймер, що програмується – ПТ із генераторами імпульсів Γ_1, Γ_2 ; пульт управління – ПУ; відео-термінальний пристрій – ВТП; апаратуру передачі даних – АПД, яка забезпечує сполучення підсистеми збору даних із каналом зв'язку (КЗ).

Підсистема виводу даних (МПС-В) має у своєму складі:

- апаратуру передачі даних – АПД;
- мікропроцесорна підсистема управління процесами прийому даних із каналу зв'язку та вивід даних містить: мікропроцесор – МП; постійно-запам'ятовуючий пристрій – ПЗП; буферні регістри – БР₁, БР₂, БР₃; оперативно-

запам'ятовуючий пристрій – ОЗП; таймер, що програмується – ПТ із генераторами імпульсів Γ_1, Γ_2 ; пульт управління – ПУ; відео-термінальний пристрій – ВТП; цифровий демультимплексор – ДМ; чотири цифро-аналогові перетворювачі – ЦАП, у кожному із каналів; масштабні підсилювачі – МП, у кожному із каналів.

Нормуючі та масштабні підсилювачі мають регульований вихід так, щоб вхідний сигнал належав до діапазону:

$$[0,1 \cdot U_{BX \max} \dots 1,0 \cdot U_{BX \max}]$$

та доходив до максимального рівня вихідного сигналу.

Функціонування підсистеми контролю. Алгоритм функціонування підсистеми збору інформації наведено на рис. 1.3, реалізується циклічно із періодом кратним максимальному кроку дискретизації вхідних сигналів – $\Delta t_{\text{кадру}}$. Цей інтервал повинен бути кратним не тільки максимальному кроку дискретизації одного із вхідних сигналів, але і періодам дискретизації усієї решти вхідних сигналів також. Мінімальний період дискретизації одного із вхідних сигналів — $\Delta t_{\text{каналу min}}$, визначає період внутрішнього циклу опитування каналів. Причому у внутрішньому циклі опитування кожного із каналів відводиться часова позиція (рис. 1.4). Якщо у цьому внутрішньому циклі виконується опитування каналу, то це здійснюється за рахунок заповнення часової позиції. Якщо не виконується опитування каналу, то часова позиція залишається не заповненою.

Відповідно до порядку опитування каналів (рис. 1.4), для кожного внутрішнього циклу встановлюється набір опитуваних каналів, що оформляється у вигляді значень вектору:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\},$$

$$\text{де } a_i = \begin{cases} 1, & \text{— заповнена часова позиція;} \\ 0, & \text{— не заповнена часова позиція.} \end{cases}$$

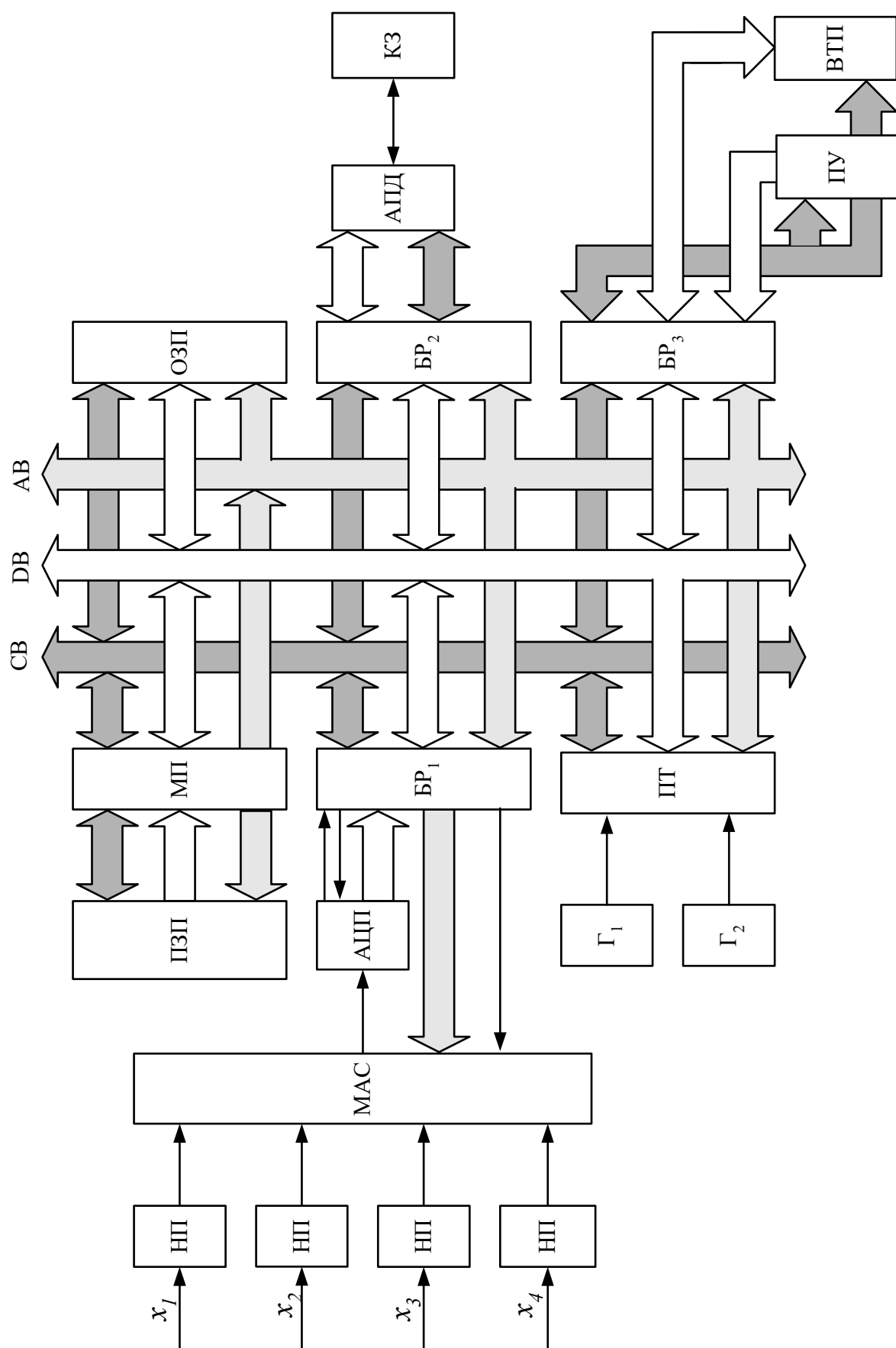


Рисунок 1.1 – Процесорний набіркомплект збору інформації

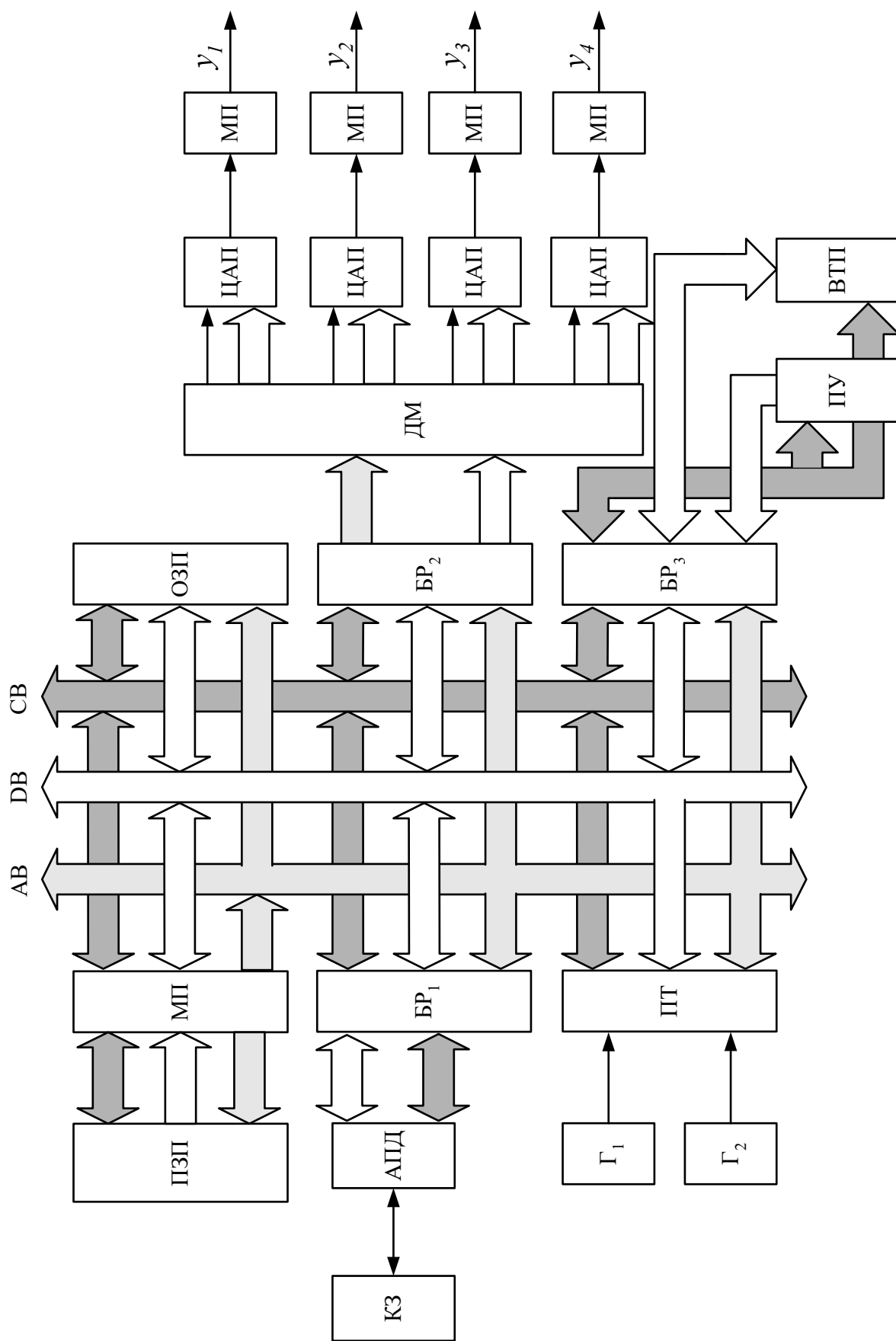


Рисунок 1.2 – Процесорний набіркомплект виводу інформації

Реалізація внутрішнього циклу припускається відповідно до дисципліни опитування каналів реалізацію її фази – даного внутрішнього циклу, на якому виконується опитування тільки канали із заповненими часовими позиціями. Необхідну тривалість внутрішнього циклу забезпечує перший канал програмованого апаратного таймеру ПТ, за яким формуються сигнали переривання із інтервалом $\Delta t_{\text{каналу min}}$. Сигнал переривання таймером формується у момент обнуління віднімаючого лічильника першого каналу ПТ₁. На початку циклу у лічильник записується двійкова константа, яка відповідає інтервалу $\Delta t_{\text{каналу min}}$. Синхросигнали на лічильник поступають від першого генератору часових інтервалів Г₁.

Опитування каналу (часова позиція заповнена) вимагає:

- формування адреси каналу;
- подачі на МАС адреси каналу та синхросигналу запису адреси;
- перевід процедури опитування у стан очікування та очікування протягом часу включення МАС (перехідного процесу встановлення вихідної напруги МАС – $t_{\text{вкл МАС}}$);
- подачі на АЦП сигналу «Пуск АЦП»;
- перевід процедури опитування у стан очікування та очікування протягом часу перетворення АЦП ($t_{\text{перетв АЦП}}$);
- кінець перетворення фіксується сигналом АЦП – «АЦП готов»;
- введення в якості сигналу переривання «АЦП готов» та ініціація продовження процедури опитування каналу;
- введення двійкового коду АЦП до ОЗП;
- перехід до опитування наступного каналу.

Очікування включення МАС реалізується другим каналом ПТ. Для цього у ньому записується двійкова константа, яка відповідає часу очікування включення МАС. Формування сигналу переривання здійснюється другим генератором часових інтервалів Г₂. Час опитування каналу із урахуванням високої продуктивності МПС визначається як:

$$t_{\text{опит каналу}} = t_{\text{вкл МАС}} + t_{\text{перетв АЦП}}.$$

Пасивний канал (часову позицію не заповнено) для збереження часової діаграми роботи підсистеми збору вимагається: очікування МПС збору

протягом $t_{\text{опит каналу}}$ та перехід до опитування наступного каналу або закінчення циклу опитування (всі канали опитано). Оскільки опитування активного каналу (часову позицію заповнено) і пасивного (часову позицію не заповнено) події несумісні, то очікування збору протягом $t_{\text{опит каналу}}$ реалізується тим самим каналом ПТ із іншою двійковою константою, яка відповідає інтервалу $t_{\text{опит каналу}}$.

Формування кадру даних здійснюється програмними засобами послідовним перебором усіх фаз (внутрішніх циклів опитування каналів) процесу збору даних. Накопичені дані розміщуються в ОЗП мікропроцесорної підсистеми управління збором даних.

Передача даних реалізується апаратурою АПД та здійснюється блоками із використанням ітераційного кодування. У кожному блоці розміщується ціле число інформаційних кадрів. Перед видачею даних до АПД МПС-УС формується число кадрів у псевдоблоці та за сигналом готовності АПД передає його до АПД. Продуктивність АПД та об'єм ОЗП достатні для забезпечення безперервних процесів збору та передачі даних.

Отримання даних із АПД та введення їх до МПС-В виконується за ініціативними сигналами готовності АПД, які вводяться до системи переривань МПС-В та відповідної програми МПС-В. Блоки даних розбиваються на інформаційні кадри та фази (внутрішні цикли опитування каналів) і, відповідно до векторів активності каналів $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$, у режимі реального часу через ДМ виводяться до каналних ЦАП. Режим функціонування забезпечується підсистемою реального часу, яка включає двоканальний програмований таймер ПТ із генераторами часових інтервалів Γ_1 і Γ_2 . Першим каналом ПТ формуються сигнали переривання із інтервалом $\Delta t_{\text{каналу min}}$, які виконують ті ж функції, що і у МПС-УС. Другим каналом ПТ формуються сигнали із інтервалом $t_{\text{опит каналу}}$, які забезпечують точне розміщення сигналів на часових позиціях. Масштабними підсилювачами уніфіковані вихідні сигнали ЦАП приводяться до рівнів вхідних сигналів $y_1 - y_4$.

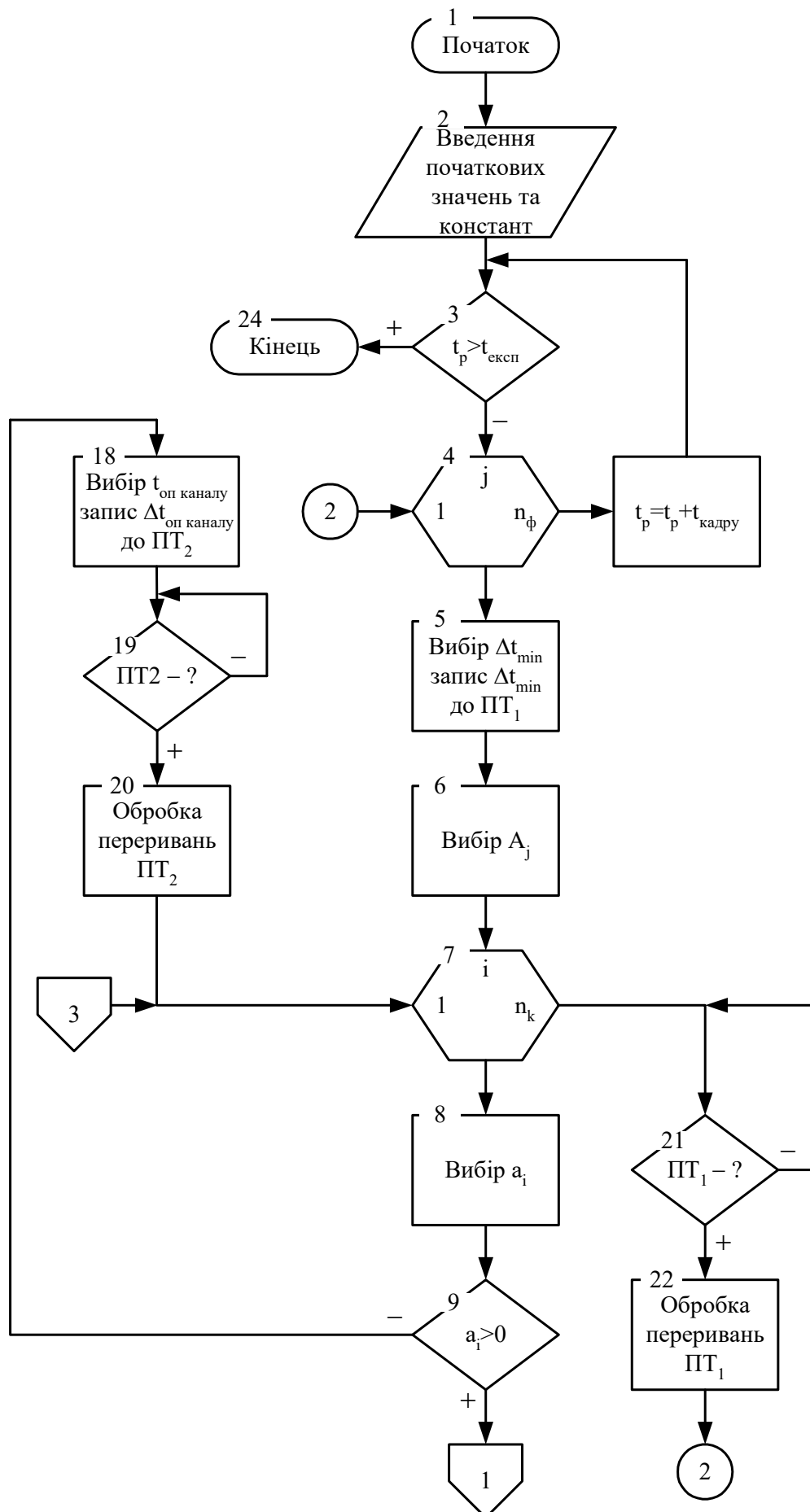


Рисунок 1.3 – Алгоритм функціонування МПС збору інформації



Продовження рис. 1.3

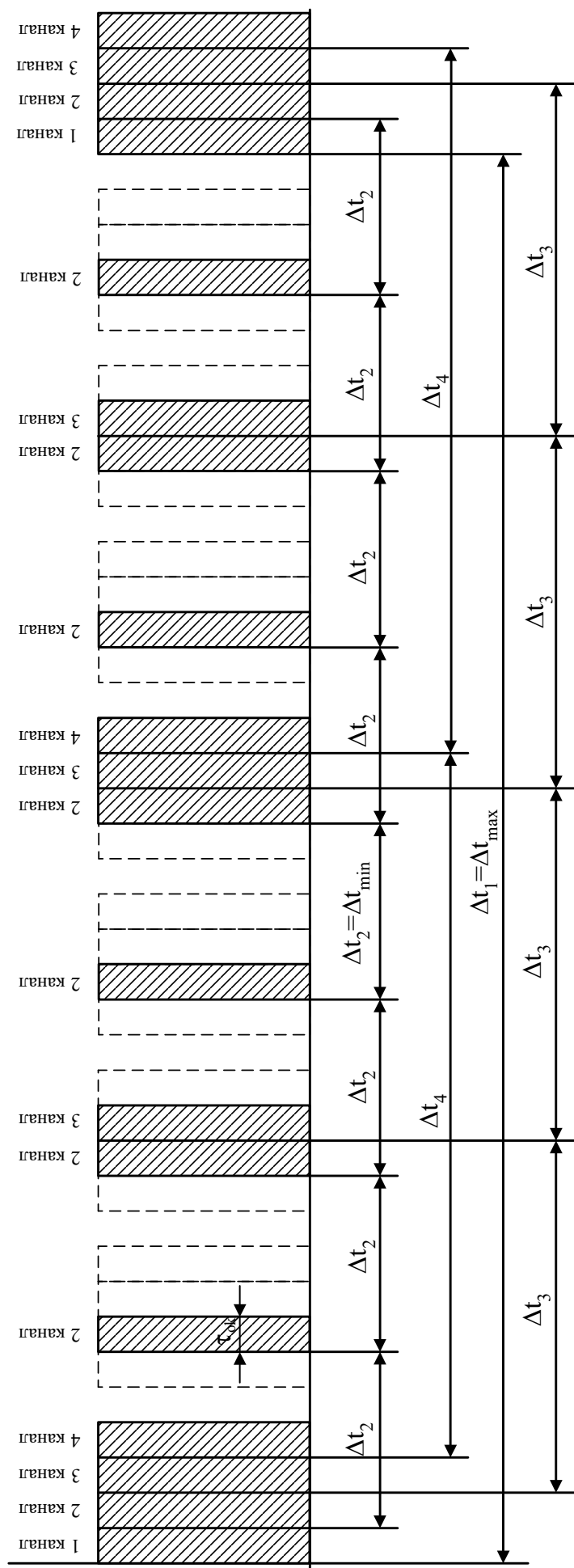


Рисунок 1.4 – Приклад реалізації часової діаграми процесу опитування каналів із різними значеннями періоду опитування (кроку дискретизації)

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Сумарна похибка передачі аналогових даних визначається взаємно незалежними похибками обробки аналогових сигналів послідовного включення пристроїв та за своїм характером вони є не виключеною частиною систематичної похибки цих пристроїв:

- нормуючі підсилювачі – НП у кожному із каналів;
- мультиплексор аналогових сигналів – МАС загальний для всіх каналів;
- аналого-цифровий перетворювач – АЦП те ж є загальним для всіх каналів;
- цифро-аналоговий перетворювач – ЦАП у кожному із каналів;
- масштабні підсилювачі – МП у кожному із каналів.

На першому етапі розрахунку, коли пристрої ще не обрані і не відомі їх показники точності, вважають, що похибки окремих пристроїв обмежені (інших обмежень немає) та вони підпорядковуються рівномірному закону розподілу (найсприятливіший розподіл відповідно до принципу максимуму ентропії). Межі сумарної похибки визначаються співвідношенням:

$$\Delta_{H,B} = \sum_{i=1}^n m_i \pm \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d_i^2}, \quad (2.1)$$

де m_i – математичне очікування похибки i -го пристрою; d_i – напівширина діапазону похибки i -го пристрою; λ_{Σ} – коефіцієнт, який залежить від довірчої вірогідності P_i та P_{Σ} , числа частинних похибок та законів розподілу частинних похибок; при $P_i = P_{\Sigma} = 0,95$ та числі частинних похибок не менше чотирьох, нормальному законі розподілу $\lambda_{\Sigma} \cong 1,2$; при $P_{\Sigma} = 0,95$ та рівномірному розподілі складових $\lambda_{\Sigma} \cong 1,1$; $\Delta_{H,B}$ – нижня та верхня межі сумарної похибки; n – число пристроїв у послідовному колі.

На першому етапі вважають, що:

- математичні очікування похибок усіх пристроїв дорівнюють нулю;
- середньоквадратична похибка дискретизації (відновлення дискретизованих сигналів) складає: $\eta = 40 \%$ (для варіантів 1 – 10) і $\eta = 30 \%$ (для варіантів 11 – 20) від сумарної середньоквадратичної похибки;
- решта складових похибок вважається рівними;
- у перелік складових похибок включаються наступні:

- нормуючих підсилювачів;
- мультиплексору аналогових сигналів;
- масштабних підсилювачів;
- ЦАП має три складові:
 - методичну процесу квантування;
 - випадкову (не виключену систематичну);
 - процесу відновлення дискретизованих сигналів.
- АЦП має дві складові:
 - методичну процесу квантування;
 - випадкову (не виключену систематичну).

Методична похибка процесу квантування враховується один раз і того з пристроїв, який має менше число двійкових розрядів.

Введені обмеження на параметри похибок є одним із критеріїв вибору згідно переліку пристроїв [Додаток А].

Відповідно до введених обмежень співвідношення (2.1) приймає наступний вигляд:

$$\Delta_{\max} = \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d_{\text{дискр}}^2 + \sum_{i=1}^6 d_i^2}. \quad (2.2)$$

Пропорції, які введено для середньоквадратичних величин справедливі і для квадратів найбільших значень, тому:

$$\left(\frac{\Delta_{\max}}{\lambda_{\Sigma}} \right)^2 \cdot \eta = d_{\text{дискр}}^2; \quad d_{\text{дискр}} = \frac{\Delta_{\max}}{\lambda_{\Sigma}} \cdot \sqrt{\eta}; \quad (2.3)$$

$$\left(\frac{\Delta_{\max}}{\lambda_{\Sigma}} \right)^2 \cdot (1 - \eta) = 6 \cdot d_i^2; \quad d_i = \frac{\Delta_{\max}}{\lambda_{\Sigma}} \cdot \sqrt{\frac{1 - \eta}{6}}. \quad (2.4)$$

2. Другим критерієм вибору пристроїв є діапазон зміни сигналу. Визначення цього параметру для кожного із сигналів починається із уточнення характеристик, якими задані сигнали:

- сигнали випадкові і стаціонарні,
- задані спектральною густиною потужності:
 - у спектрі сигналу на частоті $\omega = 0$ відсутня дельта функція, це

означає, що середнє значення сигналу дорівнює нулю;

– описи сигналів не містять даних про розподіл їх миттєвих значень.

Для визначення діапазону зміни сигналу даних не достатньо. Задача визначення діапазону може бути вирішена за наявності функції густини вірогідності миттєвих значень. Цю функцію слід визначити із умов забезпечення максимального розкиду значень сигналу при обмеженнях на його середнє значення та дисперсію (дисперсія визначається через спектральну густину потужності), а так само природне обмеження на функцію густини вірогідності (інтеграл від цієї функції за всім діапазоном зміни аргументу дорівнює одиниці). У разі закону розподілу із обмеженим аргументом, за діапазон зміни сигналу приймається діапазон зміни аргументу цього закону. При не обмеженому законі розподілу за діапазон зміни сигналу приймається довірчий інтервал, у якому зосереджені значення аргументу із довірчою вірогідністю α . Рекомендується прийняти $\alpha = 0,997$.

При виборі нормуючих пристроїв призначається діапазон їх вихідних сигналів, який підтримується при виборі решти пристроїв обробки аналогових сигналів у вигляді стандарту для системи контролю. Номенклатурний ряд стандартних пристроїв наведено у табл. 3 – 9 [Додаток А].

3. Вибір періоду опитування каналів (визначення кроку дискретизації) здійснюється наступним чином:

– уточнюється критерій вибору періоду опитування каналів виходячи із наявних даних про сигнали та метод відновлення сигналу в аналозі вигляді;

– визначається формула, яка зв'язує період опитування каналу із показником точності відновлення сигналу в аналоговій формі; уточнюється значення показника точності;

– для всіх чотирьох каналів визначаються значення періоду опитування; встановлені значення періоду опитування каналів коректуються:

– їх значення змінюються проти розрахункових таким чином, щоб показники точності істотно не погіршали, значення періоду опитування у різних каналах повинні бути кратними, найменше загальне кратне періоду опитування рекомендується забезпечити не більш 20;

– скоректовані значення періодів опитування використовуються для побудови часової діаграми опитування каналів підсистемою збору.

Інтегральні перетворення можуть бути виконані у символьному вигляді із використанням пакету прикладних програм Mathcad або із використанням таблиць стандартних інтегралів.

4. Реалізація функціонування підсистеми збору відповідно до часової діаграми здійснюється підсистемою реального часу МПС. Тактування процесів виконується двоканальним програмованим таймером. Перший канал таймеру визначає запуск фаз опитування каналів із періодичністю $\Delta t_{\text{каналу min}}$. Двійкову константу N_1 для цього каналу таймеру рекомендується вибирати $2/3N_{1\text{тайм}}$ (для варіантів 1 – 10) і $4/5N_{1\text{тайм}}$ (для варіантів 11 – 20) де $N_{1\text{тайм}}$ – ємність лічильника таймеру. Тоді частоту генератору F_1 визначиться як:

$$F_1 = \frac{N_1}{\Delta t_{\text{каналу min}}}. \quad (2.5)$$

Після округлення частоти генератору до стандартної (частоти кварцових резонаторів наведено у табл. 10 [Додаток А]) для фіксованого часового інтервалу уточнюється значення двійкової константи.

Аналогічно визначається двійкова константа N_2 та частота генератору F_2 , який створює затримку у роботі МПС на час $t_{\text{опит каналу}}$ при обслуговуванні пасивного каналу та дорівнює у сумі часу включення МАС та перетворення АЦП. Двійкова константа N_3 при обслуговуванні активного каналу визначається частотою F_2 та інтервалом $t_{\text{опит каналу}}$, який дорівнює часу включення МАС. Константи N_1 , N_2 і N_3 у розрахунках представляються у десяткових та двійкових еквівалентах.

5. Вибір типу цифрових демультиплексорів здійснюється за розрядністю слова даних та числу каналів.

6. При виборі апаратури передачі даних повинно бути виконана умова: інформативність підсистеми збору (швидкість утворення інформації) не повинна перевищувати швидкості передачі інформації. Це ж можна інтерпретувати у наступному вигляді: за час формування одного або декількох кадрів інформації (число кадрів визначається параметрами інформаційного блоку АПД) за допомогою каналу зв'язку може бути передано не менший об'єм інформації. Оцінки цих параметрів виконуються наступним чином.

Визначається об'єм інформаційного кадру (число двійкових розрядів слів даних одного інформаційного кадру):

$$K_{\text{кадру}} = k_{\text{АЦП}} \cdot \left(\frac{\tau_{\text{кадру}}}{\Delta t_1} + \frac{\tau_{\text{кадру}}}{\Delta t_2} + \frac{\tau_{\text{кадру}}}{\Delta t_3} + \frac{\tau_{\text{кадру}}}{\Delta t_4} \right), \quad (2.6)$$

де $k_{\text{АЦП}}$ – розрядність вихідного коду АЦП; $\tau_{\text{кадру}}$ – час формування одного інформаційного кадру визначається згідно побудованої часовій діаграмі; Δt_i – скоректовані значення періодів опитування каналів; $n_i = \frac{\tau_{\text{кадру}}}{\Delta t_i}$ – число слів даних i -го каналу розміщених в одному інформаційному кадрі.

Швидкість формування інформації встановлюється як:

$$V_{\text{кадру}} = \frac{K_{\text{кадру}}}{\tau_{\text{кадру}}}, [\text{бод}] \quad (2.7)$$

Останній параметр використовується для попереднього вибору АПД. Рекомендується на цьому етапі розрахунку швидкість передачі АПД приймати із умови:

$$V_{\text{АПД}} \geq (1,2 \dots 1,5) \cdot V_{\text{кадру}}. \quad (2.8)$$

Для перевірки відповідності вибраного АПД підсистемі збору необхідно:

- передача даних здійснюється без повторної передачі блоків;
- передача даних ведеться із фіксованою швидкістю;
- у блоці розміщується ціле число інформаційних кадрів;
- кожен рядок блоку містить одне слово даних.

Структуру передавального блоку наведено на рис. 2.1.

Із структури передавального блоку видно, що його об'єм більше об'єму псевдоблоку сформованого МПС-УС. Тому за критерієм вірності вибору АПД слід прийняти таку умову:

$$t_{\text{передачі блоку}} \leq t_{\text{формування псевдоблоку}}. \quad (2.9)$$

Час передачі блоку даних АПД визначається як:

$$t_{\text{передачі блоку}} = \frac{(n_{\text{бл}} + 1) \cdot (k_{\text{бл}} + 1)}{V_{\text{АПД}}}, \quad (2.10)$$

де $n_{\text{бл}}$ і $k_{\text{бл}}$ – число інформаційних слів у кодованому блоці та їх розрядність.

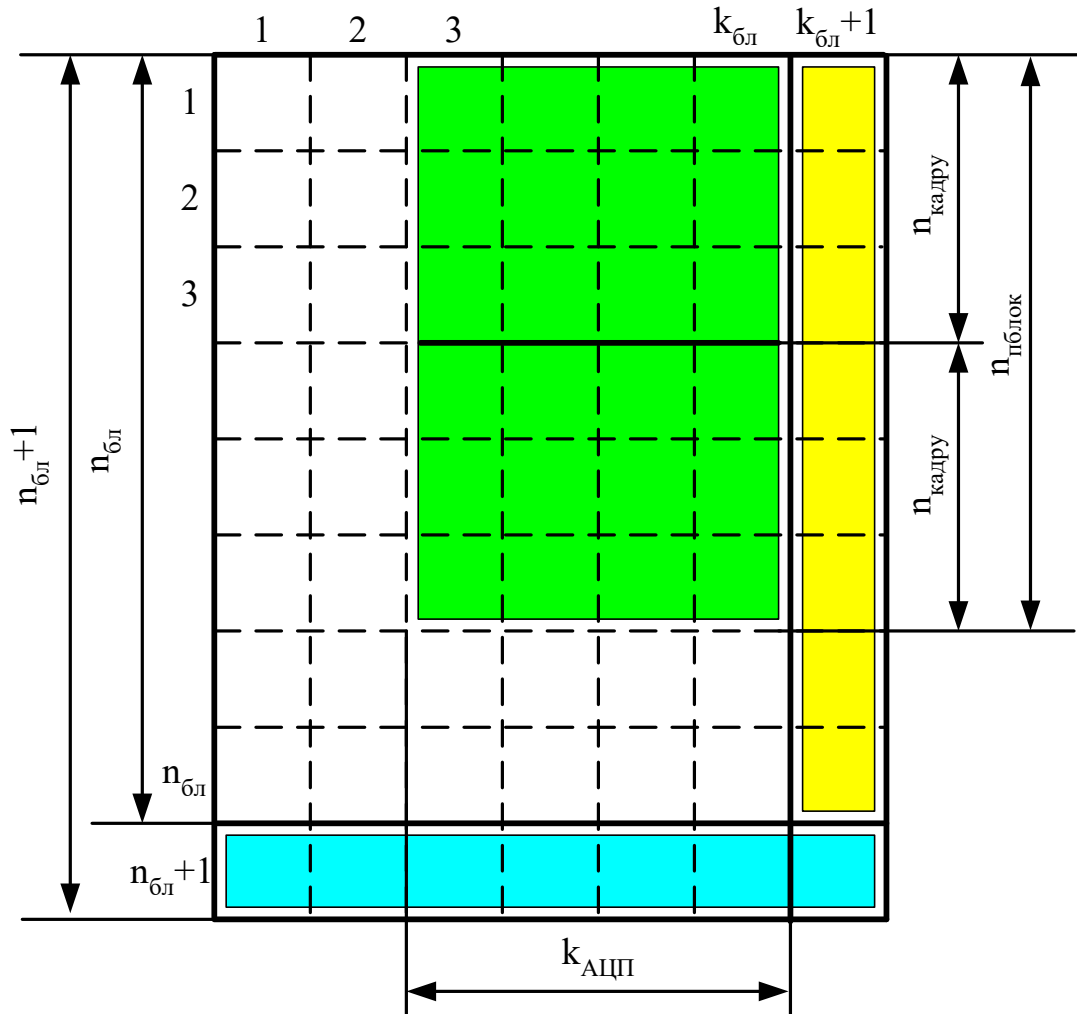


Рисунок 2.1 – Структура передавального блоку АПД

Часу формування псевдоблоку відповідає часу формування цілого числа інформаційних кадрів, що розміщуються в одному передавальному блоці. Цей інтервал визначається як:

$$t_{\text{формування псевдоблоку}} = \tau_{\text{кадру}} \cdot \text{int} \left(\frac{n_{\text{бл}}}{\sum_{i=1}^4 n_i} \right). \quad (2.11)$$

Вибір варіантів АПД та перевірка їх придатності виконують до тих пір, поки не буде виконана умова (2.9).

7. Висновок про вірність вибору устаткування та прийняті параметри електронної системи здійснюється на підставі перевірки виконання основних вимог, які задано у завданні. Такою вимогою є забезпечення заданої точності передачі аналогових сигналів. Перевірка максимальної похибки та порівняння її із гранично допустимою, заданою в умові, виконується для кожного із чотирьох каналів. При повному задоволенні вимог завдання робиться висновок про вірність виконаних розрахунків.

Оцінюються параметри всіх складових похибки: оцінці підлягають середні значення похибок та межі діапазону їх розміщення. Сумарна похибка каналу визначається за формулою (2.1).

3 ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

У пояснювальній записці до роботи приводиться:

1. Завдання та початкові дані.
2. Аналіз розподілу сумарної похибки системи.
3. Розрахунок вимог до показників точності структурних елементів підсистем.
4. Визначення періоду опитування сигналів:
 - 4.1. Розрахунок періоду опитування аналогових каналних сигналів;
 - 4.2. Корекція кроку опитування для кожного каналу;
 - 4.3. Часова діаграма опитування каналів.
5. Вибір стандартних пристроїв обробки сигналів.
6. Розрахунок параметрів системи реального часу, яка забезпечує заданий алгоритм опитування каналів (часова діаграма опитування каналів).
7. Оцінка сумарної похибки синтезованої системи за усіма каналами та порівняння її із тією, що вимагається.
8. Висновки за виконаними розрахунками.

4 ОЦІНЮВАННЯ РОБОТИ

Оцінка за роботу визначається за двома частинами: оформлення пояснювальної записки та публічний захист. Детальне розподілення балів наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розподіл балів за роботу

Складові пояснювальної записки							Захист
Скл1	Скл2	Скл3	Скл4	Скл5	Скл6	Скл7	
3	5	7	9	6	5	5	60

Пояснювання змісту складових:

Скл1 – здійснено аналіз розподілу сумарної похибки системи;

Скл2 – виконано розрахунок вимог до показників точності структурних елементів підсистем;

Скл3 – визначено період опитування сигналів;

Скл4 – здійснено вибір стандартних пристроїв обробки сигналів;

Скл5 – виконано розрахунок параметрів системи реального часу, яка забезпечує заданий алгоритм опитування каналів (часову діаграму опитування каналів);

Скл6 – здійснена оцінка сумарної похибки синтезованої системи за усіма каналами та порівняння її із тією, що вимагається.

Скл7 – оформлення пояснювальної записки відповідає всім вимогам.

5 ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ

1. Вихідні дані для системи контролю:

– максимальне значення відносної похибки: $\delta_{\Sigma} = 1\%$;

– спектральні щільності потужності:

1) Канал №1 – $S_0 = 25 \text{ В}^2 \cdot \text{с}$, $b = 2 \text{ с}$, $S_{xx}(\omega) = S_0 \cdot e^{-b^2 \omega^2}$;

2) Канал №2 – $S_0 = 0,0785 \text{ В}^2 \cdot \text{с}$, $\omega_m = 0,45 \text{ с}^{-1}$,

$$S_{xx}(\omega) = \begin{cases} S_0, & -\omega_m \leq \omega \leq \omega_m; \\ 0, & |\omega| > |\omega_m|. \end{cases}$$

3) Канал №3 – $S_0 = 0,04 \text{ В}^2 \cdot \text{с}$, $a = 0,75 \text{ с}^{-1}$, $S_{xx}(\omega) = S_0 \cdot \frac{a^4}{(a^2 + \omega^2)^2}$;

4) Канал №4 – $S_0 = 75 \text{ В}^2 \cdot \text{с}$, $a = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, $b = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$,

$$S_{xx}(\omega) = S_0 \cdot \frac{a^2 \cdot (b^2 + \omega^2) + b^2 \cdot (a^2 + \omega^2)}{(a^2 + \omega^2) \cdot (b^2 + \omega^2)}.$$

2. Аналіз розподілу сумарної похибки системи.

На першому етапі розрахунку покладемо, що:

- математичні очікування похибок всіх пристроїв обробки аналогових сигналів мізерно малі;
- середньоквадратична похибка дискретизації (відновлення дискретизованих сигналів) становить: $\eta = 40\%$ від сумарної середньоквадратичної похибки;
- інші складові похибки вважаємо рівними;
- у перелік складових похибки включаються такі: нормуючих підсилювачів; мультиплексора аналогових сигналів; масштабного підсилювача; ЦАП має три складові – методичну процесу квантування, випадкову (не виключену систематичну), процесу відновлення дискретизованих сигналів; АЦП має дві складові – методичну процесу квантування, випадкову (не виключену систематичну).

Тоді похибка відновлення дискретизованих сигналів та інші складові похибки, що є рівними, не повинні перевищити величин ($\eta = 0,4$, $\lambda_{\Sigma} = 1,1$ – коефіцієнти, що враховують приватні розподілу похибок та частку похибки дискретизації в сумарній похибці; $\Delta_m = 0,01$ – абсолютне значення похибки):

- відносне значення максимальної похибки дискретизації

$$d_{\text{м дискр}} = \frac{\Delta_m}{\lambda_{\Sigma}} \cdot \sqrt{\eta} = 5,75 \cdot 10^{-3};$$

- відносне значення максимальної похибки інших складових

$$d_{\text{мінім}} = \frac{\Delta_m}{\lambda_{\Sigma}} \cdot \sqrt{\frac{(1-\eta)}{6}} = 2,875 \cdot 10^{-3}.$$

3. Встановлення вимог за точністю до структурних елементів схеми.

Вибір періоду опитування каналів, виходячи зі показника точності як для всієї системи, так і для процесу дискретизації, повинен бути призначений відповідно до критерію максимальної похибки. Але деякі сигнали (2-го і 4-го каналів) не мають похідні, тобто не є гладкими процесами, тому точність

відновлення цих сигналів визначається середньоквадратичним показником похибки. Отже, покладемо, що похибка відновлення сигналів у всіх каналах визначається відповідно до одного критерію – критерія середньоквадратичної похибки.

Визначимо кореляційні функції сигналів, дисперсії і нормовані кореляційні функції.

Характеристики сигналу 1-го каналу

Графік спектральної щільності представлено на рис. 5.1.

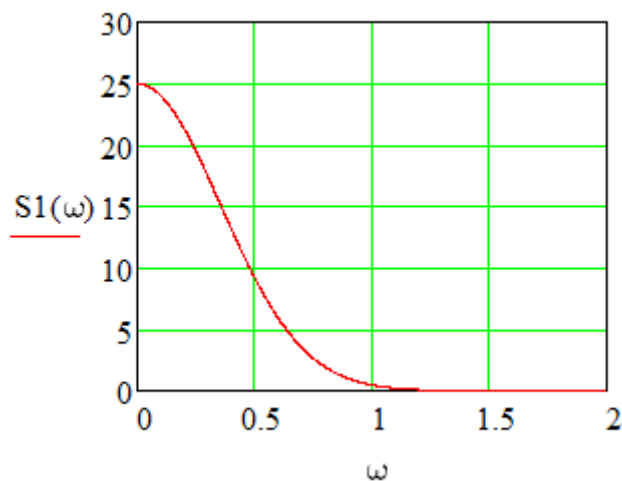


Рисунок 5.1 – Графік спектральної щільності сигналу 1-го каналу

Кореляційна функція (для всіх каналів) стаціонарних сигналів знаходиться як косинус-перетворення від спектральної щільності (рис. 6.2):

$$R1_{xx}(\tau) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S_{xx}(\omega) \cdot \cos(\omega \cdot \tau) d\omega = \frac{S_0}{2 \cdot b \cdot \sqrt{\pi}} \cdot e^{\frac{-\tau^2}{4b^2}}.$$

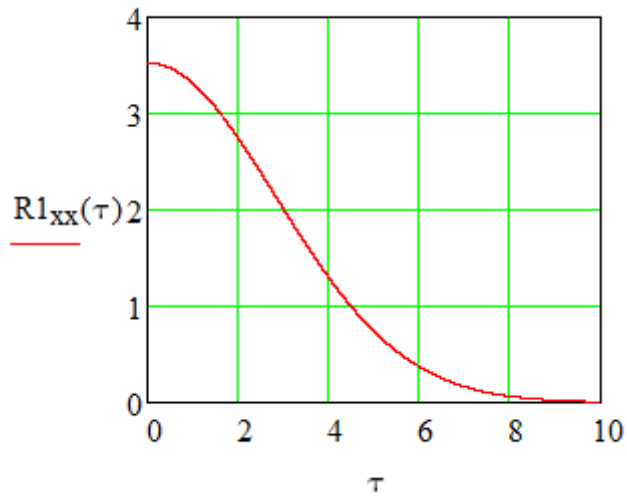


Рисунок 5.2 – Графік автокореляційної функції сигналу 1-го каналу

Дисперсія стаціонарного сигналу визначається співвідношенням:

$$Dl_x = Rl_{xx}(\tau = 0) = \frac{S_0}{2 \cdot b \cdot \sqrt{\pi}} = 3,52 \text{ В}^2.$$

Нормована кореляційна функція визначається як (рис. 6.3):

$$rl_{xx}(\tau) = \frac{Rl_{xx}(\tau)}{Dl_x} = e^{\frac{-\tau^2}{4b^2}}.$$

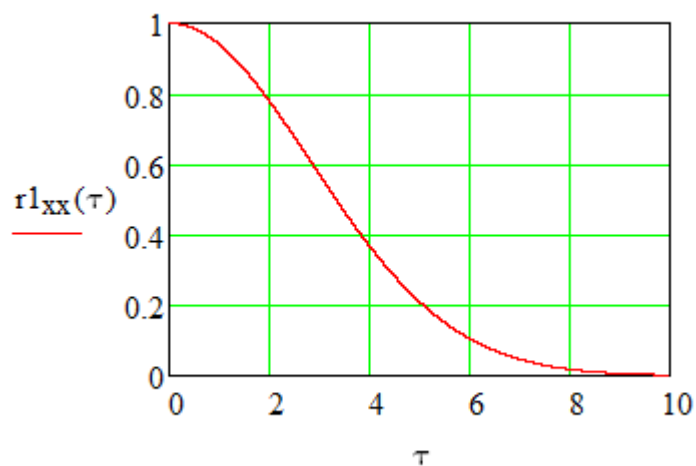


Рисунок 5.3 – Графік нормованої автокореляційної функції сигналу 1-го каналу

Ці ж характеристики, використовуючи ті ж співвідношення, встановлюються для сигналів інших каналів.

Характеристики сигналу 2-го каналу

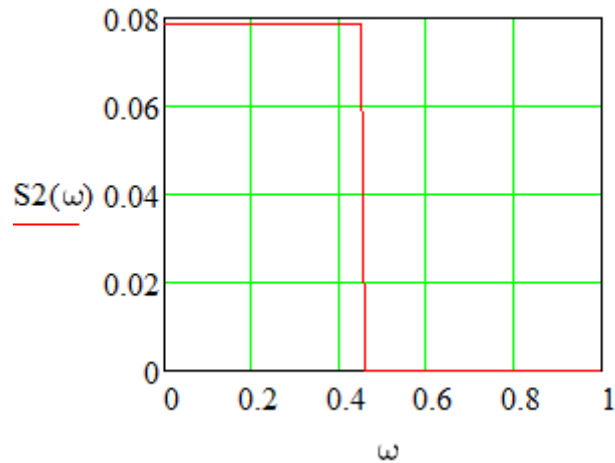


Рисунок 5.4 – Графік спектральної щільності сигналу 2-го каналу

$$R2_{xx}(\tau) = \frac{S_0 \cdot \omega_m}{\pi} \cdot \frac{\sin(\omega_m \cdot \tau)}{\omega_m \cdot \tau}.$$

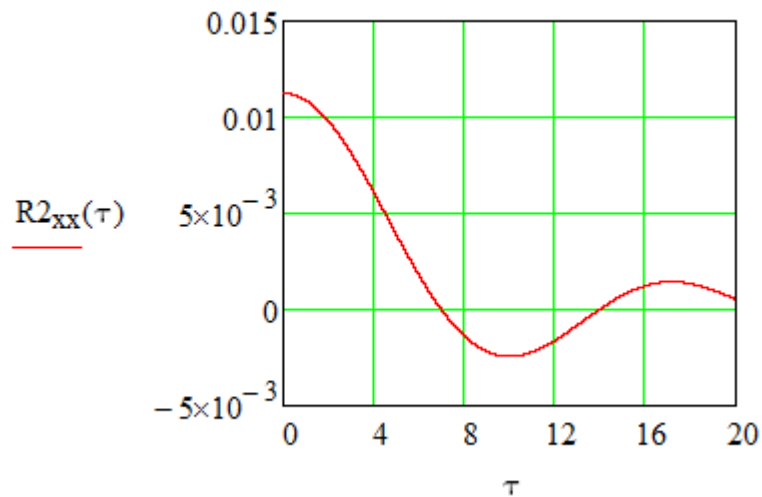


Рисунок 5.5 – Графік автокореляційної функції сигналу 2-го каналу

$$D2_x = R2_{xx}(\tau = 0) = \frac{S_0 \cdot \omega_m}{\pi} = 0,011 \text{ В}^2.$$

$$r_{2_{xx}}(\tau) = \frac{\sin(\omega_m \cdot \tau)}{\omega_m \cdot \tau}.$$

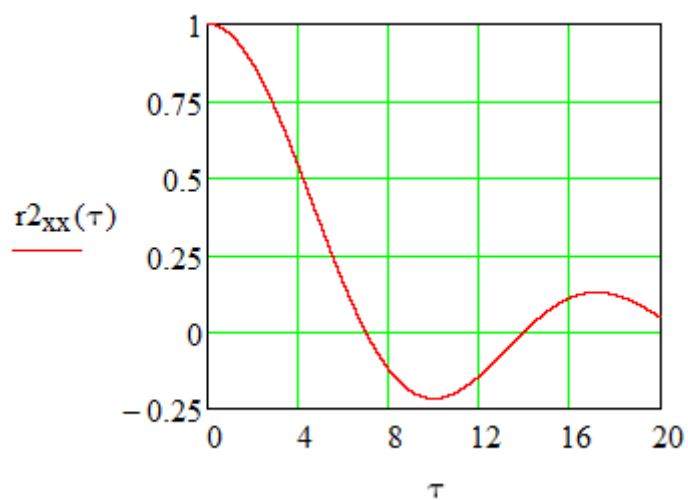


Рисунок 5.6 – Графік нормованої автокореляційної функції 2-го каналу

Характеристики сигналу 3-го каналу

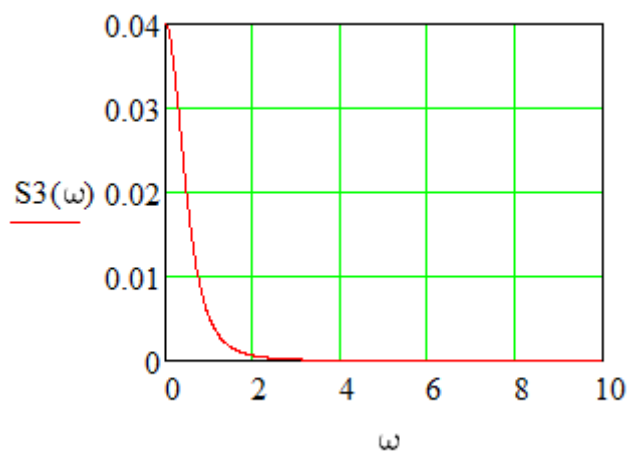


Рисунок 5.7 – Графік спектральної щільності сигналу 3-го каналу

$$R_{3_{xx}}(\tau) = \frac{S_0 \cdot a}{4} \cdot (1 + a \cdot \tau) \cdot e^{-a \cdot \tau}.$$

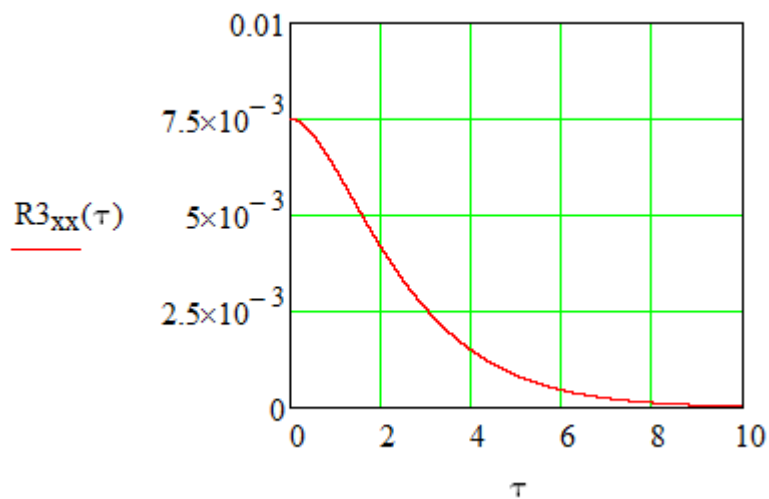


Рисунок 5.8 – Графік автокореляційної функції сигналу 3-го каналу

$$D3_x = R3_{xx}(\tau = 0) = \frac{S_0 \cdot a}{4} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2.$$

$$r3_{xx}(\tau) = (1 + a \cdot \tau) \cdot e^{-a \cdot \tau}.$$

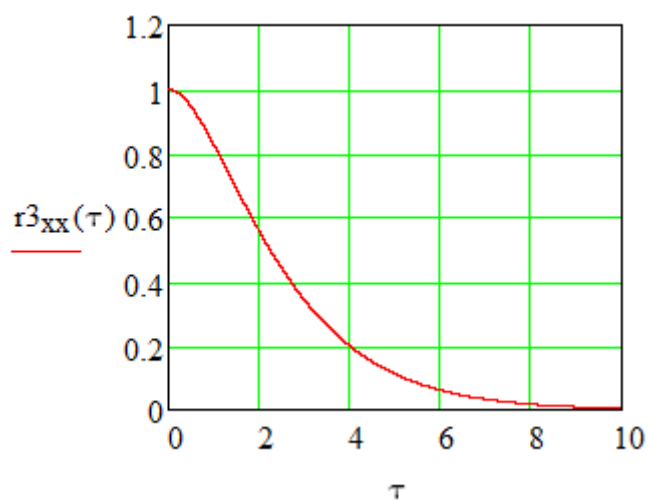


Рисунок 5.9 – Графік нормованої автокореляційної функції 3-го каналу

Характеристики сигналу 4-го каналу

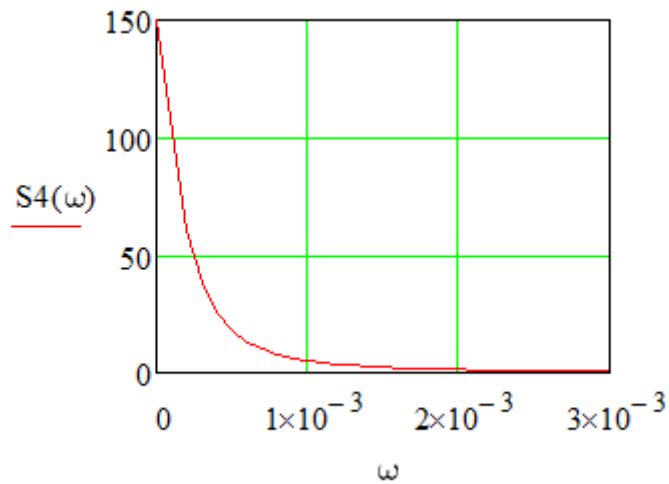


Рисунок 5.10 – Графік спектральної щільності сигналу 4-го каналу

$$R4_{xx}(\tau) = \frac{S_0}{2} \cdot (a \cdot e^{-a\tau} + b \cdot e^{-b\tau}).$$

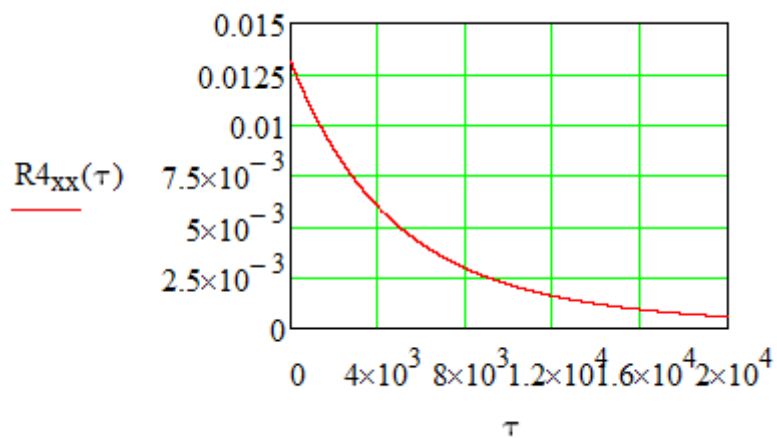


Рисунок 5.11 – Графік автокореляційної функції 4-го каналу

$$D4_x = R4_{xx}(\tau = 0) = \frac{S_0}{2} \cdot (a + b) = 0,013 \text{ В}^2.$$

$$r4_{xx}(\tau) = \frac{(a \cdot e^{-a\tau} + b \cdot e^{-b\tau})}{a + b}.$$

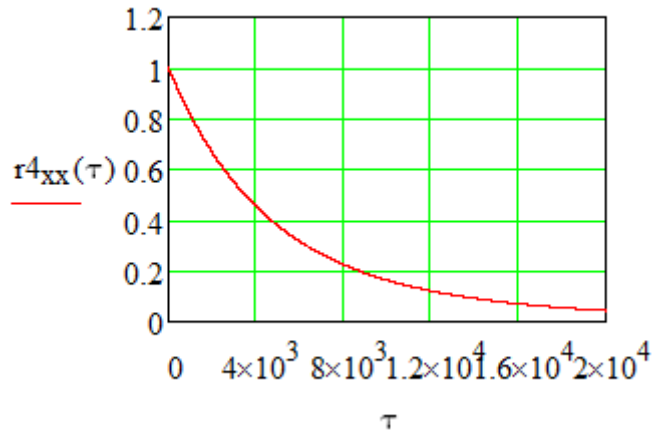


Рисунок 5.12 – Графік нормованої автокореляційної функції 4-го каналу

4. Визначення періоду опитування каналів.

Як було показано раніше, період опитування каналів визначається відповідно до критерію середньоквадратичної похибки. При цьому слід обчислити нове значення критерію: його середньоквадратичне значення еквівалентне максимальному.

Відповідно до середньоквадратичного критерія при відновленні дискретизованих сигналів за допомогою ЦАП (апроксимація статечними поліномами 0-го порядку) похибка визначається в дискретних точках i , по суті, являє собою першу різницю стаціонарного сигналу. Перша різниця стаціонарного сигналу завжди стаціонарна із середнім, що дорівнює нулю.

Визначимо зв'язок середньоквадратичної похибки з максимальною:

$$\psi^2_{\text{мах дискр}} = \sigma^2_{\text{мах дискр}} = \frac{(2 \cdot d_{\text{м дискр}})^2}{12}.$$

Величина періоду опитування відповідно до критерію визначається шляхом рішення рівняння щодо цього параметра:

$$\sigma^2_{\text{мах дискр}} = 2 \cdot [R_{xx}(\tau = 0) - R_{xx}(\tau = \Delta t)].$$

Для всіх каналів максимальне значення с.к.в. похибки дискретизації однаково та дорівнює:

$$\sigma_{\max \text{ дискр}} = \frac{d_{\text{м дискр}}}{\sqrt{3}} = 3.32 \cdot 10^{-3}.$$

Визначимо період опитування кожного з каналів (початкове значення змінної приймемо $\Delta t = 10 \cdot 10^{-3}$):

– 1 канал

$$\sigma_{\max \text{ дискр}}^2 = 2 \cdot [1 - r1_{xx}(\Delta t_1)] \Rightarrow \Delta t_1 = 9 \text{ мс};$$

– 2 канал

$$\sigma_{\max \text{ дискр}}^2 = 2 \cdot [1 - r2_{xx}(\Delta t_2)] \Rightarrow \Delta t_2 = 13 \text{ мс};$$

– 3 канал

$$\sigma_{\max \text{ дискр}}^2 = 2 \cdot [1 - r3_{xx}(\Delta t_3)] \Rightarrow \Delta t_3 = 4 \text{ мс};$$

– 4 канал

$$\sigma_{\max \text{ дискр}}^2 = 2 \cdot [1 - r4_{xx}(\Delta t_4)] \Rightarrow \Delta t_4 = 27 \text{ мс}.$$

Скориговані значення періодів опитування каналів матимуть значення:

$$\Delta t_1 = 8 \text{ мс}; \quad \Delta t_2 = 12 \text{ мс}; \quad \Delta t_3 = 4 \text{ мс}; \quad \Delta t_4 = 24 \text{ мс}.$$

На підставі скоригованих значень будується тимчасова діаграма опитування каналів. Приклад діаграми наведено на рис. 1.4.

5. Вибір стандартних пристроїв обробки сигналів.

Діапазони зміни сигналів. Визначимо діапазони зміни сигналів на входах стандартних пристроїв каналів. Відповідно до принципу максимуму ентропії у якості закону розподілу щільності ймовірностей миттєвих значень каналних сигналів обирається нормальний закон. За діапазон зміни сигналу

приймається довірчий інтервал, в якому з довірчою ймовірністю знаходяться миттєві значення сигналу. Покладемо, що:

$$\alpha = 0,95; \quad Z_{\alpha} = 1,96; \quad \sigma_x = \sqrt{D_x},$$

тоді діапазон значень сигналу визначатиметься як $-Z_{\alpha} \cdot \sigma_x \leq x(t) \leq Z_{\alpha} \cdot \sigma_x$. Тоді $x_{\max} = Z_{\alpha} \cdot \sigma_x$.

Отримаємо значення $x_{\max}$ для всіх каналів:

– 1 канал

$$\sigma_{1_x} = \sqrt{D_{1_x}} = 1,878; \quad x_{1_{\max}} = Z_{\alpha} \cdot \sigma_{1_x} = 3,681;$$

– 2 канал

$$\sigma_{2_x} = \sqrt{D_{2_x}} = 0,106; \quad x_{2_{\max}} = Z_{\alpha} \cdot \sigma_{2_x} = 0,208;$$

– 3 канал

$$\sigma_{3_x} = \sqrt{D_{3_x}} = 0,087; \quad x_{3_{\max}} = Z_{\alpha} \cdot \sigma_{3_x} = 0,17;$$

– 4 канал

$$\sigma_{4_x} = \sqrt{D_{4_x}} = 0,115; \quad x_{4_{\max}} = Z_{\alpha} \cdot \sigma_{4_x} = 0,225.$$

Нормуючі підсилювачі обираються виходячи з необхідної точності передачі аналогових сигналів, діапазонів зміни вхідних сигналів і призначеного діапазону зміни вихідних сигналів. Постановимо, щоб вихідні сигнали всіх нормуючих підсилювачів, вхідних і вихідних мультиплексорів і АЦП повинні мати діапазон $[0...10 \text{ В}]$.

Налаштування нормуючих підсилювачів вимагає перетворення вхідного сигналу: сигнал на виході НП повинен повністю покривати діапазон вихідного сигналу НП. Так при діапазоні вихідного сигналу $[0...10 \text{ В}]$ і вхідного $[-x_{\max}, x_{\max}]$ вводиться зміщення так, що нульовому рівню вхідного сигналу

відповідає рівень $+5$ В вихідного. Вхідний сигнал передається нормуючим підсилювачем з коефіцієнтом передачі $K = 5 / x_{\max}$, що дозволяє розмістити вихідний сигнал НП в вихідному діапазоні так, що вхідними рівнями $-x_{\max}$ і $x_{\max}$ відповідають рівні вихідних сигналів -0 і $+10$ В.

Допустиме значення похибки складає $d_{\min} = 2,875 \cdot 10^{-3} = 0,2875\%$ та воно забезпечується пристроями з класом точності не гірше, ніж 0,2. З урахуванням зазначеного, обираються:

– 1 канал

НП-61 з параметрами:

Клас точності – 0,2;

Діапазон вхідних сигналів, В – ± 10 ;

Діапазон вихідних сигналів, В – $0 \dots 10$;

Нульовий рівень вхідного сигналу зміщується до рівня вихідного сигналу, В – $+5,000$;

Сигнал передається з коефіцієнтом передачі, $K = 1,358$.

– 2 канал

НП-54 з параметрами:

Клас точності – 0,2;

Діапазон вхідних сигналів, В – $\pm 1,0$;

Діапазон вихідних сигналів, В – $0 \dots 10$;

Нульовий рівень вхідного сигналу зміщується до рівня вихідного сигналу, В – $+5,000$;

Сигнал передається з коефіцієнтом передачі, $K = 24,038$.

– 3 канал

НП-54 з параметрами:

Клас точності – 0,2;

Діапазон вхідних сигналів, В – $\pm 1,0$;

Діапазон вихідних сигналів, В – $0 \dots 10$;

Нульовий рівень вхідного сигналу зміщується до рівня вихідного сигналу, В – $+5,000$;

Сигнал передається з коефіцієнтом передачі, $K = 29,412$.

– 4 канал

НП-54 з параметрами:

Клас точності – 0,2;

Діапазон вхідних сигналів, В – $\pm 1,0$;

Діапазон вихідних сигналів, В – 0...10;

Нульовий рівень вхідного сигналу зміщується до рівня вихідного сигналу, В – +5,000;

Сигнал передається з коефіцієнтом передачі, К – 22,222.

Мультиплексор аналогових сигналів обирається виходячи з необхідної точності передачі аналогових сигналів, діапазону зміни вхідного і вихідного сигналів і числа вхідних каналів. Допустиме значення похибки складає $d_{\max \text{ іни}} = 2,875 \cdot 10^{-3} = 0,2875 \%$ забезпечується пристроями з класом точності не гірше, ніж 0,2. З урахуванням зазначеного раніше, діапазон сигналів мультиплексора повинен бути узгоджений з діапазоном вихідних сигналів нормуючих підсилювачів – [0...10 В].

Отже, обирається мультиплексор аналогових сигналів типу МАС-13 з параметрами:

Клас точності – 0,2;

Діапазон вхідних і вихідних сигналів, В – ± 10 ;

Число аналогових каналів – 4;

Час включення, мкс – 100.

Аналого-цифровий перетворювач обирається виходячи з необхідної точності перетворення аналогових сигналів в квантовані, діапазону зміни вхідних сигналів і обліку частини систематичної похибки, що не виключена.

Методична похибка процесу квантування не повинна перевищувати $d_{\text{іни}} = 2,875 \cdot 10^{-3} = 0,2875 \%$. Такої ж величини не повинна перевищувати частина систематичної похибки, що не виключена. Згідно прийнятих раніше рішень, діапазон вхідних сигналів повинен бути – [0...10 В].

Максимальне значення відносної методичної похибки визначається відносним значенням кроку квантування:

$$d_{\text{кркв}} = \frac{\Delta x}{x_{\max} - x_{\min}} = 2^{-n},$$

де $n = 9$. Тобто $d_{кркв} = 1,953 \cdot 10^{-3}$.

Обирається аналого-цифровий перетворювач типу АЦП-11, що має параметри:

Кількість двійкових розрядів – 9;

Діапазон вхідних сигналів – 0...10;

Час перетворення, мкс – 25;

Абсолютне значення не виключеної частини систематичної похибки – 0, ЕМР.

Цифро-аналогові перетворювачі обираються виходячи з необхідної точності перетворення квантованих сигналів (цифрових сигналів) в аналогові, діапазону зміни вихідних сигналів і обліку частини систематичної похибки, що не виключена.

Методична похибка процесу квантування не повинна перевищувати $d_{mini} = 2,875 \cdot 10^{-3} = 0,2875 \%$. Цей параметр для пари пристроїв: АЦП і ЦАП – враховується один раз і для того з пристроїв, розрядність двійкового коду якого менше. Тієї же величини не повинна перевищувати частина систематичної похибки, що не виключена. Згідно прийнятих раніше рішень, діапазон вихідних сигналів повинен бути – $[0...10 \text{ В}]$.

Номенклатурний ряд ЦАП не має пристроїв з розрядністю двійкового коду $n = 9$. Вибір ЦАП з числом розрядів менше 9 не задовольняє вимогам точності, тому вибираються ЦАПи з числом розрядів 10. При цьому можливі два варіанти розміщення даних у вхідних регістрах ЦАП.

Перший варіант полягає в тому, що дев'ятирозрядна кодова комбінація даних розміщується в молодших розрядах регістру. Це зменшує вдвічі як діапазон зміни вихідних сигналів ЦАП, так і крок квантування. При цьому відносне значення методичної складової похибки відповідає раніше встановленої для АЦП, а не виключена систематична складова зростає.

Другим варіантом є наступним: дев'ятирозрядна кодова комбінація даних розміщується в старших розрядах регістру. Молодший 10-й розряд має постійне значення, що не змінюється, та дорівнює 1, що еквівалентно реалізації 2-го методу квантування з кроком рівним 2 ЕМР десятирозрядного коду. Динамічний діапазон вихідного сигналу відповідає паспортному для пристрою. Систематична складова похибки, що не виключена, визначається молодшим 10-

м розрядом коду.

Обираються цифро-аналогові перетворювачі типу ЦАП-18 з розміщенням даних за варіантом 2 з параметрами:

Число двійкових розрядів вхідного кода – 10;

Діапазон вихідних аналогових сигналів, В – 0...10;

Час встановлення вихідного сигналу, мкс – 1,5;

Абсолютне значення частини систематичної похибки, що не виключена, ОМР – 0,5.

Масштабні підсилювачі виконують функції зворотні нормуючим підсилювачам:

- виключення зміщення і відновлення нульового рівня сигналів;
- відновлення вихідних рівнів каналних сигналів.

Масштабні підсилювачі обираються виходячи з необхідної точності передачі аналогових сигналів, діапазонів зміни вхідних сигналів і вихідних сигналів. Діапазони вхідних сигналів повинні бути узгоджені з діапазонами вихідних сигналів ЦАП і повинні складати – $[0...10 \text{ В}]$.

Діапазони вихідних сигналів повинні бути узгоджені з діапазонами вхідних каналних сигналів і повинні бути $[-x_{\max}, x_{\max}]$. Допустиме значення похибки складає $d_{\min} = 2,875 \cdot 10^{-3} = 0,2875 \%$, що забезпечується пристроями з класом точності не гірше, ніж 0,2.

Обираються масштабні підсилювачі відповідно для каналів:

- 1 канал

МУ-51 з параметрами:

Клас точності – 0,2;

Діапазон вхідних сигналів, В – 0...10;

Діапазон вихідних сигналів, В – ± 20 ;

Рівень вхідного сигналу +5 В зміщується до рівня вихідного сигналу, В – 0,000 ;

Сигнал передається з коефіцієнтом передачі, К – 0,736.

- 2 канал

МУ-45 з параметрами:

Клас точності – 0,2;

Діапазон вхідних сигналів, В – 0...10;
Діапазон вихідних сигналів, В – $\pm 2,0$;
Рівень вхідного сигналу +5 В зміщується до рівня вихідного сигналу, В – 0,000 ;
Сигнал передається з коефіцієнтом передачі, К – 0,042.

– 3 канал
МУ-40 з параметрами:
Клас точності – 0,2;
Діапазон вхідних сигналів, В – 0...10;
Діапазон вихідних сигналів, В – $\pm 0,2$;
Рівень вхідного сигналу +5 В зміщується до рівня вихідного сигналу, В – 0,000 ;
Сигнал передається з коефіцієнтом передачі, К – 0,034.

– 4 канал
МУ-45 з параметрами:
Клас точності – 0,2;
Діапазон вхідних сигналів, В – 0...10;
Діапазон вихідних сигналів, В – $\pm 2,0$;
Рівень вхідного сигналу +5 В зміщується до рівня вихідного сигналу, В – 0,000 ;
Сигнал передається з коефіцієнтом передачі, К – 0,045.

Демультіплексор цифрових каналів обирається з урахуванням числа вихідних каналів, розрядності цифрового коду даних і розрядності адреси управління. На підставі перерахованого обирається демультіплексор типу ДМ-2 з параметрами:

Число каналів – 4;
Розрядність коду даних – 16;
Розрядність коду адреси – 2.

Апаратура передачі даних. Визначення параметрів інформаційного кадру:

– час формування кадру

$$\tau_{\text{кадра}} = \Delta t_{\text{max}} = \Delta t_4 = 24;$$

– число слів даних в одному кадрі

$$N_{\text{кадра}} = \frac{\tau_{\text{кадра}}}{\Delta t_1} + \frac{\tau_{\text{кадра}}}{\Delta t_2} + \frac{\tau_{\text{кадра}}}{\Delta t_3} + \frac{\tau_{\text{кадра}}}{\Delta t_4} = 12;$$

– число двійкових символів в одному кадрі

$$k_{\text{АЦП}} = 9; \quad k_{\text{кадра}} = N_{\text{кадра}} \cdot k_{\text{АЦП}} = 108;$$

– швидкість формування інформаційного кадра

$$V_{\text{кадра}} = \frac{k_{\text{кадра}}}{\tau_{\text{кадра}} \cdot 10^{-3}} = 4,5 \cdot 10^3.$$

Визначення необхідної швидкості передачі даних АПД:

$$V_{\text{АПД}} = 1,5 \cdot V_{\text{кадра}} = 6,75 \cdot 10^3.$$

Попередньо обирається АПД-6 з параметрами:

Швидкість передачі, бод – 9600;

Розмір інформаційного блоку, дв. симв. – 127х16.

Псевдоблок містить кадрів:

$$N_{\text{нбл}} = \text{int} \left(\frac{n_{\text{бл}}}{N_{\text{кадра}}} \right) = 10.$$

Псевдоблок містить число слів даних:

$$N_{\text{нблслів}} = N_{\text{нбл}} \cdot N_{\text{кадра}} = 120.$$

Час формування псевдоблоку:

$$t_{нбл} = \tau_{кадра} \cdot N_{нбл} = 240 \text{ мс.}$$

Час передачі одного блоку даних:

$$t_{бл} = \frac{(n_{бл} + 1) \cdot (k_{бл} + 1)}{V_{АПД6}} = 0,227 \text{ с.}$$

Умова вірності вибору АПД виконується: $t_{нбл} > t_{бл}$. В якості апаратури передачі даних обирається АПД-6.

6. Розрахунок параметрів системи реального часу, яка забезпечує заданий алгоритм опитування каналів (часова діаграма опитування каналів).

Визначаються основні часові параметри підсистеми. Час внутрішнього циклу запуску процедури опитування каналів:

$$\Delta t_{каналу \min} = \Delta t_3 = 4 \cdot 10^{-3}.$$

З цим інтервалом формуються сигнали переривання першого каналу таймера.

Час затримки при опитуванні активного каналу (сигнали переривання другого каналу таймера):

$$t_{опитуванняактканалу} = t_{вклМАС} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Час затримки при опитуванні пасивного каналу (сигнали переривання другого каналу таймера):

$$t_{опитуванняпасканалу} = t_{вклМАС} + t_{перетворАЦП} = 100 \cdot 10^{-6} + 25 \cdot 10^{-6} = 125 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Вимагатимемо, щоб точність виконання часових діаграм була не гірше точності передачі аналогових сигналів (для даного прикладу – 1%). Цей параметр визначається нестабільністю генераторів Г1 і Г2, а так само

розрядністю лічильника таймера. Генератори, як правило, виконуються з кварцовою стабілізацією, нестабільність частоти яких не перевищує 10^{-5} і цією похибкою в зв'язку з її маленьким значенням можна знехтувати. Тоді похибка виконання часових діаграм визначиться кроком квантування часових інтервалів в підсистемі реального часу (точністю визначення двійкових констант, або, що одне і теж, розрядністю лічильника таймера):

$$\delta t_{\text{таймера}} = 2^{-n_{\text{таймера}}}.$$

Умова $\delta t_{\text{таймера}} \leq 0,01$ виконується при $n_{\text{таймера}} \geq 7$. Таким чином, приймається $n_{\text{таймера}} = 8$.

Згідно з рекомендаціями величини максимальних констант приймаються рівними $2/3$ об'єму лічильника таймера. Тоді десяткові еквіваленти констант часових інтервалів складуть:

$$\begin{aligned}\Delta t_{\text{каналу min DE}} &\sim 2/3 \cdot (2^{n_{\text{таймера}}} - 1) = 170; \\ t_{\text{опитування пасканалу DE}} &\sim 2/3 \cdot (2^{n_{\text{таймера}}} - 1) = 170.\end{aligned}$$

Частоти генераторів при цьому складуть:

$$\begin{aligned}F_{\text{ген1}} &= \frac{\Delta t_{\text{каналу min DE}}}{\Delta t_{\text{каналу min}}} = 4,25 \cdot 10^4; \\ F_{\text{ген2}} &= \frac{t_{\text{опитування пасканалу DE}}}{t_{\text{опитування пасканалу}}} = 1,36 \cdot 10^6.\end{aligned}$$

Після округлення частот (до найближчих частот кварцових резонаторів) приймаються частоти генераторів:

$$F_{\text{ген1}} = 42,4 \text{ кГц}; \quad F_{\text{ген2}} = 1,35 \text{ МГц};$$

Перераховуються значення констант:

$$\Delta t_{\text{каналу min DE}} = F_{\text{з1}} \cdot \Delta t_{\text{каналу min}} = 170;$$

$$t_{\text{опитування пасканалу ДЕ}} = F_{22} \cdot t_{\text{опитування пасканалу}} = 169.$$

Визначення константи опитування активного каналу:

$$t_{\text{опитування актканалу ДЕ}} = F_{22} \cdot t_{\text{опитування актканалу}} = 135.$$

Двійкові еквіваленти констант:

– перший канал таймера $\Delta t_{\text{канала min ДЕ}} = 10101010$;

– другий канал таймера $t_{\text{опитування пасканалу ДЕ}} = 10101001$;

$$t_{\text{опитування актканалу ДЕ}} = 10000111.$$

7. Оцінка сумарної похибки синтезованої системи за усіма каналами та порівняння її із тією, що вимагається.

Уточнюються всі складові похибки системи. Уточнення ведеться за типами пристроїв і їх канальними особливостями.

Нормуючі підсилювачі. У всіх каналах обрані нормуючі підсилювачі одного класу точності (0,2), тому наведені значення максимальних похибок дорівнюють:

$$d_{mНП1} = d_{mНП2} = d_{mНП3} = d_{mНП4} = 0,002.$$

Мультиплексор аналогових сигналів. Мультиплексор аналогових сигналів є загальним пристроєм для всіх каналів, похибка цього пристрою обумовлена частиною систематичної похибки, що не виключена, і згідно її нормованому значенню (класу точності) наведене значення максимальної похибки становить:

$$d_{mMAC} = 0,002.$$

Аналого-цифровий перетворювач. Аналого-цифровий перетворювач є загальним пристроєм для всіх каналів, похибка цього пристрою має дві складові: методичну складову, обумовлену процесом квантування та не виключену частину систематичної похибки. Середнє значення і напівширина діапазону зміни похибки квантування визначаються методом квантування і

величиною кроку квантування: метод поразрядного зважування відповідає першому методу квантування, при якому параметри похибки визначаються як:

$$m_{\varepsilon} = \frac{\Delta x}{2}; \quad d_{\varepsilon} = \frac{\Delta x}{2}; \quad m_{\delta_{\kappa\theta}} = \frac{2^{-n_{\text{АЦП}}}}{2} = 9,766 \cdot 10^{-4}; \quad d_{\text{ткв}} = \frac{2^{-n_{\text{АЦП}}}}{2} = 9,766 \cdot 10^{-4}.$$

Згідно параметрам обраного АЦП, абсолютне значення частини систематичної похибки, що не виключена, дорівнює нулю. Наведене значення максимальної похибки теж дорівнює нулю:

$$d_{\text{тАЦП}} = 0.$$

Цифро-аналогові перетворювачі. Для всіх каналів прийняті однотипні цифро-аналогові перетворювачі – ЦАП-18.

Цифро-аналогові перетворювачі мають три складові похибки: квантування, похибка відновлення сигналів з дискретизованої форми в аналогову, не виключена частина систематичної похибки.

Параметри похибки квантування з урахуванням методу (2-й метод квантування, див. вибір ЦАП) визначаються як:

$$m_{\varepsilon} = 0; \quad d_{\varepsilon} = \Delta x; \quad m_{\delta_{\kappa\theta}} = 0; \quad d_{\text{ткв}} = 2^{-n_{\text{ЦАП}}} = 9,766 \cdot 10^{-4}.$$

Похибка дискретизації (відновлення дискретизованих сигналів) після корекції періоду опитування вимагає уточнення:

– 1 канал

$$\sigma_{1_{\text{тдискр}}} = \sqrt{2 \cdot (1 - r_{1_{xx}}(\Delta t_1))}; \quad d_{1_{\text{тдискр}}} = \sqrt{3} \cdot \sigma_{1_{\text{тдискр}}} = 4,899 \cdot 10^{-3};$$

– 2 канал

$$\sigma_{2_{\text{тдискр}}} = \sqrt{2 \cdot (1 - r_{2_{xx}}(\Delta t_2))}; \quad d_{2_{\text{тдискр}}} = \sqrt{3} \cdot \sigma_{2_{\text{тдискр}}} = 5,4 \cdot 10^{-3};$$

– 3 канал

$$\sigma_{3_{\text{тдискр}}} = \sqrt{2 \cdot (1 - r_{3_{\text{xx}}}(\Delta t_3))}; \quad d_{3_{\text{тдискр}}} = \sqrt{3} \cdot \sigma_{3_{\text{тдискр}}} = 5,191 \cdot 10^{-3};$$

– 4 канал

$$\sigma_{4_{\text{тдискр}}} = \sqrt{2 \cdot (1 - r_{4_{\text{xx}}}(\Delta t_4))}; \quad d_{4_{\text{тдискр}}} = \sqrt{3} \cdot \sigma_{4_{\text{тдискр}}} = 5,462 \cdot 10^{-3}.$$

Облік невиключеної частини систематичної похибки ЦАП-18. Абсолютне значення невиключеної частини систематичної похибки перетворень дорівнює 0,5 ОМР або 0,5 Δx . Наведене значення цієї похибки:

$$d_{\text{мЦАП}} = \frac{2^{-n_{\text{ЦАП}}}}{2} = 4,883 \cdot 10^{-4}.$$

У всіх каналах ця складова похибки однакова:

$$d_{1_{\text{мЦАП}}} = d_{2_{\text{мЦАП}}} = d_{3_{\text{мЦАП}}} = d_{4_{\text{мЦАП}}}.$$

Масштабні підсилювачі. Масштабні підсилювачі в каналах різнотипні, але одного класу точності. Остання обставина дозволяє вважати наведені значення максимальних похибок однаковими і рівними:

$$d_{1_{\text{мМП}}} = d_{2_{\text{мМП}}} = d_{3_{\text{мМП}}} = d_{4_{\text{мМП}}} = 0,002.$$

При визначенні максимального значення сумарної похибки складова квантування враховується один раз. Загальне значення похибки квантування АЦП більше, ніж ЦАП, тому в загальній похибці врахуємо цю складову.

Максимальні значення наведених похибок системи контролю відповідно по каналах:

– 1 канал

$$\Delta_{\epsilon} = m_{\delta_{\text{кв}}} + \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d_{1_{\text{мНП}}}^2 + d_{\text{МАС}}^2 + d_{\text{ткв}}^2 + d_{1_{\text{тдискр}}}^2 + d_{1_{\text{мЦАП}}}^2 + d_{1_{\text{мМП}}}^2} = 6,708 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta_n = m_{\delta_{\kappa\psi}} - \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d1_{mHP}^2 + d_{MAC}^2 + d_{m\kappa\psi}^2 + d1_{mдискр}^2 + d1_{mЦАП}^2 + d1_{mМП}^2} = -6,708 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta1_m = 0,67 \%;$$

– 2 канал

$$\Delta_{\psi} = m_{\delta_{\kappa\psi}} + \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d2_{mHP}^2 + d_{MAC}^2 + d_{m\kappa\psi}^2 + d2_{mдискр}^2 + d2_{mЦАП}^2 + d2_{mМП}^2} = 7,159 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta_n = m_{\delta_{\kappa\psi}} - \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d2_{mHP}^2 + d_{MAC}^2 + d_{m\kappa\psi}^2 + d2_{mдискр}^2 + d2_{mЦАП}^2 + d2_{mМП}^2} = -7,159 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta2_m = 0,7 \%;$$

– 3 канал

$$\Delta_{\psi} = m_{\delta_{\kappa\psi}} + \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d3_{mHP}^2 + d_{MAC}^2 + d_{m\kappa\psi}^2 + d3_{mдискр}^2 + d3_{mЦАП}^2 + d3_{mМП}^2} = 6,969 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta_n = m_{\delta_{\kappa\psi}} - \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d3_{mHP}^2 + d_{MAC}^2 + d_{m\kappa\psi}^2 + d3_{mдискр}^2 + d3_{mЦАП}^2 + d3_{mМП}^2} = -6,969 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta3_m = 0,7 \%;$$

– 4 канал

$$\Delta_{\psi} = m_{\delta_{\kappa\psi}} + \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d4_{mHP}^2 + d_{MAC}^2 + d_{m\kappa\psi}^2 + d4_{mдискр}^2 + d4_{mЦАП}^2 + d4_{mМП}^2} = 7,215 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta_n = m_{\delta_{\kappa\psi}} - \lambda_{\Sigma} \cdot \sqrt{d4_{mHP}^2 + d_{MAC}^2 + d_{m\kappa\psi}^2 + d4_{mдискр}^2 + d4_{mЦАП}^2 + d4_{mМП}^2} = -7,215 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta4_m = 0,7 \%;$$

Максимальне значення зі встановлених похибок передачі аналогових даних виступає параметром всієї системи: максимальне значення зведеної похибки передачі даних в системі контролю не перевищує:

$$\Delta_m \leq 0,72 \%.$$

Отриманий результат задовольняє умовам завдання.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Березкин, Е.Ф. Основы теории информации и кодирования : учеб. пособие / Е.Ф. Березкин. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2018. – 320 с.
2. Подлевський, Б.М. Теорія інформації : підручник / Б.М. Подлевський, Р.Є. Рикалюк. – Львів : Видавн. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2016. – 342 с.
3. Кузьмин, И.В. Основы теории информации и кодирования / И.В. Кузьмин, В.А. Кедрус. – 2-е изд. перераб. и доп., стер. – К. : Вища шк. Головн. изд-во, 1986. – 238 с.
4. Темников, Ф.Е. Теоретические основы информационной техники : учеб. пособие для вуз. / Ф.Е. Темников, В.А. Афонин, В.И. Дмитриев. – 2-е изд. перераб. и доп., стер. – М. : Энергия, 1979. – 512 с.
5. Хетагуров, Я.А. Проектирование информационно-вычислительных комплексов : учеб. для вуз. для спец. «АСУ» / Я.А. Хетагуров, Ю.Г. Древс. – М. : Высш. шк., 1987. – 280 с.
6. Хэмминг, Р.В. Теория кодирования и теория информации / Р.В. Хэмминг ; [пер. с англ.]. – М. : Радио и связь, 1983. – 176 с.
7. Отнес, Р. Прикладной анализ временных рядов : основные методы / Р. Отнес, Л. Эноксон ; [пер. с англ. под. ред. И.Г. Журбенко]. – М. : Мир, 1982. – 428 с.
8. Топильский, В.Б. Схемотехника измерительных устройств / В.Б. Топильский. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 232 с.
7. Умняшкин, С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов : учеб. пособие / С.В. Умняшкин. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2008. – 304 с.
9. Гольденберг, Л.М. Цифровая обработка сигналов : справ. / Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк. – М. : Радио и связь, 1985. – 312 с.
10. Гутников, В.С. Фильтрация измерительных сигналов / В.С. Гутников. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. – 192 с.
11. Двайт, Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г.Б. Двайт ; [пер. с англ.]. – М. : Лань, 2009. – 228 с.
12. Макаров, Е. Инженерные расчеты в Mathcad 14 (+CD) / Е. Макаров. – СПб. : Питер, 2007. – 592 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Варіанти завдань та початкових даних

№	Максимальне значення відносної похибки	Номера вхідних сигналів, варіант даних			
		i_1	i_2	i_3	i_4
1	0.4	1.1	2.4	5.1	6.4
2	1.0	3.5	4.2	5.2	7.5
3	0.5	1.4	3.4	6.1	7.1
4	0.8	3.5	5.2	6.2	7.5
5	0.6	1.6	3.4	6.1	7.4
6	1.0	1.2	2.2	5.4	6.5
7	0.7	2.4	3.4	5.1	6.1
8	1.5	1.6	3.3	5.3	7.6
9	0.8	1.2	5.4	6.5	7.2
10	1.4	2.6	3.3	4.3	7.6
11	0.9	2.3	3.6	4.3	7.6
12	0.6	2.4	3.1	5.4	6.1
13	1.0	1.6	3.2	4.2	6.5
14	0.5	2.1	3.1	4.4	7.4
15	1.0	2.5	3.6	4.3	5.3
16	0.9	2.2	1.5	4.4	7.2
17	1.5	2.6	3.6	4.3	5.3
18	0.8	1.3	3.6	6.6	7.3
19	0.9	2.5	3.2	4.5	5.2
20	0.6	1.2	4.4	5.1	7.4

Таблиця А.2 – Характеристики сигналів

№	$S_{xx}(\omega)$	Параметри та їх розмірність		Варіанти даних, значення параметрів						
		Параметри	Розмірність	S_0	X.1	X.2	X.3	X.4	X.5	X.6
1	$S_0 \cdot e^{-b \omega }$	S_0	$B^2 c$	0.942	1.5	1.7	1.7	25	8.5	2.8
		b	c							
2	$S_0 \cdot \frac{a^2}{a^2 + \omega^2}$	S_0	$B^2 c$	10	$3.4 \cdot 10^{-4}$	$6.9 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
		a	c^{-1}							
3	$S_0 \cdot \frac{a^4}{(a^2 + \omega^2)^2}$	S_0	$B^2 c$	0.04	1.0	0.8	0.3	0.5	0.2	0.125
		a	c^{-1}							
4	$S_0 \cdot e^{-b^2 \cdot \omega^2}$	S_0	$B^2 c$	25	2.6	0.85	1.0	1.4	4.3	13
		b	c							
5	$\begin{cases} S_0, \omega \in [-\omega_m, \omega_m] \\ 0, \omega \notin [-\omega_m, \omega_m] \end{cases}$	S_0	$B^2 c$	0.0785	0.5	1.4	4.3	0.1	0.3	0.9
		ω_m	c^{-1}							
6	$S_0 \cdot \frac{a^2 \cdot (b^2 + \omega^2) + b^2 \cdot (a^2 + \omega^2)}{(a^2 + \omega^2) \cdot (b^2 + \omega^2)}$	S_0	$B^2 c$	75	$5 \cdot 10^{-5}$ $20 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ $20 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$ $3.5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$ $4 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ $3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$ $0.5 \cdot 10^{-4}$
		a	c^{-1}							
		b	c^{-1}							
7	$S_0 \cdot \frac{a \cdot e^{-a \omega } + b \cdot e^{-b \omega }}{a + b}$	S_0	$B^2 c$	0.011	5 1.2	2.5 1.4	2 1.5	25 25	5 3.7	10 4.3
		a	c							
		b	c							

Таблиця А.3 – Параметри нормуючих підсилювачів

Діапазони		Клас точності, тип підсилювача						
Вхідний сигнал, В	Вихідний сигнал, В	2.0	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02
± 0.1	0...0.1	НП-1	НП-2	НП-3	НП-4	НП-5		
± 1.0		НП-6	НП-7	НП-8	НП-9	НП-10		
± 10		НП-11	НП-12	НП-13	НП-14	НП-15		
± 100		НП-16	НП-17	НП-18	НП-19	НП-20		
± 0.1	0...1	НП-21	НП-22	НП-23	НП-24	НП-25	НП-26	
± 1.0		НП-27	НП-28	НП-29	НП-30	НП-31	НП-32	
± 10		НП-33	НП-34	НП-35	НП-36	НП-37	НП-38	
± 100		НП-39	НП-40	НП-41	НП-42	НП-43	НП-44	
± 0.1	0...10	НП-45	НП-46	НП-47	НП-48	НП-49	НП-50	
± 1.0		НП-51	НП-52	НП-53	НП-54	НП-55	НП-56	НП-57
± 10		НП-58	НП-59	НП-60	НП-61	НП-62	НП-63	НП-64
± 100		НП-65	НП-66	НП-67	НП-68	НП-69	НП-70	НП-71

Клас точності нормуючих підсилювачів визначається максимальним значенням не виключеного залишку систематичної похибки, який розглядається як випадкова величина, яку розподілено рівномірно із середнім, що дорівнює нулю.

Таблиця А.4 – Мультиплексори аналогових сигналів (комутатори аналогових сигналів)

Клас точності, тип мультиплексору	Число каналів					
	4			8		
	Діапазон зміни сигналів, В					
	±0.1	±1.0	±10	±0.1	±1.0	±10
1.0	MAC-1	MAC-6	MAC-11	MAC-17	MAC-21	MAC-26
0.5	MAC-2	MAC-7	MAC-12	MAC-18	MAC-22	MAC-27
0.2	MAC-3	MAC-8	MAC-13	MAC-19	MAC-23	MAC-28
0.1	MAC-4	MAC-9	MAC-14	MAC-20	MAC-24	MAC-29
0.05	MAC-5	MAC-10	MAC-15		MAC-25	
0.02			MAC-16			MAC-30
Час встановлення вихідного сигналу, мкс	10	40	100	10	50	120

Клас точності MAC визначається максимальним значенням не виключеного залишку систематичної похибки, який розглядається як випадкова величина, яку розподілено рівномірно із середнім, що дорівнює нулю.

Таблиця А.5 – Аналого-цифрові перетворювачі

Число розрядів, тип АЦП, час перетворення (мкс), значення похибки (*) (ЕМР)	Діапазон зміни вхідних сигналів, В		
	0 ... 0.1	0 ... 1.0	0 ... 10
8	АЦП-1 10 1 ЕМР	АЦП-5 10 0 ЕМР	АЦП-10 20 0 ЕМР
9	АЦП-2 10 1 ЕМР	АЦП-6 20 0.5 ЕМР	АЦП-11 25 0 ЕМР
10	АЦП-3 20 2 ЕМР	АЦП-7 25 0.5 ЕМР	АЦП-12 40 0.5 ЕМР
11	АЦП-4 20 3 ЕМР	АЦП-8 40 1 ЕМР	АЦП-13 50 1 ЕМР
12		АЦП-9 50 2 ЕМР	АЦП-14 100 2 ЕМР
14			АЦП-15 200 3 ЕМР

* – максимальне значення не виключеної частини систематичної похибки.

АЦП має дві складові похибки:

- методичну (шум квантування);
- не виключену частину систематичної.

Таблиця А.6 – Цифро-аналогові перетворювачі

Число розрядів коду	Діапазон зміни вхідного сигналу, В	Величина не виключеної частини систематичної похибки, ЕМР ; тип ЦАП; час перетворення, мкс					
		0	0.5	1	1.5	2	5
8	0 ... 0.1			ЦАП-1 1	ЦАП-2 1	ЦАП-3 1	
	0 ... 1	ЦАП-4 1	ЦАП-5 1	ЦАП-6 1.2	ЦАП-7 2		
	0 ... 10	ЦАП-8 1	ЦАП-9 1.5	ЦАП-10 2			
10	0 ... 0.1			ЦАП-11 1	ЦАП-12 1	ЦАП-13 1.5	
	0 ... 1		ЦАП-14 1.5	ЦАП-15 1.5	ЦАП-16 2	ЦАП-17 2	
	0 ... 10		ЦАП-18 2	ЦАП-19 2	ЦАП-21 3	ЦАП-21 3	
12	0 ... 0.1				ЦАП-22 1.5	ЦАП-23 2	
	0 ... 1			ЦАП-24 1.5	ЦАП-25 2	ЦАП-26 3	
	0 ... 10			ЦАП-27 2	ЦАП-28 2.5	ЦАП-29 3	
14	0 ... 0.1					ЦАП-30 2	ЦАП-31 2
	0 ... 1				ЦАП-32 3	ЦАП-33 5	ЦАП-34 5
	0 ... 10					ЦАП-35 5	ЦАП-36 5

Таблиця А.7 – Масштабуючі підсилювачі

Діапазони		Клас точності, тип підсилювача						
Вхідний сигнал, В	Вихідний сигнал, В	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02
0 ... 0.1	±0.2	МУ-1	МУ-2	МУ-3	МУ-4			
	±2	МУ-5	МУ-6	МУ-7	МУ-8	МУ-9		
	±20	МУ-10	МУ-11	МУ-12	МУ-13			
	±200	МУ-14	МУ-15					
0 ... 1	±0.2	МУ-16	МУ-17	МУ-18	МУ-19	МУ-20		
	±2	МУ-21	МУ-22	МУ-23	МУ-24	МУ-25	МУ-26	МУ-27
	±20	МУ-28	МУ-29	МУ-30	МУ-31	МУ-32		
	±200	МУ-33	МУ-34	МУ-35	МУ-36			
0 ... 10	±0.2	МУ-37	МУ-38	МУ-39	МУ-40	МУ-41		
	±2	МУ-42	МУ-43	МУ-44	МУ-45	МУ-46	МУ-47	
	±20	МУ-48	МУ-49	МУ-50	МУ-51	МУ-52	МУ-53	МУ-54
	±200	МУ-55	МУ-56	МУ-57	МУ-58	МУ-59	МУ-60	

Клас точності масштабуючих підсилювачів визначається максимальним значенням не виключеного залишку систематичної похибки, який розглядається як випадкова величина, яку розподілено рівномірно із середнім, що дорівнює нулю.

Таблиця А.8 – Апаратура передачі даних

Швидкість передачі даних, бод	Тип АПД	Метод кодування та формати даних
200	АПД-1	Матричний код, довжина блоку 127; 16-розрядних слів
600	АПД-2	Матричний код, довжина блоку 127; 16-розрядних слів
1 200	АПД-3	Матричний код, довжина блоку 255; 16-розрядних слів
2 400	АПД-4	Матричний код, довжина блоку 255; 16-розрядних слів
4 800	АПД-5	Матричний код, довжина блоку 255; 16-розрядних слів
9 600	АПД-6	Матричний код, довжина блоку 127; 16-розрядних слів
20 000	АПД-7	Матричний код, довжина блоку 64; 16-розрядних слів
48 000	АПД-8	Матричний код, довжина блоку 64; 16-розрядних слів

Окрім інформаційних слів кожний блок має одне службове слово, розряди якого формуються згідно наступної формули:

$$a_{j\text{ сл}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{сл}}} b_{ij} \cdot \text{mod}(2),$$

де b_{ij} – значення j -го розряду i -го інформаційного слова. Додатково до кожного інформаційного слова вводиться 17-й розряд, який забезпечує його парний паритет:

$$b_{j,17} = \sum_{i=1}^{16} b_{ij} \cdot \text{mod}(2).$$

Таблиця А.9 – Демультимплексори цифрових сигналів

Число каналів	Розрядність коду та адреса, тип ДМ			
	Число розрядів коду – 8		Число розрядів коду – 16	
	Число розрядів адреси – 2	Число розрядів адреси – 4	Число розрядів адреси – 2	Число розрядів адреси – 4
4	ДМ-1		ДМ-2	
8		ДМ-3		ДМ-4
16		ДМ-5		ДМ-6

Управління демультимплексорами – адресне.

Таблиця А.10 – Кварцові резонатори

Тип кварцового резонатору	Діапазон частот, МГц	f_0 , МГц
РГ-01	0,05...0,22	0,05
РГ-02	0,22...0,80	0,25
РВ-15	0,13...0,75	0,50
РГ-27	0,50...0,75	0,50
РГ-06	0,75...1,80	1,00
РВ-17	0,84...1,80	1,80
РГ-07	1,80...8,00	1,80
РГ-05	5,00...30,0	5
РВ-11	4,50...30,0	10
РВ-59	5,00...30,0	20
РВ-19	100...150	100
РВ-81	150...300	250

Таблиця А.11 – Параметри та характеристики сигналів

№	$S_{xx}(\omega)$	$R_{xx}(\tau)$	$r_{xx}(\tau)$	D_x	τ_0
1	$S_0 \cdot e^{-b \omega }$	$\frac{S_0}{\pi \cdot b} \cdot \frac{b^2}{b^2 + \tau^2}$	$\frac{b^2}{b^2 + \tau^2}$	$\frac{S_0}{\pi \cdot b}$	$\frac{\pi \cdot b}{2}$
2	$S_0 \cdot \frac{a^2}{a^2 + \omega^2}$	$\frac{S_0 \cdot a}{2} \cdot e^{-a \tau }$	$e^{-a \tau }$	$\frac{S_0 \cdot a}{2}$	$\frac{1}{a}$
3	$S_0 \cdot \frac{a^4}{(a^2 + \omega^2)^2}$	$\frac{S_0 \cdot a}{4} \cdot (1 + a \cdot \tau) e^{-a \tau }$	$(1 + a \cdot \tau) e^{-a \tau }$	$\frac{S_0 \cdot a}{4}$	$\frac{2}{a}$
4	$S_0 \cdot e^{-b^2 \cdot \omega^2}$	$\frac{S_0}{2 \cdot b \cdot \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{\tau^2}{4b^2}}$	$e^{-\frac{\tau^2}{4b^2}}$	$\frac{S_0}{2 \cdot b \cdot \sqrt{\pi}}$	$b \cdot \sqrt{\pi}$
5	$\begin{cases} S_0, \omega \in [-\omega_m, \omega_m] \\ 0, \omega \notin [-\omega_m, \omega_m] \end{cases}$	$\frac{S_0 \cdot \omega_m}{\pi} \cdot \frac{\sin(\omega_m \cdot \tau)}{\omega_m \cdot \tau}$	$\frac{\sin(\omega_m \cdot \tau)}{\omega_m \cdot \tau}$	$\frac{S_0 \cdot \omega_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2 \cdot \omega_m}$
6	$S_0 \cdot \frac{a^2 \cdot (b^2 + \omega^2) + b^2 \cdot (a^2 + \omega^2)}{(a^2 + \omega^2) \cdot (b^2 + \omega^2)}$	$\frac{S_0}{2} \cdot (a \cdot e^{-a \tau } + b \cdot e^{-b \tau })$	$\frac{a \cdot e^{-a \tau } + b \cdot e^{-b \tau }}{a + b}$	$\frac{S_0 \cdot (a + b)}{2}$	$\frac{2}{a + b}$
7	$S_0 \cdot \frac{a \cdot e^{-a \omega } + b \cdot e^{-b \omega }}{a + b}$	$\frac{2 \cdot S_0}{\pi \cdot (a + b)} \cdot \frac{a^2 \cdot (b^2 + \tau^2) + b^2 \cdot (a^2 + \tau^2)}{2 \cdot (a^2 + \tau^2) \cdot (b^2 + \tau^2)}$	$\frac{a^2 \cdot (b^2 + \tau^2) + b^2 \cdot (a^2 + \tau^2)}{2 \cdot (a^2 + \tau^2) \cdot (b^2 + \tau^2)}$	$\frac{2 \cdot S_0}{\pi \cdot (a + b)}$	$\frac{\pi \cdot (a + b)}{2}$